



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

СБОРНИК ТРУДОВ

VIII

КОНГРЕССА
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ

ТОМ 3



КОНГРЕСС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Санкт-Петербург

2019



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Сборник трудов
VIII Конгресса молодых ученых**

Том 3



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2019

Сборник трудов VIII Конгресса молодых ученых. Том 3. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 372 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на VIII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО по тематикам: системы управления и робототехника, безопасность информационных технологий и программная инженерия и компьютерная техника.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редколлегии:

Бобцов Алексей Алексеевич

доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета компьютерных технологий и управления Университета ИТМО.

Члены редколлегии:

Кустарев Павел Валерьевич

кандидат технических наук, декан факультета программной инженерии и компьютерной техники

Заколдаев Данил Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, декан факультета безопасности информационных технологий

Муромцев Дмитрий Ильич

кандидат технических наук, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники

Беззатеев Сергей Валентинович

доктор технических наук, доцент, профессор факультета безопасности информационных технологий

Ловлин Сергей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники

Громов Владислав Сергеевич

кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники

ISBN 978-5-7577-0603-0

ISBN 978-5-7577-0622-1 (Том 3)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Авторы, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 15–19 апреля 2019 года на VIII Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО по тематикам: системы управления и робототехника, безопасность информационных технологий и программная инженерия и компьютерная техника.

Конгресс проводится в целях реализации программы Национального исследовательского университета, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., а также с целью стимулирования научно-технической деятельности молодых ученых, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня и апробации выпускных квалификационных работ магистрантов и бакалавров за 2018/2019 учебный год.

**НАПРАВЛЕНИЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ**

Алексеева Мария Михайловна

Год рождения: 1996

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, факультет «А» Ракетно-космической техники,
кафедра А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника», студент группы № А9М42
Направление подготовки: 24.04.03 – Баллистика и гидроаэродинамика
e-mail: amara96@mail.ru

Вихрова Ирина Андреевна

Год рождения: 1996

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, факультет «А» Ракетно-космической техники,
кафедра А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника», студент группы № А9М41
Направление подготовки: 24.04.05 – Двигатели летательных аппаратов
e-mail: ir-vikhr@yandex.ru

Брыков Никита Александрович

Год рождения: 1988

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, факультет «А» Ракетно-космической техники,
кафедра А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника», к.т.н.
e-mail: brykovna@yandex.ru

УДК 533.6

**ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОТОКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО
МЕТОДА ТЕПЛОЗАЩИТЫ**

Алексеева М.М. (Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова), **Вихрова И.А.** (Балтийский государственный
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Научный руководитель – к.т.н. Брыков Н.А.
(Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова)

В работе рассмотрены особенности построения математической модели для гиперзвукового движения тел в плотных слоях атмосферы и методов тепловой защиты. Приведены результаты численного моделирования гиперзвукового обтекания тела, проведен анализ численных результатов.

Ключевые слова: гиперзвуковой летательный аппарат, численное моделирование, многокомпонентный газ, химические реакции, тепловая защита.

Большим прорывом в отрасли ракетостроения является переход на гиперзвуковые скорости полета. Однако существуют некоторые проблемы, связанные с оптимизацией геометрии конструктивных элементов гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). Например, уменьшение радиуса затупления приводит не только к уменьшению сопротивления летательного аппарата (ЛА), но и к некоторым негативным последствиям, к которым относится возрастание интенсивности конвективного нагрева.

Для моделирования гиперзвуковых течений важно точно описать математическую модель реального химически реагирующего газа. Для решения поставленной задачи необходимо провести экспериментальные исследования и численные расчеты. Проведение расчетных исследований позволяет на ранних стадиях проектирования рассчитать сложную конфигурацию поля течения и учесть это при определении облика ЛА и метода теплозащиты.

В данную работу вошло: описание постановки задачи обтекания тел гиперзвуковым потоком вязкого газа; моделирование процессов в камере сгорания гиперзвукового воздушно-реактивного двигателя; составление математической модели с использованием системы уравнений Навье–Стокса и учетом физико-химических реакций, протекающих в ударном слое и на поверхности ЛА; проведение анализа влияния химических реакций на аэротермодинамические характеристики.

Задачи полета ЛА с высокими скоростями в плотных слоях атмосферы Земли сопряжены с большими градиентами газодинамических параметров, поэтому важно учитывать физико-химические процессы, определив их влияние на аэродинамику ГЛА. В случае полета на больших высотах газ является разреженным, что приводит к необходимости проверки возможности применения модели сплошности среды. Если применение данной модели возможно, то численное моделирование проводится с использованием системы уравнений Навье–Стокса и с учетом физико-химических реакций (при больших гиперзвуковых скоростях), протекающих в ударном слое и на поверхности ЛА.

Один из способов описания турбулентных течений основан на использовании уравнений RANS [1].

Осредненные уравнения Навье–Стокса для сжимаемого совершенного газа (знаки осреднения опущены) представлены в системе уравнений (1) и состоят из уравнений сохранения массы, импульса и энергии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0, \\ \frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) &= -\nabla p + \nabla \cdot (\tau_m + \tau_t) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}, \\ \frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} H) &= \nabla \cdot [k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \mathbf{J}_j + \mathbf{u} \cdot (\tau_m + \tau_t)] + S_h, \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{u} – вектор скорости осредненного течения с компонентами u, v и w ; $\tau_m + \tau_t$ – молекулярная и турбулентная составляющие тензора вязких напряжений; $E = C_v T + 0,5(u^2 + v^2 + w^2)$ – полная энергия газа; $H = E + p/\rho = C_p T + 0,5(u^2 + v^2 + w^2)$ – его полная энтальпия; T – температура; $C_v = (C_p - R)$ – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме; C_p – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении; R – газовая постоянная; $\rho \mathbf{g}$ – гравитационная сила; \mathbf{F} – внешние силы; $k_{eff} = k + k_t$ – эффективный коэффициент теплоотдачи; \mathbf{J}_j – диффузионный член; h_j – энтальпия образования компонента; S_h – источниковый член энергии (позволяет учесть процесс образования и поглощения тепловой энергии).

Система уравнений (1) является незамкнутой, поэтому необходимо использовать дополнительно модель турбулентности. Модель типа $k - \varepsilon$ является высокорейнольдсовой, предложенной Spalding, Launder в 1972 году.

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} &= \nabla \cdot \left(\left(\nu + \frac{\nu_\tau}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + P_k - \varepsilon, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= \nabla \cdot \left(\left(\nu + \frac{\nu_\tau}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}, \\ P_k &= -\tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \nu_\tau S^2, \\ \nu_\tau &= C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \end{aligned}$$

где ε – удельная диссипация; k – кинетическая энергия турбулентности; P_k – генерационный член в уравнении для кинетической энергии; ν_τ – турбулентная вязкость. Константы найдены на основе зависимости $C_2 = C_1 - k^2/\sigma_\varepsilon \sqrt{C_\mu}$ и струйных течений: $\sigma_k = 1,0$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $C_1 = 1,44$, $C_2 = 1,92$, $C_\mu = 0,09$.

В сжатом и пограничном слое при обтекании тела гиперзвуковым потоком газ становится химически активным, происходят реакции диссоциации и рекомбинации. Таким образом, тепломассообмен интенсифицируется между потоком и поверхностью тела. Также воздух перестает подчиняться законам термодинамики идеального газа и считается реальным химически активным, многокомпонентным газом, что приводит к необходимости решения уравнений Максвелла.

Таким образом, при моделировании необходимо рассматривать воздух как многокомпонентную смесь. Рассмотрим пятикомпонентную воздушную смесь [2] в таблице: три реакции диссоциации и две обменные реакции. Некоторые реакции реализованы с участием третьих тел M (под M понимается любая из частиц, присутствующих в смеси, так называемый «ударный партнер»).

Таблица. Реакции, протекающие в воздушной смеси

1	$N_2 + M \leftrightarrow 2N + M$
2	$O_2 + M \leftrightarrow 2O + M$
3	$NO + M \leftrightarrow N + O + M$
4	$NO + O \leftrightarrow O_2 + N$
5	$N_2 + O \leftrightarrow NO + N$

Теоретические положения теории термической диссоциации не дают достаточно точных данных для констант скоростей реакций, поэтому основным источником данных является эксперимент. В общем случае для реакций с ударным партнером константа скорости будет зависеть от конкретного вида ударной частицы. Поэтому для каждой реакции ударной диссоциации необходимо представлять ее в виде совокупности реакций с каждым отдельным ударным партнером (это связано с тем, что эффективные сечения столкновений зависят от конкретного вида участвующих в столкновении частиц).

Для приближенного описания кинетического процесса такого разделения не производят, под партнером понимают все присутствующие в смеси частицы и вводят обобщенный коэффициент скорости реакции. Сводка наиболее вероятных значений констант скоростей прямых реакций приведена в [3]. Скорости обратных реакций определяют из констант скоростей прямых реакций и константы равновесия соответствующей реакции, которая достаточно просто рассчитывается из общих термодинамических соотношений для равновесного состояния.

Нестационарный перенос массы i -ой компоненты смеси будет обусловлен конвективными и диффузионными процессами, а также наличием источников массы. Таким образом, уравнение изменения концентрации i -ой компоненты смеси запишем в следующем виде:

$$\frac{\partial(\rho_i C_i)}{\partial t} + \nabla(\rho_i \mathbf{u} C_i) = -\nabla \mathbf{g}_i + \omega_i + S_i,$$

где \mathbf{g}_i – диффузионный поток i -ой компоненты; S_i – скорость образования i -ой компоненты за счет наличия дополнительных источников; ω_i – скорость образования i -ой компоненты в химических реакциях.

Константы скорости прямой и обратной реакций вычисляются по закону Аррениуса:

$$k_{f,b} = A_{f,b} T^{\beta_{f,b}} e^{-E_{f,b}/RT}.$$

При моделировании аэродинамики ГЛА становится существенным влияние лучистого теплообмена. Расчет лучистого теплообмена сводится к решению интегро-дифференциального уравнения переноса излучения. В задачах лучистого теплообмена часто используется метод дискретных ординат, данный метод удачно объединяется с алгоритмами, основанными на применении контрольных объемов:

$$\nabla(I(\mathbf{r}, \mathbf{s})\mathbf{s}) + (a + \sigma_s)I(\mathbf{r}, \mathbf{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\mathbf{r}, \mathbf{s}')\Phi(\mathbf{s}, \mathbf{s}')d\Omega',$$

где \mathbf{r} – вектор положения; \mathbf{s} – направляющий вектор; \mathbf{s}' – вектор направления рассеивания; a – коэффициент поглощения; n – показатель преломления; σ_s – коэффициент рассеивания; σ – постоянная Стефана–Больцмана; I – интенсивность излучения, которая зависит от положения и направления; Φ – фазовая функция; Ω' – телесный угол.

Данная модель решает уравнение переноса излучения для конечного числа дискретных телесных углов, каждый из которых связан с направлением вектора, фиксированным в глобальной декартовой системе координат.

Для численного моделирования процесса внешнего обтекания рассматривалось обтекание гиперзвуковым потоком тел вращения со степенными контурами. Число Маха набегающего потока равно 8,8, температура $T=300$ К, давление $p=1$ атм. Задача рассматривалась в стационарной двумерной осесимметричной постановке.

Для решения данного типа задач используется применение сеточных методов численного моделирования в строгой постановке. Поверхность тел считается непроницаемой. Для расчета используется неструктурированная расчетная сетка с адаптацией размеров ячеек по градиенту температур, что позволяет получить более точные поля течений.

Результат численного расчета для тела вращения с показателем степени 1/2 приведен на рисунке, а. Для апробации результатов полученные картины течения сравниваются с имеющимися экспериментальными данными (рисунок, б) [4].

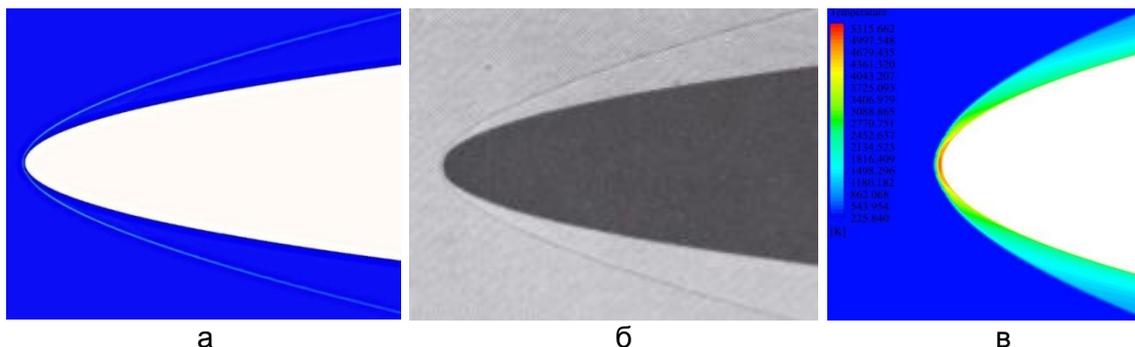


Рисунок. Градиент давления (а); теневая фотография обтекания (б); распределение температуры (в)

На рисунке, в, показано распределение температуры. Как видно из представленных результатов, в области торможения потока имеет место большой градиент температур.

Высокие температуры, полученные в ходе расчета, исключают возможность использования для конструкции традиционных металлов (алюминий, титан, сталь), так как превышают их температуру плавления. Поэтому для решения данной проблемы прибегают к использованию тепловой защиты ЛА. Способы тепловой защиты поверхности разделяются на пассивные и активные.

Воздействие теплового потока в пассивных методах тепловой защиты воспринимается с помощью сконструированной внешней оболочки или посредством специальных покрытий, которые наносятся на основную конструкцию. К пассивным методам относятся все способы охлаждения без подвода специального охладителя. Существуют так называемые теплопоглощающие конструкции или тепловые аккумуляторы, в которых подходящее к поверхности тепло поглощается толстой оболочкой.

К пассивным методам относится радиационное охлаждение, принцип которого основан на переизлучении в окружающее пространство теплового потока, подходящего

к внешней оболочке конструкции, которая создана из материала, сохраняющего прочность при больших температурах. Между внешней высокотемпературной оболочкой и основной конструкцией размещается слой из легкого теплоизоляционного материала, поэтому теплоотвод внутрь защищаемой конструкции минимален. В качестве конструкционных материалов для систем с радиационным охлаждением применяются тугоплавкие металлы – молибден, вольфрам и т.д. Радиационный метод теплозащиты может использоваться для теплозащиты внешних поверхностей аппаратов только в тех случаях, когда излучение от нагреваемой поверхности имеет свободный выход во внешнее пространство.

Достаточно большое распространение среди пассивных методов получила теплозащита с помощью разрушающихся покрытий (абляция). Согласно этому методу защищаемая конструкция покрывается слоем специального материала, часть которого под действием теплового потока может разрушаться в результате процессов плавления, испарения и химических реакций. При этом основная часть подводимого тепла расходуется на реализацию теплоты различных физико-химических превращений. Абляционные материалы могут быть как твердыми, так и эластичными.

В активных методах газообразный или жидкий хладагент не только подается к защищаемой поверхности и берет на себя основную часть тепла, поступающего к поверхности, но и проникает в пограничный слой набегающего воздушного потока (эффект вдува).

Новые материалы предлагают хорошее охлаждение и теплозащиту при высоких температурах, но, как правило, относятся к абляционным материалам, которые при эксплуатации теряются, унося с собой тепло. Таким образом, исследования в основном сосредоточены на активном охлаждении корпуса ЛА. В зависимости от способа подачи охладителя к защищаемой поверхности различают несколько типов активной теплозащиты.

Например, выделяют заградительное охлаждение, основанное на том, что газообразный охладитель через щель в охлаждаемой поверхности подводится на внешнюю, «горячую», сторону, тем самым загораживает ее от влияния высоких температур внешней среды.

Пленочное охлаждение, также относится к активным методам, оно подобно заградительному и отличается лишь тем, что через щель (или несколько щелей) защищаемой поверхности подается жидкий охладитель, который образует на этой поверхности защитную пленку. По мере растекания вдоль поверхности жидкая пленка испаряется и разбрызгивается. Поглощение подводимого к поверхности тепла в данном способе теплозащиты происходит за счет нагревания и испарения пленки жидкого охладителя, а также последующего нагрева его паров.

Существует еще один способ активной теплозащиты – пористое охлаждение. Его принцип в том, что охлаждаемую поверхность делают пористой или перфорированной и через нее равномерно подводится газообразный или жидкий охладитель. Проходя через поры, охладитель отбирает тепло от стенки, а оказавшись на поверхности, снижает интенсивность теплообмена между горячим газом и стенкой. Оба эти фактора ведут к понижению температуры пористой стенки. Но использование пористого охлаждения требует изготовления пористых стенок по довольно сложной технологии, также необходимо постоянно следить за тем, чтобы поры не засорялись. Поэтому данный метод чаще применяют тогда, когда предыдущие методы теплозащиты оказываются несостоятельными.

Также есть конвективное охлаждение, принцип которого заключается в следующем: жидкий или газообразный охладитель пропускается через узкий канал («рубашку») вдоль внутренней (по отношению к подходящему тепловому потоку)

стороны защищаемой поверхности. Среди газообразных охладителей чаще всего используют водород из жидкостей – воду, спирт и т.д. [5].

К конвективному охлаждению относится метод тепловой конверсии топлива. Этот метод наиболее интересен для исследования, его принцип основан на том, что топливо, охлаждая стенки ЛА, нагревается, после чего впрыскивается в камеру сгорания двигателя. Данный метод решает не только проблему аэродинамического нагрева – в процессе тепловой конверсии топливо нагревается, а значит, заранее подготавливается к реагированию, что обеспечивает более устойчивый процесс горения в камере сгорания.

Тепловые потоки, которые воздействуют на спускаемые аппараты при больших скоростях входа, превышают возможности использования некоторых методов теплозащиты (абляционные покрытия, радиационное охлаждение и т.д.), поэтому при данных условиях использование метода тепловой конверсии топлива является привлекательным.

Литература

1. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г. Численное моделирование газодинамических и физико-химических процессов при обтекании тел гиперзвуковым потоком // Вычислительные методы и программирование. – 2017. – № 18(4). – С. 387–405.
2. Ковалев В.Л. Гетерогенные каталитические процессы в неравновесной аэротермодинамике. – М.: Физматлит, 2002. – 223 с.
3. Ступоченко Е.В., Лосев С.А., Осипов А.И. Релаксационные процессы в ударных волнах. – М.: Наука, 1965. – 484 с.
4. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. – М.: Мир, 1986. – 184 с.
5. Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита / Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.

Бурков Никита Юрьевич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41775Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение

e-mail: nikitaburkov@yandex.ru

Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент

e-mail: amax@niuitmo.ru

УДК 004.421:621.3.049.75

**ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ВЕБ-САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ****Бурков Н.Ю.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Афанасьев М.Я.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе рассмотрены некоторые технические аспекты разработки системы автоматизированного проектирования печатных плат на базе интернет-приложения: приведены требования к системе, описана архитектура приложения, продемонстрирован основной принцип взаимодействия API-библиотеки рисования графов и модулей, реализующих логику работы электронных компонентов.

Ключевые слова: печатные платы, умное производство, киберфизические системы, САПР, EDA.

Современное производство печатных плат (ПП) обладает такими недостатками как высокая стоимость продукта, а также его долгое прохождение через все этапы проектирования и изготовления [1, 2]. В связи с этим реализуется инициатива создания модели производства, в условиях которого можно было бы сократить время проектирования и изготовления ПП, уменьшить затраты и в то же время сохранить высокое качество. Одним из ключевых моментов этой модели является система автоматизированного проектирования печатных плат (САПР ПП), встроенная непосредственно в универсальную установку [3, 4]. Такой системе предъявляется ряд специфических требований, реализации которых и посвящена работа.

Необходимо было разработать САПР ПП, обеспечивающую возможность переиспользования, расширения функционала, глубокой модификации другими разработчиками. Таким образом, работа не должна включать все те возможности, что присущи современным системам проектирования, но, скорее, предоставлять очень хорошую основу для таковой. Для обеспечения всех этих требования важно использовать тщательно подобранный набор инструментов и хорошо продуманную архитектуру веб-приложения.

На рис. 1 изображена укрупненная схема разработанной архитектуры приложения. Согласно ей основополагающими частями системы являются: некоторый абстрактный редактор, хранилище данных, вспомогательный пользовательский интерфейс. В практическом плане выделяется несколько отдельных редакторов, имеющих различное назначение, но использующих единую кодовую базу (абстрактный редактор).

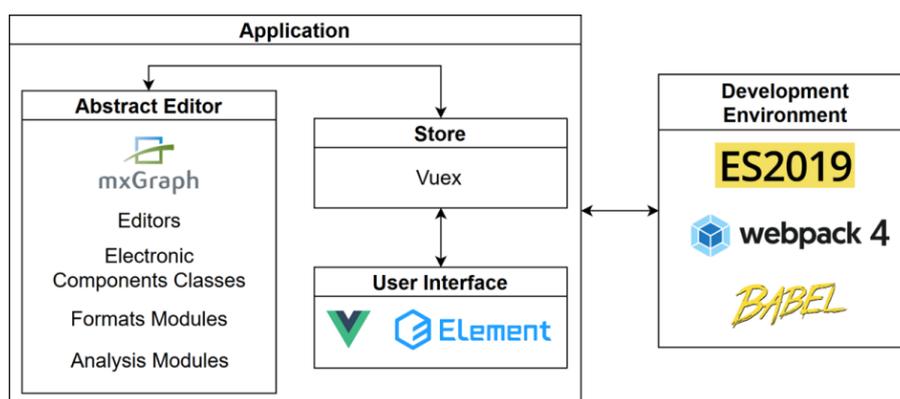


Рис. 1. Схема архитектура приложения

В основе создания редакторов лежит mxgraph – мощная библиотека для построения сложных диаграмм. От схожих библиотек ее отличает бесплатность, открытость исходного кода, богатый функционал. Другой библиотеки, обладающей всеми этими признаками, просто не существует, а реализовать весь подобный функционал будет крайне трудозатратно. Таким образом, имеется некоторый базовый редактор, на основе которого должны быть реализованы редакторы принципиальной схемы, схемы печатной платы, обозначений электронных компонентов.

Имеется иерархия классов, которые представляют электронные компоненты и различные вспомогательные обозначения, что были размещены в рабочей области редактора. Они создают абстракцию над понятиями библиотеки рисования графов и позволяют при разработке системы мыслить на уровне электронных компонентов и их связей между собой.

Неизбежно, что в сложной системе будут использоваться различные типы форматов, для работы с которыми должны использоваться соответствующие модули. Так, например, необходимы модули для работы:

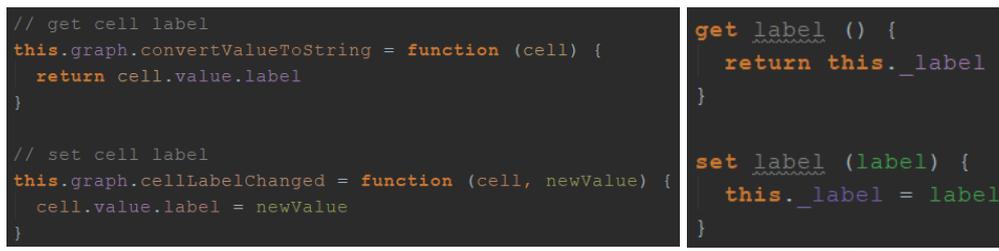
- с внутренним представлением графов библиотеки mxgraph;
- с библиотеками компонентов;
- с общепринятыми форматами описания схем (Gerber, netlist и т.д.);
- с описанием дорожек питания в виде G-кодов, которое будет использоваться установкой селективного отверждения фотополимеров [4].

Имеются модули для статического анализа схем. Хранение общих для модулей и компонентов данных будет обеспечиваться хранилищем на базе библиотеки Vuex. Вспомогательный интерфейс будет реализован с помощью фреймворков Vue.js, использующего реактивное программирование, и ElementUI, представляющего собой большой набор компонентов пользовательского интерфейса.

В целом разработка системы не стеснена ограничениями браузеров, что часто бывает, т.е. могут использоваться самые последние возможности JavaScript. И это обеспечивается за счет таких инструментов как Webpack и Babel.

На рис. 2 продемонстрирован основной принцип взаимодействия API (Application Programming Interface) библиотеки рисования графов и модулей, реализующих логику работы электронных компонентов. Начальное условие таково, что в объекте, описывающем элемент графа, хранится экземпляр класса, представляющий собой некоторый электронный компонент. И, например, для редактирования метки компонента, следует перегрузить методы графа (рис. 2, а), отвечающие за получение и сохранение метки так, чтобы использовались методы и свойства класса, представляющего тот компонент (рис. 2, б). Благодаря наследованию классов возможна реализация совершенно разной логики работы с различными компонентами. Примерно тот же подход будет использоваться для модулей анализа схемы, где будут определены

некоторые методы, вызываемые при определенных событиях. Например, может проводиться проверка на то, корректно ли будет соединять те или иные компоненты.



```
// get cell label
this.graph.convertValueToString = function (cell) {
  return cell.value.label
}

// set cell label
this.graph.cellLabelChanged = function (cell, newValue) {
  cell.value.label = newValue
}

a
```

```
get_label () {
  return this._label
}

set_label (label) {
  this._label = label
}

b
```

Рис. 2. Перегрузка метода объекта графа (а); класс компонента (б)

В настоящей работе приведены некоторые требования к разрабатываемой веб-САПР ПП, описаны ее укрупненная архитектура и некоторые технические аспекты. Система такого вида модифицируется за счет создания форка – ответвления проекта с полным копированием кода. Это может считаться минусом. Возможно, идеальным, но весьма сложным в реализации, решением было бы разбить систему на три отдельных слоя абстракции:

- абстракция над API-библиотеки рисования графов, чтобы реализовать работу с графом в реактивной парадигме программирования;
- абстракция с некоторым базовым функционалом САПР;
- непосредственно приложение САПР, где реализована большая часть бизнес-логики.

Литература

1. Российский рынок печатных плат: взгляд производителя // Компоненты и технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kite.ru/articles/circuitbrd/2006_6_8.php (дата обращения: 28.05.2019).
2. Electronic Design Automation Software Market Size and Forecast By Type, By End Use and Trend Analysis, 2015–2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4659620/u-s-electronic-design-automation-software-market> (дата обращения: 28.05.2019).
3. Афанасьев М.Я., Грибовский А.А. Концепция адаптивной платформы технологического оборудования // Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 4. – С. 268–272.
4. Федосов Ю.В., Афанасьев М.Я. Интеллектуальная лазерная головка // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 559–563.

Васильев Владимир Андреевич

Год рождения: 1986

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», к.ф.-м.н., ст.н.с.

e-mail: vl-vs703@yandex.ru

УДК 621.391.172

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ АЛГОРИТМОВ НЕЛИНЕЙНОГО
ОЦЕНИВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА МЕТОДЕ МОНТЕ-КАРЛО, В ЗАДАЧЕ
НАВИГАЦИИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПОЛЯМ**

Васильев В.А. (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-08-01101 А.

Рассмотрены алгоритмы коррекции навигационной системы по информации от измерителя и карты геофизического поля на основе метода Монте-Карло, полученные в рамках баесовского подхода. В первом предполагается использование процедуры систематической повторной перевыборки, а во втором – такая перевыборка не применяется. Проведено их сопоставление по точности и объему вычислений.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, фильтр частиц, навигация по геофизическим полям, баесовский подход, систематическая повторная перевыборка.

При обработке навигационной информации зачастую приходится сталкиваться с необходимостью решения задач с нелинейной зависимостью измерений от оцениваемого вектора состояния. Одной из таких задач является задача навигации по геофизическим полям. Алгоритмы оценивания для такого рода задач в основном создаются в рамках баесовского подхода [1, 2]. Одним из таких алгоритмов нелинейной фильтрации, обеспечивающих высокую точность оценивания, является так называемый фильтр частиц (particle filter) или метод Монте-Карло, использующий существенную последовательную выборку [3, 4]. Этот алгоритм можно дополнить процедурой систематической повторной перевыборки с минимальными отклонениями, которая призвана компенсировать проблему снижения точности оценивания при увеличении числа измерений (так называемую деградацию весов) [3, 4].

В задаче навигации по геофизическим полям производится оценивание ошибок навигационной системы, описываемых в виде гауссовской марковской случайной последовательности. Оценивание осуществляется за счет использования разности показаний измерителя и данных, вычисляемых с помощью карты геофизического поля в точке предполагаемого местоположения. Поскольку функция, определяющая зависимость поля от координат объекта, может быть существенно нелинейной, то это, в свою очередь, обуславливает нелинейный характер задачи оценивания.

Цель настоящей работы являлось исследование двух вариантов алгоритма нелинейной фильтрации, основанного на методе Монте-Карло, с использованием процедуры повторной перевыборки, и без нее, с точки зрения вычислительной сложности и точности решения задачи навигации по геофизическим полям.

Координаты подвижного объекта на плоскости, поступающие от навигационной системы (НС), представляются в виде суммы:

$$\begin{cases} x(t) = x^{true}(t) + \Delta x(t), \\ y(t) = y^{true}(t) + \Delta y(t), \end{cases} \quad (1)$$

истинных координат $X^{true}(t) = (x^{true}(t) \ y^{true}(t))$ и неизвестных погрешностей

$\Delta X(t) = (\Delta x(t) \ \Delta y(t))$, которые, в свою очередь, могут быть записаны как:

$$\begin{cases} \Delta x(t) = \overline{\Delta x} + \delta x, \\ \Delta y(t) = \overline{\Delta y} + \delta y, \end{cases} \quad (2)$$

где $\overline{\Delta x}$, $\overline{\Delta y}$, м – постоянные составляющие погрешностей НС; $\delta x(t)$, $\delta y(t)$, м – составляющие, описывающие изменчивость погрешностей НС за время решения задачи.

Предполагается, что на борту объекта имеется карта и измеритель некоторого геофизического поля, для примера можно рассмотреть поле аномалий силы тяжести (АСТ), измеряемое гравиметром [5].

При построении алгоритма коррекции считается, что ошибки НС и систематическую компоненту ошибки измерения, можно описать в виде следующей случайной последовательности векторов $\Xi_i = (\Delta x_i, \Delta y_i, \delta x_i, \delta y_i, \delta V_i^x, \delta V_i^y, c_i)^T$, задаваемой соотношением:

$$\begin{cases} \overline{\Delta X}_i = \overline{\Delta X}_{i-1}, \\ \delta X_i = \mathbf{F}_X \delta X_{i-1} + \mathbf{S}_X \delta V_{i-1} + \mathbf{\Gamma}_X \delta w_i^x, \\ \delta V_i = \mathbf{F}_V \delta X_{i-1} + \mathbf{S}_V \delta V_{i-1} + \mathbf{\Gamma}_V \delta w_i^y, \\ c_i = c_{i-1}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\overline{\Delta X}_i = (\Delta x_i, \Delta y_i)^T$, $\delta X_i = (\delta x_i, \delta y_i)^T$, $\delta V_i = (\delta V_i^x, \delta V_i^y)^T$, δV_i^x , δV_i^y , м/с – проекции скорости на оси прямоугольной системы координат; c_i – систематическая компонента ошибки измерения $\delta w_i^s = (\delta w_{1i}^s, \delta w_{2i}^s)^T$, $s = x, y$ – независимые друг от друга центрированные дискретные гауссовские белые шумы с известными матрицами ковариаций \mathbf{Q}^s , $s = x, y$, матрицы \mathbf{F}_X , \mathbf{S}_X , \mathbf{F}_V , \mathbf{S}_V , $\mathbf{\Gamma}_X$ и $\mathbf{\Gamma}_V$ – известные постоянные матрицы размера 2×2 . Также считается заданной начальная матрица ковариации \mathbf{P}_0^Ξ составного вектора Ξ_i .

Измерения поля записываются в виде:

$$z_i = G_{ap}(X_i^{true}) + g_B + s_i^c, \quad i = 1, 2, \dots, Nz, \quad (4)$$

где Nz – число измерений, $G_{ap}(X_i^{true})$ – карта поля, задаваемая значениями поля в узлах сетки и правилом аппроксимация между ними; s_i^c суммарная погрешность карты и измерителя, представляемая в виде сумма некоторой константы и дискретного белого шума:

$$s_i^c = c_0 + \eta_i, \quad i = 1, 2, \dots, Nz. \quad (5)$$

Константа c_0 полагается реализацией централизованной нормально распределенной случайной величины с известной дисперсией, независимой от белого шума η_i , дисперсия R_η^2 которого также известна.

Задача коррекции показаний НС по данным карты и измерителя поля сводится к фильтрации вектора состояния Ξ_i , описываемого с помощью уравнений (3), по измерениям (4). Из-за нелинейного характера функции $G_{ap}(X_i^{true})$ эта задача носит нелинейный характер.

Реализация алгоритма решения задачи коррекции представляется в виде следующей последовательности действий.

Шаг 1. Для первого измерения $i = 1$ формируются значения выборки:

$$\overline{\Delta X}_1^l = \left(\overline{\Delta x}_1^l \quad \overline{\Delta y}_1^l \right)^T, \quad \overline{\Delta X}_1^l \in N\left(\overline{\Delta X}_1, 0, P_0^{\Delta X}\right), \quad (6)$$

$$\delta X_1^l = \left(\delta x_1^l \quad \delta y_1^l \right)^T, \quad \delta X_1^l \in N\left(\delta X_1, 0, P_0^{\delta X}\right), \quad (7)$$

$$\delta V_1^l = \left(\delta V_{x1}^l \quad \delta V_{y1}^l \right)^T, \quad \delta V_1^l \in N\left(\delta V_1, 0, P_0^{\delta V}\right), \quad (8)$$

где $l = 1, 2, \dots, L$ – число частиц; $P_0^{\Delta X}$, $P_0^{\delta X}$, $P_0^{\delta V}$ – соответствующие компоненты начальной матрицы ковариации \mathbf{P}_0^{Ξ} , а $N(\mathbf{a}; \bar{\mathbf{a}}, \mathbf{A})$ – функция плотности распределения вероятности (ФПРВ) гауссовского случайного вектора \mathbf{a} с математическим ожиданием $\bar{\mathbf{a}}$ и матрицей ковариаций \mathbf{A} . Для остальных измерений $i = 2, \dots, Nz$ текущая выборка формируется с использованием предыдущей:

$$\begin{cases} \overline{\Delta X}_i^l = \overline{\Delta X}_{i-1}^l, \\ \delta X_i^l = \mathbf{F}_X \delta X_{i-1}^l + \mathbf{S}_X \delta V_{i-1}^l + \mathbf{\Gamma}_X \delta w_i^{xl}, \quad \delta w_i^{xl} \in N\left(\delta w_i^x, 0, \mathbf{Q}^x\right), \\ \delta V_i^l = \mathbf{F}_V \delta X_{i-1}^l + \mathbf{S}_V \delta V_{i-1}^l + \mathbf{\Gamma}_V \delta w_i^{vl}, \quad \delta w_i^{vl} \in N\left(\delta w_i^v, 0, \mathbf{Q}^v\right); \end{cases} \quad (9)$$

Шаг 2. Для каждого фиксированного элемента выборки $\overline{\Delta X}_i^l$, δX_i^l , δV_i^l находятся частные оценки $\left\{ \hat{c}_i^{KF} \right\}_l$ и соответствующие матрицы $\left\{ \hat{\mathbf{P}}_i^c \right\}_l$ ковариаций (произвести частичное аналитическое интегрирование) при помощи фильтра Калмана, используя следующие выражения:

$$\left\{ \hat{c}_i^{KF} \right\}_l = \left\{ \hat{c}_{i-1}^{KF} \right\}_l + K_i \left(g_i - G_{ap} \left(X_i + \overline{\Delta X}_i^l + \delta X_i^l \right) - g_B - \left\{ \hat{c}_{i-1}^{KF} \right\}_l \right), \quad (10)$$

$$K_i = \left(\left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l \right) \left(\left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l + R_{\Phi_g}^2 \right)^{-1}, \quad (11)$$

$$\left\{ \hat{\mathbf{P}}_i^c \right\}_l = (1 - K_i) \left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l, \quad \left\{ \hat{c}_0^{KF} \right\}_l = 0, \quad \left\{ \hat{\mathbf{P}}_0^c \right\}_l = \mathbf{P}_0^c = \sigma_{\Gamma}^2. \quad (12)$$

Следует отметить, что $\left\{ \hat{c}_{i-1}^{KF} \right\}_l$ и $\left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l$ вычисляются на предыдущем шаге для фиксированного элемента выборки $\overline{\Delta X}_{i-1}^l$, δX_{i-1}^l , δV_{i-1}^l с тем же номером l , что и текущий;

Шаг 3. Находятся веса μ_i^l каждого элемента выборки $\overline{\Delta X}_i^l$, δX_i^l , δV_i^l и привести их к среднему значению, используя следующие соотношения:

$$\mu_i^l = \frac{\gamma_i^l}{\sum_{l=1}^L \gamma_i^l}, \quad \gamma_i^l = \mu_{i-1}^l \exp \left(- \frac{\left(g_i - G_{ap} \left(X_i + \overline{\Delta X}_i^l + \delta X_i^l \right) - g_B - \left\{ \hat{c}_{i-1}^{KF} \right\}_l \right)^2}{2 \left(\left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l + R_{\Phi_g}^2 \right)} \right). \quad (13)$$

Шаг 4. Находятся оценки всех компонент вектора состояния системы (3) и их расчетные матрицы ковариации по формулам:

$$\overline{\Delta \hat{X}}_i = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \overline{\Delta X}_i^l, \quad \mathbf{P}_i^{\Delta X} = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \overline{\Delta X}_i^l \left(\overline{\Delta X}_i^l \right)^T - \overline{\Delta \hat{X}}_i \left(\overline{\Delta \hat{X}}_i \right)^T, \quad (14)$$

$$\hat{c}_i = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \left\{ \hat{c}_i^{KF} \right\}_l, \mathbf{P}_i^c = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \left\{ \hat{\mathbf{P}}_i^c \right\}_l + \sum_{l=1}^L \mu_i^l \left(\left\{ \hat{c}_i^{KF} \right\}_l \right)^2 - (\hat{c}_i)^2, \quad (15)$$

оценки для компонент $\delta \hat{X}_i$, $\delta \hat{V}_i$ и матриц ковариации $\mathbf{P}_i^{\delta X}$, $\mathbf{P}_i^{\delta V}$ строятся по аналогии с (14). Для каждого измерения выполняются шаги 1–4.

Для решения поставленной задачи может быть применен еще один вариант алгоритма Монте-Карло, в котором используется особая процедура перевыборки, которая дает ограничение на рост дисперсий весов μ_i^l с увеличением числа измерений. Для реализации алгоритма необходимо выполнить те же действия 1–4 что и ранее, только на третьем шаге для вычисления весов вместо формулы (13) используется формула:

$$\mu_i^l = \frac{\gamma_i^l}{\sum_{l=1}^L \gamma_i^l}, \gamma_i^l = \exp \left(- \frac{\left(g_i - G_{ap} \left(X_i + \overline{\Delta X}_i^l + \delta X_i^l \right) - g_B - \left\{ \hat{c}_{i-1}^{KF} \right\}_l \right)^2}{2 \left(\left\{ \hat{\mathbf{P}}_{i-1}^c \right\}_l + R_{\Phi_g}^2 \right)} \right), \quad (16)$$

т.е. веса на текущем шаге не зависят явно от весов на предыдущем шаге, для того чтобы учесть уже накопленную информацию, после нахождения компонент вектора состояния, выполняется еще один шаг;

Шаг 5. Проводится процедура перевыборки – построение на основе существующей выборки $\overline{\Delta X}_i^l$, δX_i^l , δV_i^l выборки $\overline{\Delta \tilde{X}}_i^l$, $\delta \tilde{X}_i^l$, $\delta \tilde{V}_i^l$, так чтобы выполнялись условия:

$$\overline{\Delta \tilde{X}}_i = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \overline{\Delta X}_i^l = \sum_{l=1}^L u_i^l \overline{\Delta \tilde{X}}_i^l, \mathbf{P}_i^{\Delta \tilde{X}} = \sum_{l=1}^L u_i^l \overline{\Delta \tilde{X}}_i^l \left(\overline{\Delta \tilde{X}}_i^l \right)^T - \overline{\Delta \tilde{X}}_i \left(\overline{\Delta \tilde{X}}_i \right)^T, \quad (17)$$

$$\hat{c}_i = \sum_{l=1}^L \mu_i^l \left\{ \hat{c}_i^{KF} \right\}_l = \sum_{l=1}^L u_i^l \left\{ \tilde{c}_i^{KF} \right\}_l, \mathbf{P}_i^c = \sum_{l=1}^L u_i^l \left\{ \tilde{\mathbf{P}}_i^c \right\}_l + \sum_{l=1}^L u_i^l \left(\left\{ \tilde{c}_i^{KF} \right\}_l \right)^2 - (\hat{c}_i)^2 \quad (18)$$

и соответствующие (17) условия для компонент $\delta \hat{X}_i$, $\delta \hat{V}_i$ и матриц ковариации $\mathbf{P}_i^{\delta X}$, $\mathbf{P}_i^{\delta V}$, где u_i^l – реализации равномерно распределенной на отрезке $[0, 1/10000]$ случайной величины u' с учетом вычисленных весов μ_i^l . Для этого строятся два упорядоченных массива чисел: $\{u_j\}_{j=1}^L$ и $\{q_j\}_{j=1}^L$. Массив чисел $\{u_j\}_{j=1}^L$ представляет собой отсортированный по возрастанию массив реализаций равномерно распределенной на отрезке $[0, 1]$ случайной величины u . Элементы массива q_j описываются соотношением:

$$q_j = \sum_{k=1}^j \mu_i^k. \quad (19)$$

После чего производится поэлементное сравнение двух массивов. Фиксируется число $k=1$, и начинается рассмотрение массива $\{u_j\}_{j=1}^L$ последовательно, начиная с первого элемента, если $u_j > q_k$, то увеличиваем число k на 1 и сравниваем опять u_j и q_k . Когда число k становится таким, что выполняется условие $u_j > q_k$, то определяем элемент выборки $\overline{\Delta \tilde{X}}_i^l$, $\delta \tilde{X}_i^l$, $\delta \tilde{V}_i^l$ с номером j по следующей формуле:

$$\overline{\Delta \tilde{X}}_i^j = \overline{\Delta X}_i^k, \delta \tilde{X}_i^j = \delta X_i^k, \delta \tilde{V}_i^j = \delta V_i^k. \quad (20)$$

После чего выполняется переход к следующему элементу массива u_j ($j = j+1$), при этом число k сохраняется с предыдущего шага. В итоге получаются все значения выборки $\overline{\Delta \tilde{X}}_i^l$, $\delta \tilde{X}_i^l$, $\delta \tilde{V}_i^l$ (часть ее элементов могут быть одинаковыми). В результате необходимо

заменить построенную на шаге 1 выборку $\overline{\Delta X_i^l}$, δX_i^l , δV_i^l на $\overline{\Delta \tilde{X}_i^l}$, $\delta \tilde{X}_i^l$, $\delta \tilde{V}_i^l$ и переходить к следующему измерению, для которого также надо произвести действия 1–5.

Сопоставление точности алгоритма без использования процедуры перевыборки и с ее применением для различных карт геофизических полей с разным уровнем изменчивости проводилось путем моделирования. Задача оценивания вектора Ξ_i по измерениям (4) моделировалась при следующих условиях:

– матрицы F_X , S_X , F_V , S_V , Γ_X и Γ_V имели значение:

$$F_X = \text{diag}(0,99,0,99); S_X = \text{diag}(59,5\text{с},59,5\text{с}); F_V = \text{diag}(-0,0001\text{с}^{-1},-0,0001\text{с}^{-1});$$

$$S_V = \text{diag}(0,98,0,98); \Gamma_X = \text{diag}(0,34\text{м},0,34\text{м}); \Gamma_V = \text{diag}(0,005\text{м/с}, 0,005\text{м/с});$$

– начальная матрица ковариации P_0^Ξ задавалась в следующем виде:

$$P_0^\Xi = \left(\text{diag}(1000\text{ м}, 1000\text{ м}, 100\text{ м}, 100\text{ м}, 0,12\text{ м/с}, 0,12\text{ м/с}, 2,2 \cdot 10^{-6}\text{ Н}) \right)^2;$$

– матрицы ковариации порождающих шумов $Q^s = \text{diag}(0,016,0,016)$, $s = x, v$;

– дисперсия шума измерений $R_n^2 = (10^{-6}\text{ Н})^2$.

При моделировании в алгоритмах использовалось 10 000 частиц. Интервал получения измерений составлял 500 м.

В ходе моделирования были получены результаты, представленные в таблице.

Таблица. Обобщенные результаты исследований эффективности алгоритма на различных картах

Номер карты	Средний градиент поля на карте вдоль оси OX , 10^{-6} Н/км	Средний градиент поля на карте вдоль оси OY , 10^{-6} Н/км	Итоговое среднеквадратическое отклонение погрешности определения координат алгоритма без перевыборки, м	Итоговое среднеквадратическое отклонение погрешности определения координат алгоритма с перевыборкой, м
1	0,6	0,2	956	984
2	0,7	0,6	591	608
3	3,3	3,1	818	805
4	2,6	4,7	562	549

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. при одинаковом числе частиц использование процедуры перевыборки не оказывает существенного влияния на общую вычислительную сложность алгоритма коррекции. В случае использования специальных методов генерации или хранения в памяти упорядоченных массивов случайных чисел, временная вычислительная сложность при использовании перевыборки может быть ниже, чем без ее применения;
2. при решении задачи коррекции при использовании слабоизменчивого поля, при низком уровне суммарных ошибок карты и измерителя и малой изменчивости ошибок НС, целесообразно использовать алгоритм без применения процедуры перевыборки, поскольку результирующая точность практически не изменяется;
3. использование фильтра частиц с перевыборкой необходимо в том случае, когда апостериорная плотность принимает многоэкстремальный вид.

Литература

1. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 369 с.
2. Gustafsson F. Particle filter theory and practice with positioning applications // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2010. – V. 25. – № 7(2). – P. 53–81.
3. Chen Z. Bayesian Filtering: From Kalman Filters to Particle Filters, and Beyond // Statistics: A Journal of Theoretical and Applied Statistics. – 2003. – V. 182. – № 1. – P. 1–69.
4. Торопов А.Б., Степанов О.А. Использование последовательных методов Монте-Карло в задаче корреляционно-экстремальной навигации. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – № 53(10). – С. 49–54.
5. Пешехонов В.Г., Степанов О.А. и др. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2017. – 389 с.

Вахвиянова Полина Денисовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3440Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах
e-mail: vahvianovapd@gmail.com**Ивашенко Аркадий Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P4203Направление подготовки: 09.04.01 – Управление в технических системах
e-mail: ivaschenkoarkady@gmail.com**Ключников Валерий Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P3418Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия
e-mail: valeriy.v.klyuchnikov@gmail.com**Корепанов Павел Юрьевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P4203Направление подготовки: 09.04.01 – Управление в технических системах
e-mail: P.Corepanow@gmail.com**Маргун Алексей Анатольевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.
e-mail: alexeimargun@gmail.com**УДК 004.056****К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА****Вахвиянова П.Д., Ивашенко А.А., Ключников В.В., Корепанов П.Ю.****Научный руководитель – к.т.н. Маргун А.А.**

Рассмотрены задачи оптимизации деятельности сборочного цеха для мелкосерийных и штучных производств; оптимизации архитектуры сборочной линии (на основе идей стандарта Archimate) с применением универсальных сборочных модулей, повышающих производительность цеха при известной трудоемкости и длительности операций.

Ключевые слова: сборочное производство, Archimate, оптимизация производства.

Производственная сборочная линия была впервые представлена Генри Фордом в начале 1900-х годов. Она была разработана с целью повышения эффективности и производительности при изготовлении конкретного продукта. Базовая сборочная линия состоит из нескольких рабочих станций, расположенных последовательно, где каждая станция соединена погрузочно-разгрузочным устройством. Движение материала или заготовки по сборочной линии начинается всегда с первой станции, оно осуществляется с заданной скоростью, которая определяется тактом производственной линии. Станцией может считаться любая точка конвейера, на которой выполняется обработка заготовки – машинами, роботами или людьми. Как только заготовка поступает на станцию, начинается выполнение соответствующей операции

(определяемой технологической картой), после окончания работ она подается на следующую станцию. Время, необходимое для выполнения операции на каждой станции, называется временем процесса [1].

Цикл производственной линии представляет собой общее время прохождения заготовкой всех станций конвейера с учетом простоев между операциями. Длительность цикла сборочной линии определяется желаемой производительностью. Этот уровень производства устанавливается таким образом, чтобы желаемое количество конечного продукта было произведено в течение определенного периода времени [2]. Для того чтобы сборочная линия поддерживала определенную производительность, такт производственной линии (время самой длительной операции конвейера) не должен превышать среднюю длительность процессов на станциях (Fonseca et al, 2005). Если время обработки на некоторой станции превышает среднюю длительность операции конвейера, говорят, что на этой станции присутствует простой. Одним из основных вопросов, касающихся организации сборочной линии, является порядок выполнения задач.

Проблема балансировки сборочной линии (ALBP) возникла вскоре после широкого распространения сборочных линий в промышленности. Хельгесон и др. [3] были первыми, кто предложил рассмотрение ALBP, как проблемы, требующей исследований, тогда как Сальвесон [4] был первым, кто предложил математическую формализацию проблемы. Однако в течение первых сорока лет существования сборочной линии для балансировки использовались только методы проб и ошибок. На сегодняшний день разработано множество методов для решения задач ALBP в различных постановках.

Сальвесон [4] сделал первую, математически обоснованную попытку, решив задачу методом линейного программирования. Гутьяр и Немхаузер [5] показали, что проблема ALBP относится к классу NP-сложных задач комбинаторной оптимизации. Это означает, что оптимальное решение не гарантируется для задач значительных размеров. Поэтому эвристические методы стали наиболее популярными методами решения проблемы. Выделены следующие типовые задачи балансировки линии:

- минимизация количества рабочих станций при заданном цикле;
- минимизация цикла при заданном количестве рабочих станций;
- минимизация общего времени простоя;
- минимизация общего объекта или длины линии.

Методы оптимального поиска основаны на математических подходах и позволяют найти из множества объектов оптимальный, который соответствует заданным критериям. Одной из основных проблем данного подхода является вычислительная сложность, что в контексте поиска наилучшей конфигурации конвейера, приводит к существенному ограничению использования методов оптимального поиска. Поэтому для работы в рамках данной задачи зачастую рассматриваются следующие подходы:

- метод ветвей и границ;
- эвристический метод.

В настоящей работе рассмотрены задачи оптимизации деятельности сборочного цеха производства для мелкосерийных и штучных производств; оптимизации архитектуры сборочной линии (на основе идей стандарта Archimate) с применением универсальных сборочных модулей, повышающих производительность цеха при известной трудоемкости и длительности операций.

Целью данного исследования являлось совершенствование и оптимизация технологического процесса производства путем внедрения специализированного оборудования, использование адаптированного для нужд производства программного обеспечения, а также организацию управления согласно стандартам архитектуры

производства. Проблема оптимизации сегодня является актуальной, но в последние годы технический прогресс и формализация структурных аспектов организации производства позволяют наращивать производственные мощности, основываясь на комплексной автоматизации и роботизации.

Для моделирования деятельности предприятия предложено множество стандартов, например, стандарт Archimate (рис. 1). По заявлениям его разработчиков этот стандарт дружелюбен стандарту ISO 15926 и методологии моделирования архитектуры предприятий TOGAF. Стандарт Archimate, описывающий архитектуру производства, предлагает современный и быстроразвивающийся графический язык описания, со своим специализированным программным обеспечением. Опираясь на опыт разработчиков, руководствуясь предложенными идеями, возможно описать оптимизированную работу сборочного цеха производства, с учетом применения современного оборудования, представленного универсальными сборочными модулями. В перспективе такой подход к оптимизации позволит предприятию сохранять конкурентоспособность и эффективность производственных, технологических и бизнес-процессов.

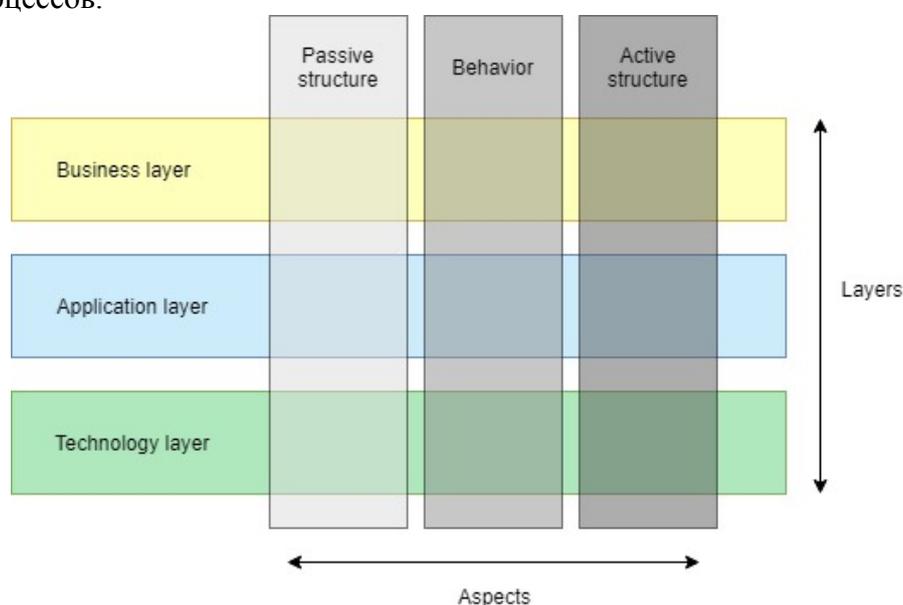


Рис. 1. Блоки уровней стандарта Archimate [4]

Основной идеей стандарта Archimate можно назвать разбиение блоков графического отображения по различным уровням. Уровень деятельности (business) – блоки изображают роли людей, со специфическими целями, полномочиями и ответственностью. Целенаправленная деятельность есть только на этом уровне. Уровень программного обеспечения (application) – блоки обработки данных. Главная задача блоков этого уровня – передавать нужным способом обработанные данные в нужный момент соответствующим блокам людей. Уровень аппаратного обеспечения (technology) – блоки хранения и передачи данных. Его задача – хранить адресуемые данные до востребования блоком человека, не обрабатывая их.

Система блоков позволяет смоделировать работу разнообразных производственных систем. В перспективе такой подход к оптимизации позволит предприятию не сохранять эффективность производственных, технологических и бизнес-процессов.

Язык стандарта Archimate, расширяющий возможности моделирования, применяется для решения специализированных задач, например, при работе со специальными типами анализа данных или для отражения особенностей определенных функциональных/предметных областей предприятия.

Полная модель архитектуры сборочного цеха сложна и объемна. Зачастую предприятия самостоятельно определяют и формализуют требуемые ими представления архитектуры цеха. Унифицировать подход так, чтобы он подходил каждому из предприятий невозможно. Для этого язык стандарта вводит понятие «представление» (view) архитектуры, тем самым обеспечивая гибкий подход к работе с архитектурными представлениями.

Представление архитектуры – это часть общего архитектурного описания, которая исследует заданный перечень вопросов и адресована определенному кругу заинтересованных сторон. Представления задаются способами представления (точками зрения, viewpoints), которые используются для показа определенных аспектов архитектуры по отдельности или в связке. Способ представления – это спецификация по конструированию и использованию представления, в которой описываются используемые понятия, модели, способы анализа и визуализации, поддерживающие представление [6].

Наиболее эффективным может быть влияние принципов организации архитектуры производства при внедрении специализированного, многофункционального оборудования, которое может располагаться на различных уровнях в процессе моделирования. Гибкие и разнообразные связи элементов, определение отношений между ними позволяет интегрировать оборудование в бизнес-процессы предприятия, связь с которыми каждого элемента необходима для обеспечения экономической и логистической эффективности. На примере сложного, многоуровневого, реального производственного процесса сборки разберем влияние, которое может быть оказано стандартом Archimate. На рис. 2 приведены этапы сборки ракеты-носителя на основе различных комплектующих согласно карте технологического процесса.

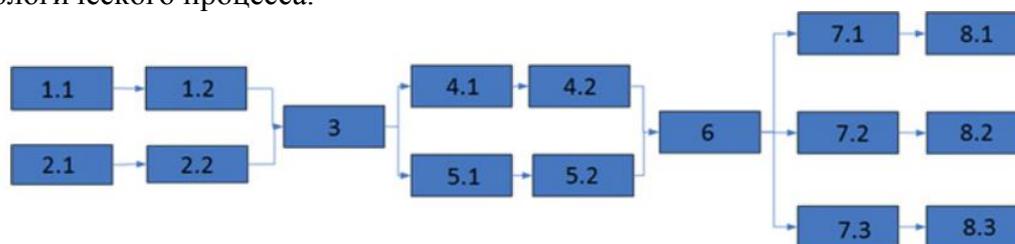


Рис. 2. Фрагмент карты технологического процесса сборки ракеты-носителя [6]

При большом количестве параллельно протекающих операций в рамках сборочного производства высока вероятность возникновения непостоянного по времени простоя, который возникает в связи с неэффективной логистикой или ввиду непредусмотренных технологической картой обстоятельств. Также ввиду большого количества составных частей вероятно возникновение брака одной из деталей, используемых на любом из этапов сборки. Нельзя забывать и о непосредственном браке при сборке, который возникает во время пайки или механического крепления. Особенно заметно влияние сбоев или запланированных обновлений программного обеспечения специфического оборудования на длительность процессов – для работы в таких ситуациях требуется привлечение узкопрофильных специалистов, а процессы, связанные с программным обеспечением, отличаются критической для производства длительностью. Все эти факторы оказывают наиболее сильное влияние на длительность процесса сложной сборки в любом мелкосерийном или штучном производстве.

Внедрение в процесс анализа и оптимизации сборочной линии логистических и бизнес-процессов позволяет, если не полностью решить описанные выше проблемы, то значительно оптимизировать процессы, оказывающие негативное влияние. Управление и оптимизация логистических процессов, осуществляемое на основе блоков уровня

деятельности стандарта Archimate, сократит простои и приблизит их значения к идеальному такту производства. Оптимизация работы с аппаратным обеспечением, своевременное обслуживание и планирование ремонтных работ, моделируемое блоками уровня аппаратного обеспечения, оказывает положительное влияние на процент брака непосредственно сборки, позволяет своевременно выявить брак входных заготовок процесса. Моделирование блоками программного обеспечения позволяет своевременно проводить обновления специфического оборудования и планировать время, отведенное на обновления, эффективно. Возможность гибко перестраивать модель отличает такую систему скоростью реагирования на возможные прецеденты сбоев и перестраивание плана работ наиболее эффективно.

В результате анализа теоретических основ подходов к разработке архитектуры производства, можно предположить актуальность и востребованность такого подхода к организации производственной деятельности в течение ближайших лет. Проведенные патентные исследования выявили отсутствие универсальных архитектурных решений для современных предприятий. Таким образом, изучение подходов к оптимизации деятельности сборочного цеха, как наиболее универсального примера производственной деятельности, актуально, и может стать первым шагом к разработке методики оптимизации производства в целом.

Оптимизация производственного сборочного цеха на основании идей стандарта Archimate является актуальной и важной задачей. Прикладное применение базовых концепций на примере действующего цеха, конкретного оборудования отвечает современным запросам пользователей систем управления производственной деятельностью, благодаря высокой степени архитектурной оптимизации, модульности системы, высокому уровню формализации подхода на текущем этапе, а также адаптивности к меняющимся условиям.

Литература

1. Sury J.R. Aspects of assembly line balancing // *Journal International Journal of Production Research*. – 1971. – V. 9. – № 4. – P. 501–512.
2. Baybars I. A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem // *Management Science*. – 1986. – V. 32. – № 8. – P. 909–932.
3. Helgeson W.B., Birnie D.P. Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weighting Technique // *Journal of Industrial Engineering*. – 1961. – V. 12. – P. 394–398.
4. Salveson M.E. The assembly line balancing problem // *Journal of Industrial Engineering*. – 1955. – V. 6. – № 1. – P. 18–25.
5. Gutjahr A.L., Neinhauer G.L. An Algorithm for the Line Balancing Problem // *Management Science*. – 1964. – V. 11. – № 2. – P. 213–359.
6. Рубенчик А. Моделирование архитектуры предприятия. Обзор языка ArchiMate // *Information Management*. – 2014. – № 6. – P. 41–47.

Вахвиянова Полина Денисовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3440Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах
e-mail: vahvianovapd@gmail.com**Волков Андрей Владимирович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3440Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах
e-mail: andrey95v@gmail.com**Ключников Валерий Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3418Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия
e-mail: valeriy.v.klyuchnikov@gmail.com**Маргун Алексей Анатольевич**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.
e-mail: alexeimargun@gmail.com**УДК 65.011.56****ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА****Вахвиянова П.Д., Волков А.В.****Научный руководитель – к.т.н. Маргун А.А.**

Выполнено при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (грант 08-08).

Рассмотрены возможности применения робототехнических систем на предприятиях при организации и оптимизации производственной деятельности. Предложены решения оптимизации площадок предприятия путем внедрения робототехнических систем, оснащенных системами машинного зрения.

Ключевые слова: робототехнические системы, мобильные роботы, машинное зрение.

Внедрение современных робототехнических систем на современном производстве обеспечивает полную и всестороннюю автоматизацию, повышает эффективность использования трудовых ресурсов, сокращает постоянное использование и исключает ручной, тяжелый или даже неквалифицированный труд. Среди преимуществ использования робототехнических комплексов для автоматизации производственных процессов можно отметить следующие моменты: снижение затрат на использование человеческого труда; повышение точности и производительности; исключение человека из экстремальных и опасных для жизни и здоровья участков производственного процесса.

В настоящее время для повышения эффективности работы складских помещений компания Amazon (рисунок) оснастила свои склады установлением более 100 000 роботов по всему миру. Он не работает полностью автономно (он автоматизирован и управляется людьми). Согласно опросу Deutsche Bank, Amazon Robotics тратит 15 мин на рабочий цикл системы, в то время как люди тратят от 60 до 75 мин. Кроме того, системы хранения роботов снижают эксплуатационные расходы на 20%. Роботы

снимают часть рабочей нагрузки сотрудника и экономят место в складских интеллектуальных транспортных системах, так как не предоставляют свободное пространство, необходимое людям, чтобы приблизиться к полке. Основной задачей роботов является перемещение больших партий товара на складе. В этих ситуациях целесообразно использовать алгоритм перемещения на основе карты [1].



Рисунок. Применение роботов на складах Amazon

Для лучшего позиционирования мобильного робота в пространстве используются различные датчики и системы. Для определения координат робота служат: спутниковая навигация, маяки розничных принципов действия, колесная одометрия, инерциальные системы, лазерные дальномеры. Окружающие объекты также выделяют с помощью измеряющих различные величины датчиков: радиолокационных и ультразвуковых, тактильных, термометрических, химических, а также широкого круга оптических датчиков от фотореле до лазерных дальномеров и телекамер, и т.д.

Часто в робототехнических системах применяются системы машинного зрения. Цифровая телекамера, в отличие от точечного фотореле или датчика цвета, представляет собой двумерную матрицу из множества оптических датчиков, такой подход позволяет получить намного больше информации об окружающей среде. Сигналы с такой матрицы преобразуются в сигналы яркости и цвета отдельных дискретных элементов – пикселей, которые позволяют получить цифровое изображение рабочей области. В состав системы машинного зрения входят цифровые телекамеры, вычислительное устройство и комплекс программных средств, производящих анализ полученного изображения. Основной задачей машинного зрения является распознавание образов, заданных определенными признаками объектов сцены. Такое распознавание широко используется на производстве и в сервисной робототехнике, для нахождения в кадре заданных контрастных маркеров или направляющих линий, по которым мобильный робот ориентируется в процессе движения и относительно других объектов.

Перемещение мобильного робота на производственной площадке можно рассматривать, как общую задачу движения робота внутри лабиринта. Решение данной задачи с использованием нескольких алгоритмов является одной из актуальных проблем в последние годы, такая задача решения заключается в определении пути мобильного робота из исходного положения в конечное положение через рабочее пространство, заполненное препятствиями, в дополнение к поиску кратчайшего пути среди решений. Автономная робототехника – это область с широким спектром применений, от роботов, отслеживающих бомбы, до автономных устройств для поиска людей на обломках и домашней автоматизации; многие люди заинтересованы в маломощных, высокоскоростных, надежных решениях.

Группа бразильских ученых рассматривает [2] мобильную робототехнику и представленные инструменты, используемые для локализации, картирования и навигации мобильного робота. Основная цель этой статьи состоит в том, чтобы, учитывая карту, представленную матрицей инцидентов сети Петри, оценить использование технологии радиочастотной идентификации (RFID) для распознавания положения робота на этой карте, а также использование динамики Петри в качестве системы познания этого робота. Таким образом, метки с технологией RFID были размещены на каждом пересечении структурированных сред (лабиринтных) путей. Робот, оснащенный считывателем RFID на дне, перемещается, пока не пройдет над этими метками. Когда это происходит, мобильный робот выполняет действия, такие как поворот вправо или влево в соответствии с картой, определенной в его алгоритме. Как только вышеупомянутые действия выполнены, он сразу переходит к следующей метке. Для этого предусмотрена черная линия, соединяющая метки между собой. Робот оснащен тремя инфракрасными датчиками, таким образом, он может обнаруживать и следовать этим линиям. Результаты показывают, что робот может начать движение от одной RFID-метки и перейти к следующей, так как они соединены черной линией, в случае отсутствия таких линий, из-за ограничений в функциональности робота, он теряет свой путь и не может вернуться. Тем не менее, робот способен выполнять необходимые навигационные движения в случае остановки, такие как: движение вперед, повороты вправо и влево. Эти движения правильно скоординированы динамикой Петри. Робот знает, на какой метке он находится, и переходит к следующей метке в соответствии с ранее установленной картой. Каждый путь робота математически моделируется матрицей инцидентов сети Петри.

В работе [3] индийских ученых описывается задача решения лабиринта, которая включает в себя определение пути мобильного робота от его исходного положения до места назначения при прохождении через препятствия. Кроме того, робот должен определить наилучший путь среди возможных путей, присутствующих в лабиринте. Применение таких мобильных роботов варьируется от простых задач, таких как перевозка грузов через фабрики, офисные здания и другие рабочие места, до опасных задач, таких как обезвреживание бомб, обнаружение людей на обломках и т.д. Существующие роботы, работающие в лабиринте проблемы, используют длительный процесс обучения и не способны адаптироваться к динамическим условиям. Предлагаемый метод включает в себя обработку изображений и алгоритм поиска пути, который работает быстрее из-за заблаговременного получения данных лабиринта, а не от прохождения лабиринта по клеткам. Весь лабиринт захватывается для определения возможных путей и использования алгоритма огибающей направления для поиска наилучшего маршрута.

Существует алгоритм [4] маршрутизации мобильного робота. Шестиногий робот перемещается по лабиринту в поисках места возгорания, которое необходимо потушить. Робот начинает с определения своей начальной позиции, а затем переходит к поиску координат возгорания. В случае если робот правильно определил свое начальное положение, тогда маршрутизация может быть выполнена успешно. Однако, используя только картографические данные, робот может легко допустить ошибку в процессе определения своего начального положения, таким образом, поиск очага возгорания выполняется некорректно. Поэтому для решения данной задачи используется метод локализация Монте-Карло для непрерывной оценки положения робота. Как только положение робота будет оценено, динамическое программирование определит самый быстрый маршрут к цели. Этот двухэтапный метод заключается в успешной навигации робота внутри лабиринта путем предоставления информации о положении робота относительно лабиринта и определения наиболее быстрого маршрута для достижения цели.

В статье [5] оптимизация колонии муравьев (АСО) метаэвристического подхода предлагается решить проблему планирования пути мобильного робота. Чтобы продемонстрировать эффективность АСО в решении проблемы планирования пути, использовались несколько карт различной сложности. Каждая карта состоит из статических препятствий и стен в разных расположениях. Кроме того, каждая карта имеет сеточное представление с равным количеством строк и столбцов. Эти карты имеют отправную точку и пункт назначения. В начале проблемы муравьи (представляющие мобильного робота) размещаются в начальной точке. Муравьи должны были бы найти путь к месту назначения, избегая при этом всех препятствий и стен на пути, муравьи также должны делать это с как можно меньшим расстоянием.

Исходя из вышеописанного, можно заключить, что использование линий для перемещения робота в лабиринте является примитивным решением, которое увеличивает вероятность ошибки и уменьшает скорость робота. Использование камер и алгоритмов обработки изображений не обеспечивает весь необходимый диапазон функциональных возможностей, требуемых техническим заданием – возможна реализация парковки с помощью камеры. Локализация по методу Монте-Карло, несмотря на все ее преимущества, требует большой вычислительной мощности и сложна в реализации, а ее точность, как правило, избыточна в контексте простой рабочей среды. Решение задачи прохождения лабиринта с использованием машинного зрения является распространенным решением, которое находит широкое применение в различных областях исследований. Преимуществами такой системы являются универсальность приложения и возможность настройки ряда параметров, повышающих качество распознавания изображений.

Применение системы технического зрения в робототехнических системах для распознавания объектов, позволяет создать эффективные решения для оптимизации сборочных, сварочных, сортировочных и других производственных процессов. Таким образом, разработка подобных робототехнических комплексов, а также создание системы управления, способной эффективно решать поставленные задачи, является актуальной задачей на сегодняшний день.

Литература

1. Wingfield N. As Amazon Pushes Forward With Robots, Workers Find New Roles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2017/09/10/technology/amazon-robots-workers.html> (дата обращения: 01.11.2018).
2. Da Mota F.A.X., Rocha M.X., Rodrigues J.J.P.C., De Albuquerque V.H.C., De Alexandria A.R. Localization and navigation for autonomous mobile robots using petri nets in indoor environments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8382169> (дата обращения: 01.11.2018).
3. Rahnama B., Elçi A., Metani S. An image processing approach to solve labyrinth discovery robotics problem [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6341647> (дата обращения: 01.11.2018).
4. Chanif Qomaruddin M., Alasiry A.H., Tamami N. Routing algorithm in legged robot with dynamic programming and Monte Carlo localization [Электронный ресурс]. – <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8240417> (дата обращения: 01.11.2018).
5. Malinowski J., Kantelhardt J.W., Kułakowski K. Deterministic ants in labyrinth – Information gained by map sharing [Электронный ресурс]. – <https://arxiv.org/pdf/1206.2460.pdf> (дата обращения: 01.11.2018).

Воронов Александр Сергеевич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, инженер;

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», н.с.

e-mail: al.s.voronov@yandex.ru

Кондрашкин Геннадий Евгеньевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,

студент группы № R4230

Направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигация

e-mail: gena-kondrashkin@mail.ru

Евстифеев Михаил Илларионович

Год рождения: 1954

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», начальник отдела;

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, д.т.н., доцент

e-mail: office@elprib.ru

УДК 629.3.018.4**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СТЕНДА КАЛИБРОВКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА****Воронов А.С.** (Университет ИТМО; АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»),**Кондрашкин Г.Е.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – д.т.н., доцент Евстифеев М.И.**

(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»; Университет ИТМО)

Рассмотрена возможность применения композиционных материалов для стенда калибровки инерциального измерительного модуля. Показано возникновение недопустимых угловых деформаций инерциального измерительного модуля при воздействии внешних механических факторов. Приведено сравнение основных свойств композиционных материалов с классическими конструкционными. Представлены примеры использования композитов в приборах навигации.

Ключевые слова: композиционный материал, механические свойства, приборы навигации, стенд калибровки, инерциальный измерительный модуль.

С каждым годом происходит расширение использования композиционных материалов (КМ) в различных областях, в частности в судостроении, причем области их использования постоянно расширяются [1]. КМ могут применяться для аварийно-спасательного буя, антенн радиопеленгатора, гироскопов и для других приборов навигации. К таким приборам относятся: датчик индукционного лага, выдвижной прибор универсального перископа, электростатический гироскоп [1–3].

Применение КМ открывает возможности для разработки новых конструкций или модернизации уже существующих [1]. Одной из такой конструкции является разработанный стенд калибровки (СК) для инерциального измерительного модуля (ИИМ), задача которого состоит в выработке информации об угловых скоростях, положениях, ускорениях и пройденном пути подвижных объектов.

СК предназначен для проведения калибровки и предварительных испытаний ИИМ в заданных условиях. При воздействии нагрузки в процессе испытаний важно обеспечить сохранение стабильного положения элементов и требуемой жесткости конструкции СК. Применение КМ в СК позволит значительно снизить массу составных элементов, что сделает стенд наиболее легким и удобным для дальнейшей эксплуатации.

Целью работы являлось исследование возможности использования современных композиционных материалов для специализированного СК ИИМ.

Для подтверждения возможности использования приборов в реальных условиях проводятся предварительные испытания. Они направлены на выявление недостатков конструкции и технологии изготовления изделий, которые не позволяют изделию качественно и надежно выполнять целевые функции в условиях эксплуатации.

В АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» разработан специализированный СК, предназначенный для непосредственной установки ИИМ и последующей калибровки в условиях, приближенных к эксплуатационным. До начала проведения предварительного испытания переходная плита (ПП) должна содержать все необходимые элементы СК. На рис. 1 представлен общий вид модели СК с комплектом для выставки модуля, в состав которого входят контрольные валики. Для лучшего понимания часть защитного кожуха удалена, и модель разработанного СК представлена в изометрии.

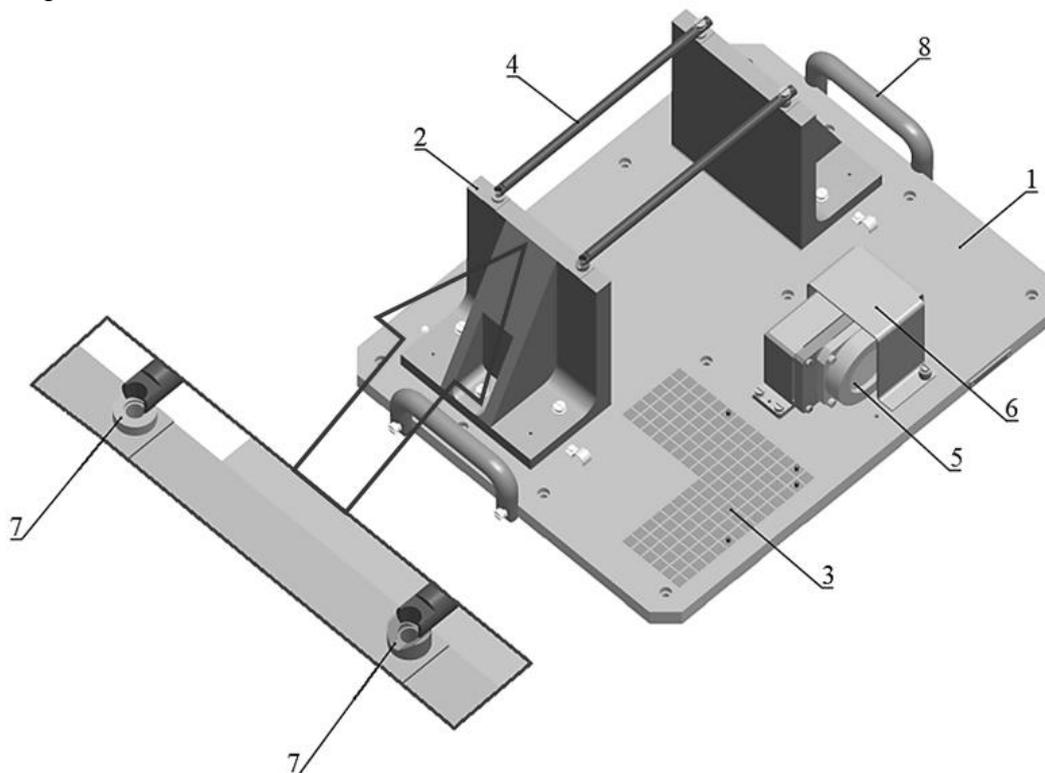


Рис. 1. Стенд калибровки: 1 – переходная плита; 2 – опора; 3 – контрольная площадка; 4 – контрольный валик; 5 – калибровочное зеркало; 6 – защитный кожух; 7 – пальцы; 8 – ручка

Установка ИИМ осуществляется на пальцы 7, регулировка которых производится за счет контрольных валиков 4. Пальцы ставятся в опоры 2, которые, в свою очередь, крепятся на ПП 1. Для установки электронного уровня на плите располагается контрольная площадка 3, предназначенная для выставки калибровочного зеркала 5 в защитном кожухе 6. Для проведения транспортировки ПП предусмотрены ручки 8.

Созданная трехмерная модель СК импортирована в ANSYS Workbench с исключением:

- крепежных отверстий;
- резьбовых соединений;
- скруглений.

Из расчетной модели исключены защитный кожух с калибровочным зеркалом и детали его крепления. ИИМ заменен имитатором, соответствующим своим

аналогичным характеристикам. Физико-механические свойства используемых материалов для СК (плотность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел прочности на растяжение и сжатие и т.д.) были заданы непосредственно в трехмерных моделях деталей. При расчете все материалы приняты изотропными.

Для определения возможности и анализа замены элементов, выполненных из классических материалов, в СК на КМ, необходимо обеспечить критерий по сохранению параметров станда. По результатам оценки замены материала в различных узлах СК следует отметить, что наиболее ответственными элементами являются пальцы и ПП. Ручки, опоры, защитный кожух – наименее ответственные элементы, что позволяет применять КМ в данных узлах СК. Такими КМ могут быть: стеклопластик, сферопластик, органопластик, синтактик, полиамид, углепластик, боропластик и т.д. Модернизация конструкции СК в значительной степени определяется сравнением жесткости используемых материалов. Поэтому выбор КМ основывался исходя из их физических и механических свойств, удовлетворяющих требованиям конструкции по жесткости. Обеспечение данных требований необходимо для сохранения стабильного положения элементов на ПП, в первую очередь это касается опор, задача которых заключается в ограничении возможных перемещений на установочных поверхностях плиты. В табл. 1 представлено сравнение значений основных физико-механических характеристик используемых материалов в СК.

Таблица 1. Сравнительная характеристика материалов

Характеристика	Органо-пластик	Поли-амид	Сферо-пластик	Синта-ктик	Стекло-пластик	Угле-пластик	Боро-пластик	Сталь
Плотность, кг/м ³	1250–1350	1140	570–720	400–650	1600–2000	1450–2000	2100	7680
Предел прочности на сжатие, МПа	300	85–100	80–100	25–95	800–1750	900–1000	1150	980
Предел прочности на растяжение, МПа	670–880	65–75	20–30	55	1920	780–1800	1300	1140
Модуль Юнга, МПа	31000–40000	28000	68900	1000–3000	18000–40000	120000–140000	250000	214000
Коэффициент Пуассона	0,31	0,3	0,21	0,31	0,22	0,25	0,25	0,3
Коэффициент температурного расширения, (1/К)·10 ⁻⁶	2,6	110	45–65	8	5–14	1–2	4,2	17

До начала проведения калибровки требуется жестко закрепить СК на платформе вибростенда, затем обеспечить установку и последующее крепление ИИМ на пальцах. Калибровка ИИМ осуществляется в процессе его вращения на испытательном стенде. В ходе калибровки, при задании динамических нагрузок, возможно возникновение угловых деформаций СК ИИМ.

В начальный момент времени, без задания внешней нагрузки, положение всех пальцев находится в одной плоскости на оси *OX*. Рассмотрим случай несимметричной нагрузки, когда происходит деформация только одних пальцев, расположенных на одной из опор. В этом случае, приняв пальцы 3, 4 за неподвижные, пальцы 1, 2 будут смещены под действием внешней нагрузки *F* в соответствии с рис. 2, б. При возникновении перемещения пальцев, между их базовым и конечным положением образовывается угол β .

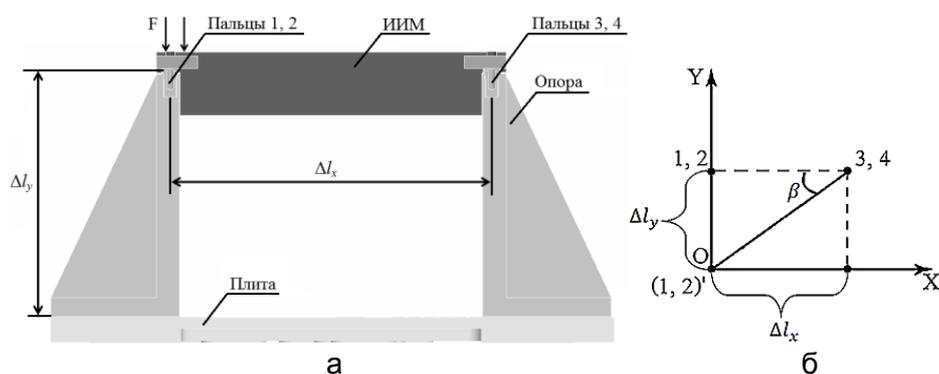


Рис. 2. Общая схема (а); деформация пальцев при нагрузке (б)

Расчет угловых деформаций СК осуществляется при помощи тригонометрической функции арктангенса, измеряемого в угловых секундах по формуле:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\Delta l_y}{\Delta l_x}, \quad (1)$$

где Δl_y – перемещение модуля по оси OY ; Δl_x – расстояние между пальцами по оси OX .

Физическая сторона рассматриваемой задачи расчета перемещения ИИМ от приложенной силы определяется законом Гука [4]:

$$L_{\text{деф}} = \frac{Fl}{4ES}.$$

где F – приложенная внешняя нагрузка; l – высота от пальца до плиты; E – модуль Юнга; S – площадь поперечного сечения пальца.

Под действием приложенной внешней нагрузки на СК, деформированное расстояние между пальцами и плитой определяется по формуле:

$$\Delta l = l - \Delta l_y(E, l),$$

где $\Delta l(E, l)$ – перемещение модуля относительно стенда.

В этом случае, перемещение ИИМ (рис. 3) относительно СК складывается из деформаций пальцев, опор и записывается в виде:

$$\Delta l_y(E, l) = \left(\frac{F}{4S} \right) \left(\frac{l_1}{E_1} + \frac{l_2}{E_2} \right), \quad (2)$$

где l_1 – высота пальца; l_2 – высота от пальца до плиты; E_1 – модуль Юнга материала пальца; E_2 – модуль Юнга материала опоры.

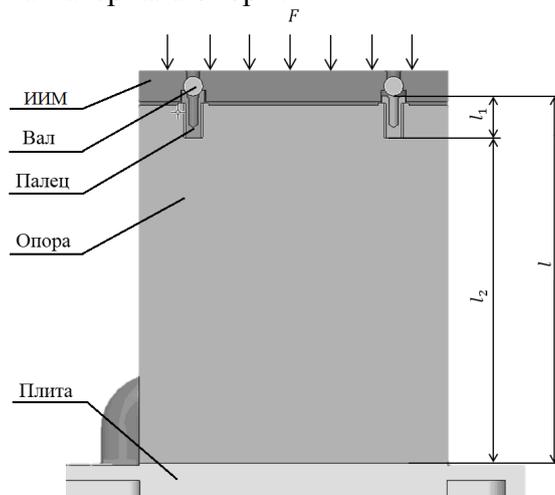


Рис. 3. Конструкция стенда калибровки с установленным ИИМ: F – внешняя приложенная сила; l – общая высота от пальца до плиты; l_1 , l_2 – высота деформируемых элементов пальца и опоры

Расчет угловых деформаций СК ИИМ под действием внешней нагрузки определяется подстановкой выражения (2) в формулу (1) и записывается в виде:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\left(\frac{F}{4S} \right) \left(\frac{l_1}{E_1} + \frac{l_2}{E_2} \right)}{\Delta l_x} \right). \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что угловые деформации СК ИИМ, обусловленные изменением размеров элементов стенда, зависят от величины приложенной динамической нагрузки F и конструктивных параметров стенда, таких как размеры его элементов (l_1, l_2) и свойства применяемых материалов (E_1, E_2).

Произведя поочередную замену материала опор на различные КМ из табл. 1, под действием внешней нагрузки проводился расчет величины угловых деформаций СК ИИМ по формуле (3). Результаты аналитических расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения угловых деформаций стенда

Характеристика	Органо-пластик	Поли-амид	Сферо-пластик	Синтак-тик	Стекло-пластик	Угле-пластик	Боро-пластик	Сталь
Угловые деформации, угл. сек.	9,50	12,00	5,00	162,32	11,59	2,74	1,52	1,75

Для наглядного представления полученных данных, по табл. 2 приведена диаграмма сравнения расчетных угловых деформаций при воздействии внешней нагрузки на СК (рис. 4).

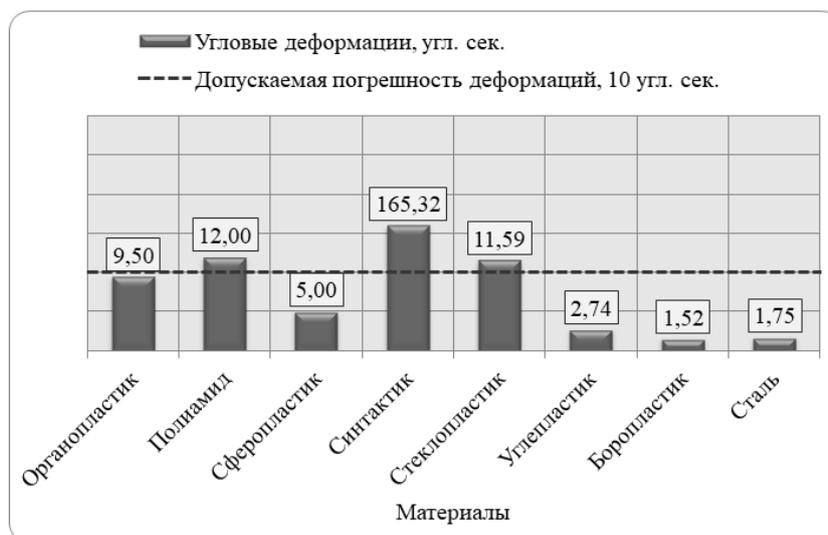


Рис. 4. Диаграмма сравнения расчетных угловых деформаций при воздействии внешней нагрузки

По диаграмме сравнения расчетных угловых деформаций видно, что используемый в опорах традиционный материал – сталь – обеспечивает требуемую точность СК для проведения испытаний. Также вместе со сталью удовлетворяют поставленным требованиям и КМ: органопластик, сферопластик, углепластик, боропластик. При использовании этих КМ в опорах, угловые деформации СК ИИМ во время проведения испытания не превышают значения в 10 угл. сек. Данные КМ могут быть применены в качестве замены материала опор для дальнейшей эксплуатации стенда. Результаты показывают, что разработанная конструкция СК удовлетворяет

поставленным требованиям по проведению предварительных испытаний и калибровки ИИМ. Конструктивные параметры СК обеспечивают критерий по сохранению стабильности составных элементов.

Результаты. Полученные результаты показывают возможность применения современных композиционных материалов в элементах конструкции для стенда калибровки инерциального измерительного модуля и позволяют сделать следующие выводы:

1. построена имитационная модель стенда калибровки, позволяющая проводить анализ возникновения угловых деформаций инерциального измерительного модуля при динамических нагрузках;
2. получены аналитические выражения, позволяющие определить величину угловых деформаций инерциального измерительного модуля при воздействии внешних механических факторов;
3. показана возможность применения композиционных материалов в качестве замены металлических элементов в стенде калибровки.

Литература

1. Воронов А.С., Кондрашкин Г.Е. Перспективы применения композиционных материалов в приборах навигации // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2018. – Т. 1. – С. 138–141.
2. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Челпанов И.Б. Специальные технологии изготовления прецизионных узлов и элементов гироскопических приборов / Под ред. В.А. Валетова. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 131 с.
3. Аванесов Ю.Л., Воронов А.С., Евстифеев М.И. Компьютерное моделирование прочностных характеристик датчика индукционного лага // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 4. – С. 738–744.
4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

Гаврилов Степан Александрович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, аспирант

Направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: itgavrilov@itmo.ru

Кыздарбекова Айдана Садвакасовна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: dok_k-shu@mail.ru

Резников Станислав Сергеевич

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент

e-mail: sreznikov@itmo.ru

УДК 681.2.082

**РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ****Гаврилов С.А., Кыздарбекова А.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Резников С.С.**

В работе было проведено исследование метода регистрации потенциала действия в скелетных мышцах, и разработан прототип полезной модели программно-аппаратного комплекса для дальнейшей разработки нейрокомпьютерного интерфейса для управления портативными бионическими устройствами.

Ключевые слова: нейрокомпьютерный интерфейс, электромиография, биопотенциал.

Механизм сокращения скелетных мышц человека описывается в медицинской литературе по нормальной физиологии теорией скользящих нитей [1]. В настоящее время выделяют четыре основных типа мышечных волокон: медленные фазические волокна окислительного типа, быстрые фазические волокна окислительного типа, быстрые фазические волокна с гликолитическим типом окисления, тонические волокна. Большинство скелетных мышц человека состоит из волокон различных типов с преобладанием одного из типов в зависимости от функций мышцы. Роль функциональной единицы скелетной мускулатуры выполняет нейромоторная или двигательная единица, которая включает мотонейрон и группу мышечных волокон, иннервируемых разветвлениями аксона (рис. 1) [2].

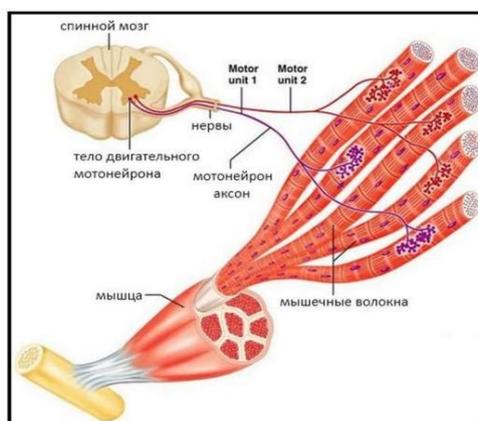


Рис. 1. Морфофункциональная организация скелетных мышц

Мышечное возбуждение является ответом мускульной единицы на потенциал действия его двигательного нейрона. Обычно мышца возбуждается при появлении сигнала действия (потенциала действия) от иннервирующих мотонейронов. В результате передачи возбуждающего сигнала через нервно-мышечные синапсы генерируются мышечные потенциалы действия (непрямая стимуляция). Возможна и прямая стимуляция мышечных волокон, но только в экспериментальных условиях. Таким образом, сокращение вызывается потенциалом действия, т.е. возбуждением мембраны волокна [1]. Ключевую роль в передаче потенциала действия от мембраны в мышечные волокна играют ионы Ca^{2+} . Процесс распространения возбуждения скелетных мышц представляет собой условный «насос» ионов Ca^{2+} , и возбуждающий сигнал имеет периодический характер. При достижении пороговой частоты (не менее 20 Гц) одиночные сокращения сливаются за счет суммации (остаточному напряжению одиночного сокращения) и приводят к состоянию устойчивого сокращения иначе тетанусу. Тетанические мышечные сокращения разделяют на два больших типа [3]:

1. зубчатый тетанус – возникает, когда каждая последующая стимуляция приходится на фазу расслабления;
2. гладкий тетанус – возникает, когда каждая последующая стимуляция приходится на фазу напряжения мышцы. При гладком тетанусе мышца не расслабляется и в ней поддерживается постоянное напряжение.

В разных группах мышц тетанические сокращения возникают при разных частотах от 20 до 300 Гц [3]. Также различают сокращения по форме. Бывают статические (изометрические) и динамические (изотонические, ауксотонические, анизотонические и полицентрические).

Методом измерения потенциалов действия в скелетных мышцах является метод биоэлектрического исследования – электромиография (ЭМГ). Электромиография бывает поверхностной и инвазивной [4]. Датчики для поверхностной электромиографии разделяют на три вида: однофазные, парафазные и электромагнитные. Однофазные датчики измеряют потенциал мышечной активности в измеряемой точке относительно общего провода. Парафазный – измеряет разницу потенциалов между двумя точками. Местом крепления общего провода при выполнении определенных условий можно пренебречь. Электромагнитные – измеряют электромагнитное поле на поверхности кожи в точке крепления. Данный тип практически не используется из-за низкой защищенности от естественного электромагнитного фона.

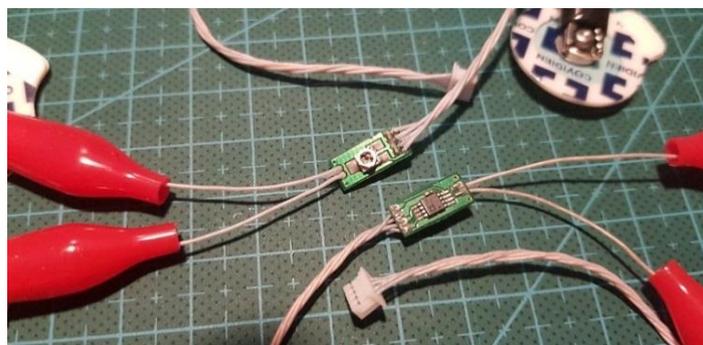


Рис. 2. Прототип датчика

Для разработки был выбран в первую очередь парафазный тип датчика за счет низкой шумовой составляющей (кросс-токов) в измеренном сигнале. За основу датчика был взят инструментальный усилитель AD8237 от Analog Devises (рис. 2). Данный инструментальный усилитель обладает рядом важных для решаемой задачи характеристик, таких как: диапазон питания 1,8–5,5 В, низкое значение собственных

шумов, низкий температурный дрейф, высокий входной импеданс (800 МОм, 10pF), максимальное усиление в 1000 раз сигнала с частотой до 1 кГц, потребляемый ток до 150 мкА. Целевыми областями применения данной микросхемы являются прецизионные измерения различных сигналов, медицинское оборудование и портативные системы.

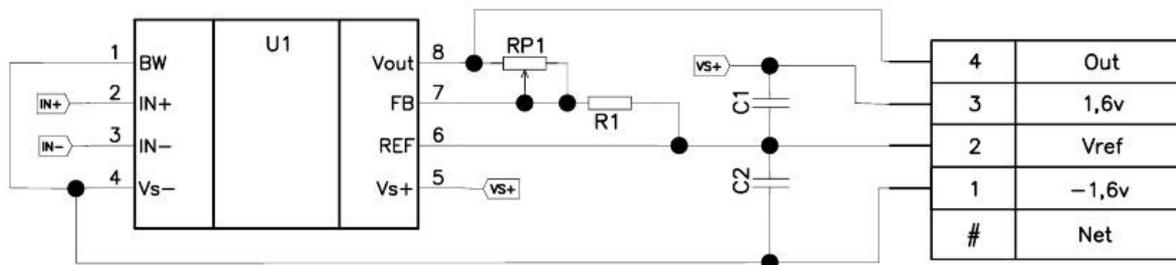


Рис. 3. Электрическая схема датчика

Подстроечный резистор RP1 (рис. 3) номиналом 1 МОм с резистором R1 номиналом 1 кОм обеспечивают переменный коэффициент усиления значения между входами IN+ и IN- на выходе Vout усилителя AD8237 (микросхемы U1 на рис. 3). Коэффициент усиления находится по формуле:

$$G = 1 + \frac{RP1}{R1}.$$

А значение на выходе:

$$V_{out} = G(V_{in+} - V_{in-}) + V_{ref}.$$

Для регистрации измеряемых значений был разработан контроллер (рис. 4, а) с 5 каналами для подключения датчиков и USB-интерфейсом для передачи измеренных значений на компьютер. За основу контроллера был взят микроконтроллер STM32f405 с ядром Cortex-M4 от ST Microelectronics. Для формирования опорной средней точки усилителя AD8237 и оконечного усиления сигнала был использован операционный усилитель MCP6L от Microchip. Данная микросхема имеет низкий уровень собственных шумов, диапазон питания 1,8–7 В, диапазон усиления, равный диапазону питания, и потребляемый ток от 30 до 170 мкА.

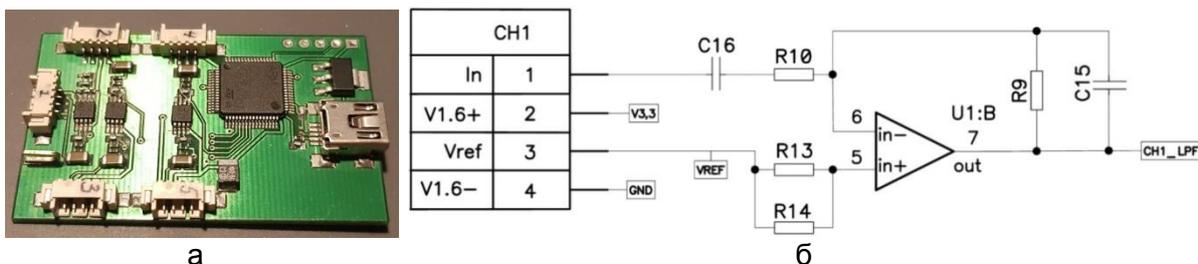


Рис. 4. Прототип контроллера (а); электрическая схема усилителя канала (б)

Усилитель канала (рис. 4, б) реализован по инвертирующей схеме с отрицательной обратной связью и фильтрами верхних и нижних частот первого порядка на выходе и выходе с крутизной 6 дБ.

Коэффициент усиления усилителя канала находится по формуле:

$$G_{ch} = 1 + \frac{R9}{R10}.$$

Частота среза фильтра верхних частот по формуле:

$$f_{ФВЧ} = \frac{1}{2\pi R_{10} C_{16}}.$$

Частота среза фильтра нижних частот по формуле:

$$f_{ФНЧ} = \frac{1}{2\pi R_9 C_{15}}.$$

Также в рамках решаемой задачи было разработано программное обеспечение (ПО) для микроконтроллера, компьютера и протокол обмена данными по USB-интерфейсу между ними. ПО для компьютера обеспечивает управление контроллером и вывод в реальном времени осциллограмм с 5 каналов контроллера (рис. 5, а).

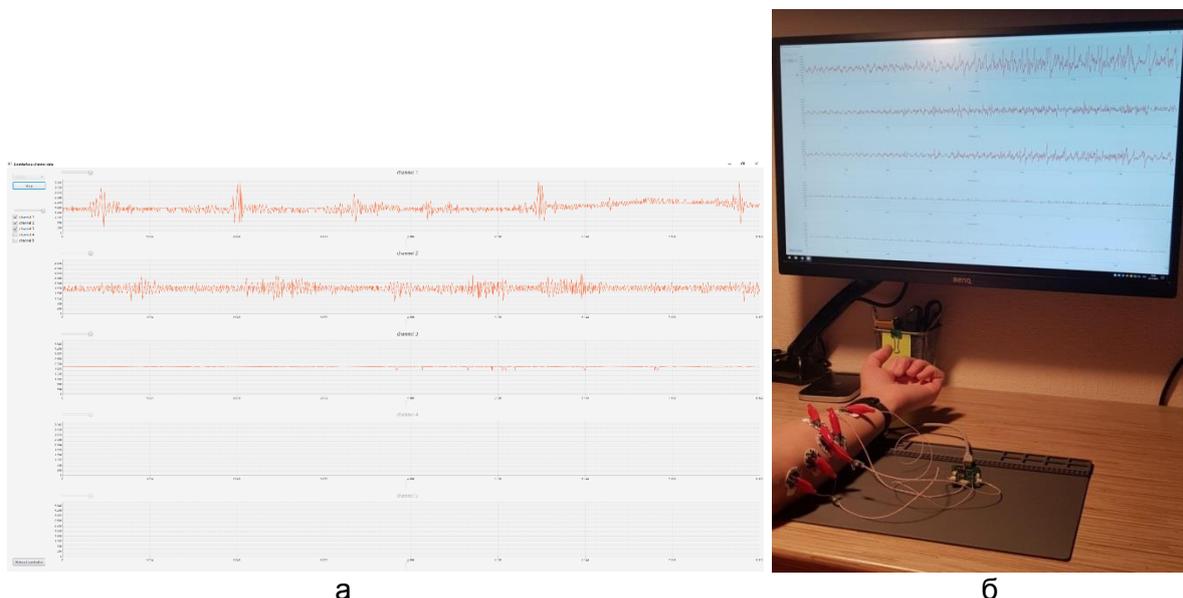


Рис. 5. Снимок экрана ПО для компьютера (а); прототип контроллера (б)

Основным результатом проведенной работы является разработанный прототип полезной модели программно-аппаратного комплекса (рис. 5, б) для измерения и регистрации биопотенциалов скелетных мышц. Максимальное энергопотребление прототипа не превышает 50 мА при напряжении в 3,2 В.

В дальнейшем планируется оптимизация схемы, разработка однофазного датчика, реализация журналирования регистрируемых измерений с целью создания ЭМГ-базы выборок для машинного обучения.

Литература

1. Физиология человека: в 3-х томах / Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1996. – Т. 1. – 323 с.
2. Физиология человека: учебник / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2003. – 656 с.
3. Физиология человека. Compendium / Под ред. Б.И. Ткаченко. – 3-е изд., доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 496 с.
4. Касаткина Л.Ф., Гильванова О.В., Электромиографические методы исследования в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Игольчатая электромиография. – М.: Медика, 2010. – 416 с.

Галкина Дарья Алексеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3440

Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах

e-mail: darja.galkina@gmail.com

Борисов Олег Игоревич

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.

e-mail: borisov@corp.ifmo.ru

УДК 681.532.1

УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ПОДВИЖНОСТИ

Галкина Д.А.

Научный руководитель – к.т.н. Борисов О.И.

В работе рассмотрены проблемы построения сетецентрического пространства в условиях повышенной подвижности. Выдвинуты требования к системе управления группой агентов пространства. Предложен способ организации системы управления группой роботизированных объектов в условиях повышенной подвижности.

Ключевые слова: системы управления, морская робототехника, групповое управление, мультиагентная система, динамическая система.

Одним из главных функциональных направлений национальной морской политики Российской Федерации является освоение и сохранение ресурсов Мирового океана. В связи с перспективой истощения запасов углеводородного сырья и других минеральных ресурсов на континентальной части страны, для дальнейшей возможности переориентации изучения и освоения минеральных и энергетических ресурсов на океанические склоны и ложа Мирового океана, ведутся активные разработки в области специального судостроения, в том числе морских робототехнических комплексов различного назначения [1–3].

В последние годы при работах с задействованием робототехнических комплексов набирает популярность идеология построения сетецентрического пространства, представленная на рисунке.

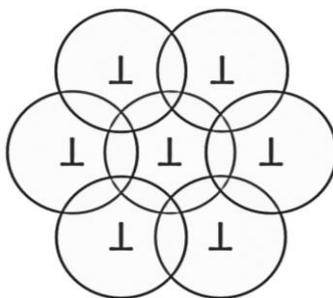


Рисунок. Пример построения сетецентрического пространства

Основой сетецентрической идеологии является создание единой информационно-коммутиционной сети в районе выполнения задач, связывающей источники освещения обстановки, центры управления роботизированными объектами и непосредственно сами роботизированные объекты (далее – агенты), действующие в районе выполнения задач. Информационное превосходство достигается за счет оперативного доведения информации об обстановке до всех потребителей непосредственно в районе действий. Однако следует учитывать, что на агентов сети в ходе работ будут оказывать

воздействие различные гидрометеорологические условия, такие как волнение, зыбь, течения, что помешает корректной работе пространства в целом.

Таким образом, для обеспечения устойчивой и непрерывной работы сетецентрического пространства требуется разработать автоматизированную систему согласованного управления (АССУ), контролирующую местоположение агентов сети в заданных областях, и корректирующую местоположение агентов в случае их выхода за пределы установленных допустимых значений. Для функционирования такой системы необходимым и достаточным являются три агента.

Рассматриваемая группа агентов должна обладать ассиметричными жесткими связями, образующими цикл. Каждый агент должен локально контролировать свое собственное положение, так что расстояние до соседних объектов было постоянным. Однако, так как в данном случае пространство находится в постоянном движении, расстояние между агентами может незначительно изменяться.

Таким образом, для решения поставленной задачи было решено использовать следующий закон управления, задействованный в задачах управления конкретно тройными формациями:

$$\dot{x}_i = -z_i(|z_i|^2 - d_i^2), \quad i \in \{1, 2, 3\},$$

где $z_i = x_i - x_{i+1}$ – реальное расстояние между соседними аппаратами.

Алгоритм работы предлагаемой АССУ заключается в следующем: каждый из участников группы поочередно передает импульсный сигнал соседним агентам по радиосвязи. В структуре сигнала кодируются уникальный идентификационный номер и время отправки сигнала. По этим данным АССУ отслеживает изменение расстояний между агентами. Это необходимо для формирования агентами устойчивой пространственно-распределенной сети, обеспечивающей надежное и непрерывное функционирование пространства в районе проведения работ. Затем каждым участником группы производится сравнение расстояния d , заложенного в него изначально, с расстоянием z , полученным путем вычислений, и происходит корректировка местоположения. Следует отметить, что для корректной работы АССУ, в нее должны быть заложены предельные значения погрешностей местоположения агентов в узлах образуемой сети. Также в алгоритме работы системы должны быть учтены минимальные и максимально возможные расстояния между агентами. Это позволит исключить ошибку, при которой агенты будут пытаться безостановочно сократить, либо увеличить расстояние между собой.

Использование АССУ в интересах развертывания единой локальной информационно-управляющей системы в районе выполнения работ позволит обеспечить ее корректное функционирование в течение времени, необходимого для выполнения поставленных задач.

Таким образом, в данной работе были выявлены основные проблемы при организации сетецентрического пространства в условиях повышенной подвижности. На примере построения сетецентрического пространства, состоящего из нескольких агентов, был предложен алгоритм построения системы согласованного управления группой морских роботизированных объектов.

Литература

1. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // SPIRAS Proceedings. – 2018. – № 5. – С. 39–63.
2. Иванов Д.Я. Информационный обмен в больших группах роботов // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 513–521.
3. Fossen T.I. Marine control systems: guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles // Marine Cybernetics. – 2002. – P. 494.

Зайцева Юлия Сергеевна

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
аспирантНаправление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: juliazaytsev@gmail.com

Андриевский Борис Ростиславич

Год рождения: 1949

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, д.т.н., доцент

e-mail: boris.andrievsky@gmail.com

УДК 681.51**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ БЕСПИЛОТНЫМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ С НАЗЕМНОЙ
СТАНЦИИ****Зайцева Ю.С.****Научный руководитель – д.т.н., доцент Андриевский Б.Р.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 718546 «Управление киберфизическими системами».

В работе рассмотрено явление неблагоприятного взаимодействия в режиме ручного управления между человеком-оператором и беспилотным летательным аппаратом по причине ограничения скорости привода и отставания по времени входного сигнала пилота, которые вызывают нелинейные колебания беспилотного летательного аппарата вплоть до потери управления. Эти колебания предложено подавлять с помощью нелинейного корректирующего устройства.

Ключевые слова: нелинейные колебания, насыщение, беспилотный, нелинейная коррекция, человек-оператор.

Аномальное взаимодействие между человеком-оператором и беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) относится к явлению раскачки самолета летчиком (РСЛ) в большой авиации [1]. Преимущество этого явления в системах управления БПЛА объясняется наличием тех же причин, что и в пилотируемых самолетах: технология электродистанционного управления приводами, которые имеют ограничение скорости, и запаздывание по времени управляющего сигнала. Для предотвращения колебаний применяют фильтры низких частот [2], метод инверсной динамики [3], адаптивный закон управления [4] и другие [5]. В данной работе разработано нелинейное корректирующее устройство, позволяющее избежать возникновения колебаний в контуре управления «оператор – БПЛА».

Рассмотрено движение малого БПЛА в режиме ручного управления с наземной станции. Когда регистрируется управляющий генерируемый сигнал, пилотирующая задержка по времени определяется как разница во времени между моментом и временем, когда записывается отклонение руля высоты. Привод органа управления БПЛА имеет конструктивное ограничение скорости сигнала управления. При определенных параметрах полета в продольной оси управления появляются непреднамеренные колебания летательного аппарата [1]. В данной работе предлагалось включить в контур управления по продольной оси последовательное нелинейное корректирующее устройство (НКУ). Внедрение НКУ в систему управления с нелинейностями, такими как насыщение, трение, зона нечувствительности, уменьшает скорость переходного процесса, подавляет автоколебания [6]. НКУ имеет уравнения вида [7, 8]:

$$\begin{aligned} y &= k|u|\text{sign}(x), \\ A(p)x &= B(p)u, \end{aligned} \quad (1)$$

где p – оператор дифференцирования; $A(p), B(p)$ – полиномы, такие, что $W(s) = B(s)/A(s)$ – передаточная функция упреждающего фильтра, который выбирается в следующей форме:

$$W(s) = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2 s + 1}{T_1 s + 1}, \quad (2)$$

где $T_1 = 0,01$ с, $T_2 = 0,1$ с – постоянные времени, которые обеспечивают максимальный запас по фазе НКУ; s – оператор Лапласа. Входной сигнал x , разветвляясь, проходит по двум каналам фильтра. Первая ветвь u состоит из коэффициента усиления k и блока взятия модуля, вторая ветвь состоит из фильтра (2) и блока сигнатуры. Сигнал на выходе фильтра y получается как произведение выходных сигналов обеих ветвей.

В исследуемый контур управления входят: модель человека-оператора, НКУ и модель привода органа управления второго порядка с ограничением на скорость. Все параметры моделей взяты из [1]. Результаты моделирования, соответствующие максимально возможной нагрузке на систему управления, приведены на рисунке.

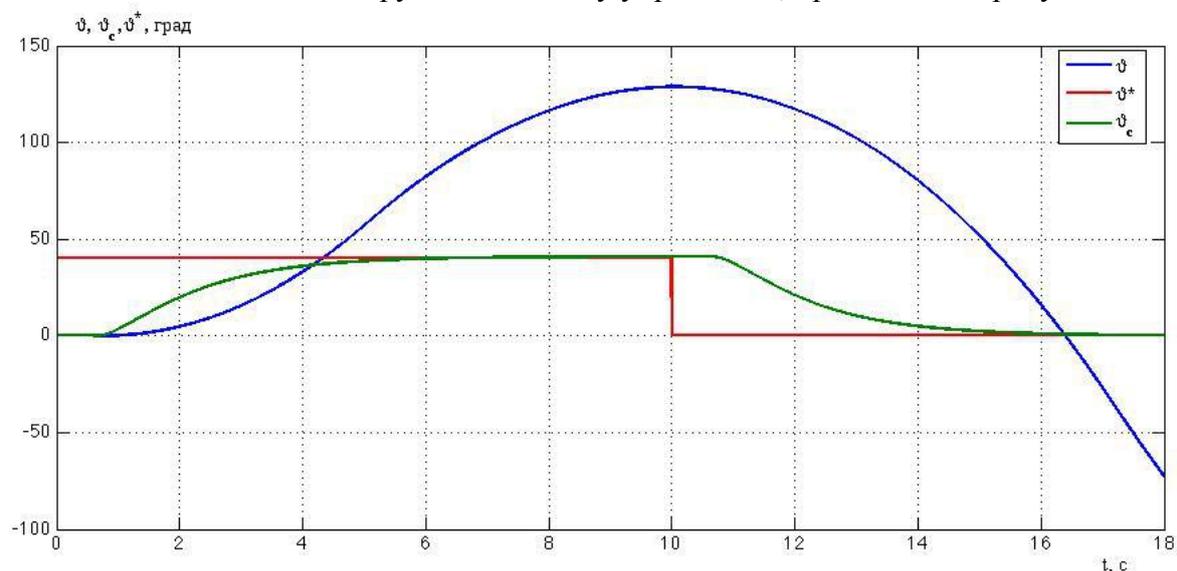


Рисунок. Переходные процессы системы по углу тангажа

На рисунке показаны переходные процессы по углу тангажа для задающего сигнала ϑ^* , система без коррекции ϑ , с коррекцией – ϑ_c . Введение НКУ позволило одновременно увеличить коэффициент усиления оператора с 0,4 до 8 и амплитуду задающего сигнала до 40° при времени задержки сигнала $\tau = 0,6$ с.

Результаты работы показывают, что предложенный метод нелинейной коррекции в контуре управления БПЛА позволяет предотвратить нелинейные колебания в условиях фазовой задержки и ограничения скорости привода, при этом на порядок увеличить быстродействие оператора. В этой работе впервые был применен метод нелинейной коррекции к математической модели БПЛА «Phastball».

Литература

1. Gu Y., Chao H., Rhudy M.B. Flight data analysis of pilot-induced oscillations of a remotely controlled aircraft // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. – 2013. – P. 5010.
2. Brieger O., Kerr M. et al. Pilot-involved-oscillation suppression using low-order antiwindup: flight-test evaluation // Journal of guidance, control and dynamics. – 2012. – V. 35(2). – P. 471–483.

3. Lane S.H., Stengel R.F. Flight control design using non-linear inverse dynamics // *Automatica*. – 1988. – V. 24(4). – P. 471–483.
4. Rysdyk R., Calise A.J. Robust nonlinear adaptive flight control for consistent handling qualities // *IEEE*. – 2005. – V. 13. – № 6. – P. 896–910.
5. Зайцева Ю.С. Обзор методов подавления колебаний, вызванных раскачкой самолета летчиком // *Материалы XIX КМУ «Навигация и управление движением»*. – 2017. – С. 65–67.
6. Попов Е.П. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1971. – 471 с.
7. Andrievsky B., Kuznetsov N., Kuznetsova O. et al. Nonlinear phase shift compensator for pilot-induced oscillation prevention // *Prepr. 9th IEEE Europ. Modeling Symp. On Mathematical Modeling and Computer Simulation*. – 2015. – P. 225–231.
8. Andrievsky B., Kravchuk K., Kuznetsov N. et al. Hidden oscillations in the closed-loop aircraft-pilot system and their prevention // *IFAC-PapersON-Line*. – 2016. – V. 49. – № 14. – P. 30–35.

Зименко Ксения Владимировна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № 41771Направление подготовки: 12.04.01 – Системы и технологии цифрового производства
e-mail: zksenia@yahoo.com**Афанасьев Максим Яковлевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент
e-mail: myafanasyev@itmo.ru

УДК 681.31

**ИНТЕРПОЛЯЦИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ С ЧИСЛОВЫМ
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ****Зименко К.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Афанасьев М.Я.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе описаны применяемые методы представления и расчета сложных траекторий в системе числового программного обеспечения, упомянуты проблемы, возникающие при различных алгоритмах сегментации кривых и возможные пути их решения. Приведено описание разрабатываемого алгоритма интерполяции, имеющей криволинейные траектории исполнительного устройства установки с числовым программным управлением.

Ключевые слова: числовое программное обеспечение, интерполяция, параметрическая кривая, оптимизация, станок, исполнительное устройство, траектория.

В области современного промышленного производства наблюдается тенденция к росту популярности и доступности персонализированного производства, когда внешний вид изделия и его функции выполняются строго по требованиям заказчика. Все больше фирм предлагают комплексный и уникальный дизайн продукции [1]. Это неизбежно ведет к усложнению геометрии изделий.

Несмотря на то, что большая часть пути инструмента представляет собой отрезки и дуги окружностей, тенденция к усложнению геометрии деталей приводит к все более широкому использованию сложных траекторий, таких как эвольвенты, спирали и т.д. В сочетании с высокой требуемой точностью это приводит к проблеме разработки эффективных алгоритмов обработки заготовок по сложным траекториям.

Интерполятор в программном обеспечении установки с числовым программным управлением (ЧПУ) производит расчет траектории и генерирует осевое движение инструмента на основе данных, полученных из кода управляющей программы (УП). Данный этап является одним из ключевых при анализе контроллером УП [2]. Так как на данном этапе формируется траектория движения инструмента, то от того, насколько переданный в систему ЧПУ с помощью кодов УП путь совпадет с полученным после обработки интерполятором, зависит точность обработки.

Задачей исследования являлась модификация алгоритмов интерполяции, применяемых в установках с ЧПУ, для эффективной обработки материала по сложным криволинейным траекториям. Рассмотрены существующие методы расчета сложных траекторий и возможность их применения в интерполяторе реального времени.

Наиболее распространенным способом представления кривых является параметрическая форма, когда кривая описывается уравнениями:

$$\begin{cases} x = x(u) \\ y = y(u) \end{cases}$$

где u – параметр, обычно изменяющийся в границах между $0 \leq u \leq 1$. Большинство CAD/CAM-систем представляют кривые в данном виде.

Расчет координат каждой оси происходит напрямую, что облегчает переход от двухмерных к трехмерным представлениям. Для простоты работе рассматривались примеры построения кривых на плоскости.

При работе со сложными траекториями традиционные алгоритмы интерполяции производят предварительную аппроксимацию кривых линейными участками, которые далее, в свою очередь, разбиваются на еще меньшие сегменты, что приводит к увеличенной величине контурной ошибки. Во избежание неточности, первоначальная сегментация кривой должна проводиться как можно большим числом участков, т.е. максимально приближена к исходной траектории. Однако этот процесс потребует значительных вычислительных ресурсов и объемов памяти. Для решения проблемы современные интерполяторы работают напрямую с параметрическим представлением кривой и проводят аппроксимацию на малые сегменты только один раз. Это уменьшает число итераций и сохраняет точность обработки.

Сегментация кривой происходит путем последовательного увеличения параметра u и расчета следующей точки, к которой должно прийти исполнительное устройство за единицу времени. Для адекватного построения кривой необходим выбор оптимального приращения u . Требуется соблюдение следующих требований [3]:

1. параметр u должен рассчитываться независимо от геометрических параметров кривой;
2. представление $x(u)$ и $y(u)$ должно быть в явном виде, чтобы позволить прямой расчет $x(u)$ и $y(u)$;
3. каждое приращение параметра u должно делить кривую на равные сегменты Δs . Так как каждый сегмент инструмент проходит за равное время T , то таким образом гарантируется постоянная величина подачи $V = \Delta s / T$.

Первые два требования обычно выполняются, однако наибольшую трудность представляет третье условие. Оно выполняется, только если u является линейной функцией от s , где s – длина дуги кривой, а затем кривая представляется как $x(s)$ и $y(s)$. Так, данное условие выполняется только для прямых и окружностей [3].

Сегментация кривых при равных приращениях параметра u . Стандартный подход к расчету кривых подразумевает разделение кривых на единичные равные приращения Δu для определения каждой следующей точки $[x(u_k), y(u_k)]$ и перемещения инструмента по прямой линии от точки $[x(u_{k-1}), y(u_{k-1})]$ до $[x(u_k), y(u_k)]$. Каждый сегмент кривой Δs тогда рассчитывается по формуле:

$$\Delta s = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2}.$$

Из этого следует, что чем меньше будут приращения Δu , тем большее число сегментов кривой получится, что приведет к более точному соответствию изначальной кривой. Описанный метод применяется в большинстве алгоритмов интерполяции [4].

Равные приращения Δu приводят к тому, что каждый следующий сегмент кривой Δs будет иметь разную величину. Но, согласно условиям выполнения обработки, исполнительное устройство проходит каждый сегмент за равный промежуток времени (время интерполяции T), а значит, скорость обработки сегментов будет отличаться. Это приведет к неравномерной величине подачи и, как следствие, к ухудшению качества получаемой поверхности.

Данный метод также приводит к проблеме оптимальной сегментации кривой (определение необходимой величины приращения Δu). Существуют убедительные доводы, как в пользу максимизации Δu , так и минимизации [3]. С одной стороны, Δu следует рассчитывать как можно меньшую величину по следующим причинам:

1. для более точной аппроксимации исходной кривой;
2. для минимизации эффекта сегментации, который вызывает разрывы вдоль пути инструмента, что приводит к низкому качеству поверхности и необходимости в постобработке.

Однако это приводит к большому числу сегментов кривой, которые требуют значительных вычислений и объема памяти. С другой стороны, так как система ЧПУ воспринимает каждый сегмент как отдельный отрезок, это приводит к снижению средней скорости инструмента и увеличению времени обработки. В связи с этим число сегментов кривой следует минимизировать (увеличивать Δu). Между максимизацией и минимизацией необходимо находить среднее значение, которое разнится для каждой следующей кривой.

Сегментация кривой на равные участки Δs . Главная идея алгоритма состоит в получении равных сегментов кривой Δs , но не равных Δu . На каждом шаге интерполяции происходит вычисление оптимального Δu такого, чтобы добиться равенства сегментов Δs , что гарантирует равную величину подачи. Метод не требует большого времени вычисления и оптимален для применения его в интерполяторах реального времени.

Скорость инструмента при движении вдоль кривой определяется по формуле:

$$V(u) = \frac{ds}{dt} = \left(\frac{ds}{du}\right) \left(\frac{du}{dt}\right).$$

Тогда приращение u равно:

$$\frac{du}{dt} = \left(\frac{v}{ds/du}\right) = \frac{v}{\sqrt{(x')^2 + (y')^2}}.$$

Окончательное уравнение можно получить при помощи разложения в ряд Тейлора. В силу того, что время интерполяции обычно достаточно мало, возможно приближение первого порядка [3]. Так, для расчета приращения параметра кривой возможно применение формулы:

$$u_{k+1} = u_k + T\dot{u}_k = u_k + \frac{vT}{\sqrt{(x'_k)^2 + (y'_k)^2}}.$$

В силу того, что алгоритм позволяет получить стабильную величину подачи и решает проблему определения оптимального приращения Δu , применение данного метода расчета при интерполяции криволинейных траекторий представляется целесообразным.

Имеет смысл рассмотреть данный алгоритм на примере круговой траектории инструмента. Уравнение движения инструмента по дуге окружности в первом квадранте описывается формулой:

$$x(u) = a \cos u, y(u) = a \sin u, 0 \leq u \leq \frac{\pi}{2}.$$

В таком случае получаем:

$$u_{k+1} = u_k + \frac{vT}{\sqrt{(-a \sin u)^2 + (a \cos u)^2}} = u_k + \frac{vT}{a}.$$

В результате получаем $\Delta u = vT/a$, т.е. приращение параметра в данном случае, как было упомянуто выше, равно и не зависит от кривизны.

Сравнение алгоритмов аппроксимации кривой. Рассмотрен пример построения двумерной кривой, которая определяется по формуле:

$$\begin{cases} x = -90t^3 + 5t^2 + 70t, \\ y = -25t^2 + 30t, \end{cases} 0 \leq u \leq 1.$$

Пример построения кривой представлен на рисунке.

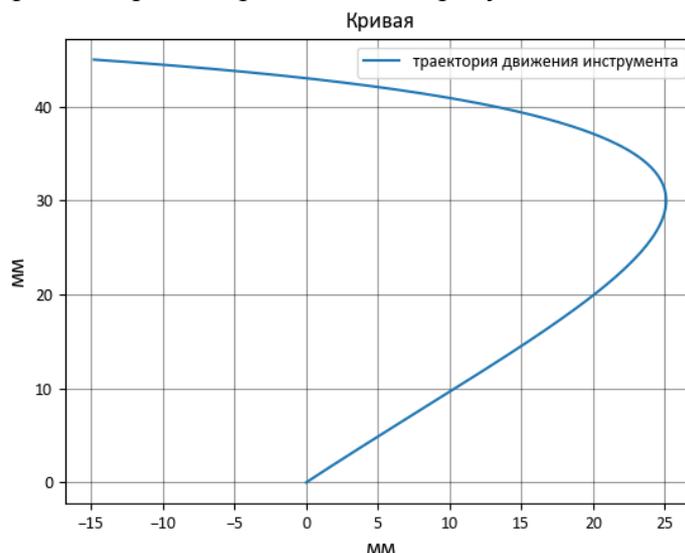


Рисунок. Рассматриваемый пример параметрической кривой

Произведена аппроксимация кривой при помощи двух описанных выше методов и сравнены полученные результаты. При традиционном методе расчета кривой, когда параметр u увеличивается равномерно, полученные сегменты сильно отличаются по величине. Максимальный размер участка равен 1,885 мм, а минимальный, на участках с наибольшей кривизной, – 0,429 мм. Полученные значения при дальнейшем расчете дадут большой разброс величины подачи. Стоит отметить, что производилось деление на 100 сегментов, и при увеличении их числа (при уменьшении Δu) разница величин сегментов уменьшится, но все же останется существенной.

При расчете методом равных сегментов данная проблема не возникает, так как все линейные участки кривой одинаковы и равны 0,252 мм. Также контурная ошибка у данного метода меньше, наибольшая величина составляет 0,25 мм, тогда как у традиционного метода равномерного увеличения u максимальная контурная ошибка равна 1,9 мм. Результаты расчета контурной ошибки при применении разных методов приведены в таблице.

Таблица. Результаты расчетов контурной ошибки

Контурная ошибка, мм	Рассматриваемые методы интерполяции	
	Традиционный метод (равные Δu)	Метод равных сегментов Δs
Максимальная	1,9	0,25
Минимальная	0,43	0,25

В разрабатываемом алгоритме интерполяции для представления криволинейных траекторий был выбран параметрический вид. Деление кривой производилось согласно описанному методу аппроксимации на равные сегменты.

Так как при интерполяции окружностей с помощью описываемого метода расчета Δu остается одинаковым, то для упрощения расчетов имеет смысл определять величину приращения параметра u единожды на первом шаге.

В рамках разработки алгоритма интерполяции сложных траекторий была также применена методика скругления углов на основе параметрических кривых, позволяющая сглаживать углы траектории. Построение осуществлялось по 6 контрольным точкам, в результате возможно управление размером и формой полученного скругления для обеспечения требуемой точности обработки [5].

Таким образом, параметрическое представление криволинейной траектории позволяет явно описать кривую любой сложности и размерности. При проведении интерполяции целесообразно проводить единичную сегментацию для минимизации контурной ошибки обработки и вычислительных затрат. Оптимальным методом аппроксимации, позволяющим обеспечить постоянную скорость инструмента при движении вдоль сложной траектории, является расчет необходимого приращения параметра u для обеспечения равных участков Δs по описанному выше алгоритму. Величина Δu при этом будет зависеть от времени интерполяции, заданной величины подачи и кривизны пути.

Литература

1. Petrick I., Simpson T. 3D Printing Disrupts Manufacturing // Research-Technology Management. – 2013. – P. 15–16.
2. Suh S.-H., Kang S.-K., Chung D.-H., Stroud I. Theory and Design of CNC Systems. – Springer, London: Springer Series in Advanced Manufacturing. – 2008. – 508 p.
3. Koren Y., Lo C.C., Shpitalni M. CNC interpolators: algorithms and analysis // Manufacturing Science and Engineering. – 1993. – V. 64. – P. 83–92.
4. Sencer B., Ishizaki K., Shamoto E. A curvature optimal sharp corner smoothing algorithm for highspeed feed motion generation of NC systems along linear tool paths // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – V. 74. – P. 5–8.
5. Zimenko K.V., Afanasev M.Y., Krylova A.A., Shorokhov S.A., Fedosov Y.V. Motion Profile Control Algorithm and Corner Smoothing Technique for Trajectory Optimization of High-Precision Processing // Proceedings of the 23rd Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2018. – P. 425–431.

Ильина Татьяна Сергеевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41773Направление подготовки: 12.04.01 – Системы и технологии цифрового производства
e-mail: tata508@mail.ru**Моторин Александр Сергеевич**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
к.ф.-м.н., ассистент

e-mail: asmotorin@itmo.ru

Мельников Виталий Геннадьевич

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор

e-mail: vgmelnikov@itmo.ru

УДК 53.091:539.371

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ
ФОРМЫ В СИСТЕМЕ MSC PATRAN-NASTRAN****Ильина Т.С., Моторин А.С.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Мельников В.Г.**

Работа посвящена исследованию возможности моделирования потери устойчивости втулок из сплавов с памятью формы, созданию физически обоснованной модели их деформации и явлению возврата к первоначальной форме, а также анализу поведения и устойчивости данного материала. Для моделирования эффекта памяти формы в данной работе использовался модуль Marc конечно-элементной системы MSC Patran-Nastran от компании MSC Software. В качестве объекта моделирования был выбран полый цилиндр, который испытывает растяжение. После приложения растягивающей нагрузки, наблюдался возврат к первоначальной форме.

Ключевые слова: эффект памяти формы, сплавы с памятью формы, никелид титана, нитинол, восстановление формы, деформация, метод конечных элементов.

Еще недавно ученые со всего мира считали неупругую деформацию полностью необратимой, но в начале 60-х годов XX в. был открыт обширный класс металлических материалов, которые обладают обратимостью неупругой деформации за счет структурных превращений [1]. Такие материалы обладают эффектом памяти формы (ЭПФ), который заключается в явлении самопроизвольного восстановления первоначальной формы после предварительной деформации. ЭПФ может наблюдаться как в изотермических условиях, так и при температурных изменениях. При изменении температуры сплавы с памятью формы могут многократно обратимо деформироваться.

Из большого числа сплавов с ЭПФ наиболее перспективными для практического применения являются сплавы эквиатного состава (примерно 50:50% (ат.)) на основе TiNi, называемые никелидом титана или нитинолом [1, 2]. Данные сплавы обладают рядом преимуществ: высокой коррозионной стойкостью и прочностью, хорошими характеристиками формозапоминания и высоким коэффициентом восстановления формы, хорошей биологической совместимостью и высокой демпфирующей способностью.

Интерес к сплавам с памятью формы связан с возможностями их применения в приборах и конструкциях многократного циклического действия. Соединительные втулки, обладающие ЭПФ, впервые были разработаны и внедрены фирмой «Рейхем

Корпорейшен» (США) для соединения труб гидравлической системы военных самолетов. В истребителе более 300 000 таких втулок, которые обеспечивают вакуумно-плотное соединение, выдерживающее давление до 800 атм [1]. Благодаря использованию сплавов с памятью формы при изготовлении соединительных муфт, втулок и других соединительных деталей достигается высоконадежное коррозионностойкое и прочное соединение при отсутствии высокотемпературного нагрева (в отличие от сварки), что позволяет их использовать на дне моря и в космосе.

Моделирование процесса функционирования втулок с ЭПФ позволяет спрогнозировать допустимые значения прикладываемой нагрузки для увеличения рабочего цикла втулок, предотвращения брака и увеличения эффективности их работы. Также результаты настоящей работы могут быть использованы в машиностроении, приборостроении и в других отраслях, где используются различные конструкции и приборы многократного циклического действия.

В сплавах с памятью формы не теряется способность к восстановлению деформации даже при высоком силовом воздействии. Уровень реактивных напряжений некоторых материалов с ЭПФ может составлять до 1000–1300 Мпа [2]. Задача моделирования потери устойчивости втулок к восстановлению формы является важной и актуальной задачей как с теоретической, так и с прикладной точек зрения. Действительно, существуют теоретические способы описания влияния характера приложения сжимающей нагрузки на критические характеристики элементов из данных сплавов, но они основаны на гипотезах и позволяют получить лишь приблизительные значения. Предметом исследования в настоящий момент является построение физически обоснованной модели, включающей в себя анализ структуры материала и процессов деформации. В данной работе исследовались возможности и особенности создания такой модели, которая может обладать достаточной предсказательной силой и обеспечить управление напряженно-деформированным состоянием автореверсивных втулок.

Целью данной работы являлось проведение систематического исследования потери устойчивости для втулок из сплавов с памятью формы с использованием метода конечных элементов.

При моделировании потери устойчивости втулок используется система инженерного анализа MSC Patran-Nastran, которая является ведущей программой конечно-элементного анализа и позволяет определять перемещения, деформации, напряжения и внутренние усилия в теле под воздействием нагрузок, медленно меняющихся во времени.

В основе данной системы инженерного анализа лежит метод конечных элементов. Суть данного метода заключается в разбиении всей области, занимаемой объектом моделирования, на определенное число отдельных частей конечных размеров, имеющих те же физико-механические характеристики, что и заданный объект. Эти подобласти носят название конечных элементов, а само разбиение называется дискретизацией. После этого точно или приближенно изучают напряженно-деформированное состояние каждого конечного элемента различными методами: сил, перемещений или смешанным, с целью определения в зависимости от принятого метода анализа усилий, или перемещений, или, и того, и другого в точках соединения конечных элементов между собой (узлах). Эти факторы принимают в качестве основных неизвестных метода конечных элементов. Для нахождения неизвестных составляют и решают систему алгебраических уравнений, как правило, очень высокого порядка (десятки, сотни тысяч и миллионы уравнений). Форма конечных элементов будет зависеть от типа объекта и характера деформации. Размер элементов можно менять, уменьшая его вблизи интересующей области, и увеличивая – для снижения затрат процессорного времени.

Метод конечных элементов лежит в основе таких мощных пакетов программ, как ANSYS, NASTRAN и во многих других системах инженерного анализа. Эти конечно-элементные системы позволяют рассчитывать сложные конструкции, создавать и отлаживать модели, а также анализировать и визуализировать полученные результаты.

В ходе работы было проведено моделирование ЭПФ с помощью модуля Marc конечно-элементной системы MSC Patran-Nastran от компании MSC Software. В качестве объекта моделирования был выбран полый цилиндр, который испытывает растяжение.

Цилиндр имеет следующие геометрические параметры: длина – 10 мм, наружный диаметр – 5 мм, внутренний – 4 мм. На рисунке, а, представлена схема его нагружения. Красным цветом показано жесткое закрепление, т.е. деформация в направлении осей XYZ равна нулю. Синим цветом показано растяжение цилиндра, которое задавалось через перемещение вдоль оси Z на 2 мм.

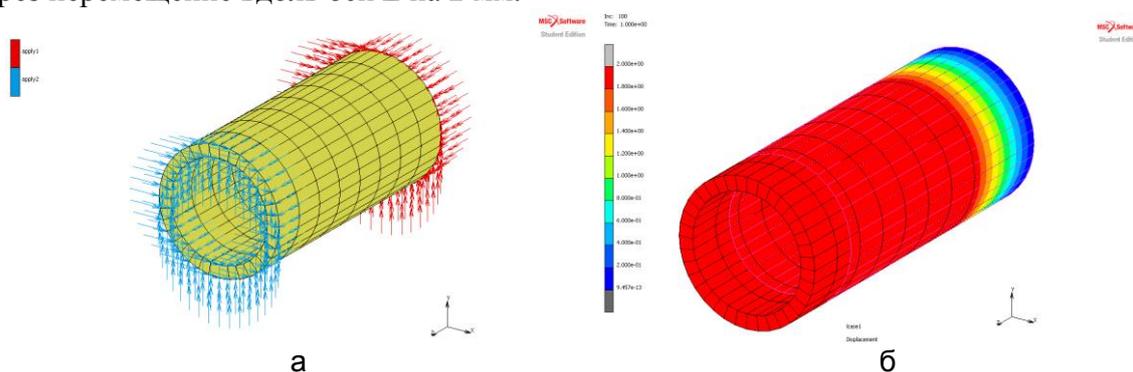


Рисунок. Схема нагружения цилиндра (а); моделирование растяжения цилиндра в программе MSC Marc (б)

Нагрузка задавалась с шагом по времени (таблица). В начальный момент времени цилиндр не нагружен. Растяжение цилиндра на 2 мм происходит через одну секунду, затем на второй секунде растяжение прекращается. После приложения растягивающей нагрузки можно наблюдать возврат к первоначальной форме (рисунок, б).

Таблица. Этапы нагружения

Время, с	Перемещение по оси Z, мм
0	0
1	2
2	0

На рисунке, б, наблюдается процесс растяжения цилиндра на 2 мм, после чего он возвращается к исходной форме. Слева представлена индикаторная диаграмма, которая показывает значения перемещений цилиндра в миллиметрах в определенный момент времени. В конкретном случае показано растяжение при одной секунде. Также благодаря MSC Marc можно выводить на экран значение нормальных напряжений, напряжений Мизера, объемную долю мартенсита в данном сплаве и т.п. При помощи данного программного обеспечения находят критические значения прикладываемой нагрузки, после приложения которой, теряется устойчивость к обратимой деформации моделируемого объекта.

Моделирование механизма обратимой деформации сложных конструкций из таких сплавов позволяет определить критические эксплуатационные характеристики, спрогнозировать поведение данного материала при различных условиях, а также снизить массу изделия и добиться максимальной эффективности их использования. Тема данной работы является актуальной, а полученные результаты позволяют

спрогнозировать значение критической нагрузки для устойчивости соединительных втулок к возврату первоначальной формы.

Для моделирования сложных функциональных конструкций и систематизации получаемых данных необходимо дальнейшее исследование в этой области и построение физически обоснованной модели деформации и потери устойчивости автореверсивных втулок.

Результаты проделанной работы указывают на возможность ускорения темпов модернизации различных отраслей промышленности за счет эффективного применения сплавов с ЭПФ при изготовлении конкурентоспособной продукции.

На сегодняшний день методы конечно-элементного моделирования сплавов с ЭПФ построены для очень конкретных задач и не носят систематического характера. Научная новизна данной работы заключается в том, что она может позволить проводить анализ устойчивости объектов из таких сплавов с высокой степенью точности [3, 4].

Литература

1. Муслев С.А., Стюрева Г.М. История и перспективы применения сплавов с памятью формы в науке, технике и медицине // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 10. – С. 119–120.
2. Окулов О.А., Ноздрин М.А. Свойство памяти формы в материалах // *Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. XII междунар. научн.-техн. конф. студ. и аспирантов*. В 3-х т. – М.: МЭИ, 2006. – Т. 3. – С. 300–301.
3. Auricchio F. A robust integration-algorithm for a finite-strain shape-memory-alloy superelastic model // *Int. J. Plasticity*. – 2001. – V. 17. – P. 971–990.
4. Marc 2014.2. User's Guide Marc / Software Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://simcompanion.msccsoftware.com/resources/sites/MSD/content/meta/DOCUMENTATION/10000/DOC10799/~secure/marc_ug.pdf?token=J7QqiGvdIOrDb2eFtEhNp9NyITLOvCpa4WGe1mzX1LC7uf95nJiVknIHWoMvHFYZwY8tCBP3fHjuf2Pjv95ER6jhc4in2slzH353Is!LwsKSp-2d!23cB7tM2IUGsgaex99VUkM2SPD73YtyUMO47S5s48-enyucL2E1n8IYNTOhcEIaxk-xKFcOusJmr!M (дата обращения: 06.03.2019).

Карпенко Елена Александровна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R4237

Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление
e-mail: proekt340@yandex.ru**Слита Ольга Валерьевна**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент
e-mail: o-slita@yandex.ru

УДК 62-50

**АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ
В ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ****Карпенко Е.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Слита О.В.**

Рассмотрен вопрос модернизации системы отопления в здании химико-аналитической лаборатории. Построена математическая модель изменения температуры воздуха в помещении, учитывающая не только теплопотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла, а также влияние температуры воздуха, поступающего из вентиляции. Для ранжирования источников, влияющих на температуру воздуха в помещении, предложено использовать грамианы управляемости.

Ключевые слова: температура, теплотехнический расчет, возмущение, инфильтрация наружного воздуха, грамианы управляемости, сингулярные числа, тепловой баланс.

Введение. Разработка системы управления температурой внутри производственного помещения для поддержания комфортных условий в помещениях и исключения нерационального расхода тепла в здании поможет обеспечить благоприятные условия труда для выпуска качественной продукции, предупреждения профессиональных заболеваний и повышения качества выпускаемой продукции, а также улучшить состояние производственной и окружающей среды. Кроме того, позволит обеспечить необходимую технику безопасности при работе с опасными токсичными веществами, горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями с температурой вспышки не более 28°C.

Предлагаемая работа была посвящена анализу степени влияния входных воздействий на температуру внутри помещения. Для получения оценок степени влияния предлагалось использовать грамианы управляемости.

Разработка системы управления температурой внутри помещения. Предложенная в настоящей работе система управления температурой в помещениях химико-аналитической лаборатории [1] представлена на структурной схеме рис. 1.

Опишем принцип работы системы управления температурой.

В помещении находится датчик, который измеряет температуру и передает ее на регулятор контроллера, для сравнения измеренного значения температуры с заданным. В зависимости от разности между заданным и измеренным значениями температуры регулятор вырабатывает сигнал, воздействующий на исполнительный механизм (ИМ – сервопривод). Сервопривод открывает или закрывает клапан до положения, при котором ошибка:

$$\varepsilon = T_{\text{зад}} - T_{\text{изм}} \quad (1)$$

будет стремиться к нулю.

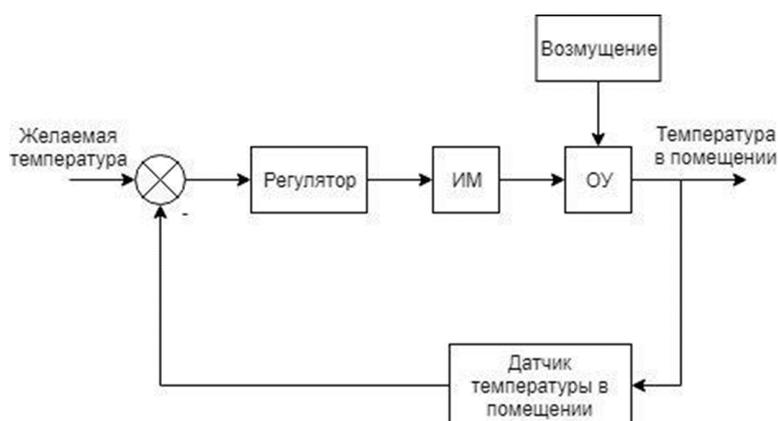


Рис. 1. Структурная схема регулирования температуры в помещении:
ИМ – исполнительный механизм; ОУ – объект управления

Определение модели изменения температуры в помещении. Математическая модель (2), описывающая изменение температуры в помещении, составлена на основании уравнения теплового баланса [2]. Она учитывает не только теплотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла, которые включают в себя сквозняки, ориентацию внешних стен по сторонам света и воздействие ветра на них, потери через внутренние и наружные стены, перегородки, перекрытия, а также влияние температуры воздуха, поступающего из вентиляции.

$$mc_{\text{в}}\dot{t}_{\text{в}} = Q_{\text{оп}} - S_{\text{ок}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})\beta n/R_{\text{ок}} - 0,28L\rho_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t_{\text{вент}}) - 0,278c_{\text{в}}G_{\text{н}}A(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})F_{\text{н}}, \quad (2)$$

где m – масса воздуха в помещении; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха; $t_{\text{в}}$ – температура внутри помещения; $Q_{\text{оп}}$ – количество теплоты от отопительного прибора; $k_{\text{ок}}$ – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций; $S_{\text{ок}}$ – площадь ограждающих конструкций; $t_{\text{н}}$ – наружная температура; L – необходимое количество приточного воздуха; $\rho_{\text{в}}$ – удельная плотность воздуха; $t_{\text{вент}}$ – температура воздуха в системе вентиляции; $G_{\text{н}}$ – количество воздуха, проникающего через наружную ограждающую конструкцию; A – коэффициент, учитывающий влияние трансмиссионного потока; $F_{\text{н}}$ – площадь рассматриваемого ограждения наветренного фасада.

Анализ модели изменения температуры в помещении при помощи грамианов. Из схемы, представленной на рис. 2, видно, что на температуру внутри помещения оказывают влияние два возмущения: наружная температура и температура воздуха в системе вентиляции.

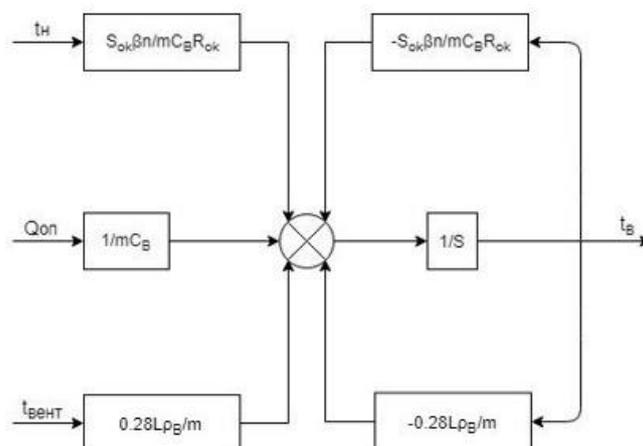


Рис. 2. Структурная схема регулирования температуры в помещении

Для того чтобы проанализировать степени влияния каждого из воздействий, воспользуемся грамианами управляемости [3, 4]. Перепишем формулу (2) в форме вход-состояние-выход:

$$\dot{x} = Ax + Bu + N_1 f_1 + N_2 f_2, \quad (3)$$

$$y = Cx, \quad (4)$$

где переменная состояния x – температура внутри помещения, управляющая переменная $u = Q_{on}$ – теплоступления от отопительного прибора (канал управления), управляющая переменная $f_1 = t_n$ – наружная температура (1-й канал возмущения), управляющая переменная $f_2 = t_{вент}$ – температура воздуха в системе вентиляции (2-й канал возмущения), выходная переменная y – температура внутри помещения.

Рассмотрим грамианы управляемости каналов f_1 «наружная температура – температура внутри помещения» y с передаточной матрицей $\Phi_1(s) = C(sI - A)^{-1} N_1$ и «температура воздуха в системе вентиляции f_2 – температура внутри помещения y » с передаточной матрицей $\Phi_2(s) = C(sI - A)^{-1} N_2$.

Запишем грамианы управляемости каналов по состоянию [5]:

$$W_{xi}(\tau) = \int_0^{\tau} e^{2A\xi} N_i^2 d\xi, \quad (5)$$

которые определяются путем решения матричного уравнения следующего вида:

$$W_{xi} : 2AW_{xi} = -N_i^2. \quad (6)$$

Решив (6) можно найти грамианы управляемости каналов по выходу:

$$W_{yi} : C^2 W_{xi}. \quad (7)$$

Произведем оценку степени влияния вклада каждого из каналов в выходную переменную. Для этого вычислим сингулярные числа грамианов управляемости вида (7) всех каналов: сингулярное число грамиана, найденное для каждого канала, будет прямо пропорционально степени его влияния на выходную переменную.

Запишем алгоритм ранжирования входов с помощью грамианов управляемости:

Шаг 1. Записать ОУ в виде (3)–(4);

Шаг 2. Вычислить грамианы управляемости каналов (5)–(7), определяемых входными воздействиями;

Шаг 3. Вычислить сингулярные числа грамианов управляемости (7);

Шаг 4. Выполнить ранжирование входных воздействий, используя величины полученных сингулярных чисел.

Результаты, полученные в работе.

- В работе предложена модель, описывающая изменение температуры внутри помещения, в которой учтены наличие в помещении отопительного прибора, приточно-вытяжной вентиляции, а также теплотери через ограждающие конструкции и добавочные потери тепла.
- Изучена степень влияния каждого из входных воздействий объекта на температуру внутри помещения.

Предложенный метод может использоваться для рационального распределения энергоресурсов при поддержании микроклимата в производственных помещениях.

Литература

1. Конструкторская документация по объекту «Химико-аналитическая лаборатория» на УПН Сузунского месторождения. – СПб.: ООО ЭКРОС-СТРОЙ, 2015.

2. Богословский В.Н., Сканава А.В. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 736 с.
3. Александрова С.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Использование грамианных технологий при ранжировании параметрических неопределенностей // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 9. – С. 759–764.
4. Alexandrova S., Nikolaev N., Slita O., Karpenko E., Musaev A. Gramian Based method for the state matrix parameters ranking // 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications Telecommunications and Control Systems and Workshops. – 2018. – P. 164–167.
5. Aranz M.C., Birk W., Halvvarsson B. Empirical approach to robust gramian-based analysis of process interactions in control structure selection // IEEE Conf. on Decision and Control, Piscataway. – 2011. – P. 6210–6215.

Козачёк Ольга Андреевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3441Направление подготовки: 23.03.04 – Управление в технических системах

e-mail: oakozachek@itmo.ru

Николаев Николай Анатольевич

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент

e-mail: nikona@yandex.ru

УДК 681.51**СРЕДА ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW В ЗАДАЧЕ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА****Козачёк О.А.****Научный руководитель – к.т.н. Николаев Н.А.**

В работе рассмотрена электромеханическая система на основе двигателя постоянного тока. Исследовано аппаратное обеспечение системы. Поставлен вопрос о возможности реализации современных алгоритмов управления на основе двигателя постоянного тока в среде графического программирования LabView.

Ключевые слова: электромеханическая система, двигатель постоянного тока, система управления, графическое программирование, LabView.

Электромеханические системы активно применяются в таких сферах как: промышленность, авиация, кораблестроение, робототехника и различные ее направления, и т.д. Вопросы, связанные с управлением подобными системами достаточно хорошо изучены, однако интерес к разработке и исследованию алгоритмов управления сохраняется. В настоящее время область применения двигателей постоянного тока (ДПТ) [1] и сервоприводов на их основе достаточно широка, поэтому исследования в данной сфере остаются актуальными. Существуют различные регуляторы, позволяющие задать желаемый характер движения. Одним из наиболее распространенных регуляторов для управления ДПТ является пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор). Лабораторный практикум «Микропривод», рассмотренный в данной работе, позволяет исследовать систему управления ДПТ с ПИД-регулятором [2]. Однако существуют более современные алгоритмы управления [3], и потому в работе поставлен вопрос о возможности реализации их на базе имеющегося аппаратного обеспечения практикума. В работе рассмотрены схемотехнические и программные составляющие практикума, а также возможности подключения и управления двигателем с помощью имеющегося аппаратного обеспечения и программной среды LabView.

В состав лабораторного практикума «Микропривод» входит специально разработанная плата «Микропривод» (рис. 1) [4], блок питания для нее и комплект соединительных проводов. Обмен данными с программной средой осуществляется с помощью DAQ-устройства, в роли которого выступает рабочая станция NI ELVIS II, подключаемая к персональному компьютеру по USB. На плате установлено два двигателя, закрепленных на одном валу. Один из них – исследуемый, второй – нагрузочный. Оба двигателя имеют марку HS3SN-22240. Его параметры приведены в таблице.

Таблица. Параметры двигателя

Марка двигателя	Номинальная мощность P_n , Вт	Номинальный ток I_n , А	Номинальный момент M_n , Н·м	Номинальная скорость Ω_n , рад/с	Индуктивность якоря $L_{я}$, Гн
HS3SN-22240	3,84	0,11	0,01588	241	0,0065

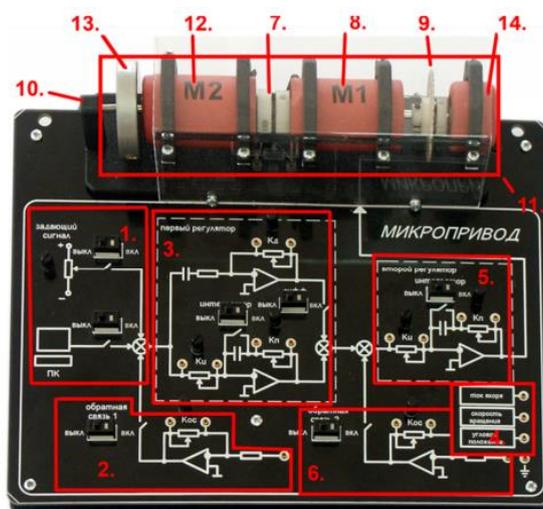


Рис. 1. Зоны платы «Микропривод»: 1 – зона коммутации управляющих сигналов; 2 – зона канала обратной связи для первого регулятора; 3 – зона регулятора типа ПИД; 4 – зона сигналов датчиков; 5 – зона регулятора типа ПИ; 6 – зона канала обратной связи для второго регулятора; 7 – соединительная муфта валов двигателей; 8 – исследуемый двигатель; 9 – датчик углового положения вала; 10 – держатель маховика; 11 – зона микродвигателей; 12 – нагрузочный двигатель; 13 – маховик; 14 – тахогенератор (опционально)

На плате также расположен маховик, необходимый для повышения инерционности нагрузочного двигателя. В роли датчика обратной связи выступает оптический энкодер марки НОА901-11. Функциональная схема аппаратного обеспечения практикума представлена на рис. 2. Макет совместно с поставляемым программным обеспечением позволяет проводить исследование работы системы с ПИД-регулятором. Часть лабораторных работ практикума предусматривала аппаратную реализацию и ручную настройку регулятора, однако, в рамках данной работы, схемотехническое решение ПИД-регулятора не рассматривалось.

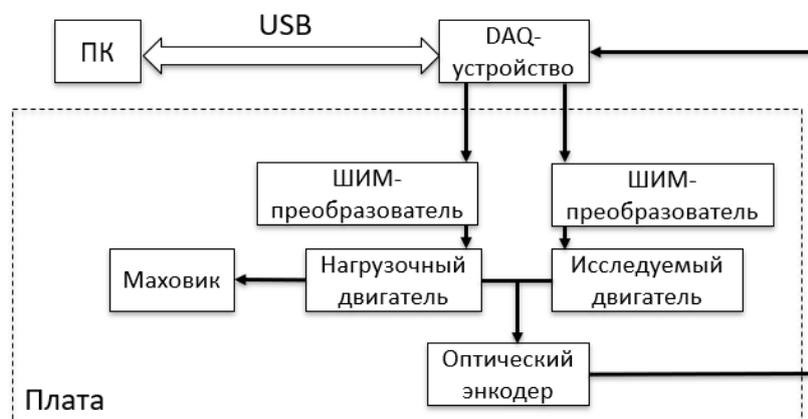


Рис. 2. Функциональная схема

В ходе исследования электрической принципиальной схемы макета была выделена ее часть, реализующая управление двигателем. Управляющий сигнал

формируется на выходах микросхемы LMD18200T на основе трех входных цифровых сигналов – Brake, DIR и PWM. Есть два способа управления скоростью вращения двигателя. В первом случае сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [5] подается на вход DIR. Тогда управление скоростью и направлением осуществляется через один вход. Чтобы осуществлять независимое управление скоростью и направлением движения ШИМ-сигнал необходимо подавать на вход PWM.

В качестве датчика угловой скорости выступает оптический энкодер. Импульсы с него, проходя через триггер Шмитта (микросхема LS14), поступают на аналоговый и программируемый входы рабочей станции.

Программная среда LabView используется для обработки результатов измерений, визуализации данных, формирования управляющих сигналов как на управляемый ДПТ, так и на нагрузочный ДПТ, реализует интерфейс для взаимодействия пользователя с лабораторным практикумом.

На основе полученных данных был разработан виртуальный прибор, реализующий формирование ШИМ-сигнала и управление одним из двигателей постоянного тока. Блок-схема разработанного виртуального прибора приведена на рис. 3.

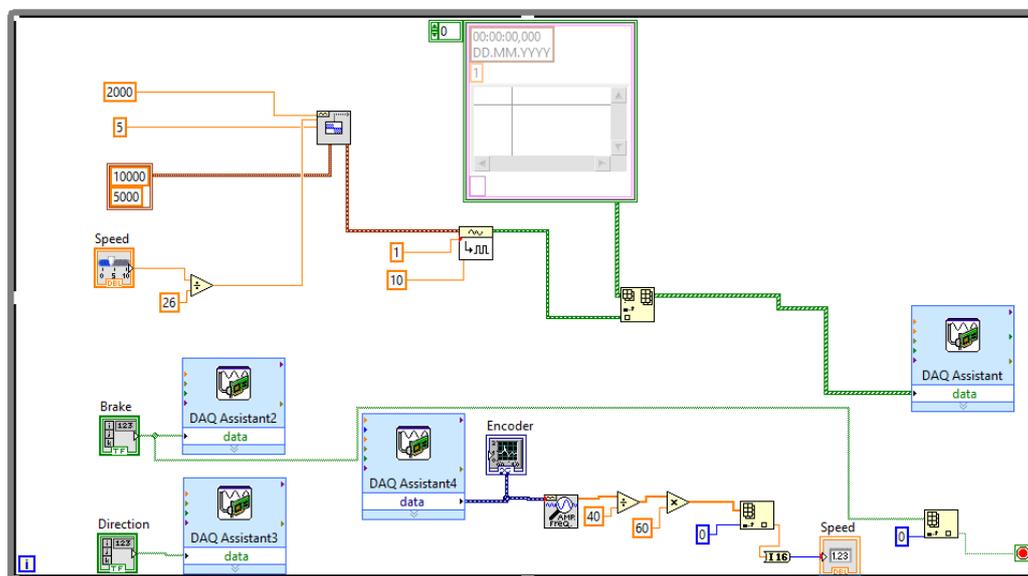


Рис. 3. Блок-схема разработанного виртуального прибора

Виртуальный прибор осуществляет формирование цифрового ШИМ-сигнала. С помощью стандартного блока LabVIEW формируется аналоговый сигнал прямоугольной формы. С лицевой панели пользователем задается частота вращения, коэффициент заполнения рассчитывается исходя из нее. Остальные параметры (частота сигнала, амплитуда и параметры измерений) приняты постоянными и получены опытным путем. Сформированный на основе заданных параметров прямоугольный сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь. На его выходе формируется итоговый цифровой ШИМ-сигнал. Для обмена данными с DAQ-устройством в LabVIEW предусмотрен специальный терминал. Для согласования типов данных в виртуальном приборе установлен дополнительный функциональный узел – запись в массив. На его входы подается пустой массив и сформированный цифровой сигнал. Итоговый массив поступает на терминал обмена данными с DAQ-устройством, после чего на ШИМ-преобразователь, установленный на плате.

В левой нижней части блок-схемы установлены еще два терминала обмена данными, на них поступает информация о состоянии переключателей Brake и Direction на лицевой панели. Сигнал с переключателя Brake поступает на терминал состояния

цикла While (в котором реализован алгоритм управления). Таким образом, переключатель Brake служит для остановки двигателя и завершения программы.

Получение сигнала с энкодера также осуществляется через терминал DAQ-assistant. Получаемый сигнал поступает на вход стандартного блока LabVIEW AMR.FREQ, позволяющий вычислять частоту аналогового сигнала. Выходная частота сигнала измеряется в герцах. Для вывода на лицевую панель реализована конвертация герц в обороты в минуту.

На графике, представленном на рис. 4, изображена зависимость скорости вращения двигателя от времени при подаче ШИМ-сигнала со 100% заполнением.

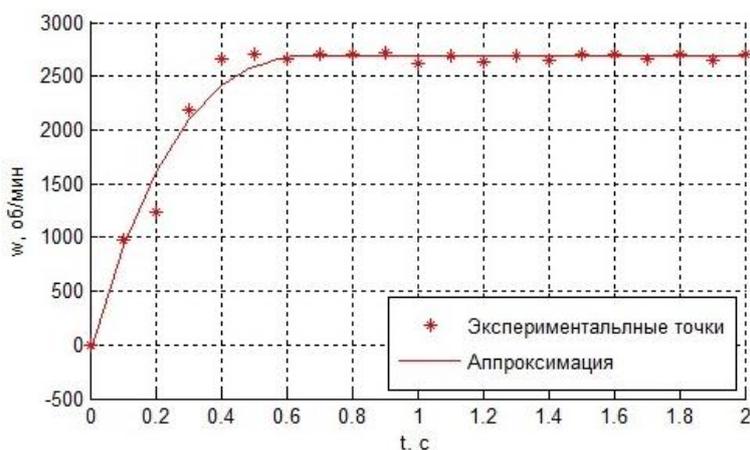


Рис. 4. Зависимость скорости вращения двигателя от времени

В ходе работы были проанализированы схемотехнические решения, использованные в лабораторном практикуме «Микропривод», составлена электрическая принципиальная схема макета и выделены схемотехнические решения, отвечающие за управление двигателем. Разработанный виртуальный прибор осуществляет формирование цифрового ШИМ-сигнала, управление ДПТ, а также вычисление скорости вращения вала двигателя на основе данных, получаемых с оптического энкодера. В дальнейшем на основе полученных результатов планируется разработка виртуального прибора, позволяющего реализовывать и исследовать различные современные алгоритмы управления ДПТ.

Литература

1. Усольцев А.А. Электрические машины. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 415 с.
2. Pillai B., Nair K.T. Intelligent Adaptive Controller for DC Servo Motor Position Control in LabVIEW // International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT). – 2017. – P. 981–985.
3. Bacac N., Slukic V., Puškaric M., Štih B., Kamenar E., Zelenika S. Comparison of different DC motor positioning control algorithms // MIPRO. – 2014. – P. 1895–1900.
4. «Передовые технологии» – инновационное учебное оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adv-techno.ru/upload/iblock/efb/efb806254f74a963e0b482676024e9f8.pdf> (дата обращения: 02.04.2019).
5. Ключев А.О., Ковязина Д.Р., Кустарев П.В., Платунов А.Е. Аппаратные и программные средства встраиваемых систем. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.

Козлов Глеб Константинович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3325Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: gleb.kozlov.98mail.ru

Резников Станислав Сергеевич

Год рождения: 1981

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент

e-mail: reznikov@mail.ifmo.ru

УДК 004.896

БИОМЕХАТРОННОЕ УСТРОЙСТВО – ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ РУКА**Козлов Г.К.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Резников С.С.**

В работе описана разработка антропоморфного манипулятора низкой стоимости с пятью приводами, которые через тросовую систему коммутации приводит в движение фаланги пальцев и обеспечивает захват предмета. Разгибание пальцев осуществляется с помощью упругих рекуперационных элементов. Для уменьшения диссипации энергии в сочленении фаланг применены шарикоподшипники.

Ключевые слова: антропоморфный манипулятор, биомехатроника, низкая стоимость, 3D-печать, схват.

Введение. Антропоморфная робототехника начала развиваться в 70-х годах XX века. Уже тогда появилась идея о создании робота, конструкция которого позволит ему максимально точно копировать движения человека и выполнять за него большой объем физической работы, требующей высокой концентрации и точности движений. Для выполнения таких задач необходимо оснастить роботов манипуляторами, подобными человеческим рукам.

Самым известным существующим антропоморфным манипулятором является разработка ученых Вашингтонского университета Чже Сюй и Эмануэля Тодорова [1], изображенная на рис. 1, а. В ходе работы были отсканированы кости человеческой кисти, распечатаны на 3D-принтере, после чего скреплены материалами, близкими по своим свойствам к человеческим сухожилиям и связкам.

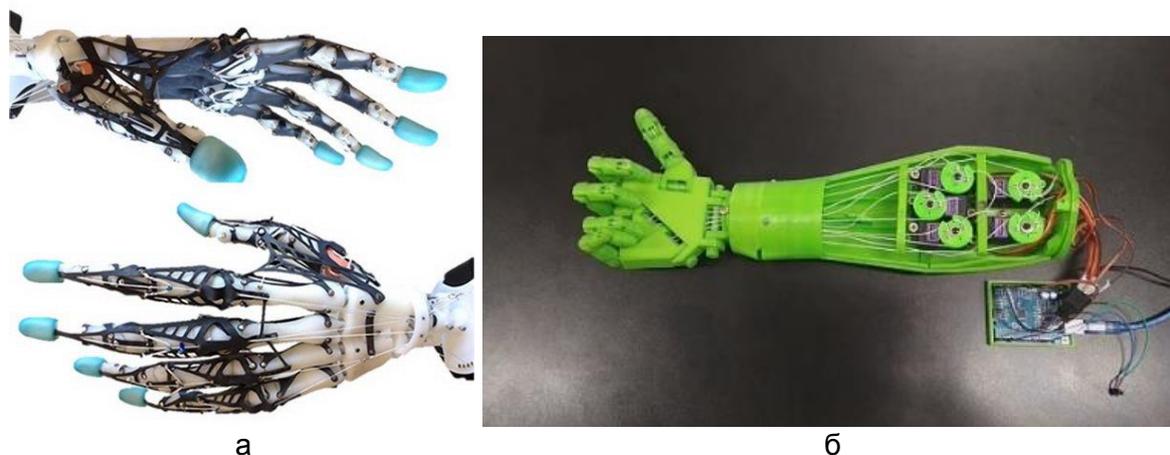


Рис. 1. Манипулятор, разработанный в Вашингтонском университете (а); манипулятор антропоморфного робота InMoov (б)

Однако для создания такой точной модели человеческой руки используется 10 приводов, что делает крайне сложным практическое использование данного устройства ввиду его больших габаритных размеров, а также высокой массы.

Другой известный существующий манипулятор – рука робота InMoov [2], изображенная на рис. 1, б. Ее конструкция уже значительно проще предыдущей. В сочленении фаланг используются штифты, в результате чего возникает значительное трение. Для сгибания и разгибания каждого пальца используется по одному приводу, это приводит к отсутствию возможности контролировать очередность сгиба фаланг.

Конструкция разработанного манипулятора, описанного в работе, позволяет менять очередность сгибания фаланг, что позволяет подстраивать хват под предметы различного размера и формы. Также особенности описываемого технического решения позволяют уменьшить паразитную нагрузку на приводы.

Основная часть. Целью работы являлась разработка антропоморфного манипулятора низкой стоимости, способного выполнять простейшие захватные движения. Для выполнения подобной задачи по ряду причин было принято решение использовать 3D-печать. Во-первых, с ее помощью можно быстро изготавливать детали сложной формы, во-вторых, полученные детали имеют малую массу, в-третьих, технология 3D-печати стала очень популярна в последнее время и продолжает развиваться, что делает возможным изготовление данного манипулятора везде, где есть 3D-принтер.

Концевые фаланги всех пальцев изготавливаются цельными деталями. На рис. 2, а, представлена концевая фаланга указательного и безымянного пальцев. Отверстие, расположенное снизу, предназначено для размещения внутри него шарикоподшипника. Отверстия на внутренней стороне предназначены для продевания в них лески, играющей роль сухожилий, а крючок на внешней стороне используется для крепления на нем упругого элемента, симулирующего мышцы-разгибатели.

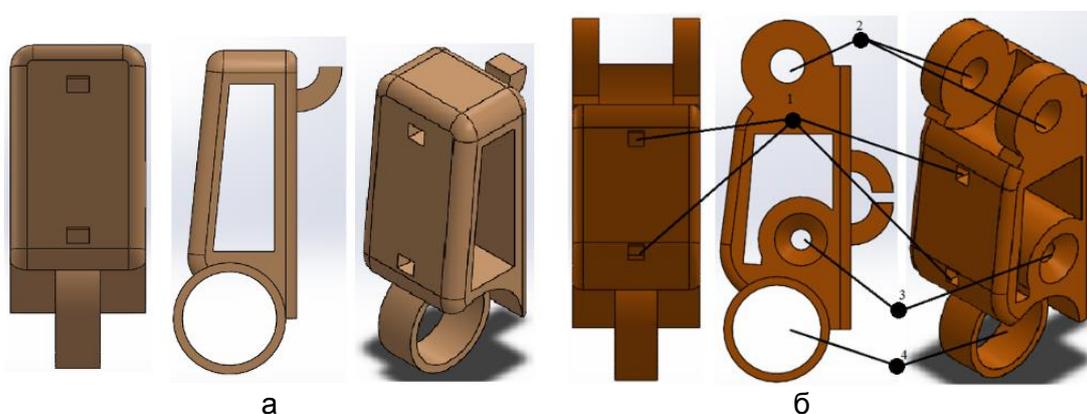


Рис. 2. 3D-модели: концевой фаланги безымянного и указательного пальцев (а); второй фаланги с обозначениями (б)

На рис. 2, б, изображена вторая фаланга безымянного/указательного пальца, на которой цифрами обозначены:

1. отверстия, через которые проходит леска;
2. отверстия, через которое проходит вал, соединяющий вторую фалангу с первой;
3. отверстие для самореза, обеспечивающего надежное скрепление деталей при сборке;
4. отверстие, предназначенное для подшипника.

Вторые и третьи фаланги всех пальцев (кроме третьей фаланги большого пальца) состоят из двух деталей, изготавливаемых отдельно. Это позволяет значительно уменьшить количество поддержки при печати, а также повысить удобство сборки

готового изделия. Способ сборки указан на рис. 3, а. Для этого необходимы следующие элементы крепежа:

- винт М3х16;
- шайба гровер М3;
- шайба М3;
- гайка М3;
- саморез 2,5х16;
- подшипник 1000093.

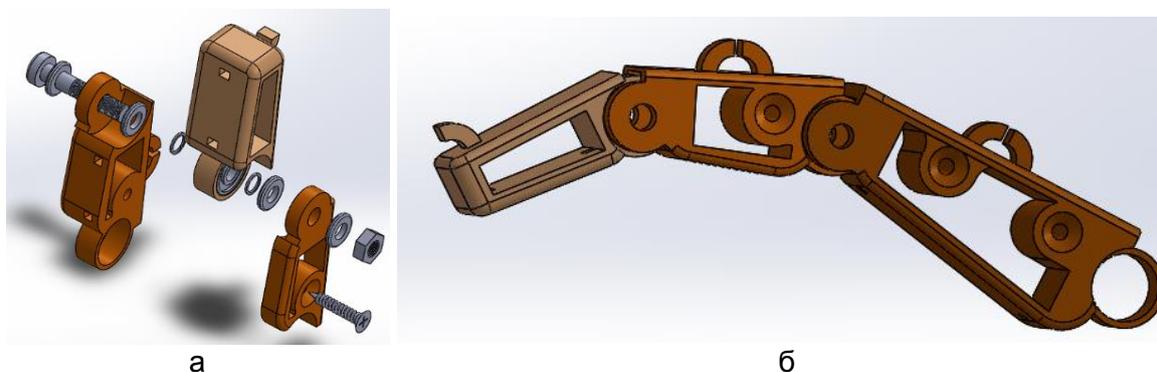


Рис. 3. Способы сборки: второй фаланги (а); указательного/безымянного пальца (б)

Безымянный/указательный палец был собран в программе SolidWorks. Результат работы представлен на рис. 3, б (крепежные элементы отсутствуют).

Закрепление пальцев на ладони осуществляется при помощи специальных деталей, изображенных на рис. 4. Их передняя часть конструктивно повторяет переднюю часть второй и третьей фаланг, а с противоположной стороны они имеют прорезь для выхода лески, использующейся в качестве сухожилий.

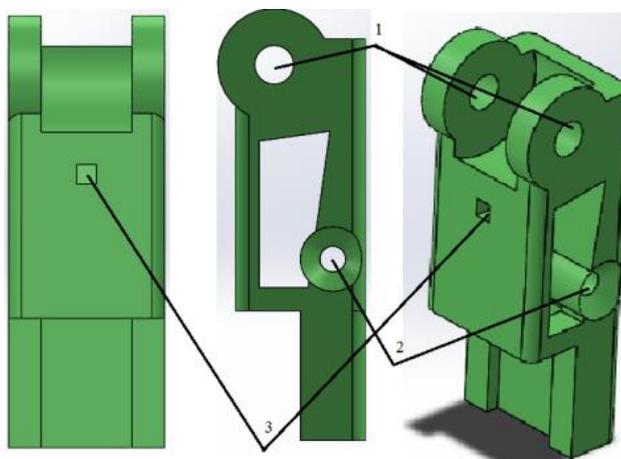


Рис. 4. Крепление пальца к ладони: 1 – отверстия, в которых располагается вал, соединяющий деталь с третьей фалангой; 2 – отверстие для самореза, обеспечивающего надежное соединение составных элементов детали; 3 – отверстие через которое проходит леска

Ладонь изготавливается из четырех частей, что значительно облегчает установку пальцев и осуществление конечной сборки изделия. Чертеж в программе SolidWorks, а также изготовленный образец представлены на рис. 5, где цифрами обозначены важные элементы.

Для осуществления сгибания пальцев используются сервоприводы MG995, которые через леску толщиной 0,3 мм приводят их в движение. Леска проходит по каналам 2 (рис. 5), а затем через отверстия 3 на рис. 6 и 1 на рис. 2, б, проходят до первой фаланги пальцев.

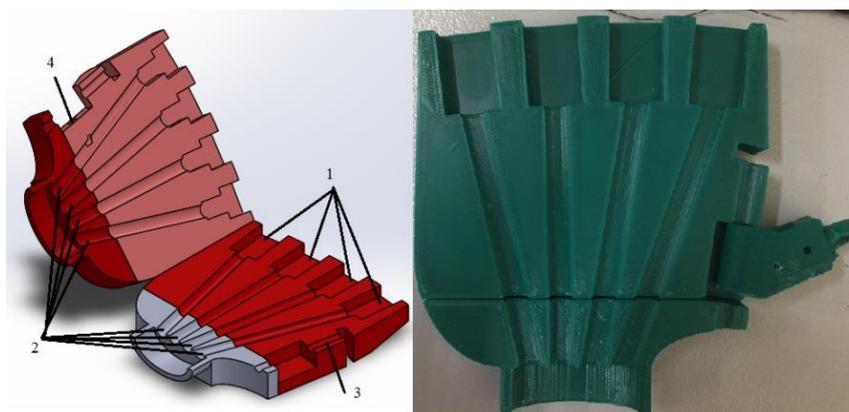


Рис. 5. Сборка ладони в развернутом виде и нижняя часть ладони, распечатанная на 3D-принтере; 1 – выточки, в которые вставляются крепления пальцев; 2 – канавки, по которым проходит леска; 3 – канавка, в которую вставляется болт-ось для большого пальца; 4 – канавка, через которую проходит леска от большого пальца

Для разгибания пальцев используются упругие элементы (резинки). Такое решение позволяет получить эффективную имитацию мышц-разгибателей. Также, меняя количество резинок, можно регулировать очередность сгибания фаланг, что позволяет подстраивать манипулятор под захват предметов различной формы и размера.



Рис. 6. Изготовленный и собранный макет ладони и 3D-модель ладони в SolidWorks

Корпус предплечья, изображенного на рис. 7, а, состоит из шести деталей, одна из которых предназначена для направления лески в предназначенные для нее отверстия в ладони. В передней части предплечья к лескам крепятся упругие элементы, обеспечивающие натяжение лески относительно катушек, установленных на сервоприводах, при сгибании пальцев сторонними силами.

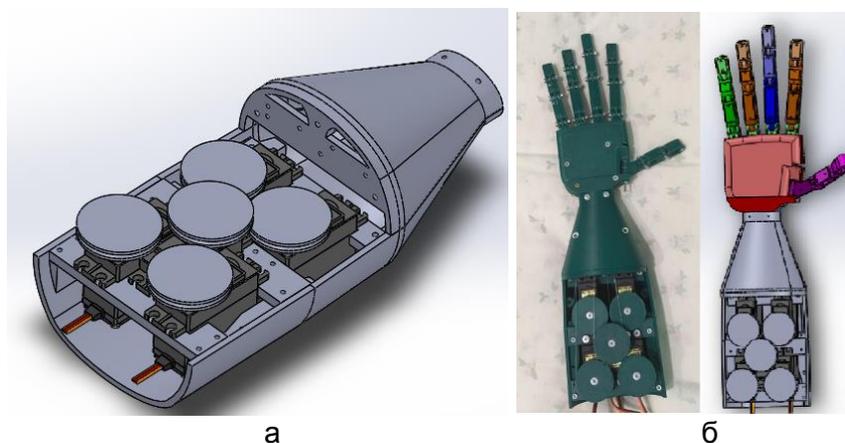


Рис. 7. Предплечье без верхней крышки (а); изготовленный макет и его сборка в SolidWorks (б)

Несмотря на такую простую конструкцию и недорогие материалы, используемые при изготовлении макета, манипулятор способен выполнять захват предметов различной формы и объема (рис. 8).



Рис. 8. Возможности схвата манипулятора

Заключение. Разработанный манипулятор имеет низкую себестоимость и высокую степень технологичности. Наличие подшипников позволяет уменьшить расход мощности приводов на преодоление сил трения. Упругие элементы, используемые в качестве мышц-разгибателей, позволяют изменять очередность сгиба фаланг, путем варьирования их количества и характеристик. В данный момент ведется работа над запястным узлом, а также над повышением функциональности большого пальца.

Литература

1. Xu Z., Todorov E. Design of a highly biomimetic anthropomorphic robotic hand towards artificial limb regeneration // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2016. – P. 3485–3492.
2. Valencia N.O. et al. Movement detection for object tracking applied to the InMoov robot head // XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA). – 2016. – P. 1–6.

Колесников Михаил Владимирович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3475Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: kmv@itmo.ru

Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.

e-mail: myafanasyev@itmo.ru

УДК 004.3**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ****Колесников М.В.****Научный руководитель – к.т.н. Афанасьев М.Я.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Работа направлена на разработку устройства, объединяющего в промышленную сеть оборудование с различными интерфейсами для последующего мониторинга состояния и взаимодействия, а также описана методология разработки устройств промышленного интернета вещей. В результате работы сформировано последовательное описание всех этапов производства устройств промышленного интернета вещей, предложена методология разработки устройств с возможностью удаленного обновления и с применением концепции открытого исходного кода и проектных материалов с целью облегчения последующего внедрения на производстве. Разработана технология получения корпусных изделий из унифицированных наборных элементов.

Ключевые слова: интернет вещей, промышленный интернет вещей, информационные системы, киберфизические системы, технологии приборостроения, технологии программирования микроконтроллеров, технологии проектирования в САПР-системах.

Одним из наиболее ожидаемых событий в современном мире является повсеместное внедрение киберфизических систем. Подобным изменениям подвергнутся все без исключения аспекты жизни человека, однако наибольшее влияние будет оказано на подходы к построению будущих промышленных систем. Немаловажным компонентом на пути построения современного производства и его цифровизации является применение устройств интернета вещей, именуемого в контексте производственных процессов промышленным интернетом вещей или Industrial Internet of Things (сокр. IIoT). Несмотря на все положительные качества применения технологий IIoT, на текущем этапе развития наблюдается малая внедряемость. Подробное описание методологии разработки и внедрения средств IIoT, а также применение принципов открытого исходного кода и проектных материалов позволит снизить стоимость и сложность процесса внедрения, позволив современным предприятиям сделать существенный шаг вперед на пути к автоматизации своих процессов [1–5].

В рамках данного исследования разработан программно-аппаратный комплекс IIoT, объединяющий в промышленную сеть оборудование, устройства мониторинга состояния и прочие компоненты промышленной системы с целью повышения ее уровня автоматизации.

В структуру разрабатываемого комплекса входит интеллектуальный контроллер PoT с цифровым матричным индикатором, CAN-шиной для подключений периферийных устройств, модулем часов реального времени, имеющий возможность подключения к сети Wi-Fi, а также облачная база данных с собственным API (Application Programming Interface) для обработки, хранения и обмена данными между устройствами.

Научная новизна работы заключалась в следующем:

1. сформировано актуальное последовательное описание всех этапов разработки и производства устройств PoT;
2. предложена методология разработки устройств с применением принципов открытого исходного кода и проектных материалов с целью облегчения последующего внедрения на производстве;
3. предложена технология разработки корпусных изделий из унифицированных наборных элементов.

Практическая значимость работы заключалась в том, что представленный подход к разработке устройств сократит расходы на разработку и внедрение элементов PoT в киберфизические системы. Упростит цифровизацию производств и позволит малым предприятиям без собственных профессиональных бюро конструкторской разработки и отдела разработки программного обеспечения для микроконтроллеров использовать сформулированные подходы к разработке, избегая систем с закрытым исходным кодом и проектными материалами, требующими перестроения существующих бизнес-процессов и производственных процессов под готовые продукты.

Первым этапом было произведено изучение общей концепции интернета вещей и промышленного интернета вещей, после чего был произведен экономический анализ данного сегмента и изучены существующие компании и проекты. В этот перечень попали как крупные зарубежные проекты, так и отечественные проекты мониторинга.

В результате проведенного анализа были сформированы основные требования и методики, которых необходимо придерживаться в процессе разработки универсальных устройств PoT, среди которых:

- наличие многоуровневой структуры;
- поддержка актуальных протоколов;
- поддержка актуальных интерфейсов;
- обеспечение достаточной автономности;
- ведение контроля и корректировки времени;
- обеспечение безопасности и отказоустойчивости.

Кроме этого, рекомендовано придерживаться максимальной простоты в конструкции устройства, повышать информационную избыточность, разделять и распределять задачи между компонентами, применять стандартные компоненты и методики, обеспечивать возможность обновления и придерживаться открытости исходных материалов.

В процессе работы подробно описан процесс разработки интеллектуального контроллера, а именно:

- анализ и выбор микроконтроллера;
- разработка печатной платы;
- программирование основного функционала микроконтроллера;
- проектирование и изготовление корпуса;
- монтаж печатной платы и сборка интеллектуального контроллера;
- тестирование.

При выборе ядра для разрабатываемого интеллектуального контроллера были проанализированы варианты построения системы с использованием микрокомпьютеров и микроконтроллеров на базе различных микропроцессоров.

Отличительной особенностью микроконтроллеров является наличие помимо процессорного ядра набора вспомогательных и периферийных устройств, позволяющих микроконтроллеру быть самодостаточным при выполнении большинства задач. Выбор микроконтроллера в качестве основы устройства позволяет минимизировать временные и трудовые затраты на формирование схемотехнической архитектуры устройства при его разработке. При выборе микроконтроллера стоит учитывать основные особенности его архитектуры, а именно: разрядность, тактовую частоту, объем flash-памяти, наличие требуемых периферийных устройств, портов и поддерживаемых интерфейсов, энергопотребление, а также такие немаловажные факторы как актуальность, доступность на рынке и уровень поддержки как разработчиком, так и сообществом.

Среди проанализированных вариантов рассматривались:

1. Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B (на базе ARM Cortex-A53);
2. Микрокомпьютер Raspberry Pi Zero (на базе ARM11);
3. Микроконтроллер Arduino Uno (на базе ATmega328p);
4. Микроконтроллер Arduino Nano 3.0 (на базе ATmega328p);
5. Микроконтроллер Arduino Micro Pro (на базе ATmega32u4);
6. Микроконтроллер NodeMCU v3 (на базе ESP-12E);
7. Микроконтроллер ESP32S (на базе ESP32-WROOM32);
8. Микроконтроллер DFRobot firebeetle ESP32 (на базе ESP32-WROOM32);
9. Микроконтроллер STM32F103C8T6 (на базе AEM STM32).

Данные варианты имеют сильную поддержку со стороны разработчиков и сообщества – в сети Интернет можно быстро найти необходимые библиотеки для работы с теми или иными модулями и интерфейсами, что значительно ускоряет процесс разработки.

При разработке интеллектуального контроллера для IoT было принято решение о применении в основе устройства микроконтроллера NodeMCU v3 на базе ESP-12E, модификации чипа ESP8266EX. Данный микроконтроллер имеет возможность подключения к беспроводной сети Wi-Fi 2.4GHz (802.11 b/g/n) и последующего взаимодействия с внешними устройствами или веб-сервисами. Его основными особенностями являются наличие встроенного модуля работы с беспроводными сетями Wi-Fi, одновременная поддержка интерфейсов SPI и I2C, наличие flash-памяти объемом 4МБ, возможность программирования через USB-Micro разъем благодаря чипу CH340, а также дешевизна и малые габаритные размеры.

После выбора микроконтроллера был разработан прототип печатной платы, на которой впоследствии был произведен монтаж электронных компонентов. Структура разрабатываемого устройства включает в себя:

- печатную плату;
- микроконтроллер NodeMCU v3 (ESP-12E);
- модуль часов реального времени RTC (DS1307);
- модуль соединения с CAN-шиной (MCP2515);
- 4 модуля светодиодного матричного дисплея 8×8 (MAX7219);
- фоторезистор (GL5528).

В первую очередь была произведена разработка прототипа интеллектуального контроллера с индикатором (рис. 1), в основе которого лежит использование микроконтроллера, матричного дисплея и модуля часов реального времени на макетной плате. Впоследствии в конструкцию устройства был добавлен модуль соединения с CAN-шиной для работы с подключаемым по данному интерфейсу оборудованием.

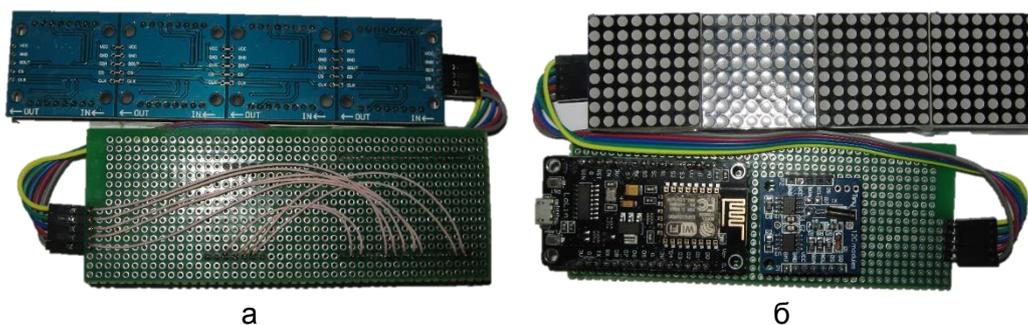


Рис. 1. Прототип устройства на макетной плате: вид снизу (а); вид сверху (б)

В среде проектирования OrCAD была разработана полноценная печатная плата для интеллектуального контроллера. Разработка печатных плат может быть также произведена и в других пакетах программного обеспечения для проектирования печатных плат, таких как Altium Designer, KiCAD, Eagle, DesignSpark PCB, ExpressPCB, SprintLayout и многих других. В результате проектирования платы в среде OrCAD был получен файл с расширением .gbr (gerber), который был использован для производства.

Программирование микроконтроллера производилось в среде разработки Arduino IDE v1.8.8. Для программирования в среде Arduino IDE используется язык программирования Arduino, построенный на базе языков программирования C и C++. Компиляция кода после первичных преобразований производится при помощи компилятора C/C++. Все поддерживаемые библиотеки также написаны на C/C++.

В процессе разработки производилось программирование следующего основного функционала:

1. подключение к сети Wi-Fi и поддержание соединения;
2. отправка HTTP-запросов с использованием API разработанного веб-сервиса, получение ответа и его обработка;
3. отправка и получение данных с CAN-шины модулем MCP2515;
4. вывод информации на матричный дисплей MAX7219;
5. запись и чтение времени с модуля часов DS1307;
6. формирование веб-интерфейса (HTML);
7. реализация удаленного обновления прошивки OTA.

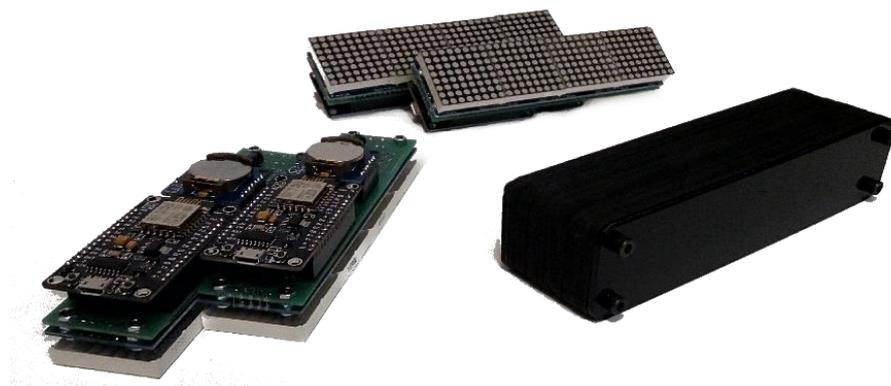


Рис. 2. Фотография нескольких прототипов

После формирования требований к дизайну, конструкции и оснащению интеллектуального контроллера было принято решение об изготовлении корпуса из наборных панелей. Данная конструкция является перспективной, несмотря на то, что не использовалась ранее в радиоэлектронной аппаратуре, вычислительных устройствах и других сферах приборостроения. Такой подход позволяет изготовить из листовых материалов с необходимой толщиной корпус широкого спектра форм посредством комбинирования различных панелей (рис. 2). При производстве корпусов простой

формы возможно достижение унификации большей части наборных панелей. Так, в процессе разработки корпуса было получено 13 наборных панелей, 10 и 3 из которых соответственно являются унифицированными. Сборка данного типа корпусов может производиться на клеевое неразборное соединение, а также разборное соединение посредством стандартных крепежных изделий.

Стоит также отметить, что сборка такого изделия может производиться без дополнительной обработки и подгонки.

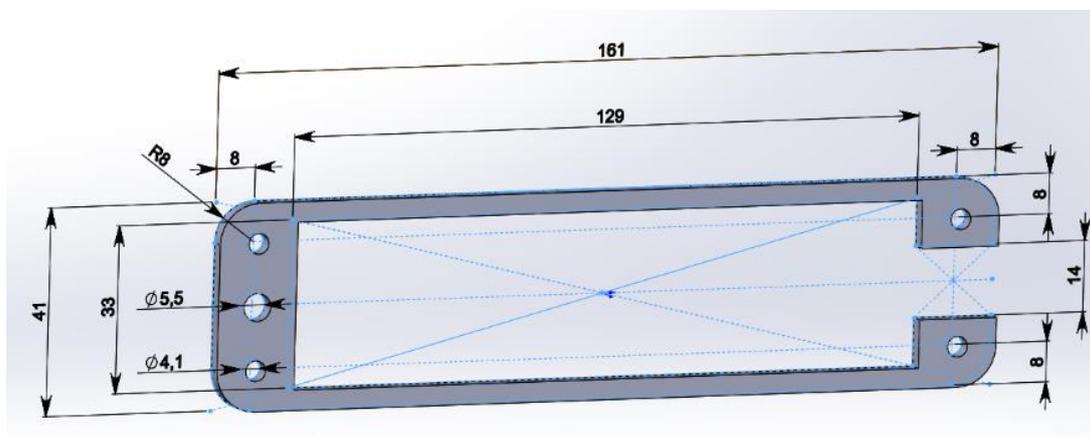


Рис. 3. 3D-модель панели корпуса с вырезом

Проектирование корпуса производилось в CAD-системах SolidWorks 2017 и КОМПАС-3D v17 (рис. 3). На рынке доступно большое разнообразие систем автоматизированного проектирования (САПР), каждая из которых обладает своими особенностями. Наибольшей популярностью помимо вышеобозначенных пользуются AutoCAD, CATIA, NX, SolidEdge и др.

В качестве основного материала был выбран листовой вспененный поливинилхлорид, обработка которого производилась на фрезерном станке с числовым программным управлением. Фронтальная и задняя части устройства выполнены из затемненного акрила с коэффициентом светопропускания 15%, обработка которого производилась на лазерном режущем станке (рис. 4).



Рис. 4. Фотография работы интеллектуального контроллера с индикацией

В результате выполнения данной работы было проведено исследование концепций интернета вещей и промышленного интернета вещей. Сформулированы актуальные методики и технологии, применяемые в рамках IoT на современных предприятиях, сформированы требования к разрабатываемым устройствам IoT, разработан интеллектуальный контроллер и подробно описана методология разработки устройств IoT, разработана технология изготовления корпусов устройств и радиоэлектронной аппаратуры.

Применение разработанного устройства в данный момент не позволяет взаимодействовать с любыми объектами, что связано с ограничением использования

специального типа портов и определенных стандартов. В перспективе возможно улучшение устройства посредством добавления использования других стандартов и увеличения количества используемых портов и их типов. Это позволит сделать устройство более гибким, например, по отношению к устаревающему оборудованию.

Собираемые данные в дальнейшем можно использовать для анализа протекающих на производстве процессов, что, в свою очередь, можно использовать для оптимизации производств по различным критериям.

Литература

1. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь. – М.: Альпина Паблишер, 2016. – 188 с.
2. Куприяновский В.П. и др. Интернет Вещей на промышленных предприятиях // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – № 12. – С. 69–77.
3. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // *Future generation computer systems*. – 2013. – V. 29. – № 7. – P. 1645–1660.
4. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises // *Business Horizons*. – 2015. – V. 58. – № 4. – P. 431–440.
5. Tsiatsis V. et al. *Internet of Things: Technologies and Applications for a New Age of Intelligence*. – Academic Press, 2019. – 390 p.

Косарева Екатерина Андреевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3135Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: ksrve@mail.ru

Зенкин Артемий Михайлович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3435Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: a.zenkin@corp.ifmo.ru

Пачковский Константин Андреевич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3442Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: k.pachkouski@corp.ifmo.ru

Жидков Артемий Андреевич

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3135Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: zhidkov2846@gmail.com

Капитонов Александр Александрович

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.

e-mail: kapitonov.aleksandr@corp.ifmo.ru

УДК 623.746.-519**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ
ПО ТРАЕКТОРИИ, ЗАДАННОЙ КОНТРОЛЬНЫМИ ТОЧКАМИ****Косарева Е.А., Зенкин А.М., Пачковский К.А., Жидков А.А.****Научный руководитель – к.т.н. Капитонов А.А.**

В работе рассмотрена задача движения квадрокоптера по траектории, которая задана точками в пространстве. Была разработана система управления, основанная на пропорционально-интегрально-дифференцирующем регуляторе с оптимизацией с помощью метода градиентного спуска. Данная система предназначена для управления квадрокоптером в автоматическом режиме в случаях, когда невозможно использовать данные с GPS и ГЛОНАСС, и известна точная карта местности или здания. Проверка работоспособности системы управления была произведена в симуляторе Gazebo.

Ключевые слова: БПЛА, квадрокоптер, движение по траектории, управление движением, ПИД-регулятор.

Введение. В последние годы началось активное развитие нового класса небольших беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Наибольшую популярность получили четырехвинтовые БПЛА – квадрокоптеры. Среди основных преимуществ данных устройств можно выделить их компактность и простоту конструкции, и, соответственно, небольшой вес и высокую маневренность. Нельзя не отметить среди достоинств квадрокоптеров также автономность полета и способность переносить различные грузы на относительно большие расстояния.

Основной частью квадрокоптера является рама, центр которой служит для размещения датчиков, микроконтроллера, устройств питания и дополнительной нагрузки. На концах рамы расположены четыре микроэлектродвигателя, одна пара которых вращается по часовой стрелке, а другая – против. Такая конструкция предусматривает наличие передней и задней частей, относительно которых сориентировано движение БПЛА. Современное применение квадрокоптеров очень разнообразно: от использования для фото- и видеосъемки, доставки легких грузов и развлечения до применения данных аппаратов в задачах мониторинга местности, в поисково-спасательных операциях, а также для работы в труднодоступных районах, в условиях, непригодных для человека.

Основной проблемой робототехники является движение от точки до точки. Чаще всего для решения данной задачи на квадрокоптерах применяют пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор) на основе визуальной навигации [1]. Данный алгоритм прост в реализации, но наибольшую трудность составляет настройка параметров. В данной работе рассмотрена система управления квадрокоптером, реализующая полет по контрольным точкам в автоматическом режиме. Настройка коэффициентов происходит во время полета с помощью метода численной оптимизации – градиентного спуска.

Закон управления. Несмотря на технологический прогресс ПИД-регулятор (рис. 1) остается наиболее популярным законом управления и используется во многих сферах. Это обусловлено тем, что ПИД-регулятор прост в понимании и реализации. Регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трех слагаемых: пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

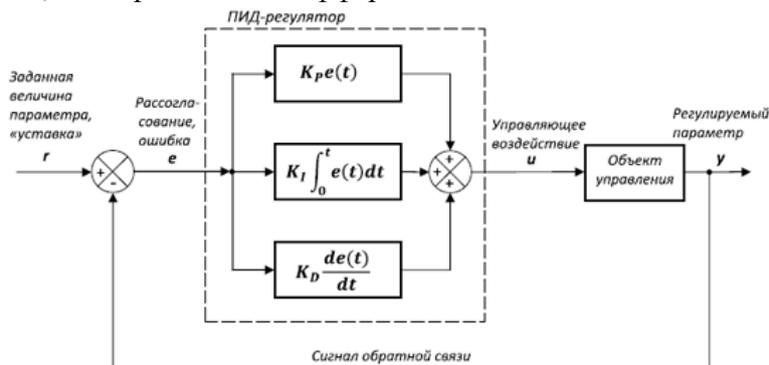


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая принцип работы ПИД-регулятора

Пропорциональная составляющая дает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения. Интегральная составляющая пропорциональна интегралу сигнала рассогласования, и ее основное назначение – устранить смещение. Дифференциальная составляющая пропорциональна производной отклонения регулируемой величины и используется для ускорения реакции или стабилизации системы. Общая функция управления может быть математически выражена как:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} .$$

Настройка параметров регулятора. Несмотря на то, что ПИД-регулятор прост в реализации, важную роль играет настройка его параметров, которая чаще всего вызывает наибольшие трудности. Эта настройка зависит от состава системы, характеристик ее частей, от решаемой задачи.

На сегодняшний день существуют следующие методы настройки параметров регулятора:

- интуитивный (один из способов предложен в [2]);
- аналитический (к ним относятся формульные методы Зиглера–Никольса [3], CHR [4]);
- характеристический;
- метод оптимизации.

В последние годы получили развитие и распространение численные методы оптимизации. Они являются гибким инструментом для оптимальной настройки параметров регулятора для моделей любой сложности и позволяют быстро достичь конечного результата.

В данной работе был рассмотрен метод градиентного спуска, который подробно описан в работах [5, 6]. Градиентный спуск – это метод оптимизации нахождения минимального значения функции потерь, который широко используется для обучения искусственных нейронных сетей. Цель алгоритма – найти параметры модели (в данном случае параметры ПИД-регулятора), которые минимизируют погрешность модели в наборе обучающих данных. Это достигается путем внесения изменений в модель, которые перемещают ее вдоль градиента или наклона ошибок вниз к минимальному значению ошибки. Существуют три варианта градиентного спуска: пакетный («batch», GD), стохастический (SGD) и мини-пакетный («mini-batch», MB-GD).

Градиент обычно считается как сумма градиентов, вызванных каждым элементом обучения. Вектор параметров изменяется в направлении антиградиента с заданным шагом. Поэтому стандартному (пакетному) градиентному спуску требуется один проход по всем обучающим данным до того, как он сможет менять параметры.

В случае со стохастическим градиентным спуском вместо зацикливания на каждом примере обучения, авторами использован только один случайно выбранный элемент обучения. Таким образом, параметры модели изменяются после каждого объекта обучения. Для больших массивов данных стохастический градиентный спуск может дать значительное преимущество в скорости по сравнению со стандартным градиентным спуском.

Компромиссом между двумя методами является mini-batch, который и был использован в данной работе. В этом случае обрабатывается небольшой набор данных, вместо вычисления градиента из одной выборки (SGD) или всех n обучающих выборок (GD) вычисляется градиент из k обучающих выборок (обычный размер выборки: $k=50$).

Определяем целевую функцию, которую должны минимизировать:

$$Q(w) = \frac{1}{2} e(r, w)^2,$$

где e – отклонение регулируемой величины от заданного значения; r – заданное значение; $w = (Kp, Ki, Kd)$ – вектор параметров.

Тогда, исходя из определения метода градиентного спуска, представленного выше, можно получить формулу для нахождения неизвестных параметров:

$$w(k+1) = w(k) - \alpha \nabla Q(w),$$

где α – шаг метода (или коэффициент скорости обучения).

Получим, что при каждой итерации на количестве обучающих данных нужно выполнять:

$$\begin{bmatrix} Kp_{i+1} \\ Ki_{i+1} \\ Kd_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Kp_i \\ Ki_i \\ Kd_i \end{bmatrix} - \alpha \begin{bmatrix} \frac{dQ(w)}{dKp} \\ \frac{dQ(w)}{dKi} \\ \frac{dQ(w)}{dKd} \end{bmatrix}.$$

Заметим, что для того, чтобы параметры были оптимальными, следует выбрать подходящие коэффициент скорости обучения α , размер обучающей выборки и количество итераций.

Объект управления. В качестве объекта управления был выбран квадрокоптер AR.Drone 2.0 от французской компании Parrot. Выбор данного устройства обусловлен простым формированием команд управления, штатной автоматической системой стабилизации, взлета и посадки. Несмотря на то, что это относительно недорогой квадрокоптер, он содержит большое количество сенсоров и приборов, благодаря чему стал популярной платформой для научных и образовательных целей. Для управления AR.Drone был использован ноутбук с Ubuntu 16.04 LTS и ROS Kinetic [7]. Был установлен пакет `ardrone_autonomy` [8], для установления связи с квадрокоптером через Wi-Fi.

В качестве метода позиционирования квадрокоптера в пространстве был выбран метод визуальной навигации. Был установлен пакет `tum_ardrone`, который использует Parallel Tracking and Mapping (PTAM) [9], для визуального отслеживания квадрокоптера и Extended Kalman Filter [10] для объединения всех данных. Для симуляции в Gazebo был установлен пакет `tum_simulator`.

Результаты. В результате выполнения данной работы была создана система управления полетом квадрокоптера по траектории, заданной контрольными точками, с осуществлением оптимизации на основе метода градиентного спуска. Программа для решения поставленной задачи была написана на языке программирования C++ и интегрирована в ROS.

Были подобраны оптимальные коэффициент скорости обучения α , размер обучающей выборки и количество итераций. Система управления была проверена в симуляторе Gazebo (рис. 2–4). Ошибка достижения контрольных точек при полете по траектории была не более 3%.

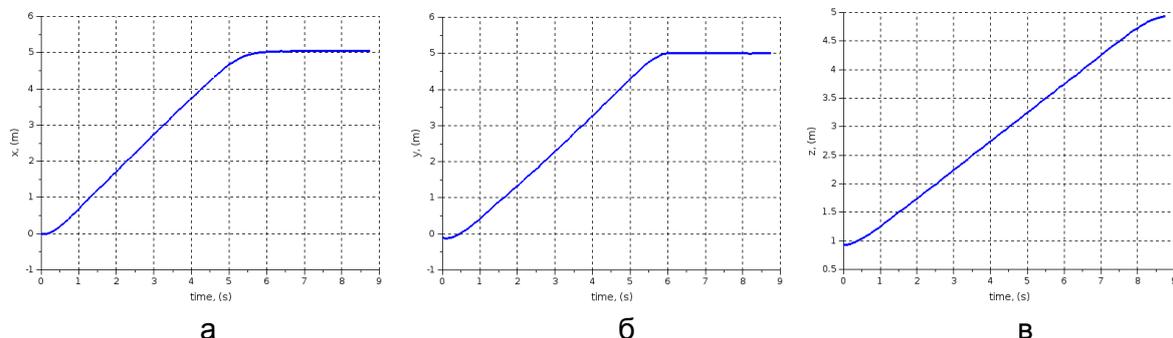


Рис. 2. Движение квадрокоптера в точку с координатами (5,0; 5,0; 5,0). Зависимость координаты x (а), y (б) и z (в) от времени

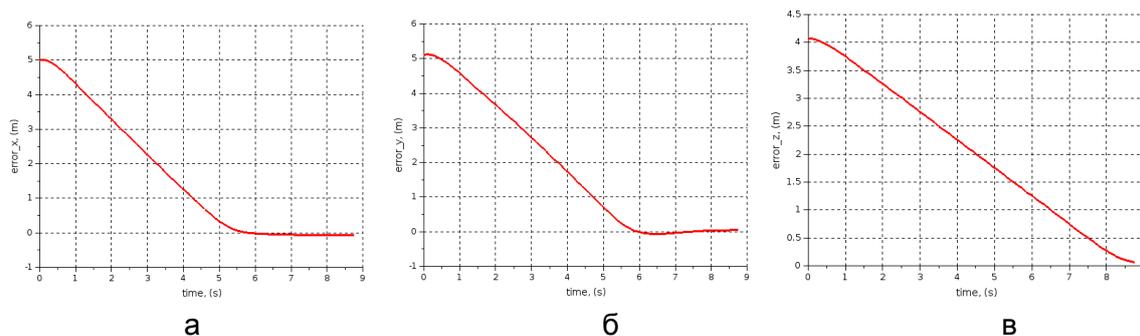


Рис. 3. Движение квадрокоптера в точку с координатами (5,0; 5,0; 5,0). Зависимость ошибки по координате x (а), y (б) и z (в) от времени

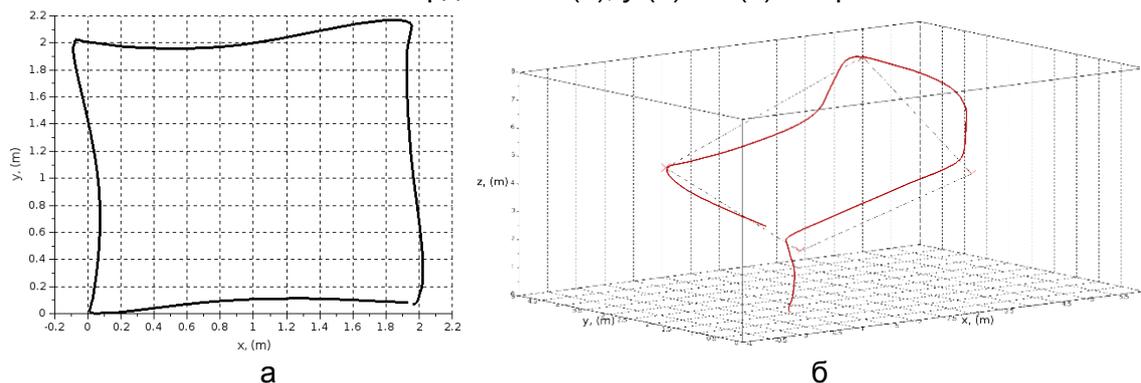


Рис. 4. Траектории движения квадрокоптера по квадрату со стороной 2 м (а) и по точкам (0,0; 0,0; 3,0) (3,0; 0,0; 5,0) (5,0; 5,0; 7,0) (0,0; 3,0; 5,0) (0,0; 0,0; 3,0) (б)

Заключение и дальнейшая работа. В данной работе была рассмотрена система управления квадрокоптером на основе ПИД-регулятора с оптимизацией параметров с помощью метода градиентного спуска. Алгоритм показал неплохие результаты: небольшая ошибка достижения контрольных точек и оптимальное время полета. В дальнейшем планируется использовать другие модификации метода градиентного спуска для достижения лучших результатов.

Литература

1. Engel J., Sturm J. and Cremers D. Scale-Aware Navigation of a Low-Cost quadcopter with a Monocular Camera // *Robotics and Autonomous Systems*. – 2014. – V. 62(11). – P. 1646–1656.
2. Astrom K.J., Hagglund T. *Advanced PID control*. ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2006. – 460 p.
3. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. – *Trans. ASME*. – 1942. – V. 64. – P. 759–768.
4. Chien K.L., Hrones J.A., Reswick J.B. On automatic control of generalized passive systems // *Trans. ASME*. – 1952. – V. 74. – P. 175–185.
5. Léon B. *On-line Learning in Neural Networks* // Cambridge University Press. – 1998. – P. 9–42.
6. An W., Wang H., Sun Q., Xu J., Dai Q., Zhang L. A PID Controller Approach for Stochastic Optimization of Deep Networks // *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2018. – P. 8522–8531.
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.ros.org> (дата обращения: 06.03.2019).
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardrone-autonomy.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 06.03.2019).

-
9. Klein G., Murray D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces // Proc. IEEE Intl. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). – 2007. – P. 225–234.
 10. Julier S.J., Uhlmann J.K. Unscented filtering and nonlinear estimation // Proceedings of the IEEE. – 2004. – V. 92(3). – P. 401–422.

Лахменев Алексей Сергеевич

Год рождения: 1993

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала

С.О. Макарова, институт водного транспорта, аспирант

Направление подготовки: 13.06.01 – Электро- и теплотехника

e-mail: alakhmenev@gmail.com

Саушев Александр Васильевич

Год рождения: 1953

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала

С.О. Макарова, институт водного транспорта, д.т.н., доцент

e-mail: saushev@bk.ru

УДК 629.5

**КОНФИГУРАЦИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ, ИМЕЮЩЕЙ ГИБРИДНЫЙ
СПОСОБ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ****Лахменев А.С.** (Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова)**Научный руководитель – д.т.н., доцент Саушев А.В.**

(Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова)

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка методов автоматизированного проектирования, управления и технической эксплуатации электротехнических устройств и систем объектов водного транспорта».

Рассмотрены основные вопросы исследования алгоритмов управления системы передвижения робототехнической платформы. Предложена функциональная схема системы передвижения мобильной робототехнической платформы. Изложены различные способы передвижения платформы. Представлены графики угловых перемещений колесно-шагающих манипуляторов.

Ключевые слова: мобильная робототехническая платформа, система передвижения, система управления, математическая модель, колесно-шагающий манипулятор.

В настоящее время применение мобильных робототехнических комплексов постоянно растет. Особенно это прослеживается из соображений надежности (непрерывное и надежное выполнение монотонных задач, таких как наблюдение), доступности (осмотр участков, недоступных для человека) или стоимости. Мобильная робототехника практически бессмысленна без умения ориентироваться. Для большинства научных или промышленных задач требуется умение в автономном режиме быстро ориентироваться в окружающей местности и адаптироваться под быстроменяющиеся воздействия. В данной работе уделено особое внимание разработке и исследованию робототехнических комплексов с высокой приспособленностью к неровным поверхностям [1, 2].

В работе были рассмотрены основные виды конфигурации мобильной робототехнической платформы (МРП). Произведен тщательный анализ каждого из ее видов. Используя программное обеспечение (ПО) RoboAnalyzer, были получены начальные и конечные координаты положения манипулятора колеса для каждой рассмотренной конфигурации. С помощью данных координат можно построить адекватную математическую модель, что позволит с точностью выполнить переход от одной конфигурации к другой. Далее представлено моделирование двух процессов развертывания МРП: преодоление поперечного уклона в 30° и максимальный клиренс.

Конфигурация «преодоление поперечного уклона в 30° » обеспечивает беспрепятственное прохождение МРП подъемов и спусков. Данная конфигурация представляет собой вращение двух двухзвенных манипуляторов таким образом, чтобы на протяжении подъема или спуска основное тело МРП было параллельно горизонтальной поверхности. Модель МРП в конфигурации «преодоление поперечного уклона в 30° » представлена на рис. 1.

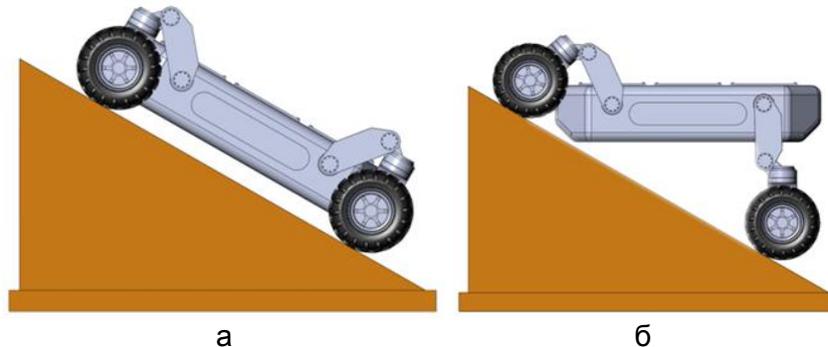


Рис. 1. Модель МРП в конфигурации «преодоление поперечного уклона в 30° »: начальное положение МРП (а); конечное положение МРП (б)

Для моделирования движения МРП по данной конфигурации воспользовались ПО RoboAnalyzer. В своей реализации RoboAnalyzer принимает параметры ДН (параметры Denavit и Hartenberg) двухзвенного манипулятора с вращающимися суставами. Для упрощения представим МРП как совокупность двух двухзвенных манипуляторов с вращающимися суставами.

За начальные координаты положения манипулятора колеса были приняты такие, при которых МРП находилась в номинальном положении. За номинальное положение принимаем такое положение, при котором основное тело тележки расположено параллельно опорной поверхности. С помощью параметров моделирования был произведен анализ кинематики (FKin). На основе данного анализа были получены конечные координаты положения манипулятора колеса. Графики угловых перемещений звеньев манипулятора колес представлены на рис. 2.

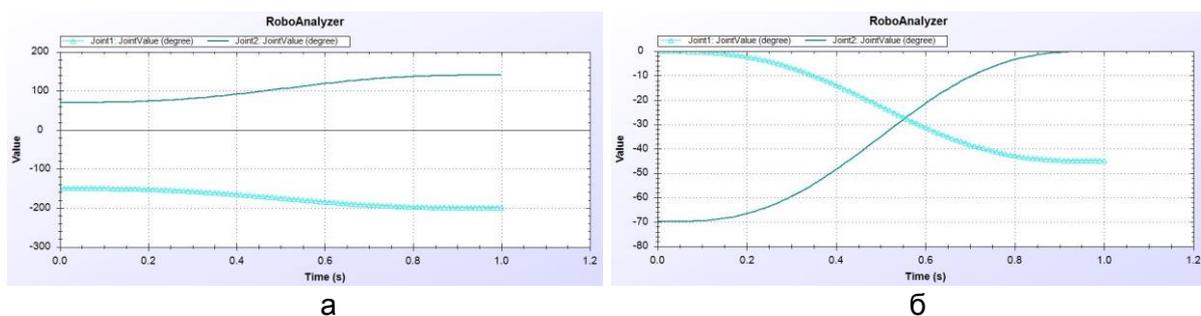


Рис. 2. Угловые перемещения звеньев переднего (а) и заднего (б) правого и левого колес (Joint1 – первое звено, Joint2 – второе звено)

На рис. 2, а, представлены графики начального и конечного положения каждого из двух звеньев манипулятора переднего колеса.

На рис. 2, б, представлены графики начального и конечного положения каждого из двух звеньев манипулятора заднего колеса. Таким образом, для перемещения в конфигурацию «преодоление поперечного уклона в 30° » первое звено переднего и заднего двухзвенного манипулятора должно вращаться на 40° против часовой стрелки, заднее звено – на 70° по часовой стрелке. Модель МРП в конфигурации «максимальный клиренс» представлена на рис. 3.

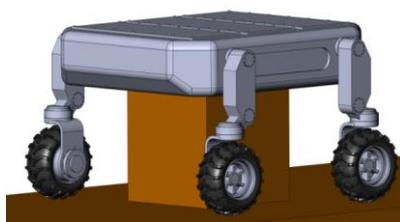


Рис. 3. Модель МРП в конфигурации «максимальный клиренс»

На рис. 4 представлены графики начального и конечного положения каждого из двух звеньев манипулятора переднего колеса.

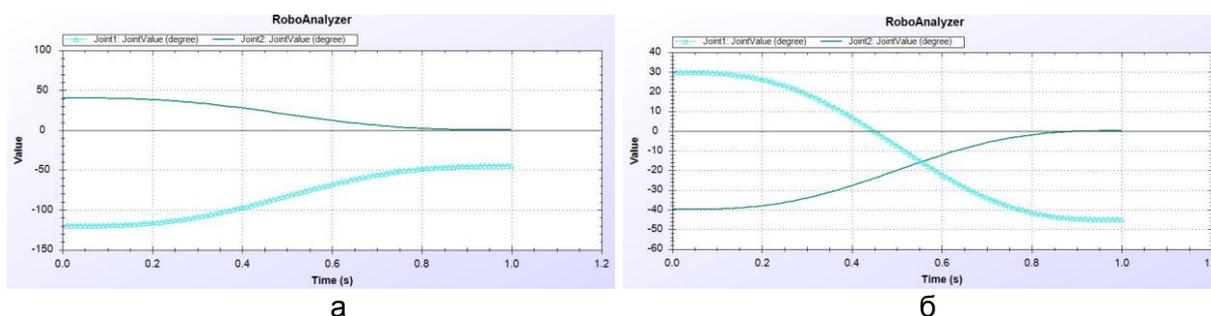


Рис. 4. Угловые перемещения звеньев переднего (а) и заднего (б) правого и левого колес модели МРП (Joint1 – первое звено, Joint2 – второе звено)

Таким образом, для перемещения в конфигурацию «максимальный клиренс» первое звено переднего двухзвенного манипулятора должно вращаться на 70° по часовой стрелке, заднее звено – на 40° против часовой стрелки. Первое звено заднего двухзвенного манипулятора должно вращаться на 70° против часовой стрелки, заднее звено – на 40° по часовой стрелке.

В результате, на основе данных полученных с графиков угловых перемещений каждого из колесно-шагающего манипулятора, можно с точностью выполнить переход от одной конфигурации к другой. Также можно определить начальные и конечные координаты положения колес манипулятора, что поможет построить адекватную математическую модель. Кинематика манипуляторов требует матричной алгебры, преобразования координат и многомерных уравнений, которые будут рассмотрены в дальнейшем. В данной работе авторами использовано ПО RoboAnalyzer. При помощи данного ПО были продемонстрированы визуальная работа звеньев манипулятора и их динамические характеристики [3]. На основе этой работы можно с достаточной точностью построить динамическую модель движения МРП по пересеченной местности и в условиях ограниченной подвижности.

Литература

1. Вечканов В.В., Стекольников А.В. Проекты разработки ГосИФТП в области создания автономных мобильных роботов малого класса для чрезвычайных ситуаций // XI научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника». Сб. научных трудов. – 2001. – С. 35–45.
2. Батанов А.Ф. Робототехнические системы для применения в условиях чрезвычайных ситуаций. Условия применения и общие технические требования // Симпозиум по робототехнике и мехатронике – 2008. – С. 37–66.
3. Гаврилов А.Е. Synthesis of optimal program law for movement of a robot with orthogonal walking drives // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2011. – № 5. – V. 50. – P. 847–857.

Нгуен Хю Хунг

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41412Направление подготовки: 27.04.04 – Цифровое управление в современной технике
e-mail: huylhung2404@gmail.com**Литвинов Юрий Володарович**

Год рождения: 1952

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н., доцент
e-mail: yurl13@yandex.ru**УДК 681.51****РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ
ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО
ЗРЕНИЯ****Нгуен Х.Х.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Литвинов Ю.В.**

Работа выполнена в рамках поддержки Правительством Российской Федерации (грант 08-08).

В работе проведено исследование системы управления мобильным роботом на заданной траектории с использованием технического зрения в условиях неопределенности. Разработан алгоритм управления мобильным роботом. Приведены техническая реализация мобильного робота и результаты эксперимента.

Ключевые слова: мобильный робот, техническое зрение, заданная траектория.

Введение. Сегодня робототехника добилась больших успехов в производстве и промышленности. Они могут работать в опасных средах, таких как сварка, окраска распылением, атомные станции, сборка электронных компонентов и т.д. В настоящее время все большее распространение получают мобильные роботы: наземные, летающие и плавающие. Мобильные роботы – это самодвижущиеся роботы без вмешательства человека или с минимальным его участием. С помощью датчиков они способны идентифицировать окружающую среду и выполнять поставленные задачи [1]. Во всех случаях главной задачей является управление движением мобильного робота по заданной траектории.

Автоматическое определение разметки дорожной полосы в режиме реального времени – неотъемлемая часть не только управления роботом по заданной траектории, но и защитной системы интеллектуальных транспортных средств (рис. 1).



Рис. 1. Следование мобильного робота по выделенной полосе

Существуют различные методы обнаружения линий траекторий: использование инфракрасного датчика, нейтронной сети.

Инфракрасный датчик может распознавать черные линии на белом фоне (либо другие контрастные цвета). При обнаружении черной линии появится низкий уровень сигнала на выходе датчика и высокий уровень – при белой линии [2].

Недостатки метода:

- метод хорошо работает только для обнаружения черной линии на белом фоне (либо другие контрастные цвета), поэтому если робот работает в разных средах, этот метод не дает хороший результат;
- невозможно определить, что представляет собой мобильный робот.

Нейронная сеть – попытка с помощью математических моделей воспроизвести работу человеческого мозга для создания машин, обладающих искусственным интеллектом [3]. Метод проходит в три шага: сбор обучающих данных, нейронная сеть обучается в OpenCV с использованием метода обратного распространения, прогноз направления движения робота.

Недостатки метода:

- требуется мощный процессор;
- процесс сбора обучающих данных занимает много времени.

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим метод управления мобильным роботом на заданной траектории с использованием технического зрения.

Сущность метода состоит в том, что камера, установленная на роботе, будет записывать изображение, а затем передавать информацию в компьютер. Компьютер, получив информацию об изображении, выполняет обработку информации, которая производит 6 шагов, представленные на рис. 2. Оператор Собель и Роберста обладают простотой в реализации, но результат обработки изображений не так хорош по сравнению с оператором Кэнни. При использовании оператора Кэнни возникает трудная реализация в реальном времени, но с другой стороны он дает отличный результат для детектирования изображения [4]. В итоге выбран оператор Кэнни в качестве метода анализа и идентификации изображений (шаг 3).

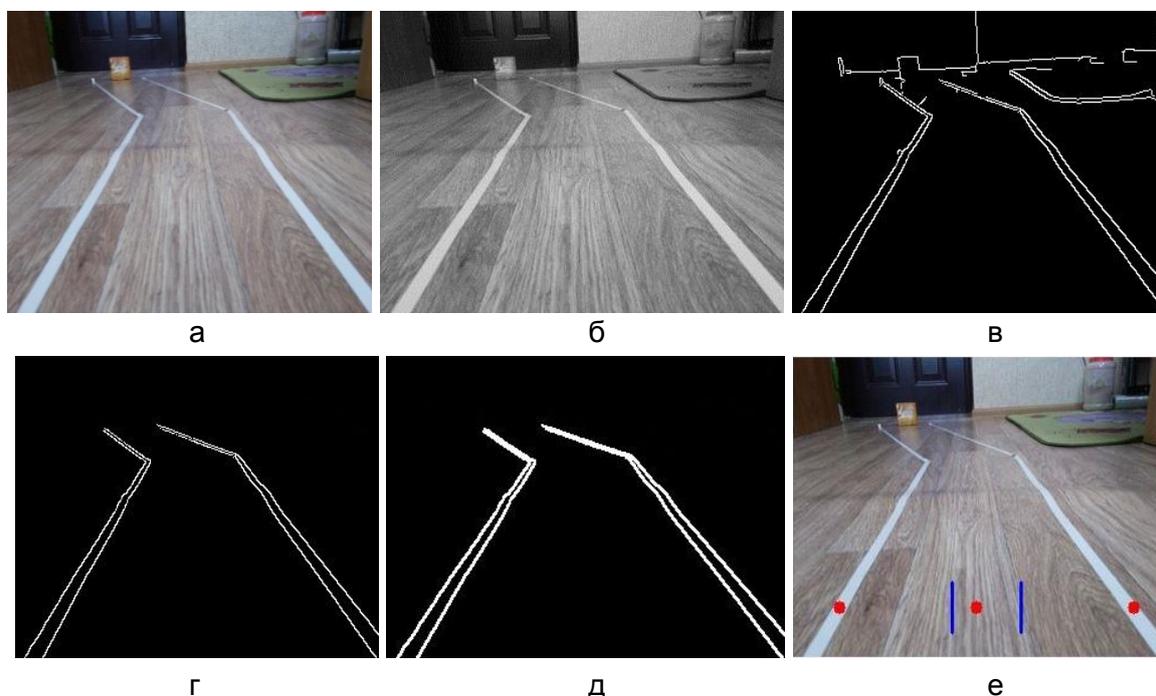


Рис. 2. Описание 6 шагов обработки изображения: шаг 1 – входное изображение (а); шаг 2 – серое изображение (б); шаг 3 – выделение контуров Кэнни (в); шаг 4 – удаление небольших объектов из изображения (г); шаг 5 – выделение отличия контуров траекторий (д); шаг 6 – определение координаты двух полос траекторий и место робота на кадре изображения (е)

Экспериментальное исследование. После 6 шагов обработки изображения получим выходное изображение, представленное на рис. 3, где X_c и X_n – координаты двух полос траекторий; X_m – координаты машины (место машины на кадре изображения); X_1 и X_2 – два значения координат для управления машиной.

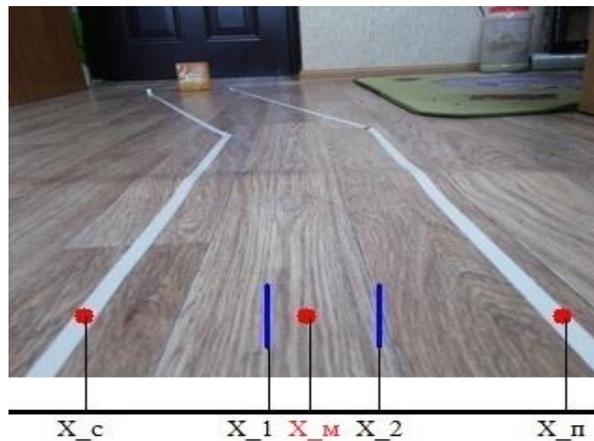


Рис. 3. Описание результата исследования

На рис. 4 предложен алгоритм управления мобильным роботом на заданной траектории с использованием технического зрения, где D – расстояние до препятствия с помощью ультразвукового датчика.

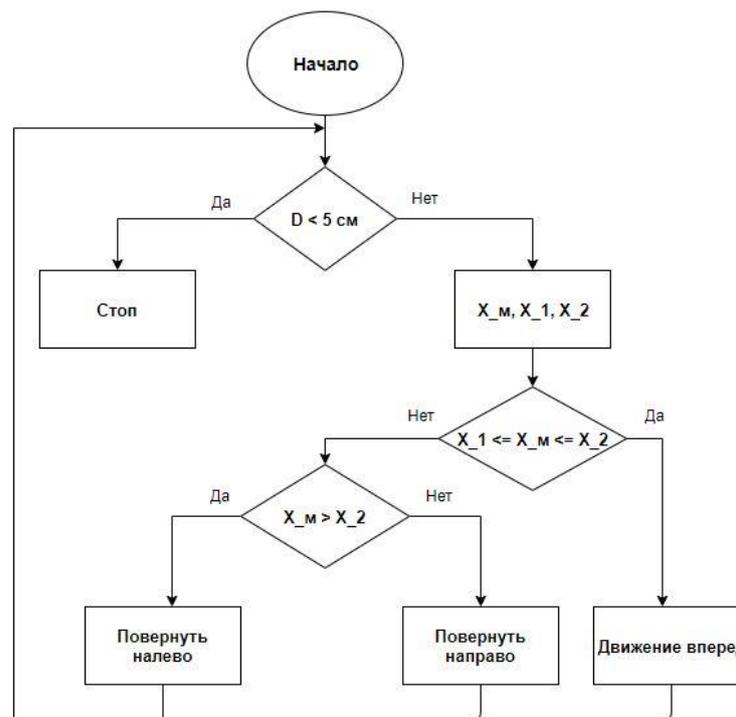


Рис. 4. Алгоритм управления мобильным роботом на заданной траектории

Преимущества:

- низкая стоимость, поскольку используется только одна камера;
- одновременно с обнаружением траекторий можно идентифицировать и само препятствие (здание, автомобиль, человек и т.д.);
- низкие требования к вычислительным ресурсам, так как используются простые вычислительные алгоритмы;
- в процессе движения мобильного робота можно записывать данные о препятствии в удобном формате видео для дальнейшего анализа и исследований.

Заключение. В работе рассмотрены основные недостатки использования существующих решений по управлению движением мобильного робота. Предложен алгоритм управления мобильным роботом на заданной траектории с использованием технического зрения и выполнено натурное моделирование. В дальнейшем планируется рассмотреть метод обнаружения объекта и определение расстояния до объекта с использованием технического зрения.

Литература

1. Быков С.А., Еременко А.В., Гаврилов А.Е., Скакунов В.Н. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами // Изв. Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – Т. 3. – № 10. – С. 52–56.
2. ИК датчик линии (слежения) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/shop/infrared-tracing-module/> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Как работает нейронная сеть: алгоритмы, обучение, функции активации и потери [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/osnovy-nejronnyh-setej-algoritmy-obuchenie-funkcii-aktivacii-i-poteri/> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Нгуен Х.Х., Литвинов Ю.В., Парамонов В.С., Чащина М.М. Измерение расстояния до препятствия по видеоизображению // Инструменты и механизмы современного инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2017. – Т. 4. – С. 102–107.

Нефедова Анастасия Романовна

Год рождения: 1998

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
институт автоматизации и робототехники, студент группы № ИДБ-15-09Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: nefedovaar@gmail.com

Забелин Александр Владимирович

Год рождения: 1980

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
кафедра измерительных информационных систем и технологий, ст. преподаватель

e-mail: zabelin-a-v@yandex.ru

УДК 681.723.72

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛИ АРХИМЕДА МЕТОДОМ
ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА****Нефедова А.Р.**

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

Научный руководитель – ст. преподаватель Забелин А.В.

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

В работе рассмотрены вопросы определения параметров спирали Архимеда. Разработан алгоритм определения координат центра, начальной фазы и шага спирали Архимеда на основе метода градиентного спуска. Проведено тестирование и статистический анализ разработанного алгоритма. Разработано программное обеспечение на основе разработанного алгоритма.

Ключевые слова: спираль Архимеда, шаг спирали, алгоритм, УИМ-21, координаты.

В современном машиностроении и приборостроении одним из часто используемых видов кривых является спираль Архимеда. Спираль Архимеда – это кривая, описываемая точкой М, движущейся равномерно поступательно вдоль луча, от его начала, являющегося центром спирали, при вращении этого луча вокруг центра с постоянной угловой скоростью. На рис. 1 представлено построение спирали Архимеда.

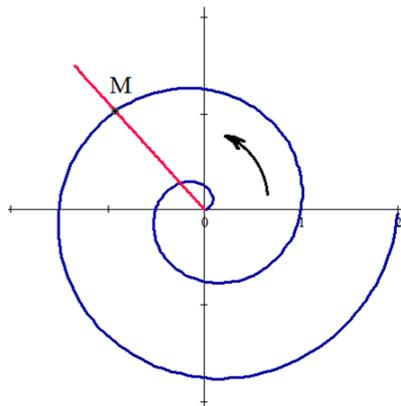


Рис. 1. Построение спирали Архимеда

Она широко используется при проектировании кулачков исполнительных механизмов станков, тормозных разжимных кулачков, спиральных теплообменников гидродинамических устройств, спиральных компрессоров холодильных установок, а также спиралей баланса, пружин, создающих силовое замыкание в цепях механизмов, и прочее.

Это связано с относительной простотой ее формы. При этом она достаточно сложна, чтобы обладать таким замечательным свойством, как постоянство шага, что

обуславливает многочисленные примеры применения в технике. Более того, спираль Архимеда активно используется в медицине (диагностика расстройств нервной системы человека) [1]. По этой причине в данной работе поднимается проблема автоматизированного определения параметров спиральных элементов различных объектов.

Цель работы – создание алгоритма и компьютерной программы на его основе, которые бы позволили определять параметры спирали Архимеда по декартовым координатам точек (x_i, y_i) , измеренным с помощью компьютеризированного универсального измерительного микроскопа в автоматизированном режиме.

В начале работы было обнаружено, что в свободном доступе имеется крайне мало информации по теме определения параметров спиралей. В частности была найдена всего одна статья с информацией об алгоритме определения параметров спирали Архимеда [2]. В ходе ее исследования и анализа были обнаружены существенные недостатки, не позволяющие применять описанный в ней алгоритм для решения прикладных задач.

В частности, этот алгоритм (далее – алгоритм Мишра) дает только первое приближение без учета относительного положения спирали и ее ориентации в пространстве (т.е. координаты центра исследуемой спирали должны находиться в начале координат). При неидеальных условиях, если центр спирали смещен относительно начала координат, расчет может привести к совершенно некорректным результатам.

Также была статья [1], описывающая важность точного определения центра спирали. Однако эта статья не предполагает поиска значения шага и других параметров спирали. Поэтому была начата работа над созданием собственного оригинального алгоритма поиска параметров спирали «Архимед».

Новый алгоритм должен быть лишен недостатков алгоритма Мишра и обладать рядом преимуществ, таких как:

- нахождение координат центра спирали;
- расчет параметров спирали по упрощенному методу;
- простая реализация;
- достаточная точность;
- возможность нахождения параметров спирали по информации лишь о части витка.

Альтернативный алгоритм строится на том, что для спирали Архимеда зависимость между полярными радиусами (R_i) и полярными углами (Θ_i) точек, принадлежащих спирали, линейная, при условии точного определения ее центра [1]. Этот факт можно использовать для перехода от задачи аппроксимации и нахождения параметров сложной изопериодической кривой к тривиальной задаче линейной аппроксимации.

Обобщенно алгоритм «Архимед» можно разделить на четыре этапа.

1. Предварительное определение центра спирали. К сожалению, алгоритмов поиска центра спиралей в открытых источниках обнаружено не было.

В качестве метода определения координат центра был использован метод определения координат центра (C_x, C_y) , применяемый к окружностям [3]. Очевидно, что таким образом невозможно с достаточной точностью рассчитать значения координат центра спирали. Однако для получения приблизительной оценки этот способ вполне подходит. В дальнейшем значения координат центра спирали будут уточнены. Поэтому для упрощения расчетов был применен метод поиска центра относительно трех точек.

Чтобы неточность определения координат центра не превышала значение номинального шага спирали, точки, по которым будет производиться расчет, должны

находиться в пределах одного витка. При смещенном центре значения полярных углов θ_i исходных точек, полученных с помощью функции $\text{angle}(x_i, y_i)$, меняются периодически. Функция $\text{angle}(x_i, y_i)$ позволяет определить угол от правой полуоси абсцисс до линии, содержащей начало координат и точку (x_i, y_i) . Результаты находятся в радианах от 0 до 2π , исключая 2π . На рис. 2 представлен пример графика такой зависимости угла θ_i от номера точки.

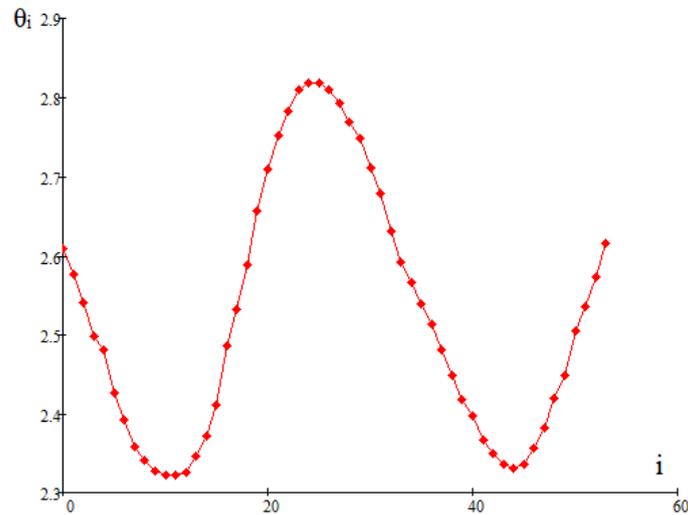


Рис. 2. График зависимости полярных углов θ_i от номера координаты

Следовательно, разности соседних точек этой функции могут выступить в роли аналога ее производной. Они вычисляются по формуле:

$$\Delta\theta_i = \theta_{i+1} - \theta_i.$$

Знак $\Delta\theta_i$ указывает на возрастание или убывание функции углов (рис. 3). Ориентируясь на это, можно определить момент перехода на следующий виток.

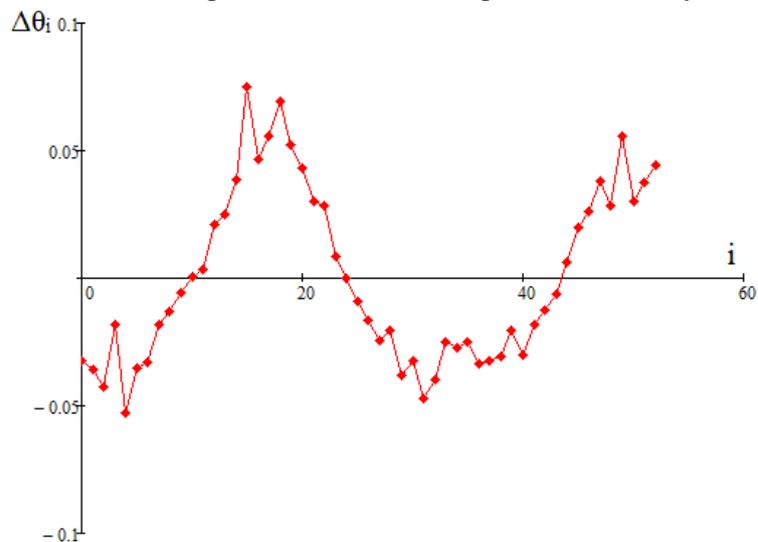


Рис. 3. Зависимость $\Delta\theta_i$ разностей соседних точек θ_i от номера координаты

Момент перехода на следующий виток фиксируется номером N последней точки витка. Далее в пределах N точек выбираются три равномерно распределенные точки, по которым будет определен центр спирали.

Если входные данные сняты с неполного витка, то три точки выбираются равномерно из всех имеющихся.

Далее выполняется пересчет исходных координат относительно рассчитанных координат центра.

2. «Развертывание» спирали. Под этим подразумевается переход от декартовых координат к полярным. График такой зависимости представлен на рис. 4. Так как предварительное определение центра спирали было приблизительным, зависимость полярного радиуса от полярного угла включает также не исключенную периодическую погрешность. Синим цветом обозначена зависимость R_i от Θ_i при точном определении центра спирали.

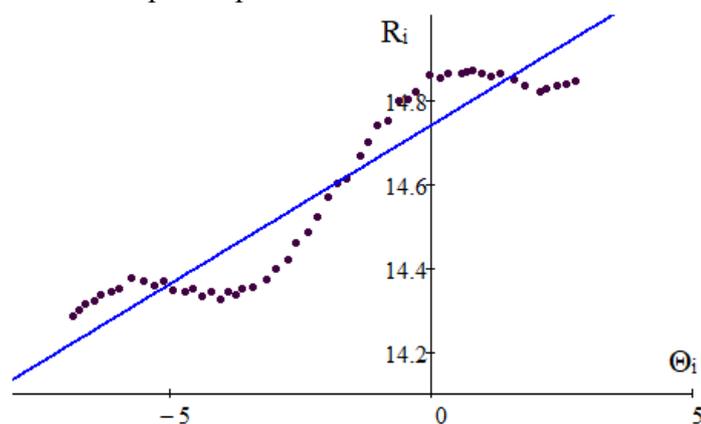


Рис. 4. График зависимости полярного радиуса R_i от полярного угла Θ_i измеряемой спирали

3. Выявление параметров этой условно линейной зависимости по методу наименьших квадратов (рис. 5). При возвращении от прямой обратно к спирали параметр a выступит в роли оценки шага, а параметр b – в роли оценки ориентации спирали в пространстве, т.е. начального угла.

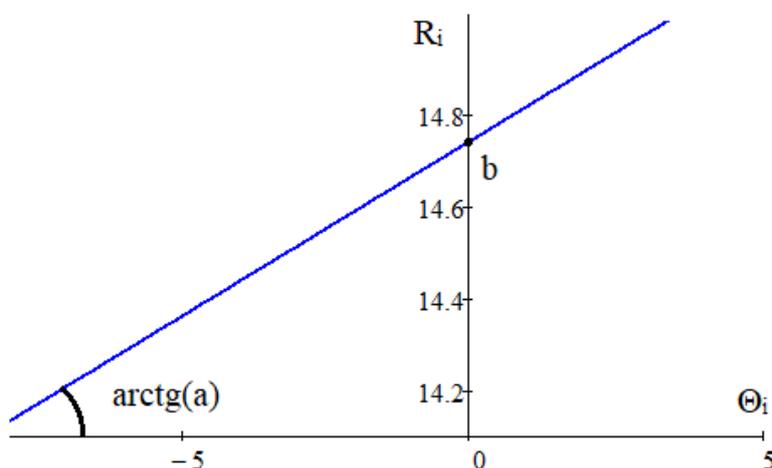


Рис. 5. График $R(\Theta) = a \times \Theta + b$

4. Уточнение всех найденных ранее параметров путем минимизации среднеквадратического отклонения или для упрощения расчетов, суммы квадратов отклонений – $\text{Sum}(C_x, C_y, a, b)$:

$$\text{Sum}(C_x, C_y, a, b) = \sum_{i=0}^n \left(\left(a \times \left(\Theta_i + \frac{b}{a} \right) \right)^2 - \left((x_i - C_x)^2 + (y_i - C_y)^2 \right) \right)^2.$$

В данном случае $\text{Sum}(C_x, C_y, a, b)$ – это функция четырех переменных – координат центра C_x и C_y , оценки шага a и начального угла b . Трехмерные проекции этой четырехмерной функции представлены на рис. 6.

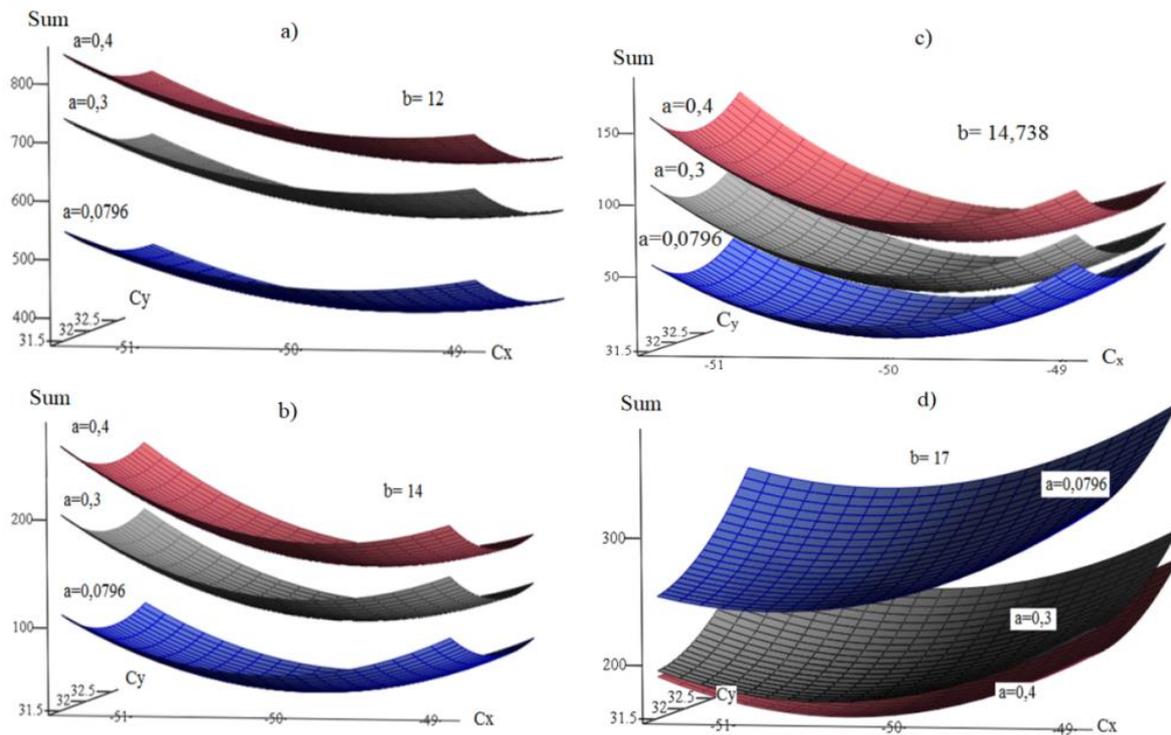


Рис. 6. Проекции функции $\text{Sum}(C_x, C_y, a, b)$ при различных значениях b

Для минимизации этой функции был использован один из распространенных методов минимизации функций нескольких переменных – метод градиентного спуска [4].

Он заключается в итерационном движении вдоль градиента функции до момента достижения локального минимума.

Метод градиентного спуска можно применить к данной конкретной задаче, так как поверхность графика суммы квадратов отклонений $\text{Sum}(C_x, C_y, a, b)$ гладкая и имеет всего один минимум.

Испытания алгоритма «Архимед» были проведены на данных, генерируемых программно, и на реальных данных. Одним из тестовых объектов стала шкала десятых долей миллиметра, извлеченная из спирального окулярного микрометра отсчетного микроскопа продольных перемещений УИМ-21. На рис. 7 представлен внешний вид этой шкалы.

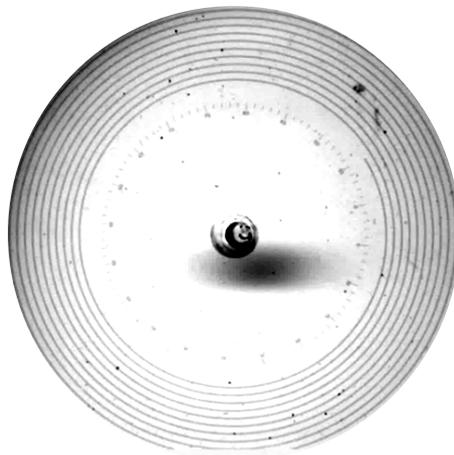


Рис. 7. Шкала десятых долей миллиметра, извлеченная из окулярного микрометра

Из документации на данный спиральный окулярный микрометр был известен номинальный шаг, нанесенный на шкалу, равный 0,5 мм [5].

Измерение координат, принадлежащих спирали было проведено с помощью измерительной информационной системы УИМ-К, разработанной в МГТУ «СТАНКИН» на кафедре измерительных информационных систем и технологий на базе универсального измерительного микроскопа УИМ-21. В результате измерений был записан файл, содержащий 56 пар координат (x_i, y_i) . Погрешность этих измерений имеет порядок 2 мкм [5]. Данные, записанные в файл, были пропущены через алгоритм «Архимед». По результатам работы было рассчитано значение шага спирали, равное 0,5005 мкм. Такой результат говорит о работоспособности и высокой точности разработанного в ходе данного исследования алгоритма.

На данный момент, на основе алгоритма «Архимед», создана компьютерная программа, выполняющая расчет координат центра, начальной фазы и шага спирали. Также создана компьютерная программа, позволившая в автоматизированном режиме провести тестирование и сбор статистической информации для определения величин, влияющих на точность работы программы-прототипа. Выявлены оценочные значения влияющих параметров, таких как погрешность определения координат – исходных данных, угол сектора спирали, доступный для измерения, и номинальные значения шага измеряемой спирали.

Задача поиска параметров спирали Архимеда путем минимизации суммы квадратов отклонений $\text{Sum}(C_x, C_y, a, b)$ является хорошо обусловленной, и при малых погрешностях входных данных оригинальный алгоритм «Архимед» всегда будет работать корректно и устойчиво. Это говорит о том, что в будущем есть возможность реализации компьютерной программы, позволяющей находить параметры спирали Архимеда в реальном времени и отображать идеальную кривую на фоне измеряемого элемента детали.

Разработанный в ходе данного исследования алгоритм будет использован для дальнейшего расширения функциональности программно-математического обеспечения измерительной информационной системы УИМ-К.

Литература

1. Wang H., Yu Q., Kurtis M.M., Floyd A.G., Smith W.A., Pullman S.L. Spiral analysis-improved clinical utility with center detection // J. Neurosci Methods. – 2008. – № 171(2). – P. 264–270.
2. Sudhanshu M.K. An Algorithm for Fitting Archimedean Spiral to Empirical Data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=531542> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Окружность по трем точкам 2D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://algotlist.manual.ru/maths/geom/equation/circle.php/> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.
5. Крупп Н.Я. Оптико-механические измерительные приборы. – М.: Машгиз, 1962. – 276 с.

Северин Алексей Романович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R3235

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: alex.nixie@mail.ru

Козлов Алексей Александрович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R3235

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: alekseykozlov07@mail.ru

Горшков Константин Сергеевич

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.

e-mail: k.gorshkov@list.ru

УДК 621.314

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
МИКРОСХЕМЫ SPV1050****Северин А.Р., Козлов А.А.****Научный руководитель – к.т.н. Горшков К.С.**

Питание портативной электроники является актуальной проблемой XXI века. Большинство устройств имеют на борту аккумулятор для автономной работы, который требуется периодически заряжать. Актуальным решением в этом вопросе является технология сбора энергии, которая предоставляет возможность зарядки аккумуляторов от маломощных источников напряжения. В работе рассмотрен вариант использования перспективной микросхемы SPV1050, работа которой основана на данной технологии.

Ключевые слова: сбор энергии, Energy Harvesting, солнечная батарея, маломощные источники, заряд аккумуляторов, портативность, энергонезависимость, микросхема SPV105.

Введение. Питание портативной электроники является актуальной проблемой XXI века. Большинство устройств имеют на борту аккумулятор для автономной работы, который требуется периодически заряжать. Актуальным решением в этом вопросе является технология Energy Harvesting (сбор энергии), которая предоставляет возможность зарядки аккумуляторов от маломощных источников напряжения, таких как солнечные батареи и термоэлектрические генераторы.

Современным представителем этой технологии является микросхема SPV1050, производства STMicroelectronics. SPV1050 изготавливается в компактном корпусе 3×3 мм для поверхностного монтажа и имеет на борту MPPT (Maximum Power Point Tracking)-контроллер, высокоэффективный DC-DC-преобразователь Buck-Boost/Boost, контроллер заряда аккумулятора, два отключаемых LDO-преобразователя с напряжением 3,3 В и 1,8 В [1].

Основная часть. На основе данной микросхемы была разработана компактная отладочная плата, позволяющая установить одну из двух конфигураций работы DC-DC – Boost и Buck-Boost [1]. Данная функция стала возможной благодаря добавлению перемычек H1, H2 (рис. 1). Для создания принципиальной схемы и трассировки печатной платы использована программа Altium Designer 2018. Номиналы элементов взяты с учетом рекомендаций производителя и подбора во время тестирования [1].

Печатная плата изготовлена по технологии лазерно-утюжной технологии (ЛУТ) в домашних условиях. Принципиальная схема представлена на рис. 1.

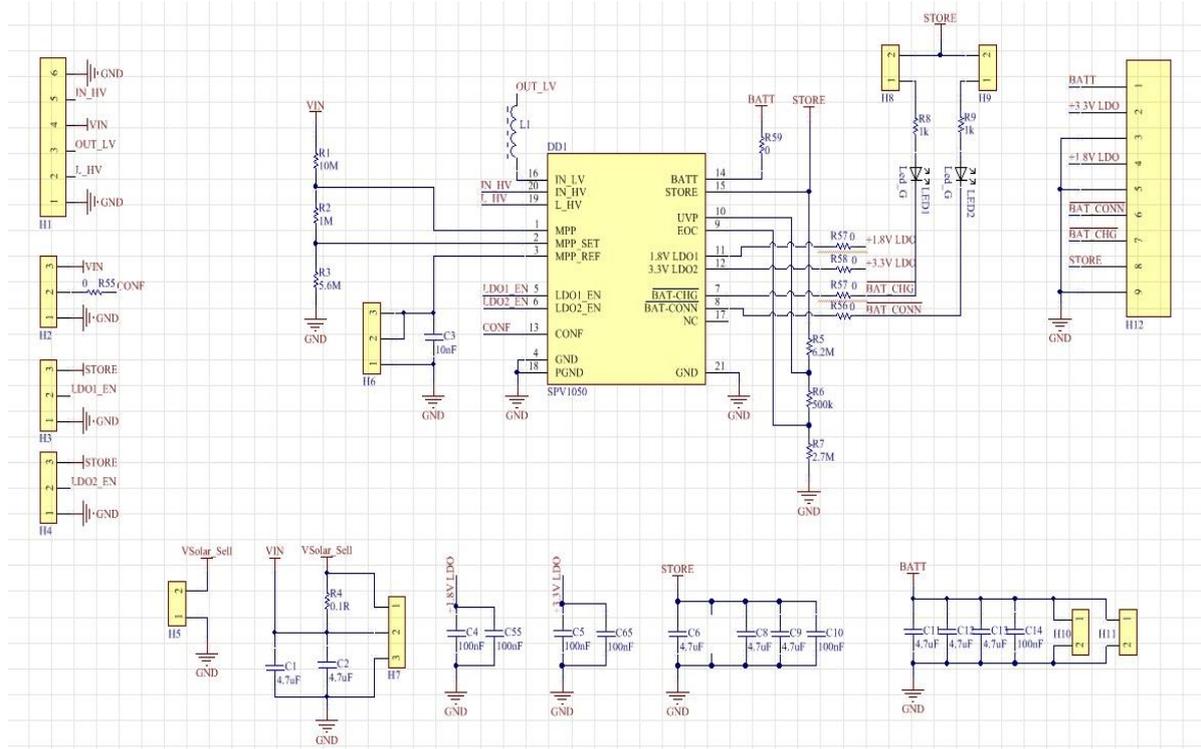


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя на основе SPV1050 [2]

Трассировка на основе принципиальной схемы печатной платы представлена на рис. 2.

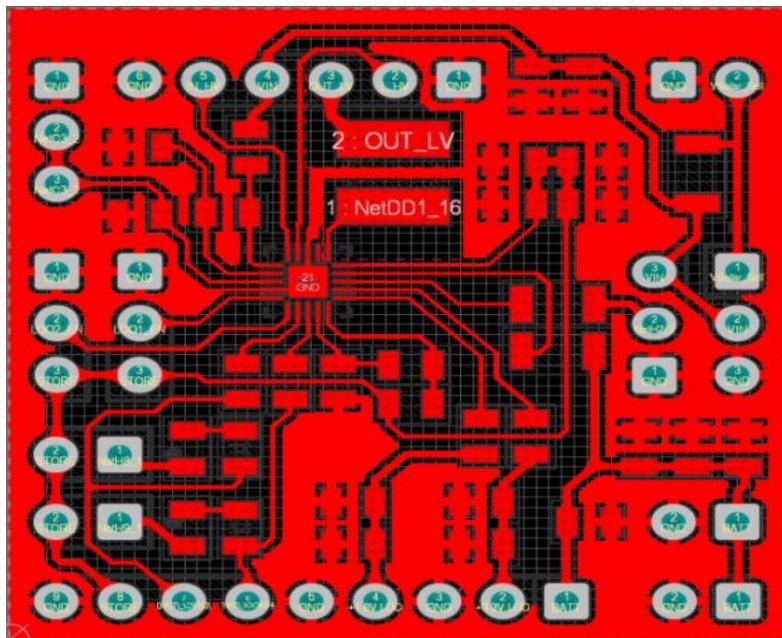


Рис. 2. Трассировка печатной платы

Тестирование готового прототипа осуществлялось с помощью цифрового осциллографа RIGOL DS1054Z [2] и мультиметра OWON B35T. Для имитации маломощного источника питания использовались: солнечная панель Panasonic 53×25 мм и регулируемый источник напряжения на микросхеме XL4015. Готовый прототип представлен на рис. 3, а.

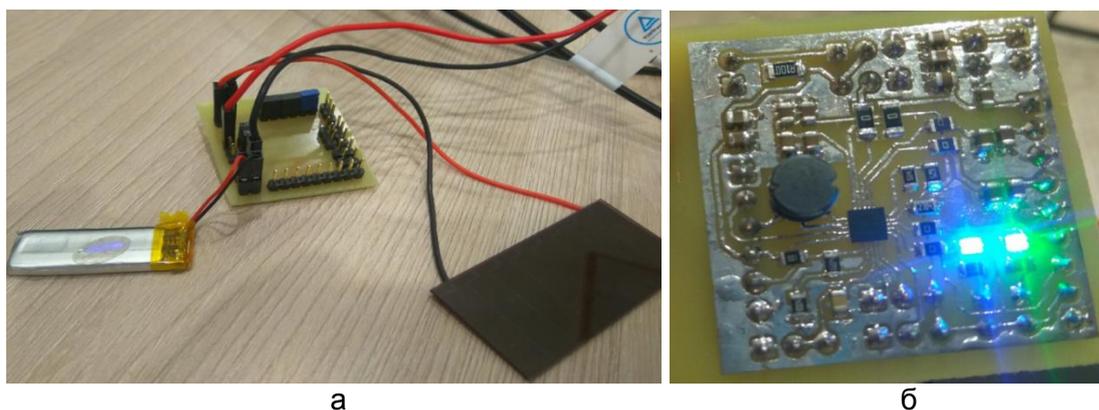


Рис. 3. Печатная плата в сборе (а); работа светодиодов (б)

Для индикации работы устройства на печатную плату были помещены два светодиода. Зеленый светодиод сигнализирует о подключенном аккумуляторе, а синий – о процессе зарядки. Демонстрация работы светодиодов представлена на рис. 3, б.

В связи с тем, что напряжение таких маломощных источников как солнечные батареи или термоэлектрические генераторы не постоянно, появляется необходимость его стабилизации при резких падениях и поддержании необходимой мощности. Для этого микросхема SPV1050 снабжена MPPT-контроллером. Принцип его работы заключается в том, что один раз в 16 с преобразователь останавливает свою работу на 400 мс, в течение которых внутреннее сопротивление подстраивается так, чтобы получить максимально возможную мощность [1]. Демонстрация работы MPPT-контроллера приведена на рис. 4, где можно наблюдать резкое изменение входного напряжения и менее значительное и более плавное изменение напряжения V_{store} (напряжение запуска DC-DC преобразователя).

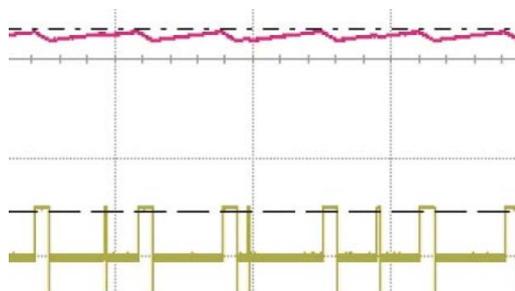


Рис. 4. Работа MPPT-контроллера (фиолетовый график – V_{store} ; желтый график – входное напряжение) [1]

Основной задачей данной работы было исследование поведения работы схемы при пониженном напряжении питания. Для этого использовался источник напряжения с регулируемым выходом. Так, как минимальное выходное напряжение источника 1,25 В, а для теста необходимо напряжение от 100 мВ, на выход источника был припаян резисторный делитель, состоящий из резисторов 130 Ом и 10 Ом. Что позволило получить минимальное напряжение менее 100 мВ. Тестирование проведено при входном напряжении от 100 мВ до 3008 мВ, в режиме Boost. В таблице приведены полученные значения входного V_{in} и выходного напряжения V_{out} .

Таблица. Данные входного и выходного напряжения

№	Входное напряжение V_{in} , мВ	Выходное напряжение V_{out} , мВ
1	100	20
2	193	20
3	299	20
4	396	10

№	Входное напряжение V_{in} , мВ	Выходное напряжение V_{out} , мВ
5	474	3730
6	501	3740
7	631	3760
8	699	3750
9	812	3760
10	846	3770
11	1251	3790
12	1293	3780
13	1458	3790
14	2027	3770
15	3008	3780

На основании полученных данных была построена зависимость выходного напряжения от входного, график данной зависимости представлен на рис. 5.

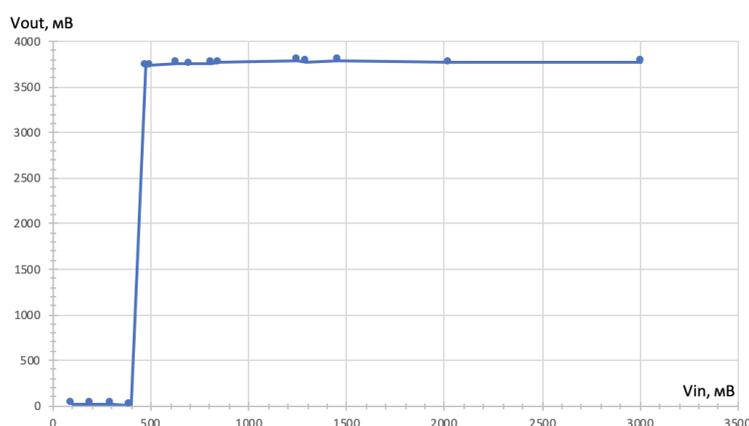


Рис. 5. График зависимости выходного напряжения V_{out} от входного V_{in}

Запуск преобразователя происходит при напряжении 474 мВ при заявленном производителем напряжении 550 мВ [1]. Таким образом, было выяснено, что данная микросхема может работать и при более низком напряжении питания.

Заключение. Проведенное исследование позволило выяснить, что изготовленный прототип может служить основой для построения систем питания малогабаритных автономных устройств, работающих в условиях, исключающих возможность подключения к сети. В качестве примера использования можно рассмотреть возможность установки прототипа на летательный аппарат (зонд). Подзарядка аккумулятора будет происходить от установленных на борту солнечных панелей, подключенных к контроллеру на основе микросхемы SPV1050. Данная система позволит подзарядать бортовой аккумулятор в солнечную погоду, тем самым обеспечивая возможность нахождения летательного аппарата в воздухе сколь угодно долго.

Литература

1. SPV1050. Ultralow power energy harvester and battery charger. Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/spv1050.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Цифровой осциллограф серии DS1000Z, руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://int.rigol.com/File/TechDoc/20151218/DS1000Z_UserGuide_rus.pdf (дата обращения: 06.03.2019).

Тикалов Андрей Владимирович

Год рождения: 1993

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
институт металлургии, машиностроения и транспорта, аспирантНаправление подготовки: 15.06.01 – Машиностроение

e-mail: tikalov2010@mail.ru

Ефремов Леонид Владимирович

Институт проблем машиноведения РАН, д.т.н., профессор

e-mail: levlefr@mail.ru

УДК 921.01

**АЛГОРИТМЫ НОВЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
МАТЕРИАЛОВ****Тикалов А.В.**

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Ефремов Л.В.

(Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург)

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование эксплуатационной износостойкости подшипников скольжения на основе усовершенствованного метода искусственных баз».

В работе рассмотрены новые методы и составлены алгоритмы определения износостойкости материалов. Потребность в развитии новых методов измерения износостойкости связана с необходимостью определять износостойкость и контролировать износ деталей и пар трения. Для этих целей был усовершенствован контактный метод искусственных баз, предложенный профессором М.М. Хрущевым.

Ключевые слова: цифровой микроскоп, подшипник скольжения, виброметр, износостойкость, машина трения, лунка, образец, пара трения.

Оценка износостойкости различных материалов при разработке или модернизации машин является одной из главных направлений в машиностроении. Для решения этой задачи на машине трения применяются различные методы тестирования пар трения на износ. Износ определялся в большинстве случаев методом взвешивания с пересчетом на относительный износ. Этот метод требует наличия особо точных весов и решения проблемы, обеспечения требуемой погрешности пересчета весового износа в линейный износ. Однако эту проблему проще решать новым вариантом метода искусственных баз [1] с применением специального микроскопа, оснащенного программой распознавания образов [2]. Основной задачей при проведении испытаний для сравнительной оценки износостойкости пар трения являлось установить стандартные и одинаковые для всех образцов режимы испытаний: частоту вращения вала, нагрузку, температуру, время испытаний.

Было проверено несколько вариантов методик тестирования материалов на износостойкость. Как будет показано далее, были апробировано два варианта наладочных испытаний, которые выполнялось по три сеанса с относительно малой периодичностью (от 2 до 15 мин) для установления зависимости износостойкости материалов от времени.

Первый вариант методики относится к наладочному этапу испытаний пары трения ролик-полувкладыш (рис. 1, а) с целью оценки износостойкости при абразивном изнашивании трех материалов: сталь (200 НВ), бронза (60 НВ), алюминий (50 НВ).

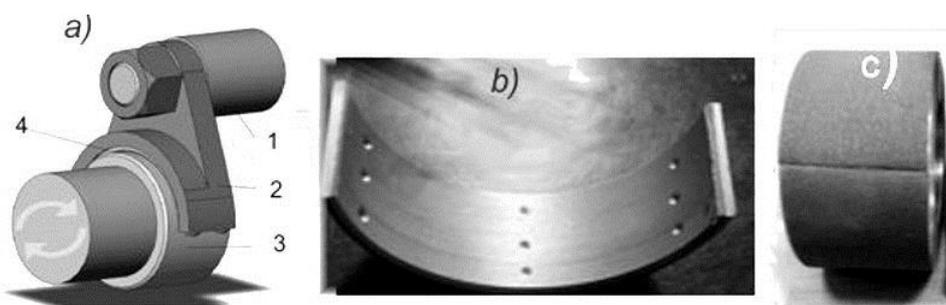


Рис. 1. Пара трения ролик-полувкладыш. Узел трения: 1 – опора; 2 – держатель; 3 – ролик; 4 – полувкладыш (а); полувкладыш (b); ролик (с)

На вкладыше (рис. 1, b) нарезались лунки. Результаты измерений лунок передавались на обработку по формулам (1).

Для абразивного изнашивания [3] использовалась мелкозернистая абразивная шкурка (АШ) АШ600 (размер зерна 25 мкм), которая наклеивалась на ролик (рис. 1, с).

Для испытания образцов был назначен следующий режим работы: частота вращения 300 об/мин, нагрузка 3 кгс. Удельная нагрузка на площадь проекции вкладыша составляла 0,315 кгс/см².

В процессе испытаний износ измерялся методом искусственных баз с применением стандартного сверла с углом заточки 118° [4]. Каждому материалу соответствовала своя серия испытаний из трех сеансов продолжительностью 5 мин. Суммарное время каждой серии испытаний составляло 15 мин. Соответствующие расчеты производились в редакторе Mathcad (рис. 2). Основные полученные формулы для расчета характеристик износостойкости приведены первичные данные:

$$\text{номер сеанса } i = 0...3; \quad (1a)$$

$$\text{интервальное время сеанса } T_i, \text{ мин}; \quad (1б)$$

$$\text{диаметр лунки } d_i, \text{ мм}; \quad (1в)$$

$$\text{угол сверла } \varphi = 118^\circ; \quad (1г)$$

$$\text{коэффициент } \mu = 0,5 / \tan(\varphi / 2); \quad (1д)$$

$$\text{интервальный износ } Iz_i = \mu(d_{i-1} - d_i); \quad (1е)$$

$$\text{суммарный износ } SIz_i = \sum_0^i Iz_i, \text{ мм}; \quad (1ж)$$

$$\text{интенсивность } Jj_i = SIz_i / \left(10^3 \pi D n \sum_0^i T_i \right), \text{ мм/км}; \quad (1з)$$

$$\text{суммарная износостойкость } Js_i = 1 / Jj_i \text{ км/мм}; \quad (1к)$$

$$\text{фактор пары трения } b = HB_1 Jj_i; \quad (1л)$$

$$\text{твердость образца от наклепа } HB_i = b / Jj_i. \quad (1м)$$

Исходными данными для решения поставленной задачи служат диаметры лунок, замеренные перед началом и после окончания каждого сеанса, что позволяет определять их глубину, интервальный и суммарный износ по формулам (1е) и (1ж).

На рис. 2 (два фрагмента) изображена программа (алгоритм) в редакторе Mathcad расчета искомых параметров по измеренным данным для серии испытаний на абразивный износ стального образца. Эта программа содержит три вектора измерений диаметров трех лунок D1, D2 и D3 на поверхности образцов. При расчете были использованы средние значения этих диаметров для каждого из четырех измерений (с учетом нулевого измерения нарезанной начальной лунки).

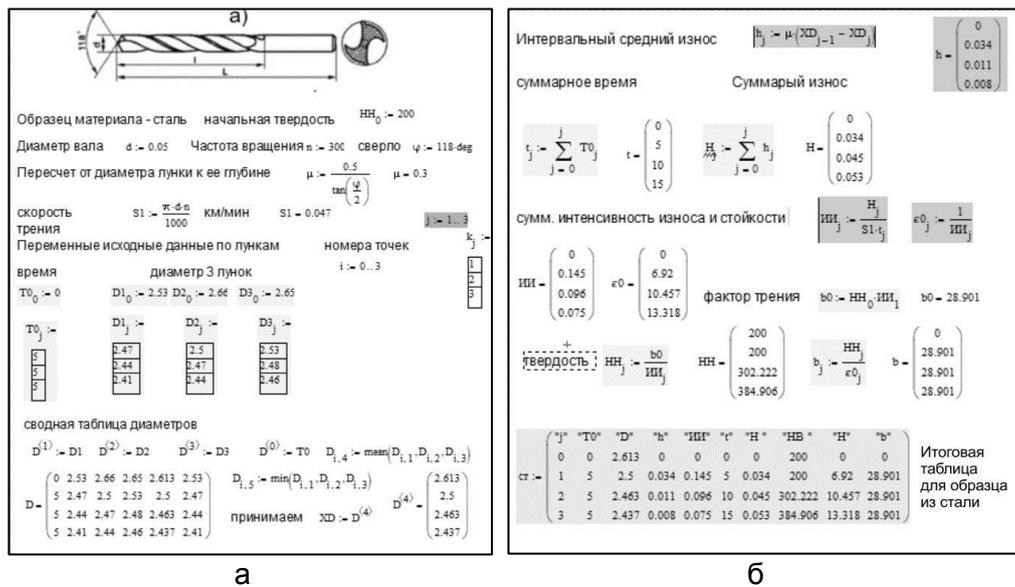


Рис. 2. Алгоритм расчета абразивного изнашивания стального образца

В результате расчета, в табл. 1 представлены основные расчетные параметры. На рис. 3 показано сравнение суммарной износостойкости и твердости стального образца с АШ600 (кривая 1) и без АШ, но со смазкой (кривая 2).

Таблица 1. Характеристики абразивного изнашивания стального образца

Сеанс	T, мин	d, мм	Iz, мм	ΣIz, мм	Jj, мм/км	Js, км/мм	НВ	b, км/мм
0	0	2,613	0	0	0	0	200	0
1	5	2,5	0,034	0,034	0,145	6,9	200	28,901
2	10	2,463	0,011	0,045	0,096	10,5	302	28,901
3	15	2,437	0,008	0,053	0,075	13,3	385	28,901

Первый вариант методики тестирования износостойкости материалов при абразивном изнашивании завершается расчетом относительной износостойкости (ИСо) как отношения испытанных материалов к эталону. В данном случае за эталон принимаем образца из стали для данной периодичности, например t=5, 10 и 15 мин (табл. 2). Необходимо использовать только одно стандартное время, например t=10 мин. Таким образом, получаем значение ИСо: для стали ИСо=1, для алюминия ИСо ≈ 0,6 и для бронзы ИСо ≈ 0,4.

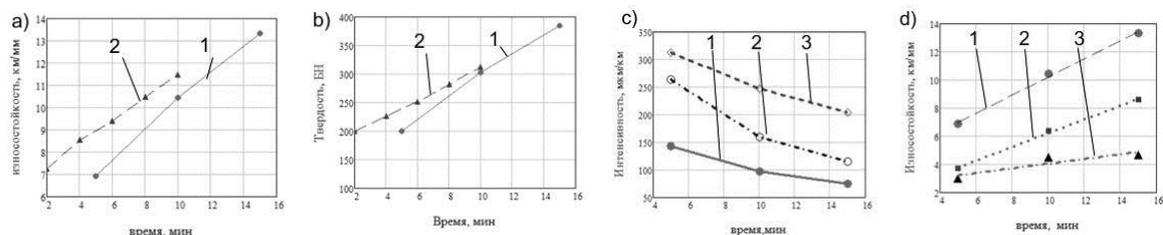


Рис. 3. Результаты испытаний в виде графиков. Зависимости износостойкости и твердости соответственно от времени при абразивном изнашивании стали 1 и при изнашивании стали со смазкой 2 (а, б). Зависимости интенсивности изнашивания и износостойкости времени соответственно для стали 1, алюминия 2 и бронзы 3 (с, d)

Таблица 2. Относительная износостойкость материалов

Время, мин	Износостойкость эталона, км/мм	Относительная износостойкость (ИСо), км/мм		
		Сталь	Алюминий	Бронза
5	6,92	1	0,541	0,431

Время, мин	Износостойкость эталона, км/мм	Относительная износостойкость (ИСо), км/мм		
		Сталь	Алюминий	Бронза
10	10,457	1	0,611	0,43
15	13,318	1	0,647	0,35

Второй вариант методики – метод хорды. Для уточнения закономерностей зависимости ИСо от марки материалов был обоснован второй вариант методики испытаний на машине трения образцов более простой конструкции (рис. 4, а, б).

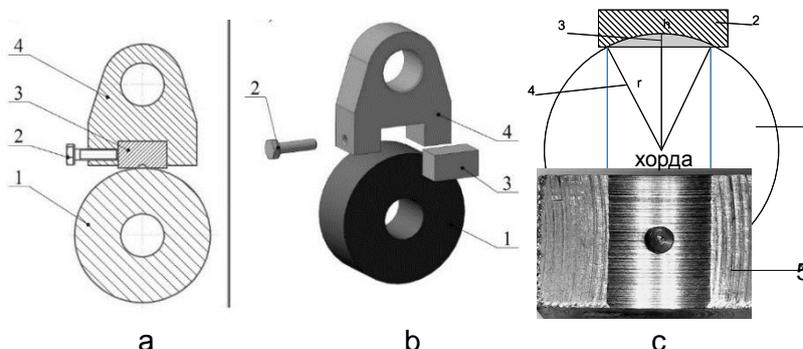


Рис. 4. Устройства для испытаний образцов материалов в виде бруска: формат 2D (а); формат 3D (б) (1 – диск; 2 – винт для фиксации колодки; 3 – брусок; 4 – держатель); схема образования хорды в образце в виде бруска (с) (1 – ролик; 2 – брусок; 3 – сектор от пересечения диска с бруском; 4 – радиус; 5 – фотография образования хорды на поверхности образца)

Второй вариант представляет собой методику испытаний пары трения по схеме на рис. 4, а, б, с целью оценки относительной износостойкости любых материалов, изготовленных в виде бруска размером 10×10×18 мм.

Основным методом оценки износостойкости является расчет и измерение хорды L кругового сегмента, образованного при внедрении диска 1 в плоскость бруска 2 по мере его износа (рис. 4, с). Опыт показал, что оценку того же износа можно выполнить путем предварительного сверления лунки сверлом. Однако эту задачу проще и точнее можно решить путем измерения хорды сегмента L , границы которого хорошо видны под микроскопом или визуально (при больших размерах хорды). Тогда для определения износа можно применить формулу (2в) и записать результаты:

$$\text{время } T, \text{ мин;} \quad (2a)$$

$$\text{длина хорды } L, \text{ мм;} \quad (2б)$$

расчет:

$$\text{износ } I_z = L^2 / (4000D), \text{ мм;} \quad (2в)$$

$$\text{интенсивность износа } J_j = I_z / (1000\pi DnT), \text{ мм/км;} \quad (2г)$$

$$\text{удельное давление } p = P / LH, \text{ кгс/мм}^2 = 9,8 \text{ МПа;} \quad (2д)$$

$$\text{твердость от наклепа } HB_i = HB_1 J_{j_1} / J_{j_i}; \quad (2е)$$

$$\text{износостойкость } J_s = 1 / J_j, \text{ км/мм;} \quad (2ж)$$

$$\text{центральный угол } \vartheta = 2 \arccos[(r - I_z) / r], \text{ рад;} \quad (2з)$$

$$\text{площадь сектора } f = \frac{r^2}{2} (\vartheta - \sin(\vartheta)), \text{ м}^2; \quad (2к)$$

$$\text{масса продуктов износа } m = fHg, \text{ кг.} \quad (2л)$$

Расчет по формулам (2) начинается с измерения хорды L после износа в течение трех сеансов времени испытаний T (табл. 3). В остальных пяти столбцах записываются

результаты расчета износа I_z , интенсивность изнашивания J_j , фактическое удельное давление P , фактическая твердость НВ и износостойкости J_s . Для расчета указанных параметров в формулах (2) приведены соответствующие выражения.

Таблица 3. Результаты экспериментального определения износостойкости

Действие Параметр	Дано		Расчет по формулам (2)				
	T , мин	L , мм	I_z , мм	J_j , мм/км	p , кгс/мм ²	НВ, кгс/мм ²	J_s , км/мм
Формула	(2а)	(2б)	(2в)	(2г)	(2д)	(2е)	(2ж)
Сталь с АШ600	2,5	5,55	0,154	3,932	0,36	200	0,254
	5	6,42	0,206	2,624	0,312	299,689	0,381
	7,5	7,05	0,249	2,111	0,284	372,464	0,474
Бронза с АШ600	2,5	7,73	0,299	7,608	0,259	100	0,131
	3,5	8,79	0,386	7,027	0,228	108,27	0,142
	4,2	9,53	0,455	6,895	0,21	110,345	0,145
Алюминий с АШ600	1	6,89	0,237	15,111	0,29	50	0,066
	2	8	0,32	10,186	0,25	74,175	0,098
	3	9	0,405	8,594	0,222	87,911	0,116
Алюминий со смазкой	5	3,57	0,064	0,811	0,56	50	1,232
	10	4,07	0,083	0,527	0,491	76,939	1,897
	15	4,48	0,1	0,426	0,446	95,251	2,348
Алюминий со смазкой	5	3,62	0,066	0,834	0,552	50	1,199
	10	4,34	0,094	0,6	0,461	69,573	1,668
	15	4,8	0,115	0,489	0,417	85,315	2,045
Бронза со смазкой	5	3,5	0,061	0,78	0,571	50	1,282
	10	4,07	0,083	0,527	0,491	73,952	1,897
	15	4,55	0,104	0,439	0,44	88,757	2,276
Сталь 40Х	5	2,2	0,024	0,308	0,909	200	3,245
	10	2,7	0,036	0,232	0,741	265,56	4,309
	15	2,9	0,042	0,178	0,69	345,2	5,603
Сталь констр,	5	135	0,009	0,116	1,481	200	8,619
	10	1,5	0,011	0,072	1,333	324	13,963
	15	1,6	0,013	0,054	1,25	428	18,408

Таким образом, данные методики и алгоритмы полностью подтвердили себя на практике и могут быть применены в производство, что позволит наиболее высокой точностью осуществлять контроль за износом деталей и узлов, а также осуществлять подбор наиболее подходящих пар трения, которые будут обеспечивать необходимую износостойкость и служить заданный срок службы.

Литература

1. Хрущев М.М., Беркович Е.С. Определение износа деталей машин методом искусственных баз. – М.: Изд-во Академии наук, 1959. – 217 с.
2. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Измерение износов деталей машин в полевых условиях на основе метода искусственных баз // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59. – № 3. – С. 237–242.
3. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1980. – 251 с.
4. Ефремов Л.В., Тикалов А.В., Бреки А.Д. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59. – № 8. – С. 671–676.

Ушаков Александр Витальевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41775Направление подготовки: 12.04.01 – Системы и технологии цифрового производства
e-mail: sasha-ushakov@mail.ru**Третьяков Сергей Дмитриевич**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, к.т.н.

e-mail: tretiakov@corp.ifmo.ru

УДК 621.865.8:004.896

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ****Ушаков А.В.****Научный руководитель – к.т.н. Третьяков С.Д.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе рассмотрены процессы взаимодействия мобильных роботов и системы управления, координирующей их деятельность, а также разработан алгоритм для автономного выполнения логистических операций мобильными роботами.

Ключевые слова: производственная логистика, мобильные роботы, система управления складом, автоматизация производства, киберфизические системы.

На современных промышленных предприятиях время выполнение логистических операций очень велико по сравнению со временем непосредственной обработки изделий. Основной причиной этому является значительное влияние человеческого фактора на процессы поиска, перемещения и размещения изделий.

Регулированием материальных и информационных потоков на пути от склада материальных ресурсов до склада готовой продукции занимается производственная логистика. Одним из методов автоматизации логистических процессов является создание робототехнического комплекса, позволяющего переложить ручной труд работников склада на механизмы и вычислительные технологии.

Основными составляющими робототехнического комплекса являются группа мобильных роботов и система управления процессами. Под мобильными роботами понимаются колесные автономные машины, осуществляющие механические действия над грузом, такие как поиск изделий на складе, размещение на стеллажах и паллетах, перемещение по территории до рабочей зоны. Система управления представляет собой программное обеспечение для ручного или автономного управления одним роботом или группой роботов [1].

В задачи системы управления входят построение маршрутов передвижения мобильных роботов и распределение заданий между исполнителями. Это необходимо для предотвращения возникновения очередей на пунктах разгрузки, а также предупреждения столкновений роботов друг с другом и с прочими объектами, нанесенными на карту. Используя данные, полученные за счет контроля информационных потоков в логистике предприятия и отслеживания физических изменений на производственном участке, система управления способна принимать решения, направленные на оптимизацию действий мобильных роботов.

Вычислением наилучшего места для размещения товара на складе занимается система управления складом. Благодаря идентификации поступающей и отгружаемой продукции, в базе данных системы управления складом содержится информация об имеющихся на складе изделиях и их точном местоположении. Кроме того, система служит для окончательного формирования заказа по доставке грузов к месту обработки или на склад.

Прототип системы управления робототехнического комплекса был реализован на языке программирования Java с использованием фреймворка JADE. Данный фреймворк позволяет представлять всех участников комплекса в виде интеллектуальных агентов, а их общение в виде структурированных сообщений.

Агент – это автономный программный компонент, который представляет физические или логические объекты системы и способен действовать самостоятельно, а также сотрудничать с другими агентами для достижения поставленных целей [2].

В работе комплекса принимают участие три вида агентов: исполнитель, управляющий и заказчик. Каждый мобильный робот представлен уникальным экземпляром агента-исполнителя. Единственный агент-управляющий представляет стационарную систему управления. Агент-заказчик моделирует формирование заданий системой управления складом, располагающейся на уровень выше системы управления робототехнического комплекса. Получая задание, управляющий агент опрашивает агентов-исполнителей о возможности его выполнения, а исполнители переговариваются друг с другом в случае возникновения локальных препятствий. Таким образом, совокупность этих агентов образует многоагентную систему робототехнического комплекса.

Взаимодействие агентов осуществляется путем обмена сообщениями типа Request, содержащими запросы и результаты этих запросов. Под запросом понимается тип сообщений, которые требуют ответа. В содержимом таких сообщений находится структура, требующая заполнения. Если она распознана верно, отправителю возвращается либо положительный ответ со структурой, заполненной необходимыми данными, либо отрицательный.

Каждое перемещение робота сопровождается отправкой информационного сообщения, содержащего данные о его новом местоположении. Для этого используются сообщения другого типа – Inform, которые не требуют ответных действий. Таким образом, система управления в режиме реального времени получает обновления о точном положении каждого мобильного робота. На рис. 1 показан пример обмена такими сообщениями между агентами.

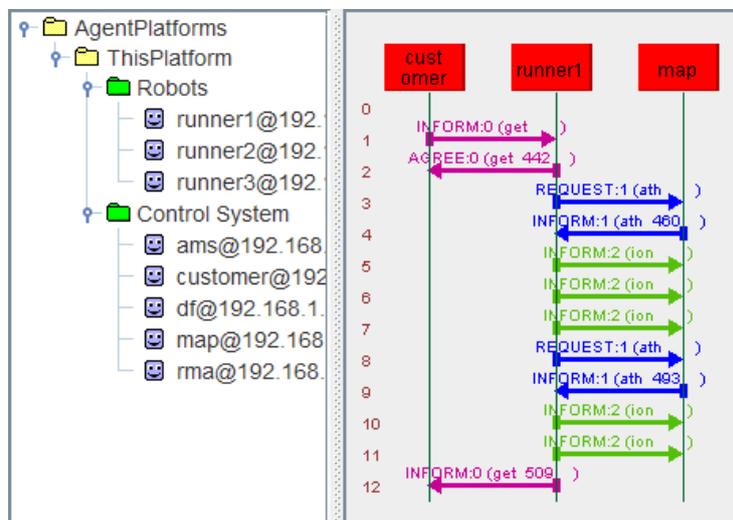


Рис. 1. Пример работы многоагентной системы

Карта территории производственного участка, обслуживаемого робототехническим комплексом, в системе представлена в виде планарного неориентированного графа. Вершины графа представляют узлы, которые являются либо конечными точками маршрута, либо перекрестками, на которых робот может изменить направление движения. Соответственно, маршрут строится путем определения всех узлов между начальной и конечной точками. Согласно маршруту, робот может перемещаться между узлами по дорогам, которые представлены ребрами графа.

В качестве алгоритма поиска оптимального маршрута был выбран алгоритм Ли (волновой). Его суть заключается в определении длины пути до каждой из вершин графа, проверке каждой вершины на «проходимость» и выборе последовательности смежных вершин с наименьшей длиной. Алгоритм Ли позволяет найти кратчайший путь между двумя вершинами планарного графа, учитывая, что есть вершины, через которые пройти нельзя [3]. Такая особенность позволяет системе находить пути объезда узлов, занятых другими мобильными роботами, а также перестраивать маршруты при обнаружении пересечения с траекторией движения другого робота во избежание столкновения.

Для практического эксперимента в качестве мобильных роботов были выбраны роботы на базе контроллеров LEGO Mindstorms EV3. Конструктор LEGO предоставляет безграничные возможности кастомизации робота для тестирования различных функций. Программный блок имеет четыре входа для подключения моторов и еще четыре для подключения датчиков. В качестве территории, по которой перемещаются роботы, используется плоская поверхность с нанесенной на нее цветной картой: узлы и дороги отмечены разными цветами.

Мобильный робот, разработанный для данного эксперимента, изображен на рис. 2. Каждое колесо робота управляется своим мотором, что позволяет им вращаться в двух направлениях независимо друг от друга. За счет этого он может не только двигаться прямо, но и поворачивать на месте. Датчик цвета является основным инструментом робота для ориентации в пространстве. Он позволяет роботу двигаться только по дорогам и сигнализирует, если робот приехал в узел. Датчик угла измеряет угол и скорость поворота при совершении маневров, он необходим для более точного позиционирования робота. Ультразвуковой датчик применяется для обнаружения на пути препятствий, мешающих проезду, например, других мобильных роботов.

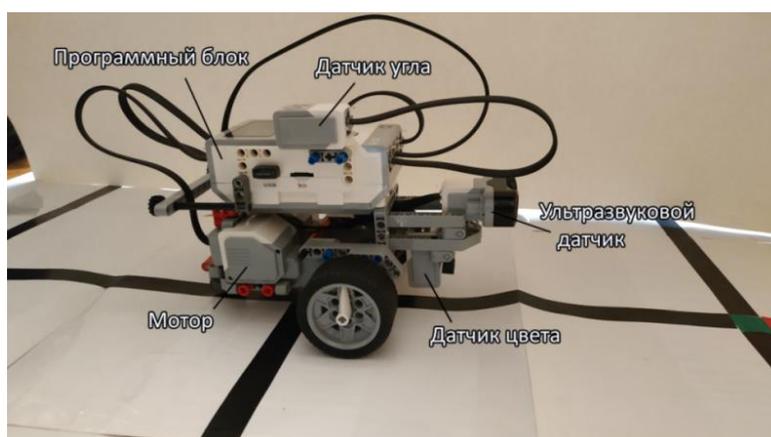


Рис. 2. Мобильный робот

На данный момент мобильные роботы могут работать в трех режимах: построение карты, автономная навигация и ручное управление. Построение карты осуществляется одним из роботов путем поиска доступных дорог и посещения всех узлов. Предполагается, что при запуске системы робот не имеет никакой информации

об окружении. Пользуясь датчиками, робот в автономном режиме проезжает по всем дорогам и узлам, которые найдет и строит граф, описывающий территорию. Далее робот отправляет построенную карту системе управления, откуда она становится доступна всем остальным мобильным роботам. Однако параметры графа могут быть занесены в систему управления и вручную. Так или иначе, карта производственного участка нужна роботу для автономной навигации. Это основной режим, в котором функционируют мобильные роботы, чтобы самостоятельно передвигаться из одной точки в другую. Для использования режима ручного управления карта не требуется, но подразумевается, что оператор будет вести визуальный контроль над перемещениями робота.

Стандартный алгоритм выполнения логистической операции по транспортировке груза выглядит следующим образом:

1. производственный участок создает запрос на доставку либо заготовки со склада, либо готового изделия на склад;
2. система управления складом принимает этот запрос, выполняет поиск в базе данных местонахождения заготовки или свободного места для размещения изделия, определяя, таким образом, конечную точку маршрута;
3. система управления робототехнического комплекса формирует задание для роботов, ищет наиболее подходящего исполнителя и строит для него маршрут;
4. выбранный мобильный робот первым делом перемещается в точку, из которой он должен забрать груз. Далее, уже вместе с грузом, робот едет в конечную точку;
5. система управления складом отмечает задание как выполненное и записывает в базу данных новое местоположение продукта.

Данный алгоритм показывает, что использование робототехнического комплекса может применяться для оптимизации логистических операций, в настоящее время выполняемых людьми. Хотя можно заметить, что процесс в целом не изменится, если поменять исполнителей с роботов на людей, которые бы отправляли все сообщения вручную.

Литература

1. Драницкий И.О. Использование мобильных роботов для автоматизации складских помещений // Вестник науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 5–9.
2. Ezzeddine B., Abdellatif B. A Multi-Agent, Semantic Web Service-based modeling for cooperation in the supply chain environment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6458579> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Изотова Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – № 19. – С. 341–344.

Хоанг Дык Тхинь

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: hoangducthinh93@gmail.com

Пыркин Антон АлександровичУниверситет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор

e-mail: pyrkin@corp.ifmo.ru

УДК 681.51

АДАПТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Хоанг Д.Т.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Пыркин А.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Сегодня робототехника добилась больших успехов в производстве и промышленности. Робототехнические системы могут работать в опасных средах, таких как сварка, окраска распылением, атомные станции, сборка электронных компонентов и т.д. В настоящее время все большее распространение получают мобильные роботы. Мобильными роботами называются технические системы, перемещающиеся в пространстве и предназначенные для автоматической транспортировки и перемещения различных предметов и механизмов, инспектирования и охраны помещений, разминирования опасных предметов, поиска и работы в опасных для человека средах. С помощью датчиков они способны идентифицировать окружающую среду и выполнять поставленные задачи. Во всех случаях ключевой задачей является управление движением мобильного робота по заданной траектории. Задачи управления мобильными роботами предполагают использование математических моделей, которые адекватно описывают поведение объекта, и знание его текущих координат в пространстве. В работе показано, как можно оценить координаты мобильного робота, зная только линейную скорость, курс и расстояние до маяка с известными координатами.

Ключевые слова: мобильные роботы, траекторное управление движением, математическая модель, адаптивное управление.

Постановка задачи. Рассматривается подвижный объект (рис. 1) на плоскости в полярных координатах (ρ, θ) и в декартовых координатах (y_1, y_2) с началом координат, связанным со стационарным маяком. Объект движется с продольной скоростью $V(t)$ с углом рыскания $K(t)$ [1].

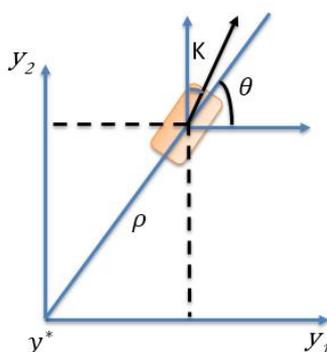


Рис. 1. Робот в абсолютной координатной системе

Модель движения объекта:

$$\begin{aligned}\dot{\rho} &= V \sin(\theta + K), \\ \dot{\theta} &= \frac{V}{\rho} \cos(\theta + K).\end{aligned}$$

Зная величины $K(t), V(t), \rho(t)$, и расположение маяка (маяк находится слева или справа относительно подвижного объекта), требуется:

– синтезировать наблюдатель угла в полярных координатах $\hat{\theta}(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\theta(t) - \hat{\theta}(t)| = 0; \quad (1)$$

– найти положение в декартовой системе координат (y_1, y_2)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_{1,2}(t) - \hat{y}_{1,2}(t)| = 0. \quad (2)$$

Синтез наблюдателя. Координаты объекта можно найти по формуле:

$$\hat{y}_{1,2} = \rho(t) \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} \\ \sin \hat{\theta} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где оценку угла θ будем искать по следующему алгоритму.

Рассмотрим вспомогательную переменную:

$$\psi = \theta + K,$$

для которой справедливо соотношение:

$$\dot{\psi} = \dot{\theta} + \dot{K} = \dot{K} + \frac{V}{\rho} \cos \psi.$$

Утверждение. Наблюдатель переменной $\theta(t)$ вида:

$$\begin{aligned}\hat{\theta} &= (\hat{\psi} - K) \bmod 2\pi, \\ \hat{\psi}(t) &= \begin{cases} \hat{x}, & \text{если маяк слева: } \text{sign}(\cos \psi) > 0, \\ \pi - \hat{x}, & \text{если маяк справа: } \text{sign}(\cos \psi) < 0, \end{cases} \\ \hat{x}(t) &= K(t) \text{sign}(\cos \psi) + \gamma \rho(t) + \zeta(t) \\ \dot{\zeta}(t) &= \frac{V(t)}{\rho(t)} \cos \hat{x}(t) - \gamma V(t) \sin \hat{x}(t)\end{aligned}$$

обеспечивает выполнение условия

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\theta(t) - \hat{\theta}(t)| = 0.$$

Доказательство. Рассмотрим модель ошибки для ψ :

$$\tilde{\psi} = \psi - \hat{\psi}.$$

Если маяк слева и $\text{sign}(\cos \psi) > 0$, то

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\psi}} &= \dot{\psi} - \dot{\hat{x}} = \dot{K} + \frac{V}{\rho} \cos \psi - \dot{K} - \gamma \dot{\rho}(t) - \dot{\zeta}(t) = \frac{V}{\rho} (\cos \psi - \cos \hat{\psi}) - \gamma V (\sin \psi - \sin \hat{\psi}) = \\ &= -\frac{2V}{\rho} \sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \sin \frac{\psi - \hat{\psi}}{2} - 2\gamma V \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \sin \frac{\psi - \hat{\psi}}{2} = -\frac{2V}{\rho} \left(\sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} + \gamma \rho \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \right) \sin \left(\frac{1}{2} \tilde{\psi} \right).\end{aligned}$$

Если маяк справа и $\text{sign}(\cos \psi) < 0$, то

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\psi}} &= \dot{\psi} - \dot{\pi} + \dot{\hat{x}} = \dot{K} + \frac{V}{\rho} \cos \psi - \dot{K} + \gamma \dot{\rho}(t) + \dot{\zeta}(t) = \frac{V}{\rho} (\cos \psi + \cos[\pi - \hat{\psi}]) + \\ &+ \gamma V (\sin \psi - \sin[\pi - \hat{\psi}]) = -\frac{2V}{\rho} \sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \sin \frac{\psi - \hat{\psi}}{2} + 2\gamma V \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \sin \frac{\psi - \hat{\psi}}{2} = -\frac{2V}{\rho} \left(\sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} - \right. \\ &\left. \gamma \rho \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} \right) \sin \left(\frac{1}{2} \tilde{\psi} \right).\end{aligned}$$

При выполнении условий, которые в дальнейшем требуют более детального исследования,

$$\sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} + \gamma \rho \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} > 0, \sin \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} - \gamma \rho \cos \frac{\psi + \hat{\psi}}{2} > 0$$

положение равновесия $\tilde{\psi} = 0$ является асимптотически устойчивым (рис. 2). Следовательно, выполнено целевое условие (1), что с учетом наблюдателя вида (3) гарантирует выполнение условия (2).

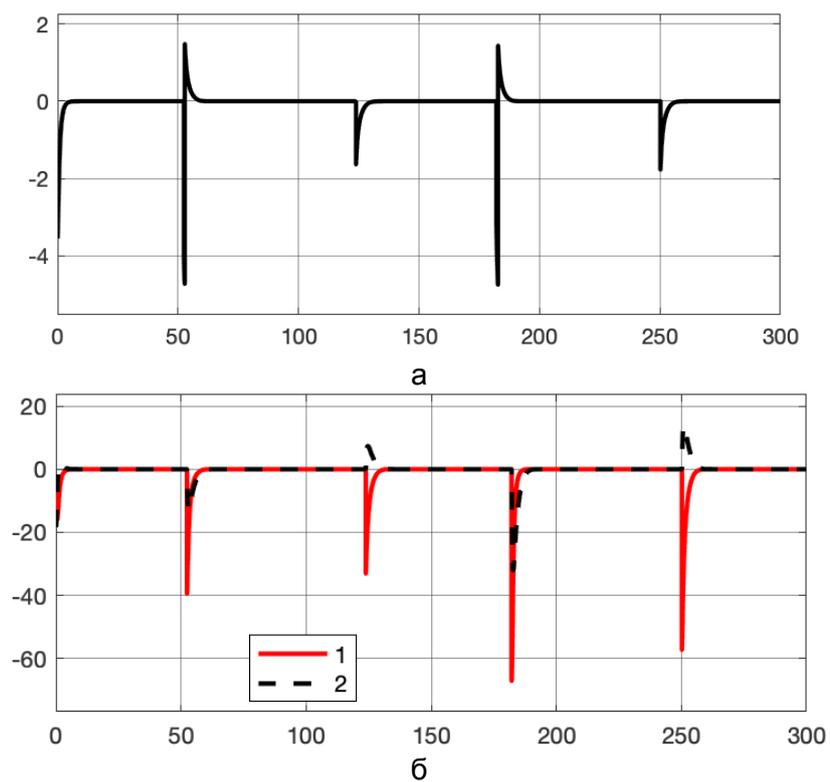


Рис. 2. Ошибки оценивания для угла θ (а) и для координат (y_1, y_2) (б)

Литература

1. Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. Системы управления движением колесных роботов. – СПб.: Наука, 2001. – 229 с.

Хоменко Алиса Петровна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R4237Направление подготовки: 27.04.03 – Интеллектуальные системы управления
техническими процессами

e-mail: homenkoalice@yandex.ru

Пыркин Антон Александрович

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор

e-mail: pyrkin@corp.ifmo.ru

УДК 007.52**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО
УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ****Хоменко А.П.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Пыркин А.А.**

Работа посвящена исследованию системы дистанционного управления в оболочке MATLAB с расширением Simulink. Рассмотрена система без устройства наблюдения в составе, затем рассмотрена система с наблюдателем. В результате получены и проанализированы графики моделирования исследуемой системы.

Ключевые слова: дистанционное управление, непрерывный технический объект, канал связи, телемеханический протокол, устройство наблюдения.

Система предназначена для «on-line» управления непрерывными техническими объектами с использованием Point-to-Point протокола с учетом факторов канальной среды [1–3].

Целью работы являлось проведение комплексного исследования системы цифрового дистанционного управления, построенного с учетом факторов канальной среды.

При выполнении работы были поставлены следующие задачи:

1. осуществить системный учет факторов канальной среды;
2. разработать процедуру формирования интервала дискретности цифрового дистанционного управления;
3. разработать процедуру формирования сигнала цифрового динамического управления методами цифрового модального управления;
4. проанализировать процедуры синтеза и результаты исследования системы.

Необходимо сформировать структуру помехозащищенного кода при заданных параметрах:

1. число информационных разрядов, равное 8, 12 и 16;
2. модель искажений в двоичном канале связи;
3. характер помехозащиты: исправление или обнаружение ошибок;
4. категория проектируемой системы передачи управляющей информации, равная 10^{-7} ;
5. число разрядов цифро-аналогового преобразования и аналого-цифрового преобразования, равное 8.

Также следует методом модального управления сформировать цифровое дистанционное управление при следующих заданных параметрах:

1. двоичный канал связи с пропускной способностью 1200 бит/с;
2. перерегулирование $\leq 5\%$;
3. длительность переходного процесса $\leq 1,2$ с;
4. добротность по скорости $\geq 20\text{с}^{-1}$.

Анализ существующих решений позволил сделать следующие заключения:

1. современные сетевые технологии основаны на стохастическом доступе к канальной среде, они не могут быть использованы для организации управления уникальными технологическими ресурсами;
2. в свою очередь, уникальные технологические ресурсы требуют организации управления ими онлайн-версии и не могут быть организованы с использованием принципа коммутруемости канальной среды.

Рассмотрены факторы канальной среды в задаче цифрового дистанционного управления:

1. канальная среда на дальних расстояниях является последовательной;
2. скалярная природа канальной среды требует преобразования кодов передачи «параллельный/последовательный» и «последовательный/параллельный»;
3. прямой и обратный каналы связи формируются в разделенной физической среде или образуются в единой физической среде;
4. формирование сигнала цифрового дистанционного управления может быть осуществлено только с использованием устройств динамического наблюдения;
5. также учитывается фактор наличия помех в канальной среде.

Формирование интервала дискретности выполнено для случая разделенных физических сред и для случая единой физической среды.

Представлена формула (1) для случая разделенной физической среды:

$$\omega_0 \leq \frac{\pi}{\Delta t}; \Rightarrow \Delta t = \min \left\{ \Delta t_1 = \frac{t_{\pi} \pi}{7,8}; \Delta t_2 = \frac{0,25\pi}{D} \right\}, \quad (1)$$

где ω_0 – характеристическая частота; Δt – интервал дискретности разделенной физической среды; t_{π} – длительность переходного процесса; D – добротность по скорости.

Представлена формула (2) для случая единой физической среды:

$$\Delta t_p = 2\Delta t, \quad (2)$$

где Δt_p – интервал дискретности единой физической среды.

Далее показаны таблицы с рассчитанными интервалами дискретности, где указаны значения длительности переходного процесса и добротности по скорости.

В табл. 1 представлен случай разделенной физической среды.

Таблица 1. Интервалы дискретности для разделенной физической среды

t_{π}, c	D, c^{-1}					
	1	10	20	50	100	200
0,1	0,04	0,04	0,039	0,016	0,008	0,004
1	0,403	0,079	0,039	0,016	0,008	0,004
1,2	0,483	0,079	0,039	0,016	0,008	0,004
2	0,785	0,079	0,039	0,016	0,008	0,004
5	0,785	0,079	0,039	0,016	0,008	0,004
10	0,785	0,079	0,039	0,016	0,008	0,004

В табл. 2 представлен случай единой физической среды.

Таблица 2. Интервалы дискретности для единой физической среды

t_{π}, c	D, c^{-1}					
	1	10	20	50	100	200
0,1	0,08	0,08	0,079	0,031	0,016	0,008
1	0,806	0,157	0,079	0,031	0,016	0,008
1,2	0,966	0,157	0,079	0,031	0,016	0,008
2	1,57	0,157	0,079	0,031	0,016	0,008

$t_{п}, c$	D, c^{-1}					
	1	10	20	50	100	200
5	1,57	0,157	0,079	0,031	0,016	0,008
10	1,57	0,157	0,079	0,031	0,016	0,008

Приводится обоснование выбора телемеханического (ТМ) протокола. Значения интервала дискретности и пропускной способности представлены в табл. 3.

Таблица 3. Значения интервала дискретности и пропускной способности

	Разделенная физическая среда	Единая физическая среда
Интервал дискретности, с	0,039	0,079
Пропускная способность, бит/с	555,6	1111,1

В результате выбраны ТМ-протоколы, которые соответствуют полученным значениям.

Далее необходимо экспериментально проверить правильность выбора ТМ-протокола. Для этого составлены следующие алгоритмы:

1. алгоритм формирования сигнала цифрового модального управления;
2. алгоритм формирования сигнала динамического управления.

На основе полученных ранее результатов сформированы две подсистемы системы цифрового дистанционного управления.

Уравнения подсистемы цифрового дистанционного управления без устройства наблюдения в ее составе соответствуют формулам (3) и (4).

А уравнения подсистемы цифрового дистанционного управления с устройством наблюдения в ее составе соответствуют формулам (5) и (6).

$$x(k+1) = \bar{F}x(k) + \bar{G}g(k); \quad y(k) = \bar{C}x(k); \quad (3)$$

$$u(k) = \bar{K}_g g(k) - \bar{K}x(k); \quad (4)$$

$$x_e(k+1) = \bar{F}_e x_e(k) + \bar{L}_e y(k) + \bar{B}_e u(k); \quad (5)$$

$$u(k) = \bar{K}_e \varepsilon(k) - \bar{N}y(k) - \bar{D}x_e(k). \quad (6)$$

Исследование системы проведено в оболочке MATLAB с расширением Simulink.

Целью исследования являлись:

1. экспериментальная проверка правильности выбора ТМ-протокола;
2. проверка достижимости требуемых динамических показателей системы.

На рис. 1 представлен график работы подсистемы без устройства наблюдения.

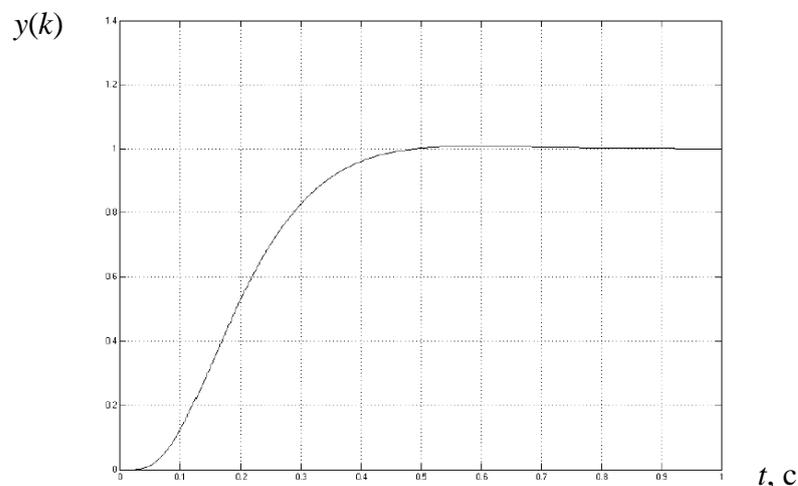


Рис. 1. График работы подсистемы без устройства наблюдения

Из приведенной кривой на рис. 1 видно, что перерегулирование составляет 0%, а время переходного процесса составляет 0,5 с.

Полученные показатели качества процессов находятся в полном соответствии с техническими требованиями.

На рис. 2 представлен график работы подсистемы с устройством наблюдения.

Из приведенной кривой видно, что время переходного процесса составляет 0,8 с.

Полученные показатели качества процессов находятся в полном соответствии с техническими требованиями, поскольку по заданию время переходного процесса не должно превышать 1,2 с.

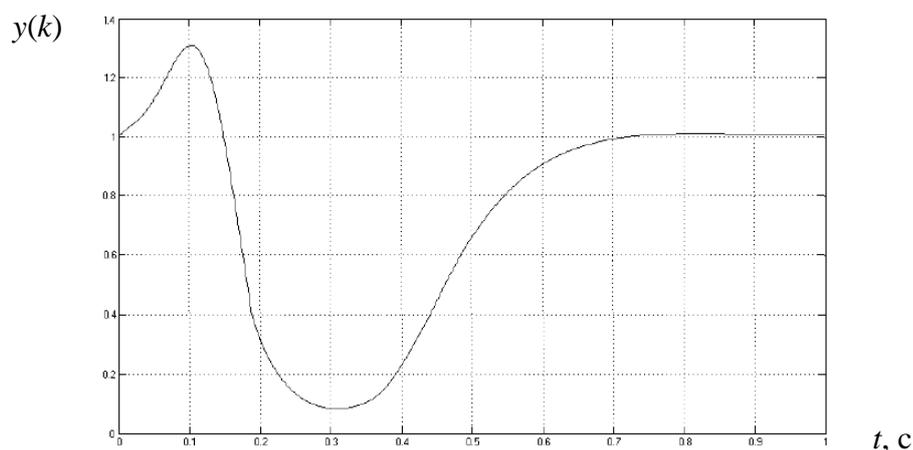


Рис. 2. График работы подсистемы с устройством наблюдения

В заключение следует отметить, что:

1. проведен анализ существующих решений;
2. рассмотрены факторы канальной среды в задаче цифрового дистанционного управления;
3. разработан алгоритм формирования интервала дискретности цифрового дистанционного управления с учетом факторов канальной среды;
4. осуществлено формирование сигнала цифрового динамического дистанционного управления методами цифрового модального управления также с учетом факторов канальной среды;
5. проведено комплексное исследование системы в программной оболочке MATLAB;
6. проанализированы процедуры синтеза и результаты комплексного исследования системы, по которым можно сделать вывод о том, что полученные значения удовлетворяют требованиям технического задания.

Следовательно, задача исследования системы цифрового дистанционного управления выполнена.

Литература

1. Канал связи как системный фактор возможной недостижимости желаемых динамических показателей системы цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22225095> (дата обращения: 10.01.2019).
2. Григорьев В.В., Журавлёва Н.В., Лукьянова Г.В., Сергеев К.А. Синтез систем автоматического управления методом модального управления. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 108 с.
3. Ушаков А.В., Вундер (Полинова) Н.А. Современная теория управления. Дополнительные главы: Учебное пособие для университетов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 182 с.

**НАПРАВЛЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Адигамов Дияр Радикович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N41495Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: rareblvckjsx@gmail.com

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
ассистент, н.с.

e-mail: vika@cit.ifmo.ru

УДК 004.056**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ШИФРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАНТОВОЙ
КРИПТОГРАФИИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ****Адигамов Д.Р.****Научный руководитель – н.с. Коржук В.М.**

В работе были исследованы протоколы квантовой криптографии и волоконно-оптические линии связи при передаче конфиденциальной информации. Изучены алгоритмы квантового распределения ключей, в результате чего были выявлены их недостатки. Спроектирована квантовая инфраструктура, позволяющая полностью исключить вероятность взлома или прослушки.

Ключевые слова: квантовая криптография, конфиденциальная информация, протоколы, инфраструктура, средства шифрования.

В настоящее время всем известно, что информация в нашем мире имеет большую значимость. Основная задача – гарантировать надежность и засекреченность при передаче определенных сведений. Криптография – это именно та наука, которая обеспечивает конфиденциальность и целостность данных. Совсем скоро появится настоящий и всем доступный квантовый компьютер, который обесценит все современные средства шифрования данных, а это значит, что банковские транзакции, секретные переговоры и любая другая конфиденциальная информация может попасть не в те руки. Безопасность классической криптографии напрямую связана с вычислительными возможностями злоумышленника, а в квантовой криптографии в силу физических свойств передачи фотонов невозможно прослушать или взломать систему.

Волоконно-оптические линии связи – вид соединения, при котором данные передаются посредством оптических диэлектрических волноводов, называемый «оптоволокно».

Оптоволокно является идеальной физической средой для передачи данных. Пропускная способность оптоволокна считается самой перспективной средой для быстрой передачи больших потоков информации практически на любое расстояние.

Квантовая криптография – развивающийся метод обеспечения безопасности коммуникаций, основанный на законах квантовой физики. В отличие от классической криптографии, которая использует вычислительные принципы, квантовая криптография сосредоточена на физике [1].

Протокол BB84 – первый протокол квантового распределения ключей. Данный протокол использует четыре квантовых состояния, которые образуют два базиса (рис. 1). Состояния внутри одного базиса ортогональны, когда состояния из разных базисов будут попарно неортогональными [2].

Basis	0	1
+	↑	→
×	↗	↘

Рис. 1. Базисы протокола BB84

Первым шагом в BB84 является квантовая передача. Отправитель создает случайный бит (0 или 1), а затем случайным образом выбирает прямолинейный или диагональный базис для его передачи. После чего отправитель готовит состояние поляризации фотона в зависимости от значения бита в базисе. К примеру, 0 закодировано в прямолинейной основе (+) как состояние вертикальной поляризации, а 1 кодируется в диагональной основе (×) в виде 135° состояния. Затем отправитель передает один фотон в указанном состоянии получателю, используя квантовый канал. Данный процесс случайный, отправитель записывает состояние, время каждого отправленного фотона и базис [3].

Отправитель и получатель генерируют последовательность битов: m_A и m_B . Базис фотона отправителя определяется битом из m_A , а соответствующий ему бит из m_B – базис, в котором будет измерять отправитель. Соответственно фотоны отправителя неизменно дают «0». Задача получателя измерять наугад, так как не знает правильный базис. Если базисы не будут совпадать, то с равной вероятностью получит «0» или «1». Взяты последовательности m_A и m_B , где $m_A=0111001001$, а $m_B=1100101100$, изображенные на рис. 2, а.

Последовательность битов										
m_A	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
m_B	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
S_B	?	0	?	?	?	0	0	?	0	?

а

Последовательность битов										
m_A	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
m_B	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
S_B	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1

б

Рис. 2. Последовательность битов при передаче (а); возможный результат последовательности битов при передаче (б)

Получатель принимает четыре нулевых значения и шесть неизвестных. Из неизвестных битов первая половина будет давать «0», а вторая «1». К примеру, результат может быть таким, как показано на рис. 2, б.

В данном случае непосредственно интересуют единицы, которые говорят о том, что получатель не угадал базис отправителя, а это означает, что соответствующие биты m_A и m_B не совпадают. Соответственно теперь получатель сообщает отправителю номера битов, где он получил единицы, после чего они совместно с отправителем по открытому каналу имеют зеркальную последовательность битов.

Протокол B92 основан на принципе неопределенности и является предшественником BB84 [4]. В отличие от BB84, протокол B92 может использовать неортогональные квантовые состояния. Данный протокол был разработан с целью, чтобы показать принципиальную возможность разделения ключей. Для генерации криптографического ключа по протоколу B92 применяется та же техника, что и у протокола BB84, однако используются только два неортогональных состояния.

Особенности квантовой криптографии и ее преимущества по сравнению с традиционными системами шифрования:

- для создания ключа шифрования используются кванты света – фотоны;
- в случае если нарушитель попытается перехватить данные, то отправитель и

получатель будут полностью уверены в состоявшемся перехвате по той причине, что невозможно разделить или скопировать фотон, так как они разрушаются при измерении;

- путем измерения состояний фотонов получателем и сравнений их с данными отправителя формируется закрытый ключ шифрования необходимой длины (равной длине сообщения), известный только им.

На данный момент квантовый канал связи малоприспособлен для передачи пользовательских данных, а больше подходит для выработки ключа симметричного шифра, который будет использован корреспондентами для зашифрования передаваемых данных. В этом отношении он подобен асимметричному шифрованию или схемам открытого распределения ключей.

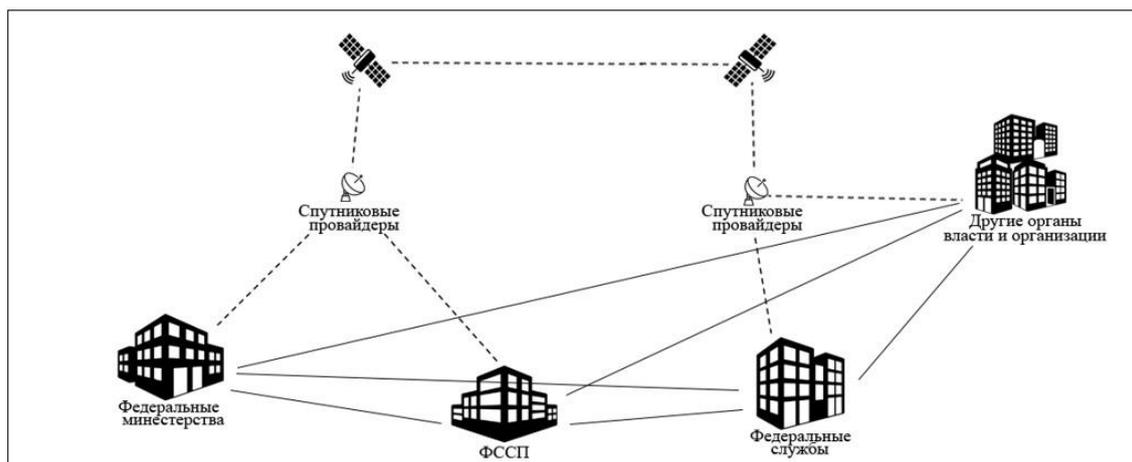


Рис. 3. Квантовая инфраструктура

На рис. 3 изображена квантовая инфраструктура, на которой у нас имеется спутниковая квантовая сеть, спутниковые провайдеры, каналы передачи и государственные органы. Ранее для передачи ключей использовалось оптоволокно, но по мере продвижения сигнал ослабевал. Размещение источника сигнала в космосе решит данную проблему, поскольку основную часть пути фотоны проходят в вакууме.

В ходе работы была спроектирована квантовая инфраструктура, позволяющая полностью исключить вероятность взлома или прослушки. С помощью спутниковой связи получится решить одну из главных проблем квантовой связи – это радиус сигнала передачи. Данная система подойдет правительству, банкам и крупным бизнесам – тем структурам, у которых бюджет на информационную безопасность достаточно велик, чтобы дополнительные траты не внесли в них радикальных изменений. Взамен обладатель данной системы получает максимальный уровень безопасности, не зависящий от вычислительных возможностей нарушителя.

Литература

1. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. – М.: Мир, 2006. – 824 с.
2. Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Черчяковский А.Ю. Протокол квантового распределения ключей BB84 // Квантовая криптография. – 2011. – С. 61–77.
3. Bennet С.Н., Brassard G. Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing // Proceedings of International Conference on Computers. – 1984. – P. 175.
4. Шнайер Б. Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы, исход. тексты на яз. Си. – М.: Триумф, 2002. – 815 с.

Багно Вера Сергеевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3452Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность

e-mail: verabagno@rambler.ru

Кривцова Ирина Евгеньевна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
ст. преподаватель

e-mail: ikr@cit.ifmo.ru

УДК 004.02**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА В ЗАДАЧЕ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОГРАММ ПО ПОБАЙТОВЫМ СИГНАТУРАМ****Багно В.С.****Научный руководитель – Кривцова И.Е.**

Предложен подход к идентификации версий программного обеспечения на основе алгоритма градиентного бустинга деревьев решений. Предложено применять алгоритм CatBoost, разработанный компанией Яндекс, для решения задачи идентификации программного обеспечения операционных систем Linux с целью уменьшения числа уязвимостей системы, возникающих при установке несанкционированного программного обеспечения пользователями автоматизированных систем. Был разработан метод формирования побайтовых сигнатур программ. Поставлена задача последующего распознавания идентифицируемых программ, ранее не задействованных в процессе обучения модели. Результаты работы могут быть рекомендованы специалистам по информационной безопасности для проведения аудита электронных носителей информации. Разработанный подход к идентификации файлов позволяет выявить нарушения установленной политики безопасности при обработке конфиденциальной информации.

Ключевые слова: идентификация файлов, сигнатуры, информативный признак, ELF-файлы, градиентный бустинг, CatBoost.

Введение. Проблему идентификации программ можно отнести к одной из наиболее остро стоящих проблем информационной безопасности. Решение этой проблемы позволит не только отличать легитимные копии программ от нелегитимных, но также выявлять вредоносные программы и вовремя принимать меры по противодействию им. Если организации будут располагать архивами сигнатур легитимных программ, разрешенных к установке на компьютерах организации, то все остальные компьютерные программы, чьи сигнатуры не совпали с архивными, будут считаться нелегитимными. Выявление вредоносных программ в антивирусах имеет в своей основе похожую идею, т.е. в архиве антивирусов находятся сигнатуры вредоносных программ. Если происходит совпадение тестирующихся программ с этими сигнатурами, то эти программы антивирус считает вредоносными. Сложность такого метода проявляется в том, что одна и та же программа может иметь несколько версий, особенно если учесть, что, например, семейство операционных систем Linux отличается большим разнообразием, и вид установленной программы зависит от дистрибутива, компилятора и способа установки этой программы [1]. Особенность предложенного в данной работе подхода к идентификации программ заключается в том, что используется метод градиентного бустинга деревьев решений, идентифицирующий программы по побайтовым сигнатурам их версий. Это позволяет при идентификации учитывать тот факт, что одна и та же программа может иметь отличающиеся друг от друга версии и, следовательно, обладать расхождениями в сигнатурах этих версий. Представленный в данной работе метод идентификации

программ по их сигнатурам с использованием алгоритма градиентного бустинга деревьев решений может использоваться не только для идентификации вредоносных программ, но и для проведения аудита, что в рамках обеспечения информационной безопасности фирмы является достаточно широкой областью применения.

Градиентный бустинг – это метод машинного обучения для задач регрессии и классификации, который создает решающую модель прогнозирования в виде ансамбля слабых предсказательных моделей. Градиентный бустинг пошагово строит модель и обобщает каждый этап, позволяя оптимизировать произвольную дифференцируемую функцию потерь.

Алгоритмы бустинга рассматриваются в качестве функциональных алгоритмов градиентного спуска с большим числом итераций. Алгоритмы, оптимизирующие функцию затрат в функциональном пространстве, раз за разом выбирают функцию (слабую гипотезу), которая указывается в направлении отрицательного градиента [2, 3].

В качестве алгоритма для исследования был выбран алгоритм градиентного бустинга CatBoost от компании Яндекс.

Подготовка к эксперименту. В качестве сигнатур файлов были использованы 566 файлов, представляющие собой различные версии 123 программ.

1. Файлы формата ELF были преобразованы в шестнадцатиричный вид, таким образом, сигнатуры были приведены в побайтовый вид. Все 566 файлов были переведены в формат TXT. Побайтовые представления файлов автоматизированно создаются в ходе выполнения программы.

Результат первого этапа: побайтовые сигнатуры 566 файлов ELF в шестнадцатиричном виде в формате TXT.

2. Поиск информативного признака. Был взят маленький по объему файл TXT, содержащий побайтовое представление одного из файлов. В нем был произведен автоматизированный подсчет всех встречающихся в нем байтов. Полученные значения потом сортировались в порядке убывания, т.е. от наиболее часто встречающегося байта к наименее часто встречающемуся.

Согласно полученным результатам, самый часто встречающийся байт – это байт 00 (для сравнения – он встречается более чем в 10 раз чаще, чем следующий по частоте байт 20).

Тем не менее, следует заметить, что байты 00 в основном образуют собой очень длинные последовательности, которые состоят исключительно из нулей и встречаются на протяжении всего побайтового представления программы вне зависимости от рассматриваемой программы. Следовательно, считать этот байт информативным признаком нельзя.

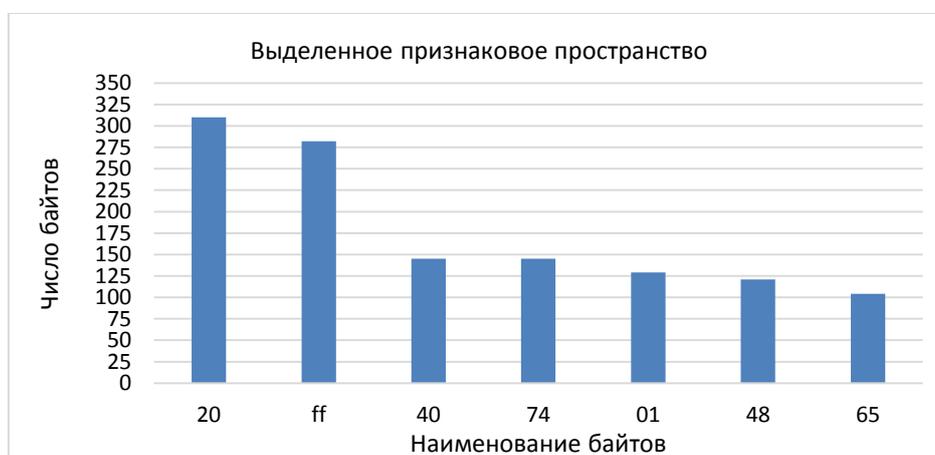


Рисунок. Выделенное признаковое пространство

Среди всех результатов подсчета было выделено 7 наиболее часто встречающихся байтов. Результат этого подсчета приведен на рисунке. Таким образом, было выделено признаковое пространство из выбранных значений байтов.

Признаковое пространство – первые 7 байтов, которые чаще всего встречаются в выбранной программе.

Результат второго этапа: выделено признаковое пространство из 7 наиболее часто встречающихся байтов за исключением байта 00.

3. Из 566 файлов формата ELF сформирована обучающая выборка (443 файла) и тестовая выборка (123 файла). Необходимо выделить признак для построения сигнатур на основе полученных шестнадцатиричных представлений. Побайтовое представление каждого из файлов разбивается на 30 частей. В каждой части производится автоматический расчет частоты встречаемости каждого из выбранных информативных признаков – считается отношение числа байтов, составляющих один информативный признак, к общему числу байтов в данной части.

Результатом для каждой программы обучающей выборки и тестовой выборки является следующая структура:

$$S=(K, K_0, \dots, K_{29}), \quad (1)$$

где K – идентификатор программы, определяющий принадлежность побайтовой сигнатуры версии программы к одной из программ; K_i – частота встречаемости признака.

Результат третьего этапа: для каждой программы тестовой выборки создана структура сигнатуры согласно формуле (1).

4. Этап идентификации. Применяется алгоритм градиентного бустинга. Используется реализация CatBoost. Производится сравнение частот встречаемости информативного признака в обучающей выборке и в тестовой выборке. Регулируется глубина построения дерева решений (Depth), скорость обучения (Learning rate) [4] и количество итераций (100 и 1000).

Глубина построения дерева и скорость обучения регулируются до тех пор, пока не будет найдено наилучшее Accuracy. Наилучшим Accuracy считается такое значение, которое является максимальным при всех возможных комбинациях задаваемых параметров.

Для получения результатов была использована метрика Accuracy – доля правильных ответов алгоритма [5]. Она высчитывается по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{P}{N},$$

где P – количество файлов, по которому классификатор принял правильное решение; N – объем тестовой выборки.

Также замеряется время, требуемое на идентификацию файлов.

Результат эксперимента. В ходе использования алгоритма CatBoost были получены результаты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Результаты для алгоритма CatBoost

Iterations	100 итераций	1000 итераций
Depth	2	2
Learning rate	0,7	0,7
True Positive, %	71,54%	77,24%
False Negative, %	28,46%	22,76%
Time	4 мин	11 мин

В других работах [2] использовались не побайтовые сигнатуры, а дизассемблированные. Результат сравнения результатов работы алгоритма CatBoost на разных входных данных представлен в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение работы алгоритма CatBoost на побайтовых сигнатурах и дизассемблированных сигнатурах

	Побайтовые сигнатуры	Дизассемблированные сигнатуры
Iterations	1000	1000
Depth	2	2
Learning rate	0,7	0,7
True Positive, %	77,24%	89%
False Negative, %	22,76%	11%
Time	11 мин	–

Как видно из табл. 2, несмотря на полное сходство задаваемых параметров, таких как количество итераций, глубину обучения и скорость обучения, дизассемблированные сигнатуры показали лучший результат, чем побайтовые сигнатуры. Сравнить время, затраченное на идентификацию дизассемблированных сигнатур, на данный момент затруднительно, поскольку в источнике оно не указывалось.

Большой процент верно идентифицированных программ по их дизассемблированным сигнатурам, показанный алгоритмом CatBoost, может быть объяснен тем, что ассемблерные команды несут в себе больше информации, чем байты, следовательно, наиболее часто встречающиеся ассемблерные команды являются более информативным признаком, чем наиболее часто встречающиеся байты. Поскольку время, затрачиваемое на идентификацию побайтовых сигнатур, и время, затрачиваемое на идентификацию дизассемблированных сигнатур, сравнить не получилось, то единственной оценкой тут может служить только точность полученного результата. Однако дизассемблировать программы не всегда представляется возможным в связи с их лицензионным соглашением, либо другими сложностями.

Еще одно преимущество перевода программы в побайтовую сигнатуру, а не в дизассемблированную, заключается в меньшем количестве времени, затрачиваемом на перевод файла в побайтовое представление.

Заключение. Результаты проведенных экспериментов указывают на то, что представленный в данной работе способ построения сигнатур по частотному признаку, на основе переведенной в шестнадцатиричный вид программы, можно применять в реализациях алгоритма градиентного бустинга в задаче идентификации программного обеспечения. Методы идентификации, основанные на методе градиентного бустинга деревьев решений, в дальнейшем могут быть применены при идентификации исполняемых файлов.

Метод градиентного бустинга можно использовать для идентификации вредоносных программ по их сигнатурам, но он не подойдет для идентификации троянов. Поскольку троян представляет собой полезную программу с внедренным в нее небольшим куском вредоносного кода, выявить именно этот участок кода на основе побайтовых сигнатур целой программы, в которую его внес злоумышленник, пока не представляется возможным. Поэтому распознать можно только исключительно вредоносные программы.

Предложенный в работе метод может быть применен для аудита не только на крупных предприятиях в их сетевом оборудовании, но и в небольших фирмах, а также и в личных целях на персональных компьютерах.

Литература

1. Кривцова И.Е., Кузьмич П.А., Салахутдинова К.И. Метод построения сигнатур исполняемых файлов с целью их идентификации // Вестник полиции. – 2015. – № 3(5). – С. 97–105.
2. Кривцова И.Е., Лебедев И.С., Салахутдинова К.И. Алгоритм градиентного бустинга деревьев решений в задаче идентификации программного обеспечения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 6. – С. 1016–1022.
3. Как работает нейронная сеть: алгоритмы, обучение, функции активации и потери [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/osnovy-nejronnyh-setej-algoritmy-obuchenie-funkcii-aktivacii-i-poteri/> (дата обращения: 04.04.2019).
4. Коэффициент скорости обучения (Learning rate) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/learning-rate.html> (дата обращения: 04.04.2019).
5. Метрики в задачах машинного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (дата обращения: 04.04.2019).

Варюхин Владимир Алексеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4252

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: vladimirrus13@mail.ru

Мостовой Роман Александрович

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: rommostovoy@gmail.com

Левина Алла Борисовна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,

к.ф.-м.н., доцент

e-mail: levina@cit.ifmo.ru

УДК 004.056.53**АНАЛИЗ АТАК ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ НА ФИТНЕС-ТРЕКЕРЫ
ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ**

Варюхин В.А., Мостовой Р.А.

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина А.Б.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Работа посвящена анализу атак по сторонним каналам на фитнес-трекер для домашних животных от компании Jagger&Lewis. Рассмотрена электромагнитная атака. Приведены актуальные угрозы информационной безопасности.

Ключевые слова: атаки по сторонним каналам, трейс, Bluetooth, трекер, криптоанализ, алгоритм шифрования, запись, оконная функция, амплитуда, частота.

Забота о здоровье домашних животных приобретает все большую актуальность в настоящий момент времени. Еще в давние времена было замечено, если собака или кошка находится в состоянии болезни, то наблюдается резкое изменение его привычного образа жизни – вялость в передвижении, потеря аппетита, но часто владельцы домашних животных не могут заметить данные изменения в поведении. В связи с этим возникает угроза резкого ухудшения здоровья собаки, что также может привести и к летальному исходу.

Чтобы избежать подобных ситуаций и предотвратить возможные негативные последствия были разработаны специализированные алгоритмы машинного обучения. В их задачи входит определение «ненормального» поведения питомца в зависимости от его внешних показателей (частота дыхания, сердцебиения, количество шагов и т.д.).

Данные, полученные с помощью специальных устройств, называемые фитнес-трекерами, передаются сначала на специальные агрегирующие сервера, где производится анализ полученной телеметрии. Затем результаты работы вышеупомянутых алгоритмов с подробным описанием могут быть отправлены как владельцам домашних животных, так и напрямую ветеринарным службам.

Следует отметить, что счета на услуги ветеринаров растут с каждым годом, и, как следствие, растут страховые взносы владельцам. Зарубежные страховые компании уже на протяжении 5 лет используют трекеры для расчетов стоимости страховки для домашних питомцев. Данный ошейник может помочь поддерживать свою собаку в хорошей форме, и помогает страховым компаниям снижать свои расходы.

В комплектацию данных средств мониторинга активности чаще всего включены датчики, акселерометры, микрофоны, GPS, Wi-Fi, Bluetooth и другие модули. В связи с тем, что используется большое количество технологий, становится актуальным вопрос защищенности хранимой и передаваемой информации данного устройства. В данной работе рассматривалась защищенность/уязвимость трекеров для домашних животных к атакам по сторонним каналам.

Атаки по сторонним каналам – вид атак, которые могут нарушить безопасность, используя утечки информации при физической реализации системы [1].

Во время работы через элементы, такие как: провода, трансформаторы, микросхемы проходит ток, в результате чего образуется электромагнитное поле. В случае если конструкция устройства недостаточно продумана, то такие непреднамеренно созданные поля в состоянии нести полезную информацию о конкретных математических операциях шифрования, выполняемых в исследуемый временной интервал.

Особое внимание при применении электромагнитных атак уделяют электромагнитному излучению (ЭМИ), которое излучается электрическими цепями, состоящими из полупроводниковых элементов, такие как транзисторы, диоды, внутри вычислительных устройств [2].

Таким образом, задача изучения данного типа атак и способов противодействия им требует повышенного внимания.

Объект исследования: обеспечение информационной безопасности фитнес-трекера от компании Jagger&Lewis для домашних животных.

Предмет исследования: трейсы, полученные при проведении атак по сторонним каналам, а именно при проведении атак по ЭМИ.

Цель: изучение атаки по сторонним каналам на фитнес-трекеры и поиск эффективных способов защиты от них.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ аппаратной архитектуры фитнес-трекера;
- анализ программной архитектуры фитнес-трекера;
- съем электромагнитных трейсов при работе трекера;
- анализ трейсов на предмет выявления закрытой информации.

В данной работе осуществлялись следующие атаки по сторонним каналам: атака по времени и электромагнитная атака на трекеры для домашних животных от компании Jagger&Lewis.

Исследования по теме данной работы являются актуальными, так как на данный момент область атак по сторонним каналам по отношению к трекерам для домашних животных еще недостаточно изучена, а значит, существует угроза информационной безопасности (УИБ) для владельцев данных устройств.

Результатом данной работы выступает реализация электромагнитной атаки на трекер от компании Jagger&Lewis, анализ полученных трейсов, а также предложены способы противодействия подобному типу атак, и методы, с помощью которых можно защититься от них.

Полученные по итогам данного исследования результаты могут быть в дальнейшем проанализированы не только криптоаналитиками, которые специализируются в области исследования SCA, но и профильными организациями, которые осуществляют защиту конфиденциальной и персональной информации.

Система Jagger&Lewis представляет типичную архитектуру клиент-серверного взаимодействия. Используется два типа клиента: клиент-собаки (трекер) и клиент-владелец (аккаунт в мобильном приложении). Сервер является агрегатором данных, присланных с ошейника. После применения специальных алгоритмов обработки владельцу отсылается актуальная информация о текущем состоянии питомца.

При первичной инициализации приложения происходит взаимная привязка трекера и аккаунта посредством Bluetooth. После требуется указать параметры Wi-Fi, для того чтобы устройство могло автономно отправлять накопленные данные. В свою очередь, мобильное приложение требует большое количество разрешений: доступ к местоположению, контактам, файловой системе.

При первом подключении Jagger&Lewis необходимо подключить устройство к приложению для смартфона, доступному на iOS и Android.

После осуществления связи между смартфоном и трекером, приложение задает несколько вопросов, чтобы узнать как можно больше информации о собаке – например, возраст, тип, вес и нормальное потребление пищи.

Эта информация вносится в алгоритм обеспечения благосостояния, который был создан ветеринарами, и серверы компании начнут отслеживать активность и здоровье собаки. Профиль собаки и полученные данные сравниваются с обычным поведением и с аналогичными собаками, чтобы оценить их ежедневное поведение и их ценность для благополучия.

Данные отправляются через Wi-Fi на серверы компании и анализируются в зависимости от типа собаки. За прошедший год Jagger&Lewis создали базу данных, чтобы иметь возможность изучать более 300 видов собак.

С целью получения секретной информации из приложения Jagger&Lewis, был осуществлен реверс инжиниринг APK-файла с помощью онлайн-сервиса «Decompilers online». После проведения процесса декомпиляции файла был произведен анализ используемых библиотек и модулей.

Так приложение использует следующие библиотеки:

- Bolts;
- ButterKnife;
- Dagger;
- ОКНТТР3;
- Okio;
- Retrofit2.

Проанализировав файлы ресурсов, стало известно, что приложение использует API, предоставленное компанией Jagger&Lewis по адресу <http://api.jagger-lewis.com/>

Угрозы безопасности, обнаруженные после исследования данных устройств, можно представить в виде таблицы.

Таблица. Выявленные угрозы безопасности

Наименование УБИ	Описание	Объект воздействия
Угроза анализа криптографических алгоритмов и их реализации	Угроза заключается в возможности выявления слабых мест в криптографических алгоритмах или уязвимостей в реализующем их программном обеспечении	Метаданные, системное программное обеспечение
Угроза доступа к защищаемым файлам с использованием обходного пути	Угроза заключается в возможности получения нарушителем доступа к скрытым/защищаемым каталогам или файлам	Объекты файловой системы
Угроза подмены данных,	Угроза заключается в подмене отправляемых данных, которые отправляются от трекера удаленному серверу, с целью обмана алгоритмов обработки для получения необходимых сведений	Метаданные, системное программное обеспечение

Наименование УБИ	Описание	Объект воздействия
Угроза доступа к смартфону	Угроза заключается в получении доступа к смартфону по используемым каналам связи (Bluetooth)	Смартфон

Электромагнитная атака на трекер производится с целью анализа трейсов для дальнейшего получения «скрытых» параметров подключения и характеристик Bluetooth в момент осуществления процесса аутентификации со смартфоном.

Схематично визуализированную данную атаку можно представить на рис. 1.

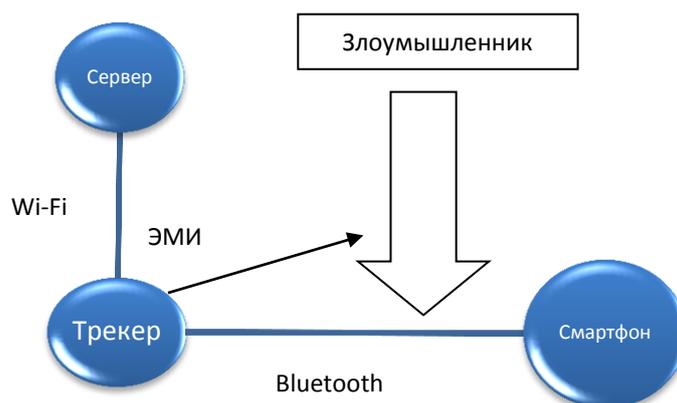


Рис. 1. Электромагнитная атака на фитнес-трекер

Электромагнитная атака на фитнес-трекер для домашних животных от компании Jageer&Lewis была осуществлена с использованием следующего оборудования:

- цифровой осциллограф от компании National Instruments;
- антенна, с помощью которой производились измерения электромагнитных полей с устройства (зонд);
- программный комплекс на базе компьютера;
- программное обеспечение «RFSA – Soft Front Panel».

Данный осциллограф был выбран в связи с тем, что максимальная полоса пропускания равна 3 ГГц, а диапазон сигнала Bluetooth находится в интервале 2,402–2,48 ГГц, что позволит записать трейсы, которые непосредственно описывают процессы аутентификации по данному протоколу.

Для того чтобы произвести получение секретных параметров Bluetooth, было осуществлено исследование трекера с использованием временной и электромагнитной атак.

Произведенное исследование в первую очередь показывает возможность осуществления подобного типа атак, с дальнейшим анализом полученных трейсов, при помощи записывающей аппаратуры для конкретной модели фитнес-трекера.

Для того чтобы произвести дальнейший анализ трейсов, полученных в результате электромагнитной атаки, осциллограф был подключен к ЭВМ с помощью лицензионного программного комплекса от компании National Instruments «RFSA – Soft Front Panel», позволяющего осуществлять запись сигналов с атакуемого трекера для последующего визуального анализа формы, а также для оценки амплитудных и временных характеристик.

К аналоговому входу осциллографа был подключен зонд для записи электромагнитных излучений с трекера. Запись сигнала производилась в различных режимах работы трекера – в момент поиска Bluetooth и в момент «спаривания» устройства со смартфоном. Съём всех сигналов проводился отдельно.

Записанные сигналы были переданы на ЭВМ при помощи осциллографа, который осуществил процесс дискретизации на аналого-цифровом преобразователе. Таким образом, появилась возможность просмотра трейсов в вышеупомянутом программном обеспечении.

Для того чтобы качественно реализовать атаку по ЭМИ, требуется осуществить процессы записей сигналов в нейтральном режиме и в активном/рабочем. Также необходимо выключить все устройства, находящиеся в месте проведения эксперимента, за исключением оборудования, которое непосредственно требуется для проведения атаки.

Выполнение таких требований необходимо для осуществления более качественной записи сигнала, с минимизацией сторонних шумов. Исследование производилось в непосредственной близости от центрального процессора трекера, на расстоянии 0,1–0,2 см. Интервалом для сэмплирования был выбран временной промежуток в 20 нс. Окно Блэкмана выступает в качестве типовой оконной функцией для всех записей.

Далее на трекере была запущена процедура «спаривания» по Bluetooth, который, в свою очередь, использует в качестве алгоритма аутентификации SAFER+. После запуска с помощью зонда был снят сигнал с трекера. В момент подключения устройство начинает очень активно излучать электромагнитные сигналы, которые удалось записать, что видно из полученных трейсов. Далее были записаны трейсы во время «привязки» трекера и смартфона. В данном случае на рис. 2 видны значительные, но краткосрочные «всплески» сигнала.

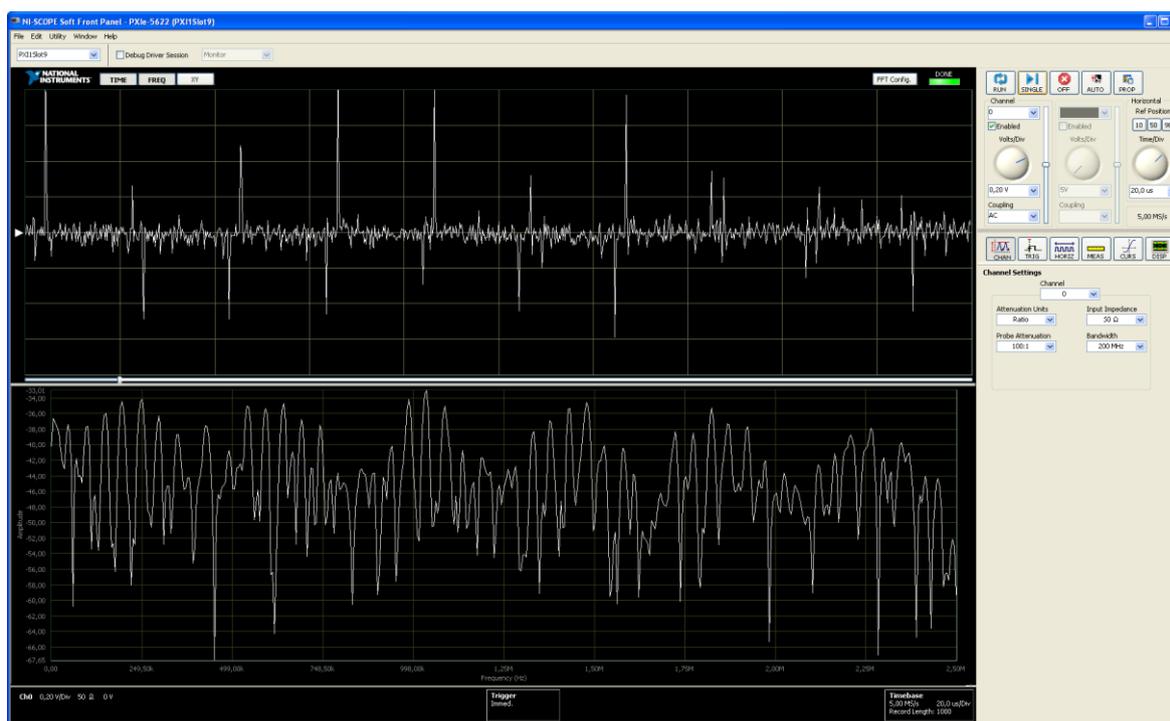


Рис. 2. Спектрограмма работы трекера в режиме «привязки» со смартфоном

Одной из ключевых проблем анализа трейсов, полученных по сторонним каналам, является точное определение времени проведения математических операций для шифрования алгоритма. Если решить данную проблему не представляется возможным, то осуществить расшифрование «секрета» из спектрограмм нельзя.

Поиск данных временных интервалов может осуществляться визуально — дополнительные математические операции в процессоре отображаются «всплесками», лепестками. Так, на спектрограмме (рис. 2) такие моменты времени ярко выражены —

амплитуда сигнала становится больше в момент подключения к смартфону по сравнению с сигналом в нейтральном режиме.

Анализ трейсов проводился с помощью окна Блэкмана, так как уровень боковых лепестков спектра данной оконной функции меньше динамического диапазона, полученного при записи сигнала. Оконное преобразование осуществляется для того, чтобы можно было получить частотные компоненты из временной зависимости сигнала, что дает возможность провести его спектральный анализ.

Произведя анализ полученных трейсов, можно сделать вывод, что атака по ЭМИ была проведена, но в связи с тем, что выбранное оборудование не позволило записать трейсы на более высокой частоте, выявить «секрет» не удастся. Для проведения качественного процесса расшифровки спектрограммы требуется записывать сигнал с большей детализацией. На данном оборудовании выделить отдельные операции, происходящие в центральном процессоре, не представляется возможным.

Следует отметить, если применяемая в данной работе аппаратура делает невозможным качественно проанализировать полученные трейсы, данный факт не делает атаку с дальнейшей расшифровкой неосуществимой, поэтому для дальнейшего анализа трейсов, требуется повторить данную атаку, записав спектрограммы на более быстроедействующем оборудовании. Примером такого устройства может выступать программно-аппаратный комплекс Inspector SCA от компании Riscure. Данный комплекс специально разработан для исследования микросхем на уязвимости к электромагнитным атакам.

Литература

1. Атаки по сторонним каналам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Side_channel_attack/ (дата обращения: 06.03.2019).
2. Genkin D. et al. ECDSA key extraction from mobile devices via nonintrusive physical side channels // Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2016. – P. 1626–1638.

Гневашев Юрий Витальевич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3260Направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств

e-mail: gnev112@yandex.ru

Коновалов Георгий Александрович

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3260Направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств

e-mail: kong_19@mail.ru

Менжицкий Глеб Игоревич

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3260Направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств**Махиня Данила Алексеевич**

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3260Направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств**Горшков Константин Сергеевич**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент

e-mail: k.gorshkov@itmo.ru

УДК 004.358**РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ****Гневашев Ю.В., Коновалов Г.А., Махиня Д.А., Менжицкий Г.И.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Горшков К.С.**

Работа посвящена разработке контроллера, который позволит реализовать передачу движений в мир виртуальной реальности с помощью движений ног и корпуса в реальном мире и одновременно будет недорогим и компактным. Рассмотрены различные аналоги данного проекта. Также в тексте представлены описание, принципы работы и анализ опытного образца периферийного устройства для моделирования движения человеческого тела в виртуальной реальности. Контроллер отслеживает наклоны корпуса и движения ног для создания ощущения ходьбы в виртуальном пространстве.

Ключевые слова: приборостроение, виртуальная реальность, контроллеры управления.

Цель работы: создание портативного контроллера для моделирования передвижения в виртуальном пространстве [1–5].

Задачи работы:

1. изучить материалы по теме;

2. продумать основные принципы работы устройства;
3. сконструировать контроллер;
4. разработать программное обеспечение (ПО) для контроллера;
5. проверить контроллер на совместимость с оборудованием, представленным на рынке;
6. протестировать и отладить работу контроллера.

Методы исследования:

1. компьютерное моделирование;
2. математическое моделирование;
3. стандартное программирование;
4. сбор статистики;
5. тестирование.

Основные планируемые результаты проекта: разработать и сконструировать рабочий прототип устройства, который позволит моделировать передвижение в виртуальном пространстве, используя отслеживаемые движения ног и корпуса.

Области возможного использования результатов проекта: проект предполагается использовать в индустрии развлекательной, а также в области образования.

Теоретическая часть. В наше время технологии виртуальной реальности (Virtual Reality, VR) быстро развиваются и находят свое применение в различных сферах. Уже стало возможным создавать целые виртуальные миры в высоком качестве изображения, с помощью небольшого количества оборудования, однако до сих пор проблематично реализовать передвижение в VR с помощью движений человека в реальном мире, т.е. с помощью движения его ног и наклона корпуса.

Сейчас на рынке есть множество контроллеров, которыми пользователь управляет пальцами, что мешает полному погружению в VR, или же есть контроллеры с полной передачей движения, однако они очень громоздки и дороги. Именно поэтому было решено создать свой контроллер, который позволит реализовать передачу движений в мир VR с помощью движений ног и корпуса в реальном мире и одновременно будет недорогим и компактным.

Первым делом был изучен рынок VR-контроллеров. Существует множество аналогов в виде всенаправленных беговых дорожек. Все они предлагают максимальное погружение в виртуальный мир, но из-за особенностей конструкции они просто не могут быть компактными. Поэтому такие устройства предназначены для использования в специально оборудованных помещениях и малоприспособны для домашнего использования.

Примеры данных аналогов:

1. Virtuix Omni составляет 140 см в ширину и весит 72 кг. Цена 139 000 руб.;
2. Cyberith Virtualizer составляет 100 см в ширину и весит 50 кг. Цена 129 000 руб.;
3. KatWalk mini вес 85 кг и 170 см ширина. Цена 289 000 руб.

Каждая из этих моделей имеет свои преимущества и недостатки относительно друг друга, но главные их недостатки это:

1. большие габариты устройств;
2. высокая цена для обычного потребителя.

Кроме беговых дорожек косвенным конкурентами являются обычные контроллеры для рук, позволяющие передвигаться с помощью аналоговых элементов управления. Достоинством такого решения является то, что контроллеры, как правило, идут в комплекте с VR-очками и их не нужно докупать. Однако такой вид перемещения ненатурален и сильно вредит погружению в виртуальный мир.

Практическая часть. Следующим этапом после изучения аналогов и материалов по данной теме стало проектирование устройства. Основная идея проекта заключалась в передаче движения с помощью ходьбы на месте, а направление движения задавалось наклонами корпуса в четырех направлениях.

В качестве основы была выбрана платформа Arduino, состоящая из двух Arduino UNO и Arduino Leonardo, по причине ее доступности и дружелюбности интерфейса. Для определения движения и наклонов был выбран модуль GY-521, содержащий в себе акселерометр и гироскоп.

Был спроектирован ряд ранних прототипов контроллера (рис. 1, а) и написана программа для них в среде Arduino IDE. Первые версии не отличались надежностью и служили только для экспериментальных целей.

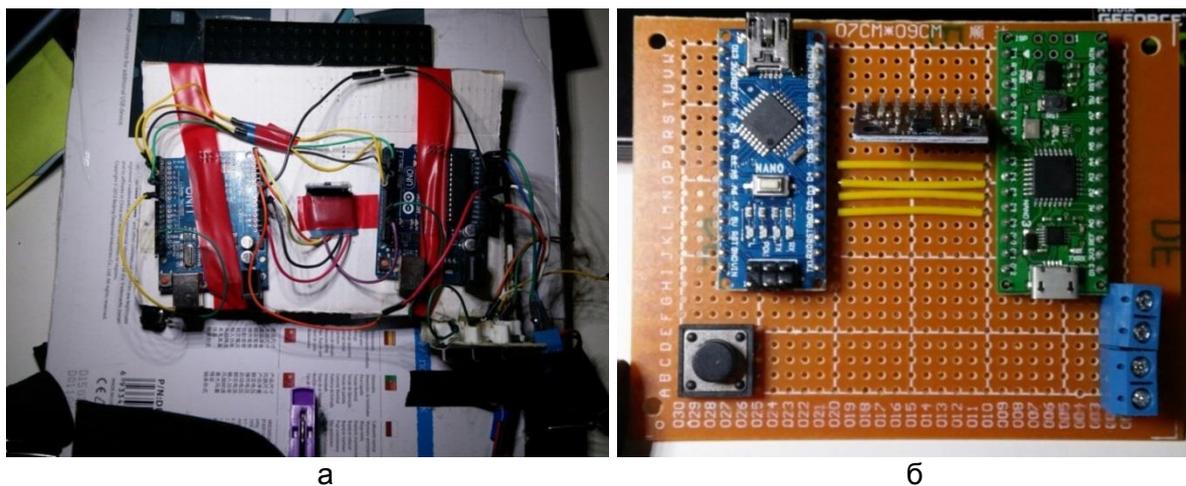


Рис. 1. Первый прототип контроллера (а); прототип на Arduino Nano (б)

Первая версия устройства была протестирована в приложении Serious Sam с помощью Google Cardboard. По результатам испытаний выявились большие задержки, которые требовалось исправить.

В дальнейшем было решено перейти на платформу Arduino Nano (рис. 1, б), из-за ее компактности и удобства пайки в плату. В ходе последующей работы удалось сделать устройство беспроводным. Для этого были использованы радиомодули по 433 МГц. В качестве источника питания контроллера было решено использовать четыре батарейки типа ААА.

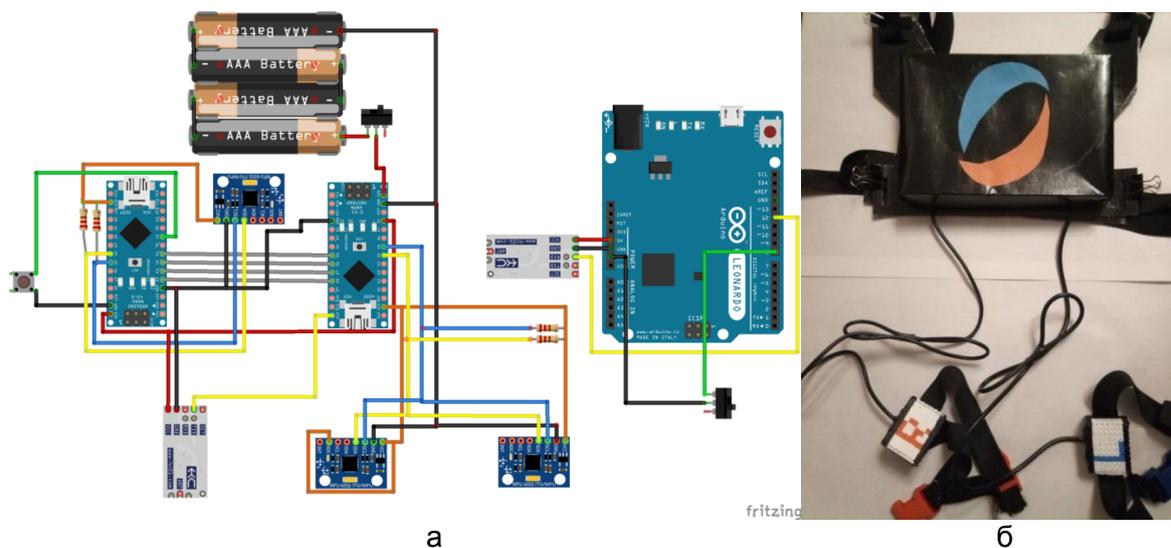


Рис. 2. Схема контроллера на Arduino Nano (а); последний рабочий вариант контроллера (б)

При дальнейшей работе встретились трудности, связанные с особенностями ПО Arduino Nano (рис. 2, а), поэтому для следующего прототипа снова было решено использовать Arduino Uno. В результате был разработан полностью рабочий контроллер (рис. 2, б), который позволяет моделировать передвижение в виртуальном пространстве, используя отслеживаемые движения ног и корпуса.

Конструктивные требования:

1. размер не более 30×30×5 см;
2. вес не более 1000 г – потребляемая мощность 0,5 Вт;
3. система Windows 7, 8, 10;
4. совместимые платформы HTC Vive, Oculus Rift, а также любые шлемы с поддержкой SteamVR. Планируется возможность работы с PS VR;
5. корпус выполнен из пластмассы и ткани, для удобства использования.

На данный момент был сконструирован первый прототип устройства, и были проведены первые тесты работы в следующих приложениях: Serious Sam Fusion, Subnautica, Minecraft Windows 10 Edition. Также были проведены испытания с целью определения задержек у контроллера. Так как устройство беспроводное, то появляются два вида задержки.

1. Задержки по передаче беспроводного сигнала 30–50 мс.
2. Задержки алгоритма на определения скорости ходьбы на месте 50–100 мс.

Так как проект планировался на основе микроконтроллера Arduino, то на прибор накладывались все ограничения эксплуатации, связанные с ним.

1. Нет защиты от влаги.
2. Ограничения по температуре. Примерно –40°C до +60°C (во время разработки будет установлен более точный температурный режим).

Были использованы следующие элементы:

1. Arduino Uno (2 штуки);
2. Arduino Leonardo;
3. радиомодули 433 МГц;
4. MPU 6050 (3 штуки);
5. блок для батареек;
6. батарейки AAA (4 штуки);
7. прочие элементы (кнопки провода, резисторы и т.д.).

В дальнейшем планировалось:

1. внесение изменений в алгоритм, схему, корпус и ПО устройства;
2. создание улучшенной версии устройства;
3. провести тестирование контроллера;
4. проведение мероприятия с целью сбора отзывов пользователей;
5. сотрудничество с клубами в VR;
6. оценить коммерческую рентабельность и возможность коммерциализации (благодаря относительной дешевизне контроллера и малым размерам его можно позиционировать как устройство для домашнего использования).

Заключение. В ходе работы были выполнены поставленные задачи. Был разработан и сконструирован рабочий прототип устройства, который позволяет моделировать передвижение в виртуальном пространстве, используя отслеживаемые движения ног и корпуса. В дальнейшем планируется работа над компактностью, стабильностью, а также переход на более компактные и профессиональные микроконтроллеры.

Литература

1. Omni virtual reality game controller secures Kickstarter cash [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/technology-22807205/> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Cyberith Virtualizer – Immersive Virtual Reality Gaming [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kickstarter.com/projects/1259519125/cyberith-virtualizer-immersive-virtual-reality-gam/> (дата обращения: 06.03.2019).
3. КАТ Walk mini [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://katvr.com/product/kat-walk-mini/> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Изосина Е.В., Семеркова Л.Н. Оценка стратегической привлекательности рынка виртуальной и дополненной реальности в России // Изв. вузов. Поволжский регион. Общественные науки. – 2017. – № 3(43). – С. 193–202.
5. Что ждет VR-рынок в этом году: последние новости и ближайшие перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/razvitie-vr-sfery/> (дата обращения: 06.03.2019).

Игнатовская Дарья Дмитриевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N41495Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: dashylia210796@yandex.ru

Лившиц Илья Иосифович

Год рождения: 1971

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент

e-mail: livshitz.il@yandex.ru

УДК 004.056**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЦЕДУРЫ DUE DILIGENCE В РОССИИ****Игнатовская Д.Д.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Лившиц И.И.**

В настоящее время помимо аудита информационной безопасности получила распространение процедура Due Diligence. Одним из этапов данной процедуры является аудит, при этом результат Due Diligence – оценка существующих и потенциальных рисков. Процедура носит инициативный характер, а ее эффективность зависит от опыта и наработок российских консалтинговых компаний. Также особенностью является использование различной информации, независимо от источников ее происхождения. В мировой практике такая процедура является стандартной и применяется практически повсеместно. Значительной преградой распространения в России является то, что сам термин «Due Diligence», его понятие, методология в официальных документах на данный момент не встречаются, также отсутствуют общепринятые инструменты и механизмы, инструкции и методики.

Ключевые слова: процедура информационная безопасность, Due Diligence, оценка рисков, потенциальные риски, аудит.

Цель работы: исследовать актуальное положение процедуры Due Diligence.

Хорошо известный метод для оценки обеспечения информационной безопасности (ОИБ) – аудит информационной безопасности (ИБ) (технический и организационно-методический), результатом которого является заключение о степени соответствия компании соответствующим критериям. В рамках аудита производится:

- оценка соответствия системы существующим нормативным требованиям;
- определение уровня обоснованности и правомерности всех принимаемых решений в области безопасности.

Таким образом, аудит ИБ позволяет определить степень обеспечения ИБ «здесь и сейчас». Помимо аудита, распространение получила процедура Due Diligence (должная добросовестность, ДД), результаты которой представляют собой оценку существующих и потенциальных рисков.

Анализ процедуры ДД, как дополнение к аудиту. Сразу хочется отметить, что аудит ИБ и ДД не являются взаимоисключающими, скорее наоборот. Если аудит носит обязательный характер, то ДД проводится по инициативе. Due diligence в отчетных документах представляется как дополнение к аудиту, но на самом деле аудит является частью процедуры ДД, одни из ее этапов.

Большой интерес представляет оценка потенциальных рисков и прогнозных данных, в рамках которой проводится оценка осуществимости планов, стратегий и планов компании и оценка положения на рынке, существующих тенденций, репутации,

деятельности партнеров, кредитоспособности и др. [1]. Конечно, при аудите прогнозы компании тоже используются, но только в качестве доказательства гипотезы о непрерывности производства/бизнеса.

Случай, когда качественный ДД позволил бы избежать больших затрат: когда eBay приобрела Skype за \$2,6 млрд в 2005 г., предполагалось, что это улучшит связь между покупателями и продавцами. Однако у покупателей и продавцов было мало причин, для того чтобы связываться не по электронной почте. Компании, eBay пришлось продать 65% Skype [2].

При проведении ДД учитывается различная информация независимо от источников ее происхождения. Это может быть, как сбор мнений других компаний, так и информация из средств массовой информации, история в социальных сетях.

Рабочая группа ДД может включать в свой состав большее разнообразие экспертов (в плане специализаций) по сравнению с аудитом.

ДД также является своеобразным пропуском на мировой уровень, где требование прозрачности при взаимодействии с партнером – одно из основных.

1. Определение механизмов регулирования:

- закон «Об аудиторской деятельности», Федеральные правила (стандарты) аудиторской деятельности (ФПСАД);
- международные стандарты аудита (МСА);
- соглашение швейцарских банков о стандартах проведения Due Diligence (The Swiss Bank's Due Diligence Agreement);
- директивы ЕС по проведению Due Diligence.

2. Определение достоинств и недостатков с точки зрения оценки ОИБ. Данную процедуру следует классифицировать как сопутствующую аудиту услугу, хотя российским законодательством такой вид услуг не предусмотрен. Единой методологии проведения ДД тоже нет, как правило, компании, оказывающие такие услуги, опираются на свой опыт и наработки, поэтому эффективность применения ДД может быть разной.

Применение процедуры довольно разнообразно. От смены этапов жизненного цикла и получения спонсорской помощи до смены топ-менеджмента и объединения компаний. Общее во всем этом то, что в компании происходят какие-либо существенные изменения. Соответственно, актуальными становятся вопросы ИБ. Не стоит забывать, что эти изменения могут быть посвящены лишь обеспечению ИБ.

Что дает ДД с точки зрения ИБ? Очень важно, что ДД позволяет оценить риски еще на этапе планирования – при неизменном состоянии защищенности. Что позволит своевременно принять адекватные меры по ОИБ, либо обосновать «небезопасность» изменений.

Отличительной особенностью ДД является возможность определения действительной цели изменений [1]. Так, например, была совершена сделка M&A компаний «Nextel» и «Sprint». Они обслуживали разные базы пользователей, Nextel больше обслуживала бизнес, в то время как Sprint была нацелена на частных клиентов. Компаниям было сложно интегрироваться в единую корпорацию, и руководители Nextel ушли из компании практически сразу после слияния. В результате потери компании составили \$29,444 млрд, и семь лет подряд компания несла убытки [2].

От цели проведения ДД зависит состав процедуры, который также определяется техническим заданием и может включать дополнительные риски, например, экологические, политические. В процедуре ДД оценка рисков ИБ должна выделяться в отдельный заключительный этап, учитывающий результаты исследований других направлений. Это позволит дать более адекватную оценку.

3. Определение перспектив ДД. В мировой практике ДД является стандартной процедурой, применяемой практически повсеместно. Даже для открытия счета в

иностранном банке, оформления гражданства (плюс судебные вопросы) нужно пройти данную процедуру [3]. ДД касается не только юридических, но и физических лиц.

Многие источники, начиная с 2004 года и по 2017, пишут, что ДД в России будет также распространен как в западных странах через 5–10 лет [4–8]. Но прогнозы не оправдываются. Конечно, можно сказать, что данная процедура активно используется в банковской и налоговой сферах, для оценки добросовестности плательщиков [9]. Но услышав словосочетание «Due diligence», сотрудники зачастую не понимают, о чем идет речь. Основное распространение процедура получает все-таки за счет увеличения количества внешних сделок. Значительной преградой распространения в России является то, что сам термин «Due diligence», его понятие, методология в официальных документах на данный момент не встречается, также отсутствуют общепринятые инструменты и механизмы, инструкции и методики.

Проведение процедуры по стоимости превышает стоимость аудита в виду больших трудозатрат. Заинтересованность в ДД компаний российского рынка гораздо ниже, поскольку данная процедура не является обязательной и увеличивает расходы на аудиторские услуги, и обосновать ее необходимость сложнее.

Также хотелось бы отметить недостаточное внимание вопросам ИТ-рисков при проведении данной процедуры, несмотря на их значительное влияние [10–13].

Заключение. Таким образом, оценка рисков в рамках ДД более привлекательна в виду большего количества источников информации, ориентации на будущее, обширности процедуры. Особую ценность проведение процедуры имеет при сделках М&А, когда отклонение от законодательно регулируемых процедур при оценке рисков ИБ может быть решающим фактором. «Медленно, но верно» ДД распространяется в России, хотя требует некую базу (методологическую, законодательную). Задачи для дальнейшего исследования – изучение особенностей сделок М&А, исследование методологий ДД для оценки ОИБ.

Литература

1. Sisco M. IT Due Diligence merger & acquisition discovery process. – 2nd edition. – MDE Enterprises, Inc., 2018. – 222 p.
2. 20 самых неудачных слияний в истории бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vestifinance.ru/articles/101316> (дата обращения: 01.02.2019).
3. IT and Operations Due Diligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rsmus.com/what-we-do/services/transaction-advisory/it-and-operations-due-diligence.html> (дата обращения: 03.02.2019).
4. Семенова Л. Технология проведения Due Diligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cfin.ru/finanalysis/invest/dd_tech.shtml (дата обращения: 23.01.2019).
5. Соколова А.А. Due diligence: эффективный метод определения уровня финансового риска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1429364668> (дата обращения: 07.02.2019).
6. Due diligence: независимая оценка бизнеса как фактор финансовой и репутационной стабильности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aif.ru/boostbook/due-diligence.html> (дата обращения: 18.02.2019).
7. Дью Дилидженс (Deu Diligence) в России. Перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.financial-lawyer.ru/topicbox/investment/166-568.html> (дата обращения: 28.02.2019).

8. Стяжкина И.В. Особенности проведения процедуры Дью Дилидженс в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-provedeniya-protsedury-dyu-dilidzhens-v-rossii> (дата обращения: 19.02.2019).
9. Пискунов И. Due Diligence для банков: особенности оценки IT- и ИБ-активов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://futurebanking.ru/reglamentbank/article/4698> (дата обращения: 01.04.2019).
10. Drew Del Matto Don't Neglect Security in M&A Due Diligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ww2.cfo.com/cyber-security-technology/2016/11/dont-neglect-security-ma-due-diligence/> (дата обращения: 27.02.2018).
11. Антонова Н.А. Сущность и цель современной профессиональной услуги Дью Дилидженс // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы III Междунар. науч. конф. – М.: Буки-Веди, 2015. – 215 с.
12. Корсаков М.Н., МузOLEV И.В. Due Diligence: понятие, проблемы и перспективы развития в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/due-diligence-ponyatie-problemy-i-perspektivy-razvitiya-v-rossii> (дата обращения: 15.02.2019).
13. IT Due Diligence Guide: Make an Informed Technology Investment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itduediligenceguide.com/> (дата обращения: 19.02.2019).

Комарова Антонина Владиславовна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
аспирантНаправление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: piter-ton@mail.ru

Коробейников Анатолий Григорьевич

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
д.т.н., профессор

e-mail: korobeynikov_a_g@mail.ru

УДК 004.056**ПРОТОКОЛ АУТЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОСТКВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ****Комарова А.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Коробейников А.Г.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

Разработан «гибридный» протокол электронной подписи, основанный на двух трудоемких задачах одновременно, одна из которых классическая асимметричная (задача дискретного логарифмирования), а другая – постквантовая (задача нахождения ближайшего вектора решетки). Показано, что возросшие длины ключа и подписи являются приемлемыми для использования в протоколах, где определяющим условием является обеспечение безопасности. Использование трудной постквантовой задачи делает предлагаемый протокол стойким к квантовым вычислениям.

Ключевые слова: постквантовая криптография, теория решеток, схема FALCON, электронная подпись, гибридный протокол электронной подписи.

Введение. Важной проблемой современной криптографии является потенциальная возможность появления квантового компьютера. Большинство используемых на сегодняшний день схем электронной подписи основывается на трудных задачах теории чисел, таких как дискретное логарифмирование и факторизация, вероятность компрометации которых с помощью квантового компьютера стремительно растет. Данный факт является неприемлемым, т.е. возникает потребность в разработке полноценно стойких к квантовым вычислениям схем. Эту проблему можно решить путем использования примитивов постквантовой криптографии. Но данный раздел менее изучен, поэтому с теоретической точки зрения тотальный переход на новые примитивы сразу не может обеспечить полной защищенности. Для этого нужна глубокая апробация рабочих схем в реальной жизни. Таким образом, можно видеть, что актуальной разработкой является так называемая гибридная схема электронной подписи, а также криптографические протоколы на ее основе [1].

Зачастую посредством электронной подписи можно осуществить процесс аутентификации, так как именно электронная подпись позволяет решить основные задачи информационной безопасности: целостность, доступность, аутентичность, а также невозможность отказа от авторства. Таким образом, целью данной работы являлась разработка протокола криптографической аутентификации информации, обеспечивающего повышение безопасности за счет внедрения в него постквантовой схемы FALCON.

Разрабатываемый протокол. Автором предложен следующий «гибридный» протокол электронной подписи, реализованный путем синтеза схемы подписи Шнора [2], базирующейся на задаче дискретного логарифмирования, и основных выдержек из схемы FALCON [3], основанной на постквантовой задаче поиска ближайшего вектора решетки (Closest Vector Problem, CVP).

Процедура генерации ключей в разработанном протоколе происходит по схожему сценарию, как и в криптосистеме NTRU [4], и в схеме FALCON [3].

1. На стороне пользователя A задаются значения N, q, d , где N – размерность векторов (и решетки); q – модуль; d – количество единичных коэффициентов многочлена f .
2. Далее пользователь A выбирает два многочлена $f \in R$ и $g \in R$ так, чтобы многочлен

f был обратим в кольце $R = \frac{Z[x]}{(\varphi)}$, где φ – некоторый многочлен, по модулю которого

будут производиться вычисления. В таком случае, для обязательного выполнения условия обратимости в кольце, количество коэффициентов, равных 1 в многочлене f , должно быть равно d , а коэффициентов, равных -1 , должно быть равно $d-1$. Количество коэффициентов, равных 1 и -1 в многочлене g должно быть равно $d-1$, так как он не обязательно должен быть обратимым в кольце R .

3. После этого он вычисляет два многочлена F и G такие, чтоб выполнялось условие: $fG - gF = q \pmod{\varphi}$. Подробнее данный процесс описан в [3].

4. Затем он вычисляет матрицу $\mathbf{B} = \begin{bmatrix} f & g \\ F & G \end{bmatrix}$, которая является закрытым ключом.

5. По закрытому ключу пользователь A вычисляет значение $h = \frac{g}{f} \pmod{q, \varphi}$ и

формирует матрицу $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & h \\ 0 & q \end{bmatrix}$, которая является открытым ключом.

6. Далее он вычисляет значение $\|h\|$ – Евклидова норма.
7. Выбирает случайное число p , выбирает случайное целое число x , такое, что $1 < x < p-1$, и вычисляет $y = \|h\|^x \pmod{p}$.

Закрытым ключом являются матрица \mathbf{B} и число x .

Открытым ключом является матрица \mathbf{H} и число y .

Процедура генерации подписи к сообщению M с помощью открытого ключа (B, x) происходит на стороне пользователя A (подписывающего):

1. пользователь A генерирует случайное число k , $1 < k < p-1$;
2. потом он вычисляет значение $R \equiv \|h\|^k \pmod{p}$;
3. далее к сообщению M он присоединяет число R и вычисляет значение хэш-функции H от значения $(M\|R): D = H(M\|R)$;
4. затем пользователь A вычисляет значение $L: L \equiv k - xD \pmod{p}$;
5. вектор \mathbf{D} он представляет в виде двух векторов $\mathbf{D} = (D_1, D_2) \pmod{q}$, как в схеме электронной подписи NTRUSign [4], построенной на базе NTRU;
6. согласно процедуре подписания в схеме NTRUSign [4], подписывающий вычисляет значения:

$$v_1 = \frac{D_1 G - D_2 F}{q} \text{ и } v_2 = \frac{-D_1 g + D_2 f}{q};$$

7. затем он вычисляет значение $S = v_1 f + v_2 F$.

Подписью к сообщению M является тройка чисел (R, L, S) .

Процедура проверки подписи (R, L, S) к сообщению M с помощью открытого ключа (h, y, p) происходит на стороне пользователя B (проверяющего):

1. пользователь B присоединяет число R к сообщению M и вычисляет значения хэш-функции H от значения $(M||R): D=H(M||R)$;
2. затем он вычисляет значение R' : $R' \equiv \|h\|^L y^D \pmod{p}$;
3. далее проверяющий присоединяет число R' к сообщению M и вычисляет значение хэш-функции $D'=H(M||R')$;
4. пользователь B сравнивает значения D и D' . Если $D=D'$, то первая часть подписи считается подлинной;
5. потом проверяющий представляет вектор \mathbf{D} в виде двух векторов $\mathbf{D} = (D_1, D_2) \pmod{q}$, как в схеме электронной подписи NTRUSign, построенной на базе NTRU;
6. далее он вычисляет значение $t = hS \pmod{q}$ и, в зависимости от заданных параметров криптосистемы, вводит значение нормы β ;
7. наконец пользователь B проверяет выполнимость условия $\|(S, t) - (D_1, D_2)\| < \beta$. Если условие выполняется, то подпись признается верной, если условие не выполняется, то подпись отвергается.

Можно показать, что такой протокол действительно основан одновременно на двух трудных задачах: задаче нахождения ближайшего вектора решетки и задаче дискретного логарифмирования.

В случае если злоумышленник каким-либо образом научился решать задачу дискретного логарифмирования, либо внезапно созданный квантовый компьютер смог успешно решить данную задачу за приемлемое время, то злоумышленник может по открытым значениям y , $\|h\|$ и p найти значение части секретного ключа x . Далее он может подобрать такое значение k , чтобы оно удовлетворяло условию $R \equiv \|h\|^k \pmod{p}$, потом получить значение $L \equiv k - xD \pmod{p}$ и вычислить $R' \equiv \|h\|^L y^D \pmod{p}$. Однако для полной компрометации электронной подписи требуется также взломать и вторую часть подписи, т.е. найти близкий к заданному вектор к решетке, т.е. решить задачу CVP, которая считается NP-полной.

С другой стороны, в силу того, что криптографические примитивы на основе теории решеток используются сравнительно недавно, мировым научным сообществом могут быть найдены некоторые уязвимости в схемах данного рода. Таким образом, в случае компрометации второй части подписи, т.е. в случае нахождения такого значения t , близкого к (D_1, D_2) , чтобы выполнялось условие $\|(S, t) - (D_1, D_2)\| < \beta$, злоумышленнику также придется решить и задачу дискретного логарифмирования для вычисления корректного значения R' , что на данный момент пока еще является трудной вычислительной задачей.

Что касается длин подписи и ключей, то они не сильно возросли по сравнению с исходной схемой FALCON. К закрытому и открытому ключам добавились параметры x и y соответственно, имеющие в общем случае безопасную длину 512 бит (данная длина определяется длиной модуля p). К подписи добавилось значение L , также имеющее длину 512 бит.

Таким образом, сумма длин открытого ключа и подписи $|pk| + |Sign|$ в разработанном протоколе равняются 1715 битам, что сравнимо с соответствующими длинами в схеме RSA.

Следует отметить, что в работе [5] предложен механизм по уменьшению длины подписи в схеме Шнора, который может быть использован в разработанном «гибридном» протоколе.

К преимуществам разработанного протокола можно отнести: компактность; стойкость, как к классической, так и к квантовой модели случайного оракула; резистентность к атакам на основе предварительно найденных коллизий хэш-функции.

Выводы. В данной работе предложен протокол электронной подписи, основанный на двух трудоемких задачах одновременно. Первая задача – задача дискретного логарифмирования, вторая – постквантовая задача нахождения ближайшего вектора решетки. Возросшая длина ключа является приемлемой для использования в схемах, где определяющим условием является обеспечение безопасности.

Вероятность компрометации полученного протокола резко снижается. К тому же, использование трудных задач постквантовой криптографии делает его стойким к квантовым вычислениям. Таким образом, в протоколах данного типа может быть существенно повышен уровень безопасности.

В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть возможности комбинирования других вычислительно трудных задач в одном протоколе электронной подписи, а также разработать общую методику такого комбинирования для создания схем, стойких к квантовому компьютеру.

Литература

1. Chen L., Jordan S., Liu Y.K., Moody D., Peralta R., Perlner R., Smith-tone D. Report on Post-Quantum Cryptography [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pdfs.semanticscholar.org/8cbf/6328ff565480ce10d8ff00c8ca80b75f2f23.pdf?_ga=2.94749724.1086848089.1571238905-1072790387.1570707202 (дата обращения: 06.03.2019).
2. Молдовян Н.А., Молдовян А.А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. Учебное пособие. – СПб.: БХВ, 2005. – 288 с.
3. FALCON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://falcon-sign.info> (дата обращения: 05.04.2019).
4. Hoffsteine J., Howgrave-Graham N., Pipher J., Silverman J.H., Whyte W. NTRUSIGN: Digital signatures using the NTRU lattice // Marc Joye. – 2003. – V. 2612. – P. 122–140.
5. Агиевич С.В. Схема Шнора с укороченной ЭЦП и предварительным хэшированием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: elib.bsu.by/bitstream/123456789/24142/1/short.pdf (дата обращения: 05.04.2019).

Ляховенко Юлия Александровна

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3249Направление подготовки: 10.03.01 – Технологии защиты информации

e-mail: lyakhovenko.kam@gmail.com

Виксин Илья Игоревич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., ассистент

e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В СЛУЧАЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**Ляховенко Ю.А.****Научный руководитель – к.т.н. Виксин И.И.**

Рассмотрены методы моделирования поведения человека в случае паники во время чрезвычайной ситуации, используемые для оптимизации правил эвакуации при возникновении чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: мультиагентные системы, моделирование, моделирование слабо организованных групп в чрезвычайных ситуациях, моделирование чрезвычайных ситуаций.

Введение. На данный момент правила эвакуации в замкнутых помещениях в случае экстренной ситуации построены без учета модели поведения человека, которое характеризуется стохастичностью принятия решений в условиях паники [1], из-за чего нерационально расходуется время, затрачиваемое на эвакуацию, что впоследствии увеличивает количество жертв. Существует множество трагичных примеров, таких как:

1. пожар 05.12.2009 года в Перми в ночном клубе «Хромая лошадь» (ул. Куйбышева, 9), в котором погибли 112 человек и 123 пострадали. Эвакуация осложнялась наличием нарушений норм пожарной безопасности, из-за чего образовалась давка;
2. пожар 26.03.2018 года в Кемерове в торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» (пр. Ленина, 35), в котором погибли 60 и пострадали 79 человек. Также усложнялась эвакуация наличием нарушений пожарной безопасности в торгово-развлекательном комплексе, при разработке проектной документации не было получено согласование в МЧС.

Эти события доказывают важность применения методов моделирования для анализа действий толпы в случае различных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Процесс предварительной подготовки следует оптимизировать, чтобы сама эвакуация занимала меньше времени и подходила для действий толпы при возникновении чрезвычайной ситуации.

С помощью моделирования действий толпы в случае паники будет возможно проводить анализ произошедших ЧС, прогнозировать «типичные действия» толпы с учетом психологических, социальных и информационных аспектов поведения слабо организованных масс. Это позволит оптимизировать правила эвакуации для улучшения взаимодействия людей и их действий при возникновении экстренной ситуации так, чтобы количество жертв было минимальным.

Основой математической модели поведения человека в условиях экстренной ситуации, представленной в работе, являлась модель социальных сил (Social force model)

Дирка Хелбинга и Питера Молнара. Также представлено решение, учитывающее не только пространство и расстояние до различных областей выхода, но и учитывающее внешние и внутренние воздействия на человека на часть слабо организованной массы, такие как физиологические, социальные и информационные [2–4].

Под информационным влиянием понимается влияние осведомленности других членов толпы об окружающей среде, оказываемые отдельными видимыми агентами в процессе эвакуации. Откуда вытекает неспособность человека выбирать оптимальное направление движения для достижения цели (выхода) из-за основания выбора по средней траектории движения других людей из толпы.

Задача. Выбор направления движения зависит от индивидуального перемещения и изменений знаний об окружающей среде:

- видимые агенты;
- перемещение этих агентов;
- наличие информации о запасных выходах и пожарных лестницах;
- информация о доступности этих выходов и лестниц.

Таким образом, в каждый отдельный момент времени агент пересчитывает свой маршрут, основываясь на информации об изменении окружающей среды. Для решения этой проблемы был добавлен такой психосоциальный аспект, как w – вес направления движения видимого агента, который является параметром привлекательности направления движения агентов.

Анализ факторов. Каждого агента p_i , входящего в толпу, характеризуют следующие факторы:

- неполнота знаний об окружающей среде и других агентов;
- невозможность полностью спрогнозировать изменения в окружающей среде;
- выбор направления движения $d_{p_i}^t$ из множества маршрутов D , на основе средней $E(d_{p_i}^{t-1})$ траектории движения других видимых агентов толпы;
- выбор направления движения d , основываясь на произошедших до t момента ЧС событий (увиденный стюард или запасный выход).

Алгоритм работы. Предлагаемый метод рассматривает катастрофу как набор временных интервалов $T = \{t_0, t_1..t_n\}$, т.е. можно предположить о существовании системы в момент времени t_i и о существовании системы в предыдущий момент времени t_{i-1} . Сама толпа представляет собой множество агентов $P = \{p_0..p_n\}$, которое можно разбить на два подмножества, учитывая -типы людей, разделяя множество P на $|\{K\}| = 2$, $K = \{K_{us}, K_{inf}\}$, где K_{us} – обычные люди, а K_{inf} – информированные, причем $K_{us} \gg K_{inf}$.

Каждый агент определяется следующим набором атрибутов:

- уровень здоровья hp , который является равным для всех P_{us} и P_{inf} в момент времени t_0 ;
- местоположение в пространстве (координатами) – $coord_{p_{inf}}, coord_{p_{us}}$;
- расстояние до опасного фактора L_{p_i} , причем эта величина зависит от местоположения агента, т.е. $L_{p_i} = L(coord)$.

Каждый агент в любое время решает задачу по нахождению оптимального направления перехода от своего местоположения до какого-либо безопасного места (выхода из зоны опасного для жизни фактора). Под оптимальным направлением движения понимается направление движения, при котором набор индивидуальных

свойств, определяющих его уровень здоровья, будет наиболее похож на набор аналогичных свойств в начальный момент времени (в начале катастрофы).

В дальнейшем основным фактором, определяющим направление движения $d(p_i)$ агента, будет оценка агентом p_i направления движения других агентов $s_i = s(p_i)$, из-за которой в процессе эвакуации будет изменяться алгоритм движения агента $a(p_i)$. Причем $s(p_i)$ зависит от местоположения агента $coord_{p_i}$ и направления движения d_{p_i} , т.е.

$$s_i = s(p_i) = f_s(coord_{p_i}, d_{p_i}) = f_s(coord_{p_i}, \pi r^2\{coord_{p_i}\}).$$

Также введем множество агентов, попадающих в поле зрения агента p_i :

$$S_i = \{p_j \in P: p_j \neq p_i, coord_{p_j} \in \pi r^2(coord_{p_i})\}.$$

Самое же направление движения в момент времени t при этом зависит от направления движения в момент времени $t-1$, т.е. $d_{p_i}^t = f(wd_{p_i}^{t-1})$, где w – коэффициент веса направления движения, а также $w = \{w_{inf}, w_{us}\}$, где w_{inf} – вес направления информированного об окружающей среде агента; w_{us} – вес направления движения обычного агента, которые также можно разделить на множества $w_{inf} = \{w_{sinf}, w_{nsinf}\}$, $w_{us} = \{w_{sus}, w_{nsus}\}$, где w_s – вес направления агентов, увиденных до эвакуации, и w_{ns} – вес направления агентов, не увиденных до экстренной ситуации, причем $w_{sinf} \geq w_{nsinf} \geq w_{sus} \geq w_{nsus}$. Отсюда следует, что направление движения агента в момент времени t будет находиться как сумма двух функций, т.е.

$$d_{p_i}^t = f(wd_{p_i}^{t-1}) = f(w_{inf}d_{p_{inf}}^{t-1}) + f(w_{us}d_{p_{us}}^{t-1}), \text{ где } p_{us}, p_{inf} \in s.$$

Пусть $d_{p_i}^t = \overrightarrow{d_{p_i}^t} = \{coord_{p_i}^{t-1}, coord_{p_i}^t\}$, а также введем усредненное направление движения по всем агентам $E(d_{p_i}^{t-1})$. Тогда

$$d_{p_i}^t = \{coord_{p_i}^{t-1}, E(d_{p_i}^{t-1})\}.$$

Введем $E^*(d_{p_i}^{t-1})$ усредненное направление движения по всем агентам без учета себя, которое равно

$$E^*(d_{p_i}^{t-1}) = \frac{w_{inf} \sum coord_{p_{inf}}^{t-1} + w_{us} \sum coord_{p_{us}}^{t-1}}{|S_i|} = \\ = \frac{w_{sinf} \sum coord_{p_{sinf}}^{t-1} + w_{nsinf} \sum coord_{p_{nsinf}}^{t-1} + w_{sus} \sum coord_{p_{sus}}^{t-1} + w_{nsus} \sum coord_{p_{nsus}}^{t-1}}{|S_i|},$$

где $w_{sinf} \geq w_{nsinf} \geq w_{sus} \geq w_{nsus}$ и $\sum coord_{p_{nsus}} \geq \sum coord_{p_{sus}} \geq \sum coord_{p_{nsinf}} \geq \sum coord_{p_{sinf}}$.

Тогда усредненное направление движения по всем агентам в момент времени $t-1$ будет зависеть от усредненного направления движения группы агентов без учета себя и от местоположения агента в момент времени $t-2$, т.е.

$$E(d_{p_i}^{t-1}) = \frac{E^*(d_{p_i}^{t-1}) \cdot |S_i| + coord_{p_i}^{t-2}}{|S_i| + 1}.$$

Из этого следует, что прогнозируемое направление движения агента p_i будет равно

$$d_{p_i}^t = \{coord_{p_i}^{t-1}, E(d_{p_i}^{t-1})\} = \left\{ coord_{p_i}^{t-1}, \frac{E^*(d_{p_i}^{t-1}) \cdot |S_i| + coord_{p_i}^{t-2}}{|S_i| + 1} \right\}.$$

Выразив $E^*(d_{p_i}^{t-1}) \cdot |S_i|$ через коэффициент веса направления движения агентов и их местоположения, получаем окончательное значение направления движения агента p_i , т.е.

$$d_{p_i}^t = \left\{ coord_{p_i}^{t-1}, \frac{w_{sinf} \sum coord_{p_{sinf}}^{t-1} + w_{nsinf} \sum coord_{p_{nsinf}}^{t-1} + w_{sus} \sum coord_{p_{sus}}^{t-1} + w_{nsus} \sum coord_{p_{nsus}}^{t-1} + coord_{p_i}^{t-2}}{|S_i| + 1} \right\}.$$

Механизмы спасения. Направление движения в большей степени зависит от направления окружающих его агентов, что видно из окончательной формулы прогнозируемого направления движения агента p_i , т.е.

$$\left\{ coord_{p_i}^{t-1}, \frac{w_{sinf} \sum coord_{p_{sinf}}^{t-1} + w_{nsinf} \sum coord_{p_{nsinf}}^{t-1} + w_{sus} \sum coord_{p_{sus}}^{t-1} + w_{nsus} \sum coord_{p_{nsus}}^{t-1} + coord_{p_i}^{t-2}}{|S_i|+1} \right\}, \quad (1)$$

где $coord_{p_i}^{t-1}$ – это местонахождение агента в момент времени $t-1$, а вторая часть $E(d_{p_i}^{t-1}) = \frac{E^*(d_{p_i}^{t-1}) \cdot |S_i| + coord_{p_i}^{t-2}}{|S_i|+1}$ – это усредненное направление движение по всем агентам в момент времени $t-1$, которое зависит от усредненного направления движения группы агентов без учета агента p_i и от местоположения агента в момент времени $t-2$.

Откуда следует, что направление агентов зависит от количества окружающих его видимых агентов и от веса их направления, так, например, количество неувиденных до момента чрезвычайной ситуации обычных посетителей (p_{nsus}) будет значительно больше, чем агентов-стюардов, увиденных до ЧС (p_{sinf}), но вес направления последних будет значительно выше, чем у первых, т.е. $w_{sinf} \geq w_{nsinf} \geq w_{sus} \geq w_{nsus}$ и $\sum coord_{p_{nsus}} \geq \sum coord_{p_{sus}} \geq \sum coord_{p_{nsinf}} \geq \sum coord_{p_{sinf}}$. Для установления механизмов спасения будем опираться на направление движения последних, т.е. на персонал p_{inf} , так как он в большей мере осведомлен о наличии запасных выходов и пожарных лестниц, нежели обычные посетители. Для увеличения зависимости функции направления движения агента от направления увиденного до экстренной ситуации персонала нужно увеличить количество увиденного агентом-стюардов так, чтобы количество видимых агентов-стюардов, увиденных до момента ЧС, стремилось к количеству агентов-посетителей, увиденных до ЧС, т.е. $\sum coord_{p_{sinf}} \rightarrow \sum coord_{p_{sus}}$. Такое возможно при расстановке большей части работников p_{inf} вблизи выхода на момент входа агентов-посетителей p_{us} и расстановки их по периметру помещения уже после входа.

Также из формулы прогнозируемого направления движения (1) видно, что огромную роль в выборе направления движения играет такой фактор как окружающая агента толпа, так как выбор оптимального маршрута зависит от усредненного направления движения по всем агентам в поле зрения агента p_i , т.е. $E^*(d_{p_i}^{t-1}) = \frac{w_{inf} \sum coord_{p_{inf}}^{t-1} + w_{us} \sum coord_{p_{us}}^{t-1}}{|S_i|}$. Откуда видно, что вектор направления агента зависит не только от агентов-стюардов, но и от агентов-посетителей, а точнее, от их суммы векторов направления в момент времени $t-1$.

Для оптимизации маршрута спасения агента p_i нужно подготовить не только агентов-стюардов, увеличив их сумму векторов направления, а следовательно, и увеличив зависимость функции направления движения от направления персонала, но и подготовить агентов-посетителей, так как усредненное направление движения по всем агентам, в том числе и агента p_i $E(d_{p_i}^{t-1})$, зависит от выбора маршрута и персоналом, и посетителями. Агентов-посетителей p_{nsus} можно подготовить, показав местонахождение в помещении пожарных лестниц и запасных выходов, что в случае ЧС приведет к оптимизации эвакуации людей из зоны опасности, направив вектора направлений к ближайшим входам и лестницам, разгрузив при этом главный вход.

Также скорость эвакуации зависит от плана помещения (окружающей среды), в котором произошла ЧС, потому что ограничение в видимости окружающей среды уменьшает зону обзора агента посетителя p_{us} , из-за чего уменьшается количество увиденных агентов-персонала p_{inf} , а также уменьшается зависимость $d_{p_i}^t$ от веса увиденных до момента ЧС стюардов, так как вес их направления w_{sinf} является

константой, но уменьшается количество $\sum coord_{p_{sinf}}$, от которого зависит направление. Так, например, усложняет эвакуации построенная стена, отделяющая несколько столов от остального зала, так как агенты, находящиеся в этой части помещения, отделены от основной части агентов-посетителей и им сложнее установить для себя агентов-стюардов (p_{inf}). К тому же такой вид ограждения усложняет эвакуацию для данных агентов из-за усложненного направления вектора. (Это можно увидеть на рисунке, зелеными линиями отмечены перегородки, блокирующие качественную эвакуацию) [5–7].

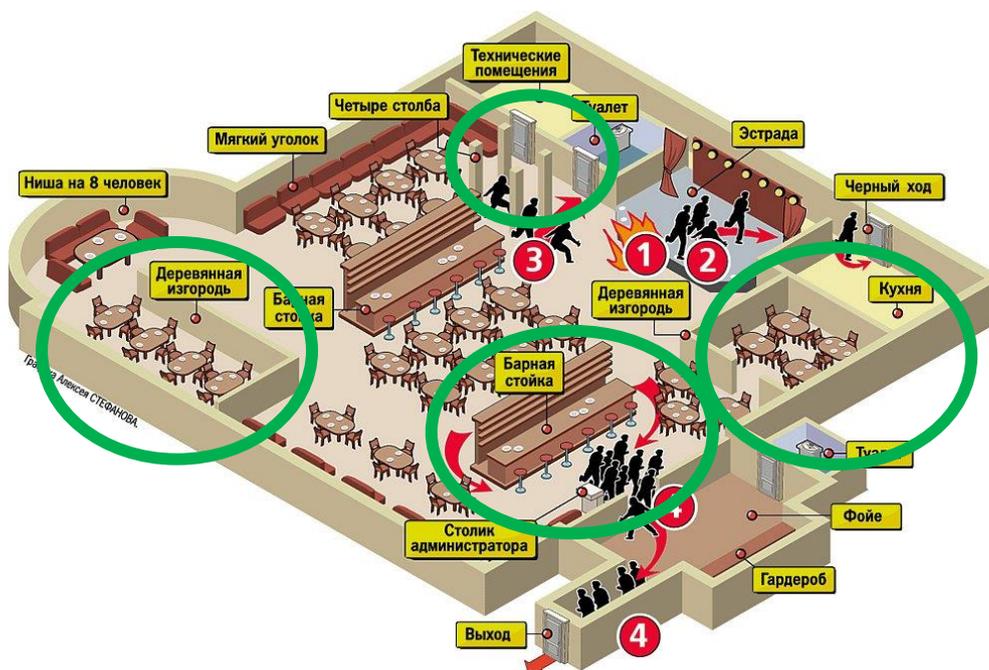


Рисунок. План помещения клуба «Хромая лошадь», г. Пермь

Литература

1. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. – Введен: 01.05.2009. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/cond-mat/9805244.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. A Multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eil.stanford.edu/publications/xiaoshan_pan/AI%26Society.pdf (дата обращения: 06.03.2019).
4. Mehran R., Oyama A., Shah M. Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.crcv.ucf.edu/papers/cvpr2009/CVPR09_Mehran.pdf (дата обращения: 06.03.2019).
5. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. Human and Social Behavior in Computational Modeling and Analysis of Egress [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eil.stanford.edu/publications/xiaoshan_pan/Pan_Han_Dauber_Law_Automation.pdf (дата обращения: 06.03.2019).
6. Pelechano N., Badler N.I. Modeling Crowd and Trained Leader Behavior during Building Evacuation // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2006. – V. 26(6). – P. 80–86.
7. Helbing D., Farkas I.J., Molnar P., Vicsek T. Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hal.elte.hu/fij/h/pdf/evacuation_2002.pdf (дата обращения: 06.03.2019).

Плющ Кристина Геннадьевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3450Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность

e-mail: kris200697@gmail.com

Кривцова Ирина Евгеньевна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
ст. преподаватель

e-mail: ikr@cit.ifmo.ru

УДК 004.02**ПОСТРОЕНИЕ ГРАФОВ-СИГНАТУР НА ОСНОВЕ БАЙТОВОГО КОДА
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЕЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ****Плющ К.Г.****Научный руководитель – Кривцова И.Е.**

В работе рассмотрен способ построения графов-сигнатур на основе байтового кода программы для ее идентификации. Данный способ применен в целях повышения точности идентификации программного обеспечения на электронных носителях информации. Идентификация программ является важной и актуальной проблемой в информационной безопасности. В настоящее время общество нуждается в обработке и хранении огромных объемов данных. Для защиты хранимой информации от несанкционированных действий требуется динамичное применение методов идентификации исполняемых файлов, пресекающее возникновение новых уязвимостей в автоматизированной системе. Под идентификацией в данной работе понимается процесс распознавания исполняемого ELF-файла с целью определения его принадлежности к той или иной программе.

Ключевые слова: ELF-файл, идентификация файла, сигнатура, матрица, граф, байтовый код, MATLAB.

Введение. Большинство существующих в области идентификации программ научных работ нацелено на обнаружение вредоносных программ. Чаще всего, для анализа невредаоносного программного обеспечения используются такие методы, как побайтовое сравнение, идентификация на основе наивного классификатора Байеса, идентификация на основе нейронной сети, сравнение контрольной суммы, идентификация программ через последовательность команд, а также сравнение цифровой подписи. Но использование части данных методов не всегда является действенным, ввиду возможного отсутствия эталонного образца.

Тем не менее комплексный подход к обеспечению информационной безопасности должен учитывать все возможные пути возникновения угроз и выставлять меры по их противодействию, поэтому, для того чтобы повысить качество работы, необходимо создавать технические меры по идентификации установленного программного обеспечения для поддержания информационной безопасности, которые будут полностью или частично автоматизированы.

Поэтому является актуальным исследование, направленное на разработку способа идентификации исполняемых файлов, вне зависимости от того, относится файл к классу вредоносных программ, или нет. Ведь такие программы могут служить источником появления новых уязвимостей в автоматизированной системе.

В современном обществе распространены Unix-подобные операционные системы, которые являются наиболее удобными и открытыми для исследования. Основным форматом исполняемых файлов данных систем являются файлы формата ELF. Существует

значительное разнообразие Linux систем (Ubuntu, Debian, Mint, Fedora и др.), и одна и та же установленная на них программа может иметь некоторые различия в коде [1].

Построение графа-сигнатуры. Для построения графа-сигнатуры использовался архив сигнатур из 15 программ тестовой выборки и 25 программ обучающей выборки.

При помощи HEX-редактора реализуется представление исполняемых файлов в побайтовом виде, которое в дальнейшем формируется в таблицу шестнадцатиричного кода исполняемого файла.

Далее происходит преобразование полученной таблицы в граф-сигнатуру по следующему алгоритму:

1. необходимо считать информацию с текстового HEX-файла и записать ее в некоторую матрицу X ;
2. создать нулевую матрицу Y порядка 256×256 по числу байтов;
3. далее происходит этап заполнения матрицы Y . Для этого обращаем внимание на матрицу X , первый (в дальнейшем называемый левым) элемент матрицы – это индекс строки матрицы Y , второй (в дальнейшем называемый правым) элемент матрицы X – это индекс столбца матрицы Y . Смотрим на первый и второй элементы матрицы X – ищем по ним элемент матрицы Y и увеличиваем это значение на единицу;
4. сдвигаемся на один элемент вправо в матрице X и повторяем предыдущие действия пункта 3 с заполнением матрицы Y .

Таким образом, из нулевой матрицы Y получаем матрицу весов ориентированного графа, вершинами которого являются байты (от 00 до FF), дуги формируются для каждой соседней пары двух байтов в HEX-виде программы, а веса равны количеству таких пар встречаемости двухбайтовых последовательностей. Матрица Y является сигнатурой программы.

По данным результатам строим граф в программе MATLAB с использованием встроенной функции построения графов. При построении графа расстояние зависит от силы притяжения между соседними узлами и силы отталкивания между удаленными узлами (рис. 1).

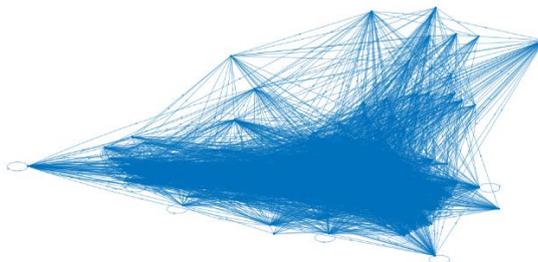


Рис. 1. Граф-сигнатура

Идентификация ELF-файлов на основе графа-сигнатуры. После построения графов-сигнатур всех исследуемых файлов необходимо провести идентификацию ELF-файлов тестовой выборки с ELF-файлами обучающей выборки путем попарного сравнения их сигнатур и провести оценку полученных результатов.

Для начала необходимо определить значения степеней вершин, т.е. количество ребер графа, инцидентных данной вершине, в тестовой выборке и в обучающей.

Следующим параметром для сравнения двух выборок выбрано среднее значение расстояния от вершины 1, т.е. от байта 00, до всех остальных вершин.

Далее происходит сравнение программ – 15 из тестовой выборки и 25 программ из обучающей. Из рис. 1 очевидно, что оценка такого массивного графа будет затруднительна, поэтому было решено производить сравнение сигнатур программ на основе следующих параметров графов-сигнатур:

1. средний показатель расстояния от вершины «байт 00» до всех остальных вершин (для дерева кратчайшего пути);
2. средний показатель степеней вершин (для полного графа);
3. среднее значение расстояния от 1 вершины до всех остальных (для полного графа).
Расстояние измеряется по числу ребер, которые необходимо пройти.

После выполненных действий составляется сводная таблица результатов по данным параметрам.

Таблица. Сравнение результатов

Тестовая выборка	Mean_degree_J	Mean_path_1_to_all	Degree_J	Общий результат
acpid_2.0.21ubuntu2_i386	+	+		1
acpid_2.0.231ubuntu2_amd64	+	–	+	1
activity-logmanager_0.9.70ubuntu19_amd64	–	–		
amarok_2.3.00ubuntu4_amd64	+-	+	+	1
amarok_2.3.00ubuntu4_i386	–	–		0
apt_1.0.1ubuntu2.11_i386	–	–	+	
apt_1.0.9.7ubuntu4.2_amd64	–	–		
bc_1.06.959build1_amd64	+	+		1
checkbox-gui_0.180ubuntu3_amd64	+	+		1
chrpath_0.16-1_amd64	–	+	+	0
cvspys_2.1-6_amd64	–	+-	+	1
genisoimage_1.1.112ubuntu2_i386	+	+-		1
genisoimage_1.1.112ubuntu3_amd64	+	+		1
rbd-fuse_0.790ubuntu1_amd64	+	–	+	1
xbrlapi_5.3.11ubuntu3_amd64	–	+	+	1

В данной работе использовались три параметра, по которым проводилось сравнение: mean_degree_J (средняя степень вершин ненаправленного графа), mean_path_1_to_all (средняя длина пути в дереве кратчайшего пути исходного графа), degree_J (степени всех вершин ненаправленного графа).

Первым параметром рассматривался mean_degree_J. Сравнение по данному параметру производилось путем оценки разности между значением mean_degree_J для сигнатуры файла из тестовой выборки и значением mean_degree_J для сигнатуры файла из обучающей выборки.

Таким образом, получилась таблица с разностями, затем полученная разность оценивалась при помощи установленного порога, который определял, какие значения разностей будут говорить о схожести двух сравниваемых файлов.

Эмпирически был установлен порог, равный минимальному значению в строке (выбирается из всех значений для одного тестового файла), плюс погрешность в 20% от минимального, т.е. если разность mean_degree_J является минимальной или не превышает минимального значения более чем на 20%, тогда сигнатура файла тестовой выборки считается схожей со сравниваемой сигнатурой программы из обучающей выборки. В противном случае файлы считаются различными. Далее заносим полученные результаты в таблицу в столбец mean_degree_J. Так, «+» отмечены те программы тестовой выборки, для которых были верно определены программы, к которым они относятся, например, программа acpid получилась схожа только с acpid. Обозначением «–» отмечены те файлы, которые были идентифицированы неверно, например, программа chrpath была идентифицирована как rbd-fuse, что не верно. Также

«+» отмечены файлы, которые были идентифицированы как верно, так и не верно, например, программа amarak была идентифицирована как amarak и как cvsps, что верно лишь отчасти. Такие же действия выполнялись по параметру mean_path_1_to_all.

Очевидно, что те значения, которые имеют два «-» составляют результат False Negative (неверно идентифицированные). Остальные программы, которые имеют хотя бы одно совпадение, сравниваем по третьему параметру degree_J.

В ходе данного эксперимента была определена точность идентификации, которая составила 83,33% (рис. 2). На рис. 2 TP (True Positive) – процент верно идентифицированных программ, FN (False Negative) – процент неверно идентифицированных программ.

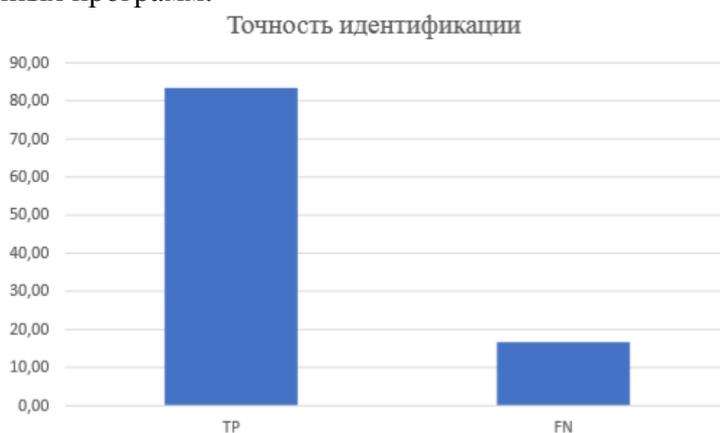


Рис. 2. Результаты точности идентификации

Таким образом, можно сделать вывод, что идентификация проходит исходя из оценки признаков. Так, например, можно задать правило, при котором совпадение сигнатур хотя бы по двум признакам будет считаться положительным результатом идентификации. Результаты проведенных экспериментов, а именно точность идентификации 83,33%, свидетельствуют о том, что данный способ может быть применен в задаче идентификации исполняемых файлов. Кроме того, данный подход к идентификации позволяет распознавать версии программного обеспечения, ранее не использованные в обучающей выборке [2–4].

При дальнейших исследованиях в рассматриваемой предметной области, для идентификации исполняемых файлов на основе графов-сигнатур можно применить известный в теории графов алгоритм установления изоморфизма двух графов на основе локальных характеристик отношения между вершинами.

Литература

1. Кривцова И.Е., Салахутдинова К.И., Юрин И.В. Метод идентификации исполняемых файлов по их сигнатурам // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 1(35). – С. 215–224.
2. Антонов А.Е., Федулов А.С. Идентификация типа файла на основе структурного анализа // Прикладная информатика. – 2013. – № 2(44). – С. 068–077.
3. Кривцова И.Е., Салахутдинова К.И., Кузьмич П.А. Метод построения сигнатур исполняемых файлов с целью их идентификации // Вестник полиции. – 2015. – Т. 5. – № 3(5). – С. 97–105.
4. Salakhutdinova K., Lebedev I.S., Krivtsova I.E., Bazhayev N., Sukhoparov M.E., Smirnov P.I., Markelov D.V., Davydov A.E., Pecherkin S., Kolcherin D.V., Shaparenko I.M., Iskanderov Y. A Frequency Approach to Creation of Executable File Signatures for their Identification // 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT. – 2017. – P. 261–267.

Ряскин Глеб Александрович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N4254Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: emailname@email.ru

Таранов Сергей Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, к.т.н.

e-mail: serg.tvc@gmail.com

Мухамеджанов Данияр Давлетович

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
аспирантНаправление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: mdonic92@gmail.com

Левина Алла Борисовна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент

e-mail: levina@cit.ifmo.ru

УДК 004.052.42

**ПРИЛОЖЕНИЕ НАДЕЖНОГО КОДИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ БЕНТ-
ФУНКЦИЙ И ВЕЙВЛЕТ-РАЗЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ****Ряскин Г.А., Таранов С.В., Мухамеджанов Д.Д.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина А.Б.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе рассмотрено приложение надежного кодирования на основе бент-функций и сплайн-вейвлетных разложений в системах связи. Произведено сравнение с кодами, используемыми в системах связи, с последующим анализом результатов. В результате предложены схемы по использованию надежных кодов. Разработанная схема надежного сплайн-вейвлетного бент-кода при внедрении в системы связи обеспечивает более высокие показатели по защите информации, в случае защиты информации от атак по сторонним каналам в сравнении с существующими решениями. Данные конструкции кодов и схемы внедрения в CDMA можно применять в задачах обеспечения безопасности информации.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, бент-функции, вейвлет-преобразование, сплайн-вейвлетное преобразование, надежные коды, система связи CDMA.

Введение. Одним из эффективных способов по решению задачи обеспечения высокой достоверности информации при ее передаче является использование теории кодирования и помехоустойчивых кодов [1, 2]. Злоумышленник, осуществляя различные воздействия на аппаратную составляющую кодирующего устройства с целью возникновения искажений информации на некоторых этапах кодирования, управляя и анализируя ошибки, может изменять передаваемую по каналу информацию [3]. Для обеспечения защиты против подобных атак используют надежные коды, которые строятся на нелинейных функциях [4]. В рамках данного исследования в

качестве нелинейных функций было предложено использование бент-функций и сплайн-вейвлетное разложение [5, 6].

Целью работы являлась разработка схем применения надежных кодов в системах связи на основе вейвлетных разложений и бент-функций для повышения показателей системы защиты от данных атак.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- выбор конструкции надежных кодов на основе вейвлетных разложений и бент-функций;
- разработка схемы внедрения выбранной конструкции надежных кодов с точки зрения защиты от атак по сторонним каналам и соответствия требованиям системы связи;
- сравнение характеристик новой схемы по показателям защищенности системы по сравнению с существующими вариантами.

В работе были выбраны несколько конструкций надежных кодов, основанных на бент-функциях и вейвлет-разложении с различной степенью мультипликативных элементов, в результате получен более низкий показатель по максимальной маскировке ошибки, но время, затраченное на кодирование информации, увеличивается. Составлены схема внедрения в систему связи CDMA (Code Division Multiple Access) выбранных конструкций. Произведено сравнение с кодами, используемыми в CDMA, с последующим анализом результатов.

Сплайн-вейвлет бент-коды. В данном разделе представлены бент-функции с разными степенями, построенные на основе сплайн-вейвлетного разложения и информационных символов для $n=8$. Каждая, приведенная функция является бент-функцией, и строилась на основе сплайн-вейвлетов и существующих алгоритмов бент-функций. Для всех функций вейвлетный элемент вычисляется по функции сплайн-вейвлетного разложения 1 порядка [7]:

$$Wave_k = c_k - c_{k+1} - (x_{k+2} - x_{k-1})(x_{k+2} - x_k)^{-1}(c_{k-1} - c_{k+1}).$$

Функции для $n=8$ представлены в табл. 1, также приведены условия сетки и степень функции.

Таблица 1. Сплайн-вейвлетный бент-код для $k=8$

Имя функции	Сетка	Функция	Deg(f)
Функция №1	$x_i=c_i$	$f_i = c_{i+1} * c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+2} * c_{i+3} * c_{i+5} +$ $+ Wave_{i+2} * c_{i+6} + c_i * c_{i+3} + c_i * c_{i+5} +$ $+ c_{i+2} * c_{i+3} + c_{i+2} * c_{i+4} + c_{i+2} * c_{i+5} +$ $+ c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+3} * c_{i+5} + c_{i+6} * c_{i+7}$	4
Функция №2	Статическая	$f_i = c_i * c_{i+1} Wave_{i+2} + c_{i+1} * c_{i+3} Wave_{i+4} +$ $+ c_i * c_{i+1} + c_i * c_{i+3} + c_{i+1} * c_{i+5} + c_{i+2} * c_{i+4} +$ $+ c_{i+3} * c_{i+4} + c_{i+6} * c_{i+7}$	3

$$R = \max_{e \in GF(2^n)} |\{x \mid x \in C, x + e \in C\}|,$$

где $+$ – покомпонентное сложение по модулю два.

Величина R является важнейшим параметром надежного кода. Для любой ошибки в канале передачи данных вероятность маскировки ошибки $Q(e)$ может быть задана как:

$$Q(e) = \frac{|\{x \mid x \in C, x + e \in C\}|}{M}. \quad (1)$$

Рассчитаем параметр R и максимальную вероятность маскировки ошибки в случае $n=8$, результаты приведены в табл. 2. Также для сравнения с используемыми конструкциями был взят надежный код Кердока.

Таблица 2. Сравнение кодов

Функция	Степень функции	R	Максимальная вероятность маскировки ошибки, $Q(e)$
Функция №1	4	96	0,375
Функция №3	3	120	0,46875

При защите канала передачи данных от действий злоумышленника, чем ниже значение параметра R , тем код более надежный. Поэтому создаем новую конструкцию надежного сплайн-вейвлетного кода с более низким значением R для функций из табл. 1.

Сплайн-вейвлетный код. Пусть $c = \{c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n\}$ обозначает кодовое слово некоторого разделяемого (n, k) -кода. Тогда $\{c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_k\}$ является информационной частью этого кода, а $\{c_{k+1}, \dots, c_n\}$ – проверочной. В данной конструкции для всего кода выбирается сетка $x = \{x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_k\}$, выбрасываются любые элементы на усмотрение инженера, $n = k + 2$. Выбрасываемые элементы обозначены множеством $z = \{z_1, \dots, z_{(n-k)/2}\}$, вейвлетные элементы – $b = \{b_1, \dots, b_{(n-k)/2}\}$. Функция $f_0(c_1, c_2, \dots, c_m)$ – это функция, где $m=6$ или $m=8$.

Пусть $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – вектор поля $GF(2^n)$. Вектор \mathbf{c} принадлежит коду, если

$$c_{k+j} = c_{z_i} + c_{z_i+1} + (x_{z_i+2} + x_{z_i-1})(x_{z_i+2} + x_{z_i})^{-1}(c_{z_i-1} + c_{z_i+1}),$$

$$b_{z_i} = c_{z_i} + c_{z_i+1} + (x_{z_i+2} + x_{z_i-1})(x_{z_i+2} + x_{z_i})^{-1}(c_{z_i-1} + c_{z_i+1}).$$

При четном z_i :

$$c_{k+j+(n-k)/2} = f_0(c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_m) + c_{m+1} * c_{m+2} + \dots + c_{k-1} * c_k.$$

При нечетном z_i :

$$c_{k+j+(n-k)/2} = f_1(c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_m) + c_{m+1} * c_{m+2} + \dots + c_{k-1} * c_k,$$

где $1 \leq j \leq (n-k)/2$, k – количество проверочных символов в коде, $z_i \in z$, «+» – сложение по модулю 2, соответствует операции XOR, «*» – произведение в поле $GF(2)$.

В результате была получена конструкция сплайн-вейвлетного бент-кода, в которой используются бент-функции различных степеней и различные значения сеток. Их использование позволяет наиболее качественно защититься от атак по сторонним каналам. Построим алгоритм работы надежных кодов в существующем канале передачи данных, наиболее лучшим примером для построения является канал передачи данных на основе системы связи CDMA. Далее разберем структуру CDMA, и использование в нем надежного кодирования.

Использование надежного кодирования в CDMA. Если рассматривать упрощенную схему, необходимую в рамках данного исследования, то архитектура работы кодирования информации в CDMA будет выглядеть, как показано на рис. 1.

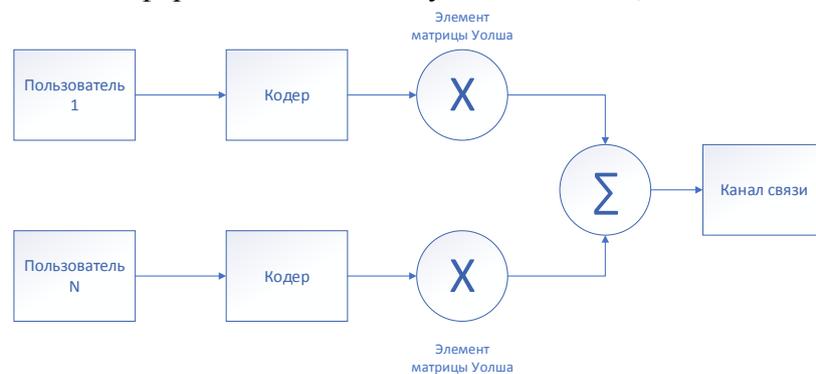


Рис. 1. Упрощенная схема кодирования в CDMA

Для внедрения надежного кодирования в CDMA необходимо выбрать такое же количество информационных и добавочных символов, как и в существующих вариантах архитектуры кодирования. В различных версиях CDMA используется код Хэмминга или сверточные коды, в которых количество информационных символов равно количеству добавочных символов, длина блока информационных символов k не должна превышать значения девяти – $k < 9$, соответственно $n = 2k$.

Возьмем количество информационных символов $k = 6$ и соответственно длину кодового слова $n = 12$. При внедрении надежного кода поделим кодер на две части, сначала кодируем информационное слово линейным кодом, для того чтобы исправлять одиночные ошибки, затем надежным кодом для защиты от атак по сторонним каналам. В результате при использовании надежного кодирования при $k = 6$, избыточные символы линейного кода (код Хэмминга) равны 4, и избыточные символы надежного кода – 2, для которых входящим словом является информационное слово + код Хэмминга. Пример схемы реализации представлен на рис. 2.

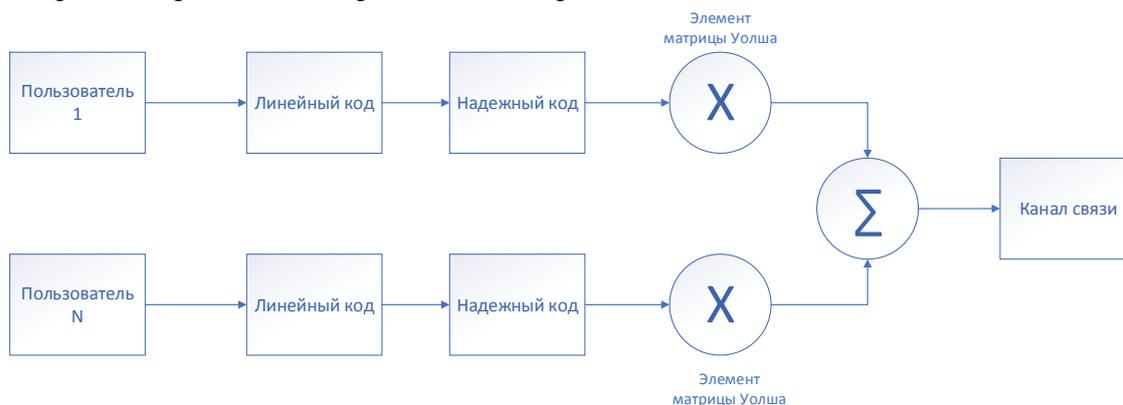


Рис. 2. Схема кодирования в CDMA с надежным кодом

Сравним характеристики, которые получаем при кодировании информации надежным кодом с существующими решениями, возьмем алгоритмы сплайн-вейвлетного бент-кода с разной степенью бент-функций, в которых будем использовать функции №1 и №2 из табл. 1. Сравнить характеристики будем по максимальной вероятности маскировки ошибки (1) и по количеству битов, которое может исправить приемник.

Таблица 3. Максимальная вероятность маскировки ошибки

Код	Максимальная вероятность маскировки ошибки, $Q(e)$	Количество битов, которое можно исправить
Надежный бент-вейвлет код (функция №1)	0,375	1
CDMA с кодом Хэмминга	1	1
CDMA со сверточным кодом	1	1
Надежный бент-вейвлет код (функция №3)	0,4675	1

Для надежного кода нет необнаруживаемых ошибок, в отличие от системы кодирования в CDMA, также стоит уточнить, что если бы в качестве надежного кода использовался код Кердока, то по табл. 3 данный код обладал бы большей максимальной вероятностью маскировки ошибки, чем разработанные конструкции. В CDMA помехоустойчивый код используется для исправления минимальных ошибок, для этого в предлагаемой архитектуре, кроме как надежного кодирования, используется линейное кодирование. В разработанных конструкциях и в существующих решениях

можно исправить только одиночные ошибки в канале. По данному параметру разработанная архитектура не уступает текущим решениям, тем самым один из главных смыслов использования помехоустойчивого кода в CDMA не нарушается. Внедрение надежного кодирования сильно повышает надежность системы CDMA от атак по сторонним каналам и действий злоумышленника, но время кодирования информации занимает большее время, чем для существующих реализаций CDMA.

Заключение. Разработанная схема надежного сплайн-вейвлетного бент-кода при внедрении в системы связи:

- обеспечивает более высокие показатели по защите информации, в случае защиты информации от атак по сторонним каналам в сравнении с существующими решениями;
- обладает распределением вероятности обнаружения ошибок, близким к равномерному распределению, что позволяет обеспечить защиту от атак по сторонним каналам;
- более высокое время кодирования информации по сравнению с существующими решениями.

Литература

1. Левина А.Б., Ряскин Г.А. Создание надежных кодов на основе бент-функций и вейвлет-преобразований // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 6(118). – С. 1008–1015.
2. Karpovsky M.G., Kulikowski K., Wang Z., Robust Error Detection in Communication and Computation Channels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pdfs.semanticscholar.org/525c/3d506fbecb826f542cb4890b328e3286233b.pdf?_ga=2.77285333.1325529423.1571406817-1072790387.1570707202 (дата обращения: 06.03.2019).
3. Жуков А.Е. Криптоанализ по побочным каналам (Side Channel Attacks) // Защита информации. Инсайд. – 2010. – № 5. – С. 28–33.
4. Токарева Н.Н. Нелинейные булевы функции: бент-функции и их обобщения. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 180 с.
5. Демьянович Ю.К., Ходаковский В.А. Введение в теорию вэйвлетов. – СПб.: Изд-во ПГУПС, 2007. – 49 с.
6. Левина А.Б. Сплайн-вэйвлеты и их некоторые применения: дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. – М., 2009. – 215 с.
7. Fekri F., Mersereau R.M., Schafer R.W. Theory of wavelet transform over finite fields // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1999. – V. 3. – P. 1213–1216.

Садикова Анастасия Александровна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N41491Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: frasce@mail.ru

Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, к.т.н.

e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.056.5

**АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА
В ТЕРМИНАХ ТЕОРИИ ИГР****Садикова А.А.****Научный руководитель – к.т.н. Кузнецов А.Ю.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Процесс управления информационной безопасностью неразрывно связан с процессами защиты информации. Одним из перспективных направлений при принятии управленческого решения в вопросе обеспечения защиты информации является использование теории игр, а в частности моделей информационного противоборства, разработанных с ее применением. В ходе работы были рассмотрены недостатки нормативно-правовой базы в области защиты информации, а также рассмотрены различные модели информационного противоборства, которые могут быть использованы при защите информации в разносторонних направлениях.

Ключевые слова: теория игр, информационное противоборство, информационная безопасность, киберфизические системы, математические модели.

Для построения научной схемы риск-менеджмента важно, что большинство неблагоприятных событий обладает свойством вероятности их реализации. Вероятность события – это его математический признак, означающий возможность рассчитать частоту наступления события (риска) при наличии достаточного количества статистических данных (наблюдений).

Таким образом, риск как отдельное событие обладает двумя наиболее важными с точки зрения риск-менеджмента свойствами – вероятностью и ущербом. Риск как совокупность событий обладает набором (дискретным или непрерывным) его реализаций, каждая из которых характеризуется своей вероятностью и размером ущерба.

Теория игр может ответить на вопрос о том, как защитник будет реагировать на злоумышленника, и, наоборот, в кибербезопасности. Стратегическое взаимодействие между ними фиксируется игрой для двух игроков, в которой каждый игрок пытается максимизировать свои интересы. Стратегия злоумышленника сильно зависит от действий защитника и наоборот. Таким образом, эффективность защитного механизма зависит как от стратегического поведения защитника, так и от нападавшего. Используя теоретико-игровой подход, выполняется тактический анализ для исследования атаки с одного узла или нескольких узлов. Следовательно, теория игр полезна для исследования стратегических ситуаций принятия решения защитником и/или анализа стимулов атакующих.

Целью данной работы являлось повышение эффективности систем защиты информации за счет выбора наиболее оптимальной стратегии защиты, основываясь на существующих моделях информационного противоборства в терминах теории игр.

В методологическую основу работы заложены общенаучные и специальные методы научного познания, научные труды и работы экспертов в области информационной безопасности, международные и Российские нормативно-правовые документы в сфере защиты информации и управления информационной безопасностью, справочная литература, исследования и труды ученых, опубликованные по результатам конференций и семинаров в сфере информационной безопасности.

Методы исследования основываются на теории информационной безопасности и теории игр.

Управление информационной безопасностью достаточно широко обсуждаемая тема в международном сообществе. Доказательством данного факта является наличие серии международных стандартов [1–10], разработанных общими усилиями Международной организацией по стандартам и Международной электротехнической комиссией. Работа над стандартами была начата в 1999 году, и в итоговом варианте документы увидели свет в начале 2000 года в виде первой части, в которой на достаточно простом уровне описывалась сложившаяся проблематика современных тенденций развития информационной безопасности [11] и давались практические рекомендации по осуществлению внедрения механизмов управления информационной безопасностью. Несмотря на наличие формализованных принципов построения систем управления информационной безопасностью, размытость формулировок, поверхностность описания ряда существенных аспектов в вопросах управления информационной безопасностью, а также отсутствие учета специфики деятельности организаций в условиях современных тенденций развития российских предприятий в информационно-телекоммуникационной сфере сводит необходимость и целесообразность применения положений данных нормативных документов к нулю [12].

Защита информации, согласно действующим нормативно-правовым документам Российской Федерации, делится по следующим основным направлениям – организационная, инженерно-техническая, программная и специальная. Наиболее часто встречающимися мерами в организациях различного рода деятельности в настоящий момент являются инженерно-технические и специальные. Наиболее логичным объяснением данного положения вещей может являться тот факт, что до определенного этапа развития информационных технологий в организации такие меры дают наиболее ощутимые и весомые результаты. При отсутствии должных механизмов контроля и мониторинга за реализованными мерами мы не можем судить о том, насколько целесообразно их применение и какова их эффективность.

Таким образом, сталкиваемся с проблемой отсутствия должного уровня организационных мер по обеспечению защиты информации и управления информационной безопасностью в организациях различного рода деятельности, что, прежде всего, отражается в отсутствии четких законодательных и нормативных требований, определяющих вопросы управления информационной безопасностью. По результатам проведенного анализа Российской нормативно-правовой документации по вопросам обеспечения защиты информации можно сделать вывод о несовершенстве существующей нормативно-правовой базы и неполном соответствии требованиям, реально востребованным механизмам защиты информации в Российской Федерации [12].

Проанализировав международную и Российскую нормативно-правовую документацию в области информационной безопасности и защиты информации, можно судить о том, что теоретический и практический подход к управлению информационной безопасностью имеет ряд существенных недостатков.

Подсознательное существование теории игр появилось еще в 18 веке. Однако до начала 20-го века он не был широко изучен и развивался как область математики с заметными работами фон Неймана и Моргенштерна. Теоретико-игровые исследования сосредоточены на ситуациях, в которых участвуют более одной стороны, с

несогласованными интересами. Другими словами, на результат партии влияют не только его действия, но и выбор других. В результате такие ситуации называются играми. Теоретико-игровые исследования включают в себя формализацию контекста, в котором проводится игра, а также анализ стратегического поведения игроков, обусловленного их рациональностью. Формальные модели часто состоят из нескольких важных компонентов, включая список игроков, их доступные действия/стратегии, их предпочтения по сравнению с результатами, полученными в результате выбранных стратегий. Для удобства анализа предполагается, что предпочтения игроков могут быть эффективно представлены путем присвоения реальных значений результатам. Такое назначение называется служебной функцией и обычно уникально для каждого игрока. Результаты анализа игровых моделей могут быть использованы различными способами, например, в качестве рекомендаций для игроков, в качестве руководства для изменения контекста, чтобы управлять стратегическим поведением игроков.

Применение теории игр в кибербезопасности в последние несколько лет стало основным предметом обсуждения для исследователей. Различные методы, доступные в теории игр, могут быть использованы для тактического анализа вариантов киберугроз, создаваемых как одним злоумышленником, так и организованной группой. Ключевой концепцией теории игр является способность исследовать огромное количество возможных сценариев угроз в киберсистеме. Теория игр может также предоставить методы для предложения нескольких возможных действий наряду с прогнозируемым результатом для контроля будущих угроз. Компьютеры могут анализировать все комбинации и перестановки, чтобы найти исключения в общих правилах, в отличие от людей, которые очень склонны упускать из виду возможности. Этот подход позволяет идентифицировать сценарии «что, если», которые человеческий аналитик, возможно, не рассмотрел.

Теория игр была важной концепцией в различных ситуациях безопасности и нашла большое применение в кибербезопасности. Недавние исследования показали, что теория игр применяется к сетевой безопасности, веб-безопасности и многому другому. Игры могут быть разработаны и проанализированы, оптимальные ходы игроков (например, брандмауэры) используются для определения того, как наилучшим образом приблизиться к безопасности в кибермире. Одна из ключевых проблем в теории игр – это способность придумать возможные математические решения игровой проблемы. Авторы рекомендуют более систематическое решение проблемы кибербезопасности с использованием теории игр, которая будет включать реалистичное математическое решение.

Использование теории игр для моделирования добра и зла также появилось в нескольких других областях исследований. Например, в военной и информационной войне противник смоделирован как злой игрок и имеет действия и стратегии для разрушения оборонительных сетей. Браун описывает, как статические игры могут использоваться для анализа атак с использованием сложных и разнородных военных сетей [13]. Одним из примечательных подходов является исследование теоретико-игровых моделей [14], где система оптимально распределяет ресурсы кибербезопасности, такие как время администратора, на разные задачи. В работе использовалась декомпозиция сингулярных значений (SVD) в качестве эффективного метода вычисления равновесия в играх. Вычисление единственного равновесия в сложной среде, такой как кибермир, не кажется эффективным, поскольку злоумышленник может манипулировать стратегиями, которые отбросят систему. Методы смягчения должны быть сосредоточены на конкретном уровне, чтобы быть более эффективными. Теоретико-игровой метод может быть эффективно использован для анализа безопасности компьютерных сетей [15]. Взаимодействие между атакующим и администратором в виде стохастической игры для двух игроков и построения модели для игры было предложено Ли и его соавтором в названии своей

работы «Стратегии игр в сети» [15]. Используя нелинейную программу, они вычислили стратегии равновесия Нэша или наилучшие ответы для игроков (атакующий и администратор). Затем они объясняют, почему стратегии являются реалистичными, и как администраторы могут использовать эти результаты для повышения безопасности своей сети. Этот подход также рассматривает статический подход к анализу игр, который является одной из основных проблем, стоящих перед эффективным применением теории игр в кибермире для смягчения атак. Динамические игры, в которых игроки могут менять свои стратегии, идеально подходят для динамичной среды, такой как киберпространство.

В работе [16] авторы обрисовали области теории игр, которые имеют отношение к информационной войне. В документе проанализировано несколько сценариев, предлагающих несколько возможных направлений действий (COA) с прогнозируемыми результатами и сценариями «что, если». Альфа-бета, альфа-бета звезда, и бета-обрезка с поиском min-max предлагаются. Исследование, сфокусированное на Интернете и его инфраструктуре как на основе для освещения атак и безопасности, является еще одной явной областью, представляющей большой интерес для провайдеров интернет-услуг [17]. В то время как большинство исследований было сосредоточено на защите передаваемых данных, в этом исследовании обсуждались атаки на инфраструктуру, которые могут привести к значительному разрушению из-за того, что различные компоненты инфраструктуры Интернета имеют различные доверительные отношения друг с другом. Некоторые исследовательские работы были сосредоточены на конкретных типах атак, таких как DDoS [18]. Их работа подчеркнула общие черты и важные особенности стратегий атаки. Игры с маршрутизацией, в которых злоумышленник пытается пересечь пакеты данных в компьютерной сети, является еще одним подходом к смягчению последствий, который осуществляется на сетевом уровне [19]. Дизайнер сети должен найти политики маршрутизации, которые избегают ссылок, которые находятся под наблюдением злоумышленника. Система решений для киберзащиты FRIARS, способная автономно реагировать на автоматические системные атаки, была разработана Макинерни и его друзьями. Их целью было использовать добро для борьбы со злом в киберпространстве [20]. Syverson [21] говорит о «хороших узлах, борющихся со злыми узлами» в сети, и предлагает использовать стохастические игры для рассуждений и анализа. Схема IDS для MANET, которая состоит из двух разных модулей, а именно Watchdog и Pathrater – еще одна тихая исследовательская работа, которая говорит о многом для сетевых администраторов [22].

Теоретическая основа игры для анализа взаимодействий между парами атакующих/защищающих узлов с использованием байесовской формулировки в беспроводных специальных сетях – это исследовательская работа, сфокусированная на безопасности беспроводных сетей [23]. Для систем обнаружения вторжений структура [24] применяет две теоретико-игровые схемы для экономического развертывание агента обнаружения вторжений. Эта работа применяет экономические принципы непосредственно в своей игровой модели. Теоретическая основа игры для моделирования взаимодействия между поставщиком услуг и злоумышленником – игра обнаружения вторжений – также доступна в области исследований [25]. В этой схеме игра представлена как игра с нулевой суммой для двух человек, в которой поставщик услуг пытается максимизировать свою отдачу, увеличивая вероятность успешного обнаружения, в то время как злоумышленник пытается минимизировать свою вероятность обнаружения IDS. Другое применение теории игр – сенсорная сеть, в которой моделируются не кооперативные, не нулевые игры для двух игроков [26, 27]. В этой модели предполагается, что игра содержит полную информацию, а функция выигрыша противника определяет оптимальную стратегию каждого игрока. Недостатком их работы является предположение, что игроки имеют полную

информацию об игре. Теория игр стала довольно сильной областью исследований для аналитиков кибербезопасности и сетевых менеджеров. Из обзоров в этой работе исследователи работали в основном на сетевом уровне для маршрутизаторов и коммутаторов уровня 3. Другие исследователи разработали методы смягчения последствий в более общем масштабе, не нацеленные на какой-либо уровень. Когда подходы к смягчению не зависят от уровня, злоумышленники могут легко обмануть систему и пройти через другие открытые двери в сети. Авторы данной работы настоятельно рекомендуют, чтобы исследователи обращали внимание на определенные уровни для их методов смягчения. Основные слои атакующей цели включают в себя: сетевой, протокольный и прикладной уровни.

Есть и другие темы в области инвестиций в безопасность, которые также выигрывают от теоретико-игрового анализа. Ярким примером является обмен информацией о безопасности между фирмами (с независимой безопасностью) в рамках инвестиций в стратегическую безопасность. Несколько работ этого типа модели «однократных» игр, в которых стратегиями игроков являются либо инвестиции, либо обмен информацией, либо и то, и другое. Другие рассматривают многоступенчатые игры, где обмен информацией может происходить на одном из этапов. В отличие от вышеизложенного, еще одно направление исследований использует тему атакующий-защитник, в частности игру FlipIt, предложенную van Dijk et al., который моделирует стратегические планы безопасности против продвинутых постоянных угроз (APT) при захвате контроля над ресурсом. Появилось несколько продолжений FlipIt, например, расширение стратегий защитника Фамом и Сидом, расширение нескольких ресурсов Лаской и соавт., а также несколько эмпирических исследований Reitter и Nochenson. И последнее, но не менее важное: рост облачных и распределенных вычислений также указывает на необходимость изучения безопасности аутсорсинга от нечестных подрядчиков. Большинство существующих результатов получены в результате криптографических исследований, например, проверяемых вычислений с полностью гомоморфным шифрованием, вероятно проверяемого доказательства. Тем не менее, появляются новые теоретико-игровые исследования, такие как Belenkiy, Nix и Kantarcioglu, которые применяют модель главного агента для стимулирования честности среди подрядчиков. Хузани и соавт. продолжают этот подход, чтобы рассмотреть проблему сговора между подрядчиками.

В результате выполнения работы были определены недостатки существующих международных и Российских нормативно-правовых документов, а также рассмотрены модели информационного противоборства в терминах теории игр, которые могут быть использованы в различных областях информационной безопасности.

Литература

1. Международный стандарт ISO/IEC 27001-2013. Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента защиты информации. Требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-mek-27001-2013\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-mek-27001-2013(rus).pdf) (дата обращения: 06.03.2019).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2012. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. – Введен 01.12.2013. – М.: Стандартинформ, 2019.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности. – Введен 01.01.2014. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 198 с.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности (ИТ). Системы менеджмента информационной безопасности. Руководство по реализации системы менеджмента информационной безопасности. – Введен 01.12.2013. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 76 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения. – Введен 01.01.2012. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 118 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. – Введен 01.12.2011. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 47 с.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Требования к органам, осуществляющим аудит и сертификацию систем менеджмента информационной безопасности. – Введен 01.10.2009. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 40 с.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения информационной безопасности. Руководство по аудиту системы менеджмента информационной безопасности. – Введен 01.06.2015. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 50 с.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 11799-2005. Информационная технология. Практические правила управления информационной безопасностью. – Введен 01.01.2007. – М.: Стандартинформ, 2006.
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-1-2006. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 1. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий (с поправкой). – Введен 01.06.2007. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 23 с.
11. Информационная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная_безопасность/ (дата обращения: 06.03.2019).
12. Исаев А.С. Метод и модель управления информационной безопасностью на основе динамических экспертных систем поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/metod-i-model-upravleniya-informatsionnoy-bezopasnostyu-na-osnove-dinamicheskikh-ekspertnyh-sistem-podderzhki-prinyatiya-r> (дата обращения: 06.03.2019).
13. Leyton-Brown K. Essentials of Game Theory: A Concise Multidisciplinary Introduction. – Morgan and Claypool Publishers, 2008. – 104 p.
14. Fielder A., Panaousis E., Malacaria P., Hankin C., Smeraldi F. Game Theory Meets Information Security Management // Information Security and Privacy Conference. – 2014. – P. 15–29.
15. Lye K., Wing J. Game Strategies in Network Security // International Journal of Information Security. – 2005. – V. 4. – № 1–2. – P. 71–86.
16. Hamilton S.N., Miller W.L., Ott A., Saydjari O.S. Challenges in Applying Game Theory to the Domain of Information Warfare [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pdfs.semanticscholar.org/a65d/0d3c8aae0f35a524c84d15748f85b01df7de.pdf?_ga=2.85673945.1325529423.1571406817-1072790387.1570707202 (дата обращения: 06.03.2019).
17. Chakrabarti A., Manimaran G. Internet Infrastructure Security: A Taxonomy // IEEE Netw. – 2002. – P. 13–21.
18. Mirkovic J., Reiher P. A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms // SIGCOMM Comput. Commun. Rev. – 2004. – V. 34. – № 2. – P. 39–53.
19. Hespanha J.P., Bohacek S. Preliminary Results in Routing Games // Am. Control Conf. Proc. – 2001. – V. 3. – P. 1904–1909.

20. McInerney J., Stubberud S., Anwar S. Friars: a feedback control system for information assurance using a markov decision process // Technol. – 2001. – P. 223–228.
21. Syverson P.F. A different look at secure distributed computation // Proceedings 10th Computer Security Foundations Workshop. – 1997. – P. 109–115.
22. Marti S., Giuli T., Lai K., Baker M. Mitigating routing misbehavior in mobile ad hoc networks // Proc. 6th Annu. – 2000. – P. 255–265.
23. Liu Y., Comaniciu C., Man H. Modelling misbehaviour in ad hoc networks: a game theoretic approach for intrusion detection // Int. J. Secur. Networks. – 2006. – V. 1. – № 3/4. – P. 243.
24. Shuang-can Z., Chen-jun H., Zhang W. Distributed intrusion detection system based on BP neural network // Int. J. Secur. its Appl. – 2009. – V. 8. – № 2. – P. 183–192.
25. Kodialam M., Lakshman T.V. Detecting Network Intrusions via Sampling: A Game Theoretic Approach [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.13.1415&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
26. Agah A., Das S.K., Basu K. A game theory based approach for security in wireless sensor networks // IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications. – 2004. – P. 259–263.
27. Alpcan T., Basar T. A game theoretic approach to decision and analysis in network intrusion detection // 42nd IEEE International Conference on Decision and Control (IEEE Cat. No.03CH37475). – 2003. – V. 3. – P. 2595–2600.

Столяров Алексей Игоревич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: aistol@corp.ifmo.ru

Донецкая Юлия Валерьевна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент

e-mail: donetskaya_julia@mail.ru

Гатчин Юрий Арменакович

Год рождения: 1952

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
д.т.н., профессор

e-mail: gatchin@mail.ifmo.ru

УДК 004; 681; 658.512.2**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВНЕДРЕНИЮ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОМПЛЕКСА НА ПРЕДПРИЯТИИ****Столяров А.И., Донецкая Ю.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Гатчин Ю.А.**

В работе рассмотрены вопросы внедрения разработанного метода проектирования комплекса на предприятии. Выделены некоторые базовые работы по организации внедрения. Выполнен анализ предлагаемых к внедрению единого информационного пространства, банка данных составных частей комплекса и работ по корректировке норм времени на проектные работы.

Ключевые слова: изделие, комплекс, единое информационное пространство, составные части (СЧ), норма времени.

Внедрение предлагаемого встречного параллельного метода проектирования комплекса [1] вызвано особенностями, обусловленными его сложностью и многообразием составных частей (СЧ), которые наиболее часто создаются на различных предприятиях. Это приводит к значительным трудностям во взаимодействиях участников процесса создания комплекса и принуждает разрабатывать и применять специальные решения по организации всей работы. В настоящей работе изложены некоторые базовые рекомендации по обеспечению возможности внедрения предлагаемого метода проектирования, которые могут быть положены в основу специальных решений по внедрению.

Создание единого информационного пространства (ЕИП). Проектирование является сложной научной и технической задачей начального этапа создания изделия. На этом этапе закладываются основы будущего изделия, его характеристики и свойства, основные методы его создания и развития, поэтому эту стадию жизненного цикла изделия выделяют в число определяющих.

Комплекс относится к наиболее сложным видам изделий, содержащим большое количество СЧ со сложной структурой и связями между ними. Разработка и производство таких изделий наиболее часто имеет распределенный характер. Все это в совокупности создает значительные трудности при проектировании. В этой связи остро встают вопросы по поиску, созданию и внедрению эффективных методов решения каждого этапа создания изделия. Одним из таких важнейших направлений является создание единого информационного пространства. Это весьма актуально для

предлагаемого разработанного встречного параллельного метода проектирования комплекса, так как позволяет:

- работать с огромным объемом информации;
- включать всю информацию об изделии;
- обмениваться информацией всем исполнителям работ;
- получать высокоскоростную и качественную работу с информацией;
- организовывать одновременную работу проектировщиков;
- создавать ЕИП с учетом существующей аппаратно-программной базы;
- создавать централизованное управление работами.

Реализация ЕИП испытывает значительные трудности из-за целого ряда проблем: технических, организационных, экономических и других. Это находит отражение в ряде публикаций, в которых содержатся опыт и рекомендации по практической организации ЕИП, что является весьма важной информацией для предприятий. Следует отметить, что относительно малые предприятия рекомендуют меньший объем работ по организации ЕИП; большие предприятия, выпускающие сложные изделия, рекомендуют соответственно больший объем работ по ЕИП [2–4].

Для комплекса целесообразно рекомендовать следующий перечень работ:

- создание рабочей группы для организации ЕИП на предприятии;
- анализ стратегии деятельности предприятия и создания ЕИП;
- модернизация инфраструктуры предприятия;
- программно-техническое обеспечение ЕИП;
- обучение персонала;
- создание нормативно-технической документации;
- эксплуатация ЕИП.

Создание банка данных СЧ. Восходящее проектирование, являющееся составной частью предлагаемого метода, может быть реализовано при наличии подходящих ранее спроектированных СЧ изделий. Данный метод проектирования имеет широкое применение во многих отраслях промышленности для изделий, СЧ которых заранее установлены, а также при создании электронных моделей [5].

Создание банка данных СЧ изделий является сложной организационно-технической задачей: количество СЧ должно быть минимальным, но достаточным для успешного решения задач по созданию новых изделий методом восходящего проектирования. СЧ для банка данных должны рассматриваться и вноситься индивидуально и по системному принципу. Укрупненно можно выделить некоторые обобщенные требования к СЧ:

- СЧ должна подтвердить надежность эксплуатацией на других изделиях;
- СЧ должна быть перспективной для применения в новых проектах;
- должно применяться относительно простое управление данными;
- доступ пользователей должен быть построен по иерархическому принципу;
- должна быть обеспечена защита данных, контроль их использования.

Ряд материалов по базам данных содержатся в [6].

Организационно работа по созданию банка данных на различных предприятиях выполняется по-разному, но можно выделить некоторые базовые принципы (рекомендации):

- решение о создании банка данных принимается высшим руководством предприятия и, в определенных случаях, с участием заказчика. На основании этого создается рабочая группа, включающая высших руководителей соответствующих служб, которая составляет общий план работ;

- каждая соответствующая служба разрабатывает свой план работ и согласовывает в установленном порядке;
- необходимые СЧ для банка данных и работу с ними осуществляет конструкторская служба по согласованию с другими службами;
- в качестве СЧ могут рассматриваться все виды изделий, удовлетворяющие требованиям к элементам банка данных.

При разработке системы управления базами данных целесообразно включить систему информации о работе с каждой СЧ из банка данных, что позволит также оценить востребованность СЧ для последующих разработок.

Корректировка норм времени на проектные работы. Распараллеливание работ, применяемое в предлагаемом методе проектирования, позволяет сократить время проектных работ и, в принципе, свести продолжительность одной сложной работы к продолжительности одной самой длинной работы из всех потоков работ, на которые разделена эта сложная работа.

В этой связи нормы времени на проектные работы приобретают особую значимость наряду с другими факторами и должны быть такими, чтобы максимально обеспечивалась синхронизация потоков работ, их параллелизм и согласование работ. При грамотном подходе к установлению норм времени можно регулировать производительность труда проектировщиков, временные характеристики внутривидовых работ.

Под нормой времени при проектировании целесообразно понимать время, затрачиваемое в рассматриваемых условиях, при определенной организации работ и технической оснащенности.

Определяют ее нормированием разными методами.

В [7] рассматривают нормы времени на основе фотохронометража, данных по учету и организации выполненных работ. В [8] выделяют три группы методов (экспертные, аналитические и исследовательские), допуская при этом применение нескольких методов. В [9] выделяют две группы: для больших научных работ применяют методы, базирующиеся на оценках экспертов, для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ применяют аналитические.

Следует отметить, что выбор точного метода нормирования представляет определенные трудности из-за разнообразия конкретных условий труда, что обуславливает все методы как рекомендуемые.

Для комплекса целесообразно рекомендовать следующий перечень работ по организации нормирования:

- создание рабочей группы по организации нормирования;
- разработка и создание плана работ;
- разработка методики проведения нормирования;
- обучение рабочей группы методики нормирования;
- анализ особенностей объектов нормирования;
- проведение нормирования выбранных объектов;
- подведение итогов нормирования;
- сравнение существующих и полученных норм времени и их анализ;
- разработка предложений по улучшению нормы времени.

Заключение. В работе рассмотрены некоторые базовые рекомендации, связанные с внедрением разработанного метода проектирования комплекса. Следует отметить, что практическая реализация метода проектирования является сложной научно-

технической, экономической и организационной задачей, охватывающей значительный временной интервал.

Литература

1. Столяров А.И., Донецкая Ю.В., Гатчин Ю.А. Обоснование выбора метода автоматизированного проектирования комплекса // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 6. – С. 498–508.
2. Хатеев И.В. Логистические аспекты создания единого информационного пространства // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2018. – № 8(32). – С. 29–39.
3. Ершова Т.Б. Организационные аспекты создания единого информационного пространства предприятия // Транспортное дело России. – 2009. – № 2. – С. 62–65.
4. Ивашенко А.В., Кремецкая М.Е., Филатов А.Н., Пейсакович Д.Г. Современные технологии организации проектирования в едином информационном пространстве научно-производственного предприятия // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – № 5(36). – С. 284–292.
5. Гаршин О., Московченко А. Преимущества нисходящего проектирования на примере использования Pro/ENGINEER WILDFIRE // САПР и графика. – 2004. – № 11. – С. 76–81.
6. ГОСТ Р 57105–2016. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Требования к структуре и составу базы данных. – Введен: 01.09.2017.
7. Типовые нормативы времени на разработку конструкторской документации. ШИФР 13.01.01 (утв. Минтрудом России 07.03.2014 № 003) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_199653/ (дата обращения: 17.03.2019).
8. Генкин Б.М. Организация, нормирование и оплата труда на промышленных предприятиях. – 6-е изд., изм. и доп. – М.: Норма ИНФРА-М, 2014. – 415 с.
9. ШИФР 13.01.06. Методические рекомендации по нормированию труда на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (утв. ФГБУ «НИИ ТСС» Минтруда России 07.03.2014 № 006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308907/ (дата обращения: 16.03.2019).

Худяков Никита Игоревич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3453Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность

e-mail: n.khudyakov@nwechelon.ru

Кривцова Ирина Евгеньевна

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
ст. преподаватель

e-mail: ikr@cit.ifmo.ru

УДК 004.02**ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ****Худяков Н.И.****Научный руководитель – Кривцова И.Е.**

В работе рассмотрено применение аддитивных критериев для идентификации программного обеспечения. Использование лицензионного программного обеспечения непосредственно влияет на риски информационной безопасности. Системы, эксплуатирующие несанкционированно установленные программы, подвержены целому ряду уязвимостей, эксплуатация которых влечет за собой нарушение основных свойств информации: конфиденциальности, целостности и доступности. Под идентификацией в данной работе понимается процесс распознавания исполняемого ELF-файла с целью определения его принадлежности к той или иной программе.

Ключевые слова: ELF-файл, идентификация файла, аддитивные критерии, критерий Фишберна.

Введение. Для обеспечения надлежащего уровня защищенности обрабатываемой в автоматизированной системе информации необходимо с некоторой периодичностью производить идентификацию программного обеспечения (ПО), так как это позволит определить, санкционированно оно установлено или нет, а также актуальность текущей версии.

На сегодняшний день изучено и разработано множество методов идентификации программ по их исполняемым файлам, такие как: побайтовое сравнение, сравнение контрольной суммы, хеширование, идентификация типов данных и применение статистического анализа, идентификация на основе нейронной сети, сравнение цифровой подписи, способ идентификации на основе анализа ассемблерных команд, идентификация программ через последовательность команд [1].

От выбора метода, который будет использоваться для идентификации программ, зависит скорость выявления и ликвидации уязвимостей, которыми могут воспользоваться нарушители, имеющие на то возможности, и провести атаку, таким образом, создав угрозу свойствам защищаемой информации. Скорость является важным показателем, но она теряет свое значение, если точность идентификации, с которой выбранный метод идентифицирует программу, принимает значение близкое к нулю. Поэтому повышение точности идентификации для данных методов является актуальным. Для достижения данной цели было решено использовать аддитивные критерии эффективности.

Аддитивные критерии. Для принятия решения из множества доступных альтернатив их необходимо оценить. Оценка предполагаемой альтернативы производится по критерию эффективности – определенному правилу, которое позволяет выбрать наилучший вариант действий из множества возможных. Таким образом, критерий эффективности представляет собой некое решающее правило, выполнение которого дает возможность целенаправленно сделать выбор с учетом собственных приоритетов [2].

Критерий эффективности формируется на основе показателей, определяемых лицом, принимающим решение, и демонстрирует цель принятия решения. Показатель эффективности, в свою очередь, демонстрирует количественную или качественную оценку соответствия поставленной цели, в то время как критерий позволяет определить приемлемость сделанного выбора.

Существуют два основных вида критерия эффективности.

1. Критерий оптимальности. Данный критерий используется в случаях, когда требуется принять решение, являющееся оптимальным, т.е. наилучшим среди всех возможных. То, считается ли решение оптимальным, определяется достижением максимума эффективности.

Если показатель эффективности выражен скалярной величиной, то он представляет собой функцию, для которой необходимо найти максимум. Так, решение является оптимальным, при условии, что оно обеспечивает максимальную точность идентификации или максимальную выгоду при выбранных условиях. Также, если для показателя оптимальным является наименьшее значение функции, например, время идентификации, то максимум эффективности будет достигнут при минимальных значениях выбранного показателя [2].

2. Критерий пригодности. Данный критерий применяется тогда, когда принятие решения удовлетворяет поставленным ограничениям, т.е. решение является допустимым при достижении заданного значения эффективности.

Если показатель эффективности выражен величиной, каждое из значений которой представляет собой одно число, то решение будет считаться удовлетворительным, если оценка рассматриваемого показателя примет лучшее или такое же значение, чем установленное в качестве порога. Например, предполагаемая точность идентификации должна быть не меньше требуемой, или затраты на проведение идентификации не должны превышать допустимое значение [2].

Таким образом, критерий пригодности – это правило, согласно которому следуют такие решения, при которых достигается требуемая эффективность операции.

Критерии эффективности используются, когда необходимо сравнить различные варианты действий и осуществить выбор наилучшей альтернативы.

Таким образом, критерии эффективности:

- обладают количественным выражением;
- демонстрируют последствия выбранных решений;
- понятны и конкретизированы;
- обладают неограниченным количеством показателей эффективности;
- критериями могут выступать, как максимальные, так и минимальные значения показателей, в зависимости от их физического смысла.

Критерий Фишберна. Для получения наилучшего результата, необходимо применить эффективное решение [3].

$$f_k = \alpha_1 A + \alpha_2 B + \dots + \alpha_n Z, \quad (1)$$

$$A > B > C > \dots > Z. \quad (2)$$

где α_i – весовой коэффициент Фишберна; $A \dots Z$ – значения показателей эффективности, которые располагаются по порядку убывания их значимости.

Формула (1) используется для расчета критерия Фишберна и применяется для оценки интегрального показателя эффективности [3].

Сами показатели эффективности могут быть измерены в различных шкалах. Например, одним из показателей может выступить скорость идентификации ПО, измеряемая в секундах, вторым – его стоимость, выраженная в денежном эквиваленте, а третьим – точность идентификации выбранного метода, выраженная в процентах. Исходя из этого, показатели необходимо нормализовать, чтобы избавиться от единиц измерения, осуществляется данная операция при помощи формулы:

$$A^H = \frac{A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}, \quad (3)$$

где A_{\min} , A_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения показателя эффективности A [3].

Для расчета весовых коэффициентов Фишберна применяют формулу:

$$\alpha_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, \quad (4)$$

где n – общее число показателей эффективности, используемых при расчете интегрального показателя эффективности; j – место показателя в шкале приоритетов [3].

Основное преимущество при использовании критерия Фишберна заключается в правиле Фишберна, которое отражает тот факт, что об уровне значимости показателей неизвестно ничего, кроме утверждения (2). Тогда оценка по формуле (4) отвечает максимуму энтропии, т.е. наличию информационной неопределенности об объекте исследования [3].

Программная реализация критерия Фишберна. Основываясь на анализе критерия Фишберна, проведенного ранее, можно сделать вывод, что в качестве исходных данных программе необходимо передать:

- количество параметров эффективности;
- значения параметров эффективности;
- сведения о единицах измерения для данных параметров.

На основе поступивших данных при учете, что размерность параметров эффективности различается, необходимо произвести нормализацию значений. В случае если размерность параметров идентична, данный шаг можно пропустить.

Если же пользователь предпочел критерий пригодности, то ему необходимо будет указать пороговое значение, достижение которого необходимо. Тогда на выходе он получит все возможные варианты следования приоритетов, при которых это значение будет достигнуто.

Пример входных данных представлен на рис. 1.

10	10
97.95	97.93
96.62	96.56
96.46	96.4
97.98	97.93
95.45	95.43
87.5	87.44
98.58	98.56
92.55	92.51
97.38	97.34
97.65	97.59

Рис. 1. Пример входных данных

Результат работы программы при входных данных, аналогичных представленным на рис. 1, отображены на рис. 2 и 3. В первом случае был произведен поиск критерия оптимальности, в другом – был осуществлен поиск порядка следования параметров эффективности, при которых достигается значение критерия пригодности. Значение критерия пригодности также необходимо передать программе в качестве входных данных.

{(0.14, 0.09, 0.07, 0.16, 0.05, 0.01, 0.18, 0.03, 0.1, 0.12): 97.21}

Рис. 2. Результат работы программы в случае поиска критерия оптимальности

Данный результат следует интерпретировать следующим образом:

- значение критерия Фишберна является максимальным, а следовательно, является оптимальным и принимает значение 97,21, при следующем порядке следования параметров эффективности;
- порядок следования показателей эффективности определяется следующим образом – в массиве элементов хранятся значения коэффициентов Фишберна для каждого показателя в той же последовательности, в которой они подавались на вход. Чем выше значение коэффициента, тем большим приоритетом он обладает.

{(0.16, 0.09, 0.07, 0.14, 0.05, 0.01, 0.18, 0.03, 0.1, 0.12): 97.17}

Рис. 3. Результат работы программы в случае поиска критерия пригодности

Данный результат следует интерпретировать следующим образом:

- при следующих порядках следования параметров эффективности, будет достигнуто значение критерия Фишберна, превышающее установленное пороговое значение. Таким образом, была сформирована выборка из решений, которые удовлетворяют критерию пригодности. В данном случае пороговым значением было принято точность идентификации не менее 97%;
- порядок следования показателей эффективности определяется аналогичным образом, что и в случае с критерием оптимальности.

Таким образом, были разработаны программы, осуществляющие поиск нескольких критериев эффективности – критерия оптимальности и критерия пригодности путем расчета критерия Фишберна. После их объединения в программный комплекс был определен его алгоритм работы:

- пользователь передает на вход программе количество параметров эффективности и их значения;
- затем происходит расчет весовых коэффициентов. Если показатели принадлежат различным метрикам, то происходит их нормирование. В противном случае этап нормирования пропускается;
- на следующем шаге создаются все возможные перестановки показателей эффективности;
- после этого программа производит расчет критерия Фишберна для каждой перестановки;
- пользователю предлагается выбрать, какой критерий эффективности он хочет получить – критерий оптимальности или пригодности;
- если выбран критерий оптимальности, то среди всех показателей критерия Фишберна определяется наибольший. Иначе пользователь должен передать программе пороговое значение критерия пригодности. После этого запускается цикл, входными данными для которого выступает порядок следования коэффициентов и соответствующее значение критерия Фишберна. В случае если текущее значение критерия Фишберна выше порогового, то само значение и порядок следования коэффициентов будет записан в словарь контрольных результатов. Цикл будет исполняться до тех пор, пока не пропустит через себя все входные данные;
- на последнем этапе будет произведен вывод результатов работы программного комплекса.

Проведение эксперимента. Эксперимент было решено провести на методе идентификации ПО, основанном на статистическом анализе сигнатур ассемблерных

команд. На рис. 4 отражены 10 наиболее часто встречающихся в исходном коде ассемблерных команд, а также точность идентификации отдельно для каждой из них по критерию Хи-квадрат, при учете ошибок 1-го и 2-го рода для двух уровней значимости: 0,05 и 0,01 [4].

При анализе данного метода, было установлено, что идентификация исполняемого ELF-файла происходила, основываясь на отдельно взятой команде.

В качестве исходных данных использовались значения точности идентификации программ по ассемблерным командам, при учете ошибок 1-го и 2-го рода, для определения критерия оптимальности – с уровнем значимости 0,01, а для определения критерия пригодности – с уровнем значимости 0,05 и пороговым значением точности идентификации 97%. В качестве метода расчета коэффициентов был выбран метод Фишберна.

Уровень значимости		Точность идентификации при учете ошибок 1-го и 2-го рода	
		0,05	0,01
Ассемблерная команда	mov	97,93	97,95
	call	96,56	96,62
	pop	96,4	96,46
	push	97,93	97,98
	je	95,43	95,45
	lea	87,44	87,5
	add	98,56	98,58
	cmp	92,51	92,55
	and	97,34	97,38
	jmp	97,59	97,65

Рис. 4. Результаты идентификации по различным ассемблерным командам, %

Для уровня значимости 0,01 результаты работы программы представлены на рис. 5, для уровня значимости 0,05 – на рис. 6.

```
{(0.14, 0.09, 0.07, 0.16, 0.05, 0.01, 0.18, 0.03, 0.1, 0.12): 97.21}
```

Рис. 5. Результат работы программы при уровне значимости 0,01

Для уровня значимости 0,01 результаты интерпретируются следующим образом:

- значение критерия Фишберна: 97,21;
- уровень значимости ассемблерных команд: add>>push>>mov>>jmp>>and>>call>>pop>>je>>cmp>>lea.

```
{(0.16, 0.09, 0.07, 0.14, 0.05, 0.01, 0.18, 0.03, 0.1, 0.12): 97.17}
```

Рис. 6. Результат работы программы при уровне значимости 0,05

Для уровня значимости 0,05 результаты интерпретируются следующим образом:

- значение критерия Фишберна: 97,17;
- уровень значимости ассемблерных команд: add>>mov>>push>>jmp>>and>>call>>pop>>je>>cmp>>lea.

Из всех возможных комбинаций 10 параметров эффективности по уровню их значимости, только в одном случае точность идентификации превышает 97%.

Итоговое сравнение результатов работы программного комплекса и исходного метода идентификации посредством сигнатурного анализа отображены на рис. 7.

На основе рис. 7 можно сделать вывод, что, применив критерий оптимальности в задаче идентификации ELF-файлов к методу идентификации основанному на структурном анализе для данного метода, был определен способ, который дает более

высокую точность идентификации. Оптимальным был признан способ идентификации не по одной конкретной ассемблерной команде, а на основе их совокупности, так как такой способ идентификации будет иметь точность идентификации выше, чем у исходного метода. Также разработанный программный комплекс определил приоритет следования ассемблерных команд, при которых достигается данный результат.

Уровень значимости, p	Уровень значимости эффективности ассемблерных команд	Интегрированный показатель эффективности	Средний показатель точности идентификации по ассемблерным командам
0,01	add >> push >> mov >> jmp >> and >> call >> pop >> je >> cmp >> lea	97,21	95,81

Рис. 7. Итоговое сравнение результатов работы программы для сигнатурного анализа с применением критерия оптимальности

На основе рис. 8 можно сделать вывод, что, применив критерий пригодности в задаче идентификации ELF-файлов к методу идентификации, основанному на структурном анализе, для данного метода был определен способ, который позволяет достичь задаваемого порога точности идентификации. Разработанный программный комплекс определил порядок следования ассемблерных команд, при которых достигается данный результат.

Уровень значимости, p	Уровень значимости эффективности ассемблерных команд	Интегрированный показатель эффективности	Пороговое значение точности идентификации
0,05	add >> mov >> push >> jmp >> and >> call >> pop >> je >> cmp >> lea	97,17	97,00

Рис. 8. Итоговое сравнение результатов работы программы для сигнатурного анализа с применением критерия пригодности

Таким образом, учитывая результаты эксперимента, можно сделать следующие выводы:

- аддитивные критерии можно применить в задаче идентификации ПО;
- при расчете критерия эффективности и применения, полученного с помощью него порядка следования ассемблерных команд, можно повысить показатель точности идентификации ПО по ELF-файлам;
- при расчете критерия пригодности можно определить, какие совокупности ассемблерных команд дадут при идентификации значение точности, не меньшее, чем удовлетворяющее пороговое значение, установленное лицом, принимающим решение;
- достоинство аддитивных критериев заключается в возможности выбора приоритетов показателей эффективности идентификации;
- значение аддитивного критерия эффективности не зависит от шкалы измерения, в которой измеряется показатель эффективности идентификации.

Литература

1. Кривцова И.Е., Салахутдинова К.И., Юрин И.В. Метода идентификации исполняемых файлов по их сигнатурам // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 1(35). – С. 215–224.
2. Attitudes Toward Objects as Predictors of Single and Multiple Behavioral Criteria [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication> (дата обращения: 21.11.2018).
3. Спиридонов С.Б., Булатова И.Г., Постников В.М. Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/16TVN617.pdf> (дата обращения: 21.11.2018).
4. Salakhutdinova K., Lebedev I.S., Krivtsova I.E., Bazhayev N., Sukhoparov M.E., Smirnov P.I., Markelov D.V., Davydov A.E., Pecherkin S., Kolcherin D.V., Shaparenko I.M., Iskanderov Y. A Frequency Approach to Creation of Executable File Signatures for their Identification // 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT. – 2017. – P. 261–267.

Чан Зуи Хань

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
аспирантНаправление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: viewtheworld93@gmail.com

Комаров Игорь Иванович

Год рождения: 1970

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент

e-mail: i_krov@mail.ru

УДК 004**РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА АУТЕНТИФИКАЦИИ АГЕНТОВ
В ГРУППИРОВКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ****Чан Зуи Хань****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Комаров И.И.**

В работе рассмотрены специфика аутентификации в группе беспилотных летательных аппаратов, а также факторы, влияющие на качество аутентификации в группе беспилотных летательных аппаратов. Исследованы формирование интегрального показателя качества и методики аутентификации беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: информационная безопасность, аутентификация, БПЛА, качества аутентификации, методики аутентификации.

Снижение порога доступности мультиагентных киберфизических систем в индустриальном обществе привело к развитию бизнес-моделей их использования и стимулировало развитие научно-методического аппарата их разработки и применения. Наряду с традиционными проблемами обеспечения качества программно-технических решений, направленных на повышение именно функциональных характеристик таких систем, растет уровень осознания значимости вопросов обеспечения информационной безопасности (ИБ) киберфизических компонентов, в том числе реализуемых в форме групп беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Группа БПЛА обладает рядом специфических черт, делающих малоэффективными традиционные средства обеспечения ИБ. В работе анализируются особенности группы БПЛА, постулируется формализованная задача повышения качества аутентификации агентов в группе, определяются перспективные направления ее решения с использованием репутационных механизмов, присущих социальным.

БПЛА обладает ряды проблем: динамическая система – быстро меняется состав, задачи (направленность), состояние элементов; ограниченная область взаимодействия. Особенно остро проблема стоит в подлинности канала связи в случае не доверяющих друг другу сторон, когда источником угроз может служить не только третья сторона (противник), но и сторона, с которой осуществляется информационное взаимодействие (нарушитель) [1]. Традиционные средства и механизма аутентификации исследовали многими авторами, такими как Kwanwoong Yoon, Daejun Park, Jiejun Kong. Но эти системы не обеспечивают решение вышеупомянутой проблемы БПЛА. В этой работе предложен механизм «мягкой информационной безопасности», основанной на моделях социального взаимодействия и взаимного контроля в коллективе агентов.

Обмен информацией между БПЛА основан на двух основных подходах: централизованном и децентрализованном.

В централизованном подходе существует центральное управляющее устройство (ЦУУ). Достоинством данного подхода является простота интеграции с алгоритмической стороны. А недостатками являются загруженность ЦУУ, особенно при приросте количества агентов в группе, а также низкая жизнеспособность.

Децентрализованный подход имеют большую жизнеспособность за счет отсутствия ЦУУ [2]. Для достижения общей цели используется коллективный децентрализованный подход, хотя недостатком является наличие канала обмена информацией, которое может привести к нарушению функционирования системы при вмешательстве деструктивного характера.

Задача заключается в том, что найти защищенный канал аутентификации между агентами, основанный на показателях, влияющих на качества аутентификации в группе БПЛА.

Цель работы: уменьшение времени аутентификации и повышение защищенности в канале аутентификации.

Пусть в радиусе действия группы БПЛА, вдруг один агент исчез из вида, после некоторого времени он появился. Поставлена задача о необходимости аутентификации данного агента.

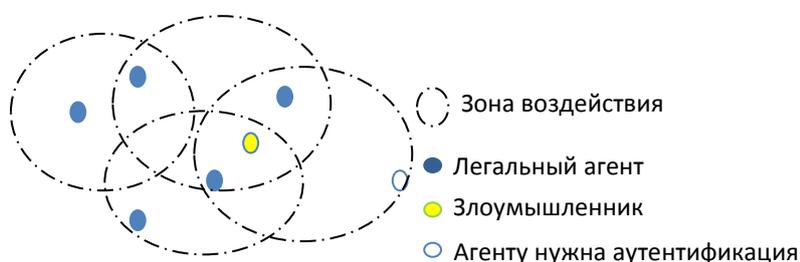


Рис. 1. Зоны действия между агентами

Аутентификация в группе БПЛА состоит из трех фаз: фаза инициализации агента, фаза заполнения и передачи таблицы доверия и фаза аутентификации (рис. 1).

Рассмотрим 6 агентов, взаимосвязанных между собой по графу: в этом случае агент F хочет аутентифицироваться с группой (A, B, C, D, E) (рис. 2).

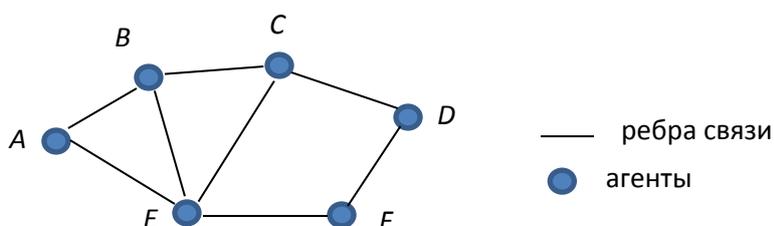


Рис. 2. Граф взаимосвязи между агентами

- На фазе инициализации: агент F отправит сообщение $ID_{ГР}, ID_F$ в коллектив, с использованием хеш-функции. Следовательно, предполагается, что агент D (или E) в коллективе проверяет правильности ID . Если ID совпадают, то продолжает со следующей фазы, чтобы заполнить таблицу доверия. Если нет такого ID , то отклоняется агентом.
- На фазе заполнения и передачи таблицы доверия: агенты, которые находятся в области связи, отправляют таблицу доверия группы агенту F , которого хотят аутентифицировать (табл. 1).

Таблица 1. Матрица взаимосвязи между агентами

	A	B	C	D	E	F
A	0	T_b	∞	∞	T_e	X

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>B</i>	T_a	0	T_c	∞	T_e	<i>X</i>
<i>C</i>	∞	T_b	0	T_d	T_e	<i>X</i>
<i>D</i>	∞	∞	T_c	0	∞	<i>X</i>
<i>E</i>	T_a	T_b	T_c	∞	0	<i>X</i>
<i>F</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>

Агент *F* получит таблицу доверия и поставит себе задачу, чтобы показать честность и быть оцененным членами группы (табл. 2).

Таблица 2. Матрица взаимосвязи между агентами

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>A</i>	0	T_b	∞	∞	T_e	∞
<i>B</i>	T_a	0	T_c	∞	T_e	∞
<i>C</i>	∞	T_b	0	T_d	T_e	∞
<i>D</i>	∞	∞	T_c	0	∞	T_f
<i>E</i>	T_a	T_b	T_c	∞	0	T_f
<i>F</i>	∞	∞	∞	T_d	T_e	0

В табл. 1 и 2 T – факторы, влияющие на качества аутентификации в группе БПЛА (уровень доверия, вероятность отказа аутентификации, уровень квалификации злоумышленника).

После завершения таблицы доверия, если агент *F* получает низкую оценку, то отклоняется, если у агента, на которого он связался, результаты с низким уровнем доверия, он свяжется с другим агентом в группе для достижения аутентификации.

– Фаза аутентификации: на этой фазе все агенты имеют надежное значение друг для друга и могут использовать любой протокол аутентификации для завершения процесса аутентификации, обеспечивающий вычислительную мощность БПЛА и фактическое время выполнения задачи.

Если агент не находится в области связи с агентами, то он может завершать процесс аутентификации через других доверенных агентов. В работе предполагается функция:

$$F = \sum_{i=1}^j ((1-w) + P(t) + K) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где w – уровень доверия [3, 4]; $P(t)$ – вероятность отказа аутентификации [5]; K – уровень квалификации злоумышленника [6].

Из графа разложим таблицу взаимосвязи между агентами, основанную на репутации участвующих.

В отличном состоянии: $A(1, 0, 1)$; $B(1, 0, 1)$; $C(1, 0, 1)$; $D(1, 0, 1)$; $E(1, 0, 1)$; $F(1, 0, 1)$. Защищенный канал аутентификации между агентами *A* и *D*: $A-E-F-D$.

В худшем состоянии (в направлении уменьшения значения доверия некоторых агентов): $A(1, 0, 1)$; $B(1, 0, 1)$; $C(0,6, 0, 1)$; $D(0,8, 0, 1)$; $E(0,9, 0, 1)$; $F(1, 0, 1)$. Защищенный канал аутентификации между агентами *A* и *D*: $A-E-F-D$.

В худшем состоянии (в направлении увеличения значения вероятности отказа некоторых агентов): $A(1, 0, 1)$; $B(1, 0,1, 1)$; $C(1, 0,2, 1)$; $D(1, 0, 1)$; $E(1, 0,5, 1)$; $F(1, 0, 1)$. Защищенный канал аутентификации между агентами *A* и *D*: $A-B-C-D$.

В худшем состоянии (в направлении увеличения уровня квалификации злоумышленника некоторых агентов): $A(1, 0, 1)$; $B(1, 0, 1)$; $C(1, 0, 1,2)$; $D(1, 0, 1)$; $E(1, 0, 1)$; $F(1, 0, 1,5)$. Защищенный канал аутентификации между агентами *A* и *D*: $A-E-C-D$.

По результатам экспериментов можно сделать заключение, что:

1. представленная модель отражает динамическую структуру группы БПЛА, чувствительна и устойчива;
2. перспективными направлениями исследований являются:
 - определение полного перечня факторов, оказывающих существенное влияние на качество аутентификации в группе БПЛА с учетом технических характеристик конкретных реализаций агентов;
 - совершенствование алгоритма расчета показателей уровней ИБ при взаимодействии агентов в группе БПЛА.

Литература

1. Погорелова Б.А., Сачкова В.Н. Словарь криптографических терминов. – М.: Изд-во МЦНМО, 2006. – С. 5.
2. Мариненкова Е.Д., Викснин И.И., Жукова Ю.А., Усова М.А. Анализ защищенности информационного взаимодействия группы беспилотных летательных аппаратов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 5. – С. 817–825.
3. Зикратова И.А., Зикратова Т.В., Лебедева И.С., Гуртов А.В. Построение модели доверия и репутации к объектам мультиагентных работотехнических систем с децентрализованным управлением // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 3(91). – С. 30–38.
4. Сабанова А. Общий анализ международных стандартов по идентификации и аутентификации субъектов при доступе к информации. Часть 2 // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3(69). – С. 70–73.
5. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/179179/> (дата обращения: 06.03.2019).

**НАПРАВЛЕНИЕ
ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ
ТЕХНИКА**

Абрамова Евгения Александровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р41152

Направление подготовки: 09.04.01 – Технологии компьютерного моделирования**Братчиков Степан Артемьевич**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R41472

Направление подготовки: 13.04.02 – Энергоэффективный автоматизированный электропривод

e-mail: loross90@gmail.com

Анохина Инна Андреевна

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, центр изучения иностранных языков, ст. преподаватель

e-mail: iaanokhina@itmo.ru

УДК 339.725.2**IDENTIFICATION OF FACTORS AFFECTING THE BASE VALUE OF THE COMPANIES DURING THE MERGERS AND ACQUISITIONS****Abramova E.A., Bratchikov S.A.****Scientific director – Anokhina I.A.**

The study investigates the essential methods of assessing the impact of transactions on the company's value. These methods are used by the modern scientific community all over the world basing on the analysis of many factors chosen to be relevant and showing the positive influence on the base value cost. The study also reveals significant parameters, which create the effect of merger transaction, and proposes the method to construct a regressive model for assessing the impact of this event on the company's value.

Keywords: mergers and acquisitions, base value, analysis, factors, regressive model.

Introduction. No single method exists, to rate the influence of deals on the company's value and the most accurate type of modeling, that provides the estimates for the further deals among the researchers of amalgamation and acquisition deals. However, scientists agree with the opinion that the amount of amalgamation and acquisition deals annually grows, they become more and more popular and have a strong influence on the stock market and on the economic situation in general. It means a forecasting model should be developed for accurate estimating of the influence of the deals on the company's value [1].

The necessity of such a model is shown in fig. 1, which illustrates the amount and growth rates of amalgamation deals.

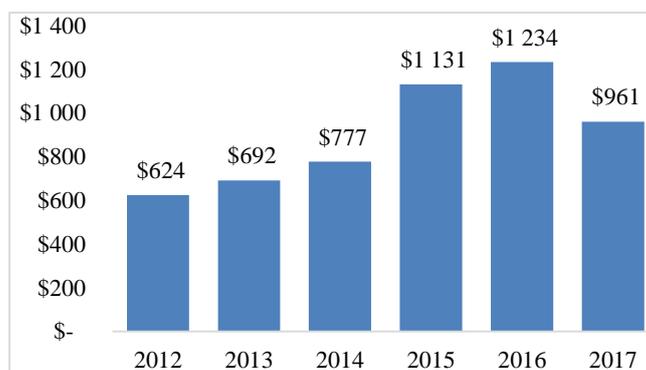


Fig. 1. Growth rates of amalgamation and acquisition deals amount, \$ billions

To better understand the dynamic of the growth rates of amalgamation and acquisition deals it is worthy to study them in Europe, Asia and separately – in Russia. Fig. 2 shows how the amount of deals changed in EU from 2007 to 2017.

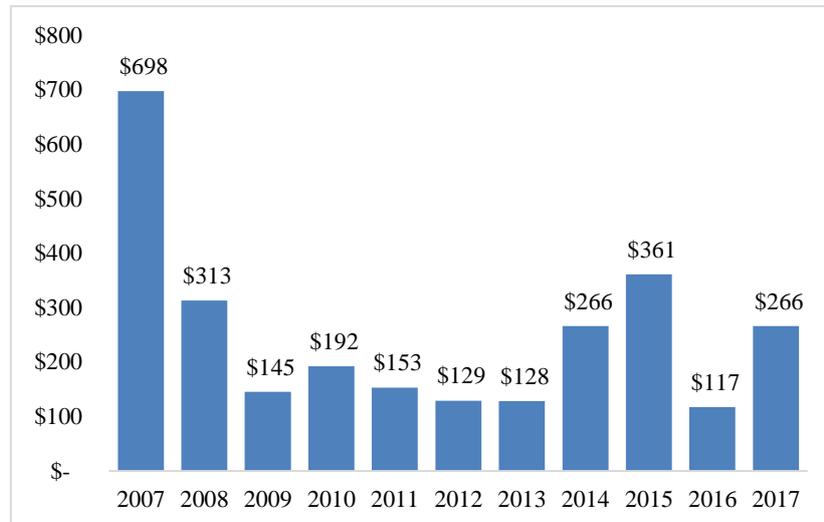


Fig. 2. Growth rates of international deals amount in EU, \$ billions

At the same time, considering the amalgamation and acquisition deals global market dynamics in the Asia-Pacific region contributes to more complex understanding of the situation, as events happening in the region also affect the international cooperation. The amount of deals in this region decreased by 9% in 2017 in comparison with 2016; although China (57%) and Japan (15%) have made the substantial contribution into the total value of deals, as seen in fig. 3.

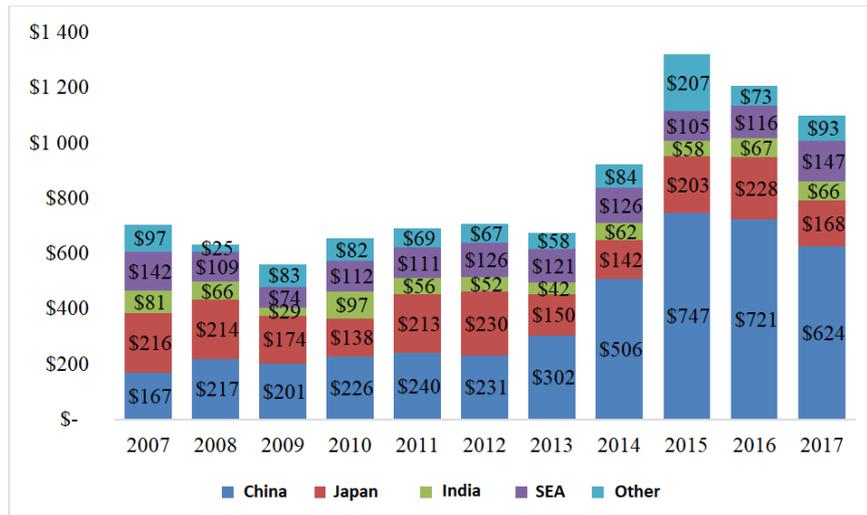


Fig. 3. Dynamics and amount structure of Asia-Pacific region deals, \$ billions

Due to geopolitical diversification the foreign investors come back to Russia, which is proven by more than double increase of amalgamation and acquisition deals with participation of foreign companies in comparison with 2016. The levels of foreign investors' interest and intensity of cooperation with them have become maximal since 2010 (fig. 4).

Obviously, there is a trend for increasing of such deals through the last years, making it necessary to develop a complex method to forecast such amalgamations. The computer model, which is based on the analysis of large amount of amalgamation deals, seems to be useful [2].

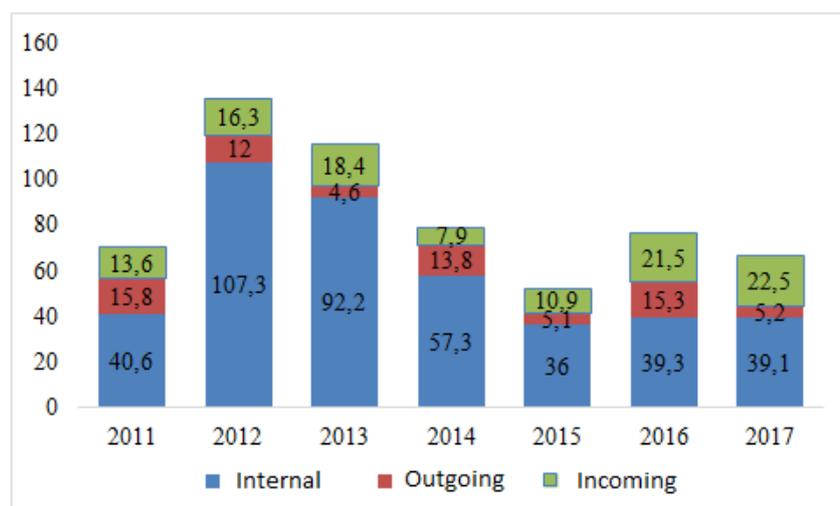


Fig. 4. Russian market M&A divided by types of deals (2011–2017), \$ billions

Definition of significant variables in amalgamation and acquisition deals. Studying the amalgamation and acquisition deals' influence on the total value of the buying company, it is important both to define the total effect of such deals and the influence of particular factors on the dependent variable to research. According to the analysis of existing research subject factors can be divided into 4 groups: parameters of the deal, managing effects, parameters of companies and macroeconomic factors.

The most interesting exponents from these categories are the following: type of payment for deal, type of deal, the percentage of the company value owned by managers, the year of the deal, occupation, value numbers. The variables chosen are shown in tabl. 1 [3, 4].

Table 1. Variables, chosen for the research

Variable	The original name of the exponent	Mark
Graded variables		
The growth of the fundamental cost of buying company stock item in %	Value per stock	dif_val
The declared value of the deal, \$ millions	Announced total value	ann_tot_val
The percentage owned by the buying company in %	Percent Owned	perc_owned
The percentage being bought in %	Percent Sought	perc_sought
Fictional variables		
The year of the deal		
2009	2009	X2009
2010	2010	X2010
2011	2011	X2011
2012	2012	X2012
2013	2013	X2013
2014	2014	X2014
2015	2015	X2015
2016	2016	X2016
2017	2017	X2017
2018	2018	X2018

Variable	The original name of the exponent	Mark
Type of deal		
– Majority stake purchase	Majority purchase	maj_pur
– Merger	Company Takeover	takeover
Method of payment		
– Cash payment	Cash payment	cash_pay
– Stock payment	Stock payment	stock_pay
– Mixed payment	Mixed payment	mixed_pay
Industry		
– Electroenergetics	SIC code 4911	Y4911
– Telecommunications	SIC code 48	Y48
– Financial service	SIC code 6021	Y6021
Another		
– Tender Offer	Tender Offer	tender
– Sale of assets to finance the transaction	Asset sale	asset_sale
– Purchase by an affiliated company	Related Party Transaction	rel_part_trans
– Increase of share in the company	Additional Stake Purchase	add_stake_pur
– Cross-border transaction	Cross-border deal	Cross_b

The analysis of deals made in the R environment. The first stage of modeling in the *R* environment is the optimal specification, which is determined from the group of models with similar amount of variables by means of deflection factor or determination factor (R^2). In fig. 5 the variables of the best combination are marked with signs “*”, such combinations provide the highest accuracy of adaptation of the forecasted and actual values of the dependent variable.

```

1 subsets of each size up to 10
Selection Algorithm: exhaustive
ann_tot_val perc_owned perc_sought maj_pur tender takeover add_stake_pur asset_sale
1 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
2 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
3 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
4 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
5 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
6 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
7 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
8 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
9 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "
10 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " "

1 ( 1 ) rel_part_trans cross_b cash_pay stock_pay mixed_pay X2009 X2010 X2011 X2012 X2013 X2014
2 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " " " "
3 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " " " "
4 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " " " "
5 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " " " "
6 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " " " " " " " "
7 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " " " " " " " "
8 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " " " " " " " "
9 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " " " " " " " "
10 ( 1 ) "*" " " " " " " " " " " " " " " " "

1 ( 1 ) X2015 X2016 X2017 X2018 Y4911 Y6021 Y48
2 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
3 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
4 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
5 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
6 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
7 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
8 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
9 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "
10 ( 1 ) " " " " " " " " " " " " " "

```

Fig. 5. Inclusion of the variables into the models with different amount of cause variables

For choosing the optimal model it is necessary to analyze the dynamics of model parameters such as: residual sum of squares (RSS), corrected determination coefficient Adj_3 , the Bayesian information criterion (BIC) and exponent C_p , which is the analog of test error of cross validation.

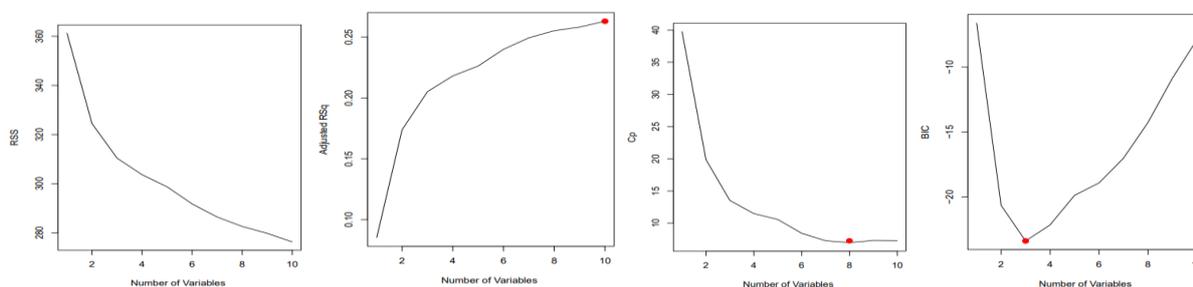


Fig. 6. Comparison of models with amount of variables that is different by the criteria of RSS, $Adj R^2$, BIC, C_p

The following procedure clearly shows that the best models are the regressions with 8 variables, as only this amount of cause variables lead to the accommodation between the criteria of RSS, $Adj R^2$, BIC, C_p (fig. 6). The model is presented in tabl. 2.

Table 2. Regression

	difval		
	<i>B</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	-0,40	-0,93-0,14	0,144
ann_tot_val	0,00	0,00-0,00	<0,001
tender	-0,57	-1,30-0,17	0,128
rel_part_trans	1,67	0,44-2,91	0,008
cash_pay	0,70	0,15-1,24	0,013
X2009	1,94	1,19-2,70	<0,001
X2010	0,51	-0,12-1,13	0,114
X2011	1,00	0,39-1,60	0,001
X2013	0,99	0,24-1,75	0,010
Observations	179		
$R^2 / adj. R^2$	0,289/0,255		

The analytically synthesized model can be shown by the following equation:

$$\text{difval} = -0,4 + 0,0007 \cdot \text{ann_tot_val} - 0,57 \cdot \text{tender} + 1,67 \cdot \text{rel_part_trans} +$$

$$+ 0,7 \cdot \text{cash_pay} + 1,94 \cdot X_{2009} + 0,51 \cdot X_{2010} + 0,99 \cdot X_{2013}.$$

Conclusion. On the basis of the analysis performed the positive dynamics of growth of amalgamation and acquisition deals has been revealed. It causes the necessity of high quality analysis of these deals' influence on the buying company before the deal itself. The regressive model to forecast the impact on the base cost of the purchasing company was developed.

Altogether with the method of finding the optimal variables subset the model that has a strong influence on the increase of the total value as a result of amalgamation and acquisition deals and main subject parameters have been synthesized. This model is useful when the administration of the buying company makes key decisions about deals.

References

1. Eckbo B.E., Thorburn K.S. Gains to bidder firms revisited: Domestic and foreign acquisitions in Canada // *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. – 2000. – V. 35. – P. 1–25.
2. Luzina D.S., Rogova E.M. The effect of mergers and acquisitions on companies' fundamental values in emerging capital markets (the case of BRICS) // *Korporativnye finansy*. – 2015. – V. 35(3). – P. 27–50.
3. Guest P.M., Bild M., Runsten M. The effect of takeovers on the fundamental value of acquirers // *Accounting and Business Research*. – 2010. – V. 40. – № 4. – P. 333–352.
4. Heron R., Lie E. Operating performance and the method of payment in takeovers // *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. – 2002. – V. 37. – P. 137–155.

Бонковски Патрик

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: baski@itmo.ru

Коржук Виктория Михайловна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: vika@cit.ifmo.ru

Шматков Владислав Николаевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: shmatkovvlad@gmail.com

Шилин Иван Андреевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: shilinivan@corp.ifmo.ru

Муромцев Дмитрий Ильич

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: mouromtsev@itmo.ru

УДК 004.522**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ГОЛОСУ****Бонковски П., Коржук В.М., Шматков В.Н., Шилин И.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Муромцев Д.И.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В данной работе рассмотрен алгоритм биометрической идентификации диктора по голосу, а также архитектура реализующего его программного обеспечения. В основе метода лежит Voice Activity Detection для предобработки речевого сигнала, Mel-Frequency Cepstral Coefficients в качестве индивидуальных голосовых характеристик, и MultyLayer Perceptron в качестве классификатора. Эксперименты на датасете voxforge, из которого были выбраны голосовые записи для 20 дикторов, показали точность работы системы, равную 93,97%.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, распознавание по голосу, нейронные сети.

В связи с возросшей информатизацией современного общества, увеличением числа объектов и потоков информации, которые необходимо защищать от несанкционированного доступа, а также необходимостью интеллектуализации всех форм взаимодействия пользователей автоматизированных систем управления с

техническими средствами, все более актуальными становятся проблемы использования механизмов речевых технологий для разграничения доступа к информационно-вычислительным системам, в частности, метод идентификации пользователей системы по голосу. Одной из таких автоматизированных систем являются системы управления интернетом вещей, активно проникающие в повседневную жизнь людей. Жилые и рабочие помещения постепенно наполняются «умными» устройствами: от чайников до систем отопления.

На сегодняшний день голосовые интерфейсы являются наиболее перспективными средствами взаимодействия с «умными» вещами ввиду естественности и интуитивности данного подхода для человека. Очень часто умные колонки с голосовыми ассистентами становятся центрами управления умных домов.

На данный момент можно выделить две проблемы, наиболее актуальные для решений в области интернета вещей с голосовыми интерфейсами:

1. проблема разграничения доступа;
2. проблема персонализации действий автоматизированной системы.

Голосовые интерфейсы удобно использовать не только для непосредственного управления состоянием «умных» устройств, но и для управления своими персональными данными, например, запланированными встречам, электронной почте, музыкальным предпочтениям и т.д. Поэтому существует необходимость в обеспечении многопользовательского доступа к системе с предоставлением своих персональных данных для каждого пользователя.

В такой системе, как «умный» дом, пользователь может управлять такими сложными системами, как отопление, вентиляция, и т.д. В том случае, если в таком «умном» доме проживают дети или просто приходят посторонние люди, то необходимо ввести систему доступов, которая бы позволила только конкретным пользователям управлять подобными системами.

Коммерческих продуктов, которые бы решали данные проблемы не так много. В основном для построения «умного» дома используются умные ассистенты, такие как Amazon Alexa, Google Assistant, Apple Siri, Яндекс Alisa, но они не предоставляют открытого API для работы с биометрией. В то же время существуют решения, не связанные с умными ассистентами, например, Microsoft предоставляет решения для биометрической идентификации по голосу на облачной платформе Azure [1]. Несмотря на все достоинства отказоустойчивых облачных платформ, такие решения обладают недостатками: необходимостью в постоянном и надежном интернет-соединении, которое может отсутствовать, например, в загородных домах; дополнительными финансовыми расходами для получения доступа к облачным сервисам, а также хранением конфиденциальных данных своих пользователей другими компаниями.

В связи с тем, что на факультете программной инженерии и компьютерной техники Университета ИТМО разрабатывается собственная система голосового управления интернетом вещей, была поставлена цель – разработать алгоритм биометрической идентификации по голосу, который бы позволил решать проблему персонализации запросов и разграничения доступа.

Биометрическая система идентификации должна работать в двух режимах:

1. режим добавления нового пользователя;
2. режим идентификации.

Большую часть времени система голосовой идентификации должна работать во втором режиме – заниматься идентификацией пользователей системы за счет произведения анализа голосовых записей, поступающих с записывающих устройств. Первый режим предназначен только для добавления нового пользователя в систему, после чего система автоматически переходит обратно во второй режим работы.

Общий алгоритм работы биометрической системы выглядит следующим образом:

1. предобработка звукового сигнала;
2. выделение векторов признаков из звукового сигнала;
3. работа с классификатором.

Для двух вышеупомянутых режимов работы алгоритм будет различаться только работой с классификатором. В первом режиме происходит обучение классификатора, а во втором – непосредственно классификация полученных векторов признаков, тем самым – идентификация пользователя.

Архитектура программного обеспечения, реализующего данный алгоритм, приведена на рис. 1.

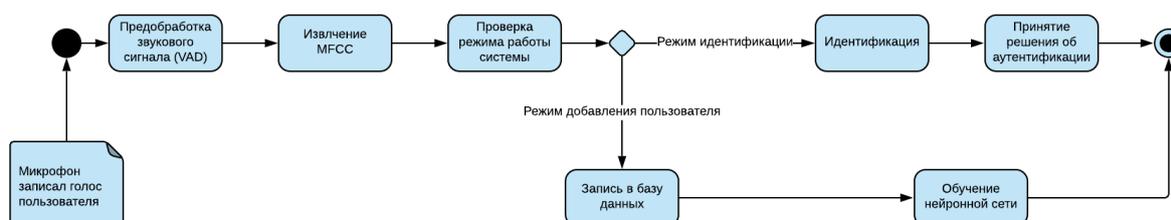


Рис. 1. Алгоритм работы системы биометрической идентификации

Рассмотрим подробнее, что собой представляет каждый из шагов алгоритма.

На этапе предобработки выполняется преобразование произнесенной диктором фразы в цифровой сигнал, из которого удаляются шум, паузы и некокализованные фрагменты. Для удаления некокализованных фрагментов используется VAD (Voice Activity Detection), основанный на энергии [2]. Такой алгоритм разбивает речевой сигнал на фреймы по 40 мс, затем удаляет те фреймы, средняя энергия которых меньше выставленного порога – средней энергии всей записи, умноженной на коэффициент k , который подбирается эмпирически.

Если $E_i < k * E$, где $k < 1$

Тишина

Иначе

Голосовая активность.

На рис. 2 представлена работа VAD: как изменился сигнал до и после работы предобработки.

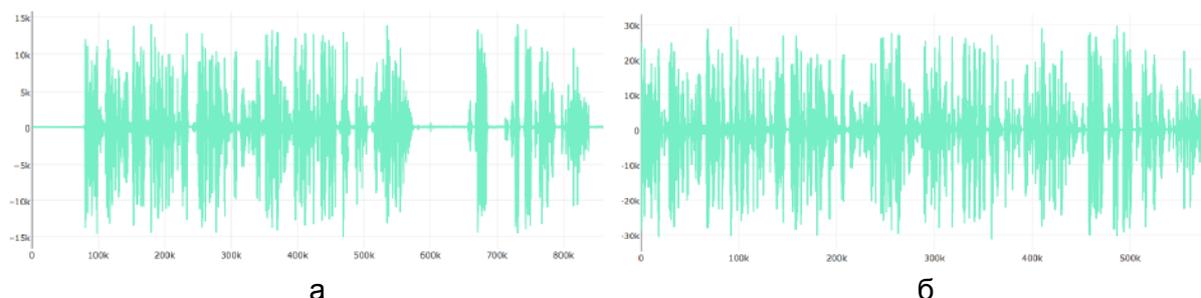


Рис. 2. Сигнал до (а) и после (б) удаления шумов и пауз

На этапе извлечения признаков формируются 39-элементные вектора мел-частотных кепстральных коэффициентов MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients). Процесс получения векторов выглядит следующим образом:

1. разделение сигнала на пересекающиеся фреймы длиной 25 мс с пересечением в 10 мс;
2. получение спектра сигнала для каждого фрейма за счет применения преобразования Фурье;
3. разложение спектра по мел-шкале с помощью треугольных фильтров;
4. возведение полученных значений в квадрат и логарифмирование;
5. применение дискретного косинусного преобразования.

В базе данных хранятся вектора признаков для каждого из пользователей системы. Эти данные используются для последующего обучения классификатора. В

качестве базы данных можно использовать документоориентированную или реляционную базу данных.

На последнем этапе происходит непосредственно распознавание. При распознавании на основе векторов признаков чаще всего применяется модель гауссовых смесей GMM (Gaussian Mixture Model) или машинное обучение, например, метод опорных векторов SVM (Support Vector Machine). В данной работе для распознавания диктора по голосу использовалась многослойная нейронная сеть с одним скрытым слоем. Количество нейронов n во входном слое i_1, i_2, \dots, i_n , соответствует размерности вектора признаков. Параметры скрытых слоев (количество и размерность) определялись экспериментально по критерию минимизации ошибок обучения нейронной сети. Наименьшая ошибка обучения получена в случае, когда единственный скрытый слой состоит из 10 нейронов h_1, h_2, \dots, h_{10} . Количество нейронов выходного слоя сети o_1, o_2, \dots, o_k соответствует размерности k множества дикторов G , зарегистрированных в системе. Элементы множества G есть числа от 1 до k . Нейронная сеть наглядно представлена на рис. 3.

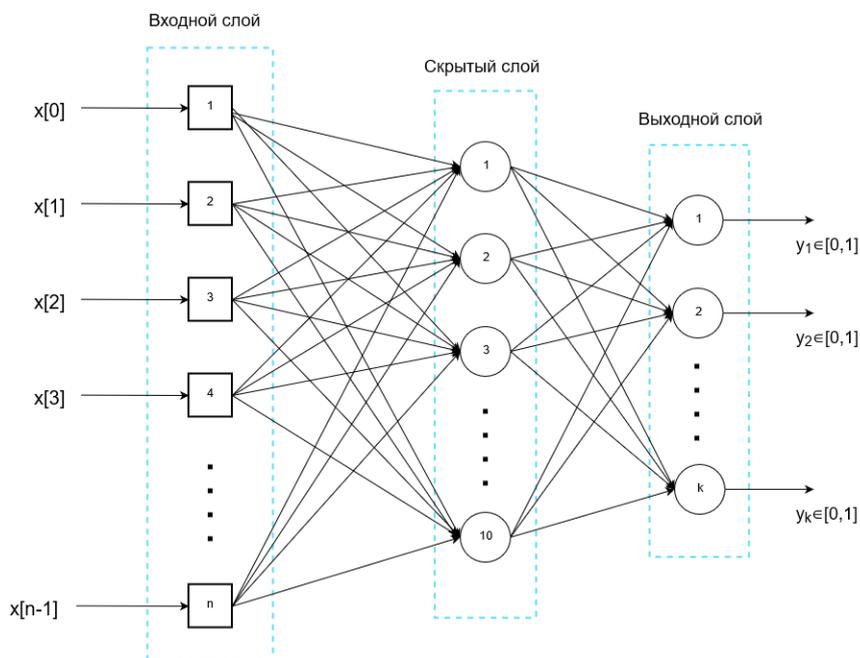


Рис. 3. Архитектура нейронной сети

Для формирования обучающих наборов необходимо установить соответствие между эталонным выходным вектором сети и одним из классов, на которые нужно распределить входные MFCC-вектора. Эталонный выходной сигнал сети в обучающем наборе устроен таким образом, что на одном из выходов должен присутствовать признак принадлежности входного вектора определенному классу (зарегистрированному диктору $d \in G$). И, наоборот, на остальных выходах есть признак отсутствия принадлежности соответствующему классу. Признаком принадлежности классу для обучающих векторов является число 1, и напротив, число 0 означает, что образ классу не принадлежит. Таким образом, для обучающего вектора $\{i_{d1}, i_{d2}, \dots, i_{dn}\}$ диктора d эталонный выход сети должен иметь вид:

$$\{o_j\}, j \in G, o_j = \begin{cases} 0, & j \neq d \\ 1, & j = d \end{cases} \quad (1)$$

В результате работы подобного алгоритма в режиме идентификации, речевому сигналу ставится в соответствие идентификатор пользователя системы или пустой идентификатор, говорящий о том, что диктор не является одним из пользователей систем. Это и является результатом работы разрабатываемой системы.

На данный момент система показывает следующие результаты работы: равновероятностная ошибка ERR=7%, а коэффициент точной идентификации 87%.

Так как биометрическая идентификация по голосу является частью голосовой системы управления интернетом вещей, то результат работы системы биометрической идентификации будет передаваться в качестве входных данных подсистеме принятия решений, которая на основе переданного идентификатора пользователя, результата работы системы распознавания естественной речи и показаний различных датчиков будет строить сценарии работы системы [3–11].

Литература

1. Распознавание говорящего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/cognitive-services/speaker-recognition/> (дата обращения: 04.04.2019).
2. Amirshina T., Nasrabadi N.M., Dawson J.M. Text-Independent Speaker Verification Using 3D Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1705.09422.pdf> (дата обращения: 04.04.2019).
3. VoxForge – free speech corpus and acoustic model repository [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.voxforge.org/ru/> (дата обращения: 04.04.2019).
4. Zhenhao G., Iyer A.N., Cheluvaraja S., Sundaram R., Ganapathiraju A. Neural Network Based Speaker Classification and Verification Systems with Enhanced Features [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1702.02289.pdf> (дата обращения: 04.04.2019).
5. Honglak L., Pham P., Largman Y., Ng A.Y. Unsupervised feature learning for audio classification using convolutional deep belief networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ai.stanford.edu/~ang/papers/nips09-AudioConvolutionalDBN.pdf> (дата обращения: 04.04.2019).
6. McLaren M., Lei Y., Ferrer L. Advances in deep neural network approaches to speaker recognition // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – 2015. – P. 4814–4818.
7. Hossein S. Speaker Verification using Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1803.05427.pdf> (дата обращения: 04.04.2019).
8. Verteletskaya E., Sakhnov K. Voice activity detection for speech enhancement applications // Acta Polytechnica. – 2010. – V. 50(4). – P. 100–105.
9. Yu D., Seltzer M.L. Improved Bottleneck Features Using Pretrained Deep Neural Networks // INTERSPEECH. – 2011. – P. 237–240.
10. Бучнева Т.И., Кудряшов М.Ю. Нейронные сети в задаче идентификации диктора по голосу // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. – 2015. – № 2. – С. 119–126.
11. Рахманенко И.А., Мещеряков Р.В. Анализ идентификационных признаков в речевых данных с помощью GMM-UBM системы верификации диктора // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 3(52). – P. 32–50.

Голендухин Денис Валерьевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Технологии промышленного программирования
e-mail: evilkrauzer@gmail.com**Шматков Владислав Николаевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: shmatkovvlad@gmail.com**Муромцев Дмитрий Ильич**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: mouromtsev@itmo.ru

УДК 004.5**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ОКРУЖЕНИЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ
РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УМНЫХ ЧАСОВ****Голендухин Д.В., Шматков В.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Муромцев Д.И.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе рассмотрена задача распознавания жестов при использовании умных часов, для взаимодействия с окружением интернета вещей. В качестве источника данных использовался акселерометр. Для анализа использована нейронная сеть. Приведены результаты эксперимента для простейших жестов. Рассмотрено применение платформы OpenHab для управления умными устройствами.

Ключевые слова: интернет вещей, IoT, распознавание жестов, нейронная сеть, умные часы, OpenHab.

Введение. На текущий момент одной из проблем систем интернета вещей является проблема взаимодействия с человеком на основе естественных интерфейсов. Существуют различные способы такого взаимодействия с системой: голосом, жестами, через графический интерфейс. Благодаря распространению носимых устройств вроде умных часов или фитнес-трекеров, которые могут взаимодействовать с другими устройствами по сети, появляется возможность реализовать управления с помощью жестов без использования сторонних датчиков, камер, так как необходимые датчики уже встроены в эти устройства.

Системы распознавания жестов. Системы распознавания жестов используются для формирования отклика системы на действия пользователя и выполнения определенных операций. Сам процесс распознавания начинается с получения данных о движениях пользователя при их выполнении.

В целом в системах распознавания жестов можно выделить следующую упрощенную структуру, которая представлена на рис. 1:

1. устройство ввода;

2. блок распознавания;
3. реагирующий блок.

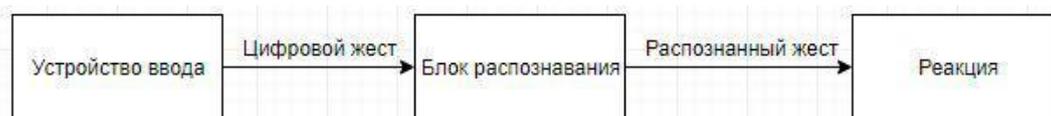


Рис. 1. Упрощенная структура системы распознавания жестов

Устройство ввода. Устройство ввода является точкой входа в систему. Оно преобразовывает жест в цифровую форму. В данной работе в качестве устройства ввода использовались умные часы на базе операционной системы (ОС) WearOs (Android). В умных часах содержатся разные датчики, такие как акселерометр, гироскоп, магнитометр, однако исследования [1–3], показывают, что использование акселерометра является достаточным.

При движении пользователя снимаются показания датчика акселерометра, которые в дальнейшем передаются блоку распознавания.

Однако в чистом виде использовать показания акселерометра сложно, так как они содержат высокочастотные колебания. Для выделения значимой информации из показаний акселерометра подходящим методом является метод скользящего среднего.

При использовании данного метода фактические значения временного ряда заменяются средним арифметическим значений ближайших к нему членов. Набор усредненных значений образует окно скользящее. Член ряда, значение которого заменяется на среднее по окну, занимает в окне срединное положение.

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=k}^{n+k} X(t),$$

где n – размер окна (период сглаживания); k – порядковый номер члена ряда, значение которого заменяется средним.

На рис. 2 изображен пример работы этого метод. В данном случае были сняты данные с акселерометра по осям X , Y во время движения руки.

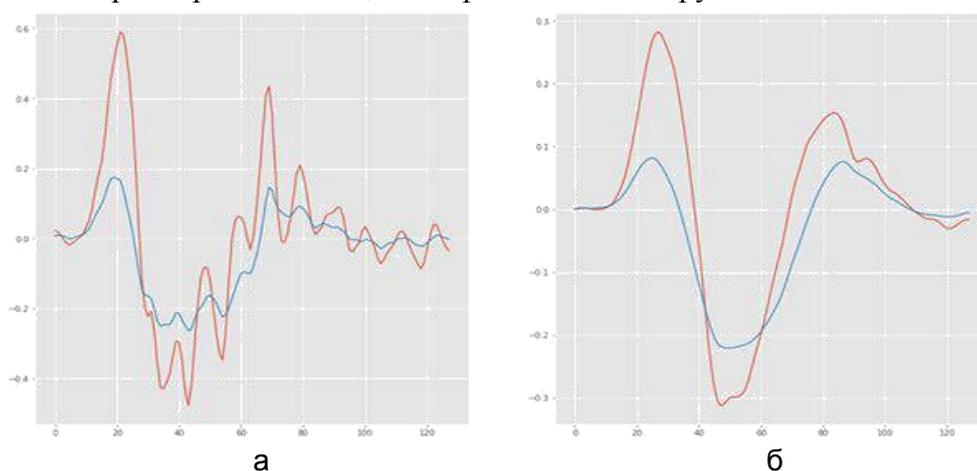


Рис. 2. Исходные (а) и усредненные (б) значения

Блок распознавания. В общем виде блок распознавания сравнивает поступившую информацию с шаблонами, хранящимися в базе, и в качестве результата возвращает распознанный жест. Большинство систем распознавания жестов используют линейную регрессию, наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов или нейронные сети. Так как исследования показали [4, 5], что при

использовании нейронных сетей достигается высокая точность, было принято решение использовать именно их.

Для обучения классификатора необходимо записать данные по каждому жесту. В данной работе использовались достаточно простые жесты (рис. 3) для распознавания.

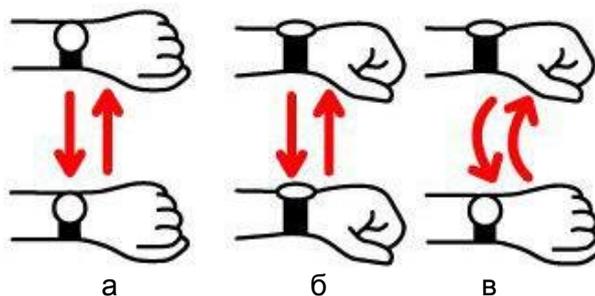


Рис. 3. Используемые жесты: вправо-влево (а); вверх-вниз (б); поворот руки (в)

Для более точной работы данные разбиваются на вектора. Каждый жест содержит 30 таких векторов. А каждый вектор – это 20 дискретных значений x , y , z .

В качестве архитектуры нейронной сети использовался персептрон. Для реализации использовались библиотеки Keras и TensorFlow.

Для поиска оптимальных параметров нейронной сети использовался генетический алгоритм. Реализация данного алгоритма для нейронных сетей хорошо описана в статье [6]. В табл. 1 приведены параметры для генетического алгоритма.

Таблица 1. Параметры генетического алгоритма

Количество эпох	3000
Количество слоев	1
Максимальное количество нейронов в слое	3000
Функции активации	Линейный выпрямитель (Rectified Linear Unit, ReLU), экспоненциальная линейная функция (Exponential Linear Unit, ELU), гиперболический тангенс (tanh), сигмоида (sigmoid)
Оптимизаторы	rmsprop, adam, sgd, adagrad, adadelta, adamax, nadam

После 20 поколений лучшая нейронная сеть имела параметры и точность, представленные в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Параметры лучшей сети

Количество эпох	632
Количество слоев	1
Максимальное количество нейронов в слое	2558
Функции активации	Сигмоида (sigmoid)
Оптимизаторы	adadelta

Таблица 3. Точность лучшей сети

Точность	96,37%
Потери	0,1214

Полученная модель была конвертирована в TensorFlow-граф и сохранена как Protobuf-файл, который можно использовать в Java-коде Android-приложения для распознавания жестов.

Блок реакции. Последний блок выполняет некоторые функции в соответствии с распознанным жестом. В окружении интернета вещей такой функцией может быть, например, включение света по жесту, уменьшение громкости и так далее. Для работы данного блока необходимо, чтобы все устройства, которые должны выполнять операции по жесту, были объединены в общую сеть и управлялись через единую точку входа, так как устройства могут работать по разным протоколам (ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi), по которым умные часы могут не работать.

Для такого объединения устройств можно использовать OpenSource-платформу OpenHab [7], которая может работать по разным протоколам, на различных операционных системах и имеет удобный RestAPI для взаимодействия с устройствами. Однако существует проблема, состоящая в том, что для взаимодействия с устройствами в OpenHab каждому устройству присваивается определенное имя. Из-за этого становится сложным менять связку жест-устройство.

Для решения данной проблемы был написан промежуточный сервис, который на вход принимает информацию о жесте, а на выходе формирует запрос на изменение состояния устройства в OpenHab'e.

Итоговая реализация. В итоге для распознавания жестов было реализовано Android-приложение для умных часов. Показания акселерометра добавляются в очередь. Как только размер очереди становится больше 90, эти данные отдаются классификатору, модель которого находится на самом устройстве, и происходит непосредственно распознавание жеста. Так как каждый жест разбивается на вектора по 30 показаний каждый, то для того, чтобы гарантированно определить жест, необходимо несколько раз подряд получить в результате работы классификатора один и тот же класс. Для этого полученный результат работы классификатора добавляется в очередь состояний. Итоговая схема работы представлена на рис. 4.

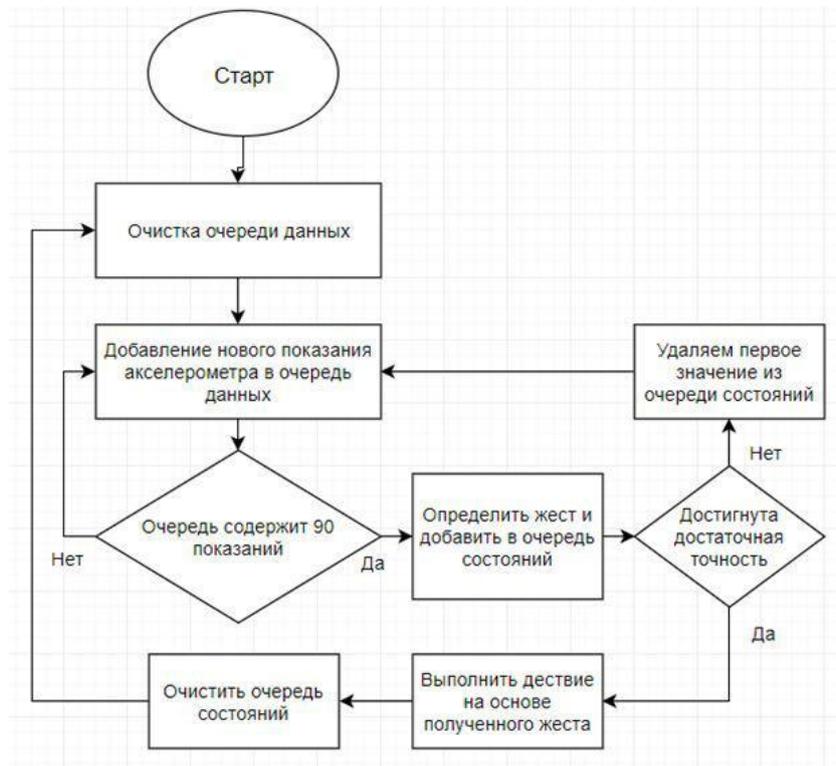


Рис. 4. Схема работы Android-приложения

При успешном распознавании жестов отправляется запрос к промежуточному сервису.

Схема взаимодействия представлена на рис. 5.



Рис. 5. Схема взаимодействия между умными часами и другим умным устройством

В качестве умных часов использовались часы ZTE ZW10. Данная модель имеет возможность использовать передачу данных через Wi-Fi и Bluetooth, а также имеет достаточно мощный процессор, который позволяет производить распознавание жестов на самом устройстве. В качестве умного устройства для тестирования использовалась лампа Xiaomi Mi LED Desk Lamp, OpenHab работал на ноутбуке под ОС Windows 10, а все устройства общались между собой по HTTP.

Заключение. Результатом данной работы была разработка решения для взаимодействия с окружением интернета вещей на основе распознавания жестов. Были изучены существующие исследования, на основе которых был реализован алгоритм для распознавания простых жестов, таких как движение влево-вправо, вверх-вниз. В качестве источника данных в данной работе использовались умные часы с датчиком акселерометра. Был реализован функционал, отвечающий за взаимодействие умных часов с остальным окружением интернета вещей. В дальнейшем планируется расширять набор жестов, а также комбинировать жесты с другими способами управления, например, с голосом.

Литература

1. Wu J. and et al. Gesture recognition with a 3-d accelerometer // 6th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing. – 2009. – P. 25–38.
2. Xie R. and et al. Similarity matching-based extensible hand gesture recognition // IEEE Sensors Journal. – 2015. – № 15(6). – P. 3475–3483.
3. Akl A., Feng C., Valae S. A novel accelerometer-based gesture recognition system // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2011. – № 59(12). – P. 6197–6205.
4. Хельвас А.В. и др. Распознавание жестов с помощью нейронной сети и применение этого подхода для создания игровых гаджетов нового поколения // Труды Московского физико-технического института. – 2017. – № 9.2. – С. 164–175.
5. Shin S., Sung W. Dynamic hand gesture recognition for wearable devices with low complexity recurrent neural networks. Circuits and Systems (ISCAS) // IEEE International Symposium. – 2016. – P. 2274–2277.
6. Let's evolve a neural network with a genetic algorithm-code included [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.coast.ai/lets-evolve-a-neural-network-with-a-genetic-algorithm-code-included-8809bece164> (дата обращения: 11.03.2019).
7. OpenHab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openhab.org/> (дата обращения: 11.03.2019).

Дергун Карина Ильдаровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P4210

Направление подготовки: 09.04.04 – Информационно-вычислительные системы

e-mail: dergun_karina@mail.ru

Доронин Олег Владимирович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: dorooleg@yandex.ru

Дергачев Андрей Михайлович

Год рождения: 1963

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: dam600@gmail.com

УДК 004.233

ФАЗЗИНГ-ТЕСТИРОВАНИЕ FINE-GRAINED АЛГОРИТМОВ**Дергун К.И., Доронин О.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Дергачев А.М.**

Большинство современных программных приложений являются многопоточными, что позволяет увеличить производительность за счет параллельного выполнения задач. В многопоточных приложениях возможны следующие типы ошибок: гонки данных, взаимоблокировки, инверсии приоритетов, проблема АВА и другие. Ошибки могут приводить к крупным финансовым потерям, например, в банковской инфраструктуре, или же потерям человеческих жизней в самолетостроении, медицинских приборах, машиностроении и других областях. Для уменьшения вероятности появления ошибок существуют специальные программы, такие как Valgrind и Google Thread Sanitizer. Но такие инструменты не позволяют проводить фаззинг-тестирование fine-grained алгоритмов. В Google Thread Sanitizer появился модуль для тестирования lock-free алгоритмов, но этот модуль не умеет корректно работать с мьютексами и условными переменными, которые очень важны как для fine-grained алгоритмов, так и алгоритмов, использующих такие методы синхронизации. В данной работе получены результаты, которые позволяют тестировать fine-grained алгоритмы, а также проведен сравнительный анализ базового алгоритма Google Thread Sanitizer с улучшенным фаззинг-модулем.

Ключевые слова: многопоточность, взаимоблокировки, инструменты поиска ошибок, фаззинг-тестирование, fine-grained алгоритмы.

Введение. Техника фаззинга [1] в наши дни широко распространена. Фаззинг-техника тестирования программного обеспечения, часто автоматическая или полуавтоматическая, заключается в передаче приложению на вход неправильных, неожиданных или случайных данных. Предметом интереса являются падения и зависания, нарушения внутренней логики и проверок в коде приложения, утечки памяти, вызванные такими данными на входе. Но информацию о применении такого подхода в случае многопоточных алгоритмов, таких как fine-grained, найти сложно.

Fine-grained алгоритмы – это методы синхронизации, как правило, построенные не на применении примитивов синхронизации, предоставляемых операционной системой (ОС), а на применении «легких» атомарных примитивов, например, spin-lock (возможно частичное применение примитивов синхронизации ОС). На основе таких

примитивов строятся структуры данных, допускающие параллельное чтение или даже параллельную запись. В таких случаях синхронизация осуществляется на уровне узла (node) или страницы (page, bucket) структуры данных и встроена в сами алгоритмы операций над этой структурой. Часто fine-grained контейнеры показывают производительность, сравнимую с производительностью lock-free контейнеров при относительно небольшой нагрузке. Например, библиотека libcds [2] поддерживает не только lock-free алгоритмы, но еще и fine-grained алгоритмы.

Для фаззинг-тестирования lock-free алгоритмов существует библиотека Relacy Race Detector (RRD) [3]. Это инструмент для эффективного выполнения юнит-тестов для алгоритмов синхронизации, написанных на C++0x. Пользовательский поток представляется в виде файбера. При исполнении программы в каждый момент времени работает только один файбер, а специальные планировщики управляют выбором порядка исполнения файберов. Такой инструмент обладает рядом недостатков, часть которых была исправлена при переносе инфраструктуры в Google Thread Sanitizer (TSAN) [4]. Некоторые результаты представлены в работе «Анализ проблем в Relacy Race Detector с последующим устранением» (Доронин О.В., Калишенко Е.Л.), но они относятся к lock-free алгоритмам и не приспособлены для fine-grained алгоритмов.

В работе [5] рассматривается модуль фаззинг-тестирования lock-free алгоритмов, но такой модуль не позволяет работать с мьютексами (одноместный семафор, служащий в программировании для синхронизации одновременно выполняющихся потоков) и условными переменными (примитив синхронизации с возможностью уведомлений). Данная работа направлена на устранение этого недостатка, что позволит проводить фаззинг-тестирование fine-grained алгоритмов и находить новые ошибки из класса взаимоблокировок.

Алгоритм поиска взаимоблокировки. Взаимоблокировка (тупиковая ситуация, deadlock) – это состояние, при котором каждый поток ожидает освобождения одного из ресурсов, а все ресурсы при этом захвачены. Для поиска взаимоблокировок в коде, инструмент Google Thread Sanitizer [4, 6] использует алгоритм, основанный на построении направленного графа. Опишем механизм построения такого графа:

1. вершинами графа являются мьютексы;
2. ребро строится между двумя захваченными мьютексами;
3. направление ребра зависит от порядка захвата мьютексов;
4. в случае если граф имеет цикл, алгоритм оповещает о наличии взаимоблокировки в коде.

Рассмотрим данный алгоритм на примере:

1. пусть есть два потока, которые последовательно захватывают mutex-1 и mutex-2. На рис. 1, а, представлен граф, который построит алгоритм поиска взаимоблокировки. Как видно из рисунка, в графе отсутствуют циклы, инструмент делает вывод о том, что в коде отсутствует взаимоблокировка. Это утверждение верно;
2. пусть есть два потока, которые в инверсном порядке захватывают mutex-1 и mutex-2. Как известно, инверсный порядок захвата мьютексов может стать причиной взаимоблокировки. Построенный граф представлен на рис. 1, б. Как видно из рисунка, в графе присутствует цикл, инструмент делает вывод о том, что в коде есть взаимоблокировка. Это утверждение также верно;
3. пусть есть два потока, которые в инверсном порядке захватывают mutex-1 и mutex-2, но этот захват осуществляется в критической секции, которая контролируется mutex-3. В данном случае инверсный порядок захвата мьютексов не станет причиной взаимоблокировки. Построенный граф представлен на рис. 1, в. Как видно из рисунка, в графе присутствуют циклы, инструмент делает вывод о том, что в коде есть взаимоблокировка. Это утверждение не верно.

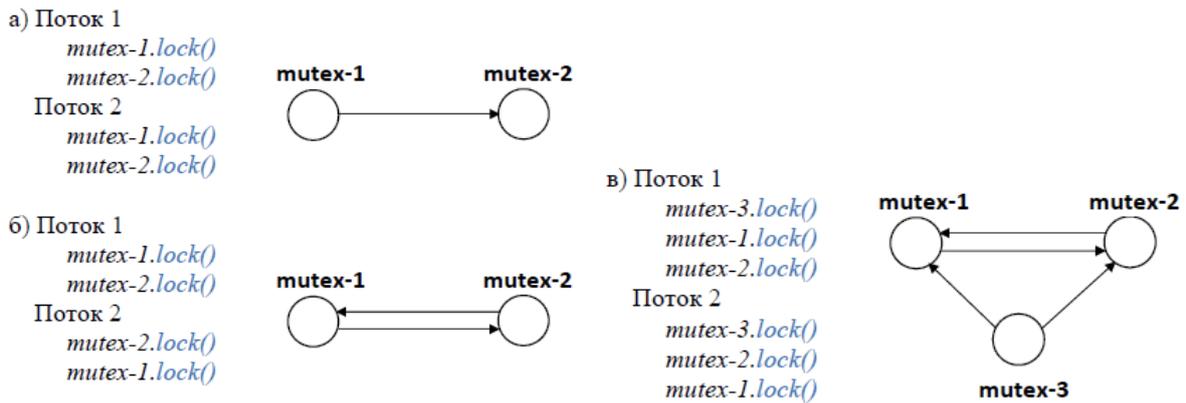


Рис. 1. Алгоритм поиска взаимоблокировки

Представленный алгоритм поиска взаимоблокировки, реализованный в инструменте TSAN, демонстрирует ложные срабатывания. На рис. 2 приведен пример, когда этот инструмент не справляется со своей задачей поиска взаимоблокировки.

В представленном на рисунке примере кода есть два потока. Первый поток последовательно пытается захватить `mtx1` и `mtx2`. Во втором потоке сначала происходит захват `mtx2`, а `mtx1` будет захвачен только в случае, если первый поток не успел закончить свое выполнение.

```

// thread1:
{
  lock_guard<mutex> lock1(mtx1);
  lock_guard<mutex> lock2(mtx2);
  // processing
}

// thread2:
{
  lock_guard<mutex> lock2(mtx2);
  auto status = thread1.wait_for(milliseconds(1));
  if (status != ready) mtx1.lock();
  // processing
  if (status != ready) mtx1.unlock();
}

```

Рис. 2. Пример кода, где возможна ситуация взаимоблокировки

Но в некоторых операционных системах, в большинстве случаев, планировщик так распределяет ресурсы процессора между первым и вторым потоком, что первый поток успевает закончить свое выполнение до момента захвата вторым потоком `mtx1`. В связи с этим алгоритм поиска взаимоблокировок TSAN при построении графа не добавит обратное ребро и, как следствие, не найдет в графе цикла. В данном примере может возникнуть ситуация, когда потоки будут взаимоблокированы, но существующая реализация инструмента TSAN не способна найти такой случай.

Проверим, как с этим справится разработанный модуль фаззинг-тестирования. Запустим пример, продемонстрированный на рис. 2, на различных планировщиках исполнения потоков, а также с помощью стандартного планировщика, который используется алгоритмом для поиска взаимоблокировок.

На рис. 3 видим, что при запуске кода 100 тысяч раз стандартный планировщик ОС не смог выявить потенциальную ошибку в коде. Однако все разработанные планировщики с этой задачей справились. Например, планировщик, основанный на случайном выборе потоков, справился с поиском ошибки за 14 итераций.



Рис. 3. Результаты работы планировщиков, связанные с поиском взаимоблокировки

Данный пример иллюстрирует, что стандартный алгоритм поиска взаимоблокировок не справляется со своей задачей, имеет ложные срабатывания, а также существуют примеры, на которых и вовсе не находит потенциальных ошибок. В свою очередь, разработанная инфраструктура для фаззинг-тестирования справляется с поиском потенциальных взаимоблокировок, что подчеркивает актуальность проделанной работы.

Архитектура для работы с мьютексами и условными переменными. Модуль фаззинг-тестирования в Google Thread Sanitizer перехватывает вызовы создания/завершения потоков, и в эти моменты вместо реальных потоков подкладываются потоки из пользовательского пространства, которые управляются специальным планировщиком. Способ управления потоками называется платформой. Таких платформ было разработано две: фэйберы и pthread. В каждый момент времени может работать только один поток. При захвате мьютекса, который уже был захвачен, будет сделан системный вызов в ядро ОС, и текущий поток будет снят с планировщика ОС. При этом планировщик в пользовательском пространстве не узнает о таких изменениях.

Для того чтобы решить эту проблему, необходимо самостоятельно поддерживать взаимодействие с мьютексами. А именно, когда поток пытается захватить мьютекс, то данное событие перехватывается, и адрес мьютекса сохраняется в некоторую структуру (допустим массив). Для поддержки мьютексов в разрабатываемой платформе нельзя полагаться на внутреннюю структуру мьютекса, поскольку это платформо-зависимая реализация. Поэтому единственная информация, которую можно использовать – это адрес мьютекса. Опишем основной принцип работы данного механизма.

1. перехват события по захвату/освобождению мьютекса;
2. запись в некоторую структуру адреса данного мьютекса;
3. добавление идентификатора потока в очередь по данному элементу;
4. первый поток в очереди является владельцем данного мьютекса, остальные находятся в активном ожидании.

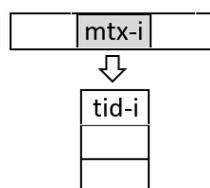


Рис. 4. Структура для хранения мьютексов

На рис. 4 продемонстрирована возможная структура для хранения мьютексов. В данном случае структурой для хранения выступает массив, поэтому операции поиска/добавления/удаления мьютекса происходят за линейно зависимое от размера массива время. Время работы с очередью потоков является константным, поскольку интересна лишь информация о первом и последнем потоке.

Результаты. В ходе выполнения работы был модифицирован модуль фаззинг-тестирования [5] lock-free алгоритмов в Google TSAN. С помощью внесенных изменений стало возможным проводить тестирование не только lock-free алгоритмов, но также fine-grained и других алгоритмов, которые используют мьютексы и условные переменные. Актуальность полученных результатов подтверждают тестовые примеры, в которых не удавалось находить ошибки с помощью базовой инфраструктуры Google TSAN. С разработанной инфраструктурой можно ознакомиться на веб-сервисе GitHub [7].

Литература

1. Саттон М., Грин А., Амини П. Fuzzing. Исследование уязвимостей методом грубой силы. – Символ-Плюс, 2009. – 560 с.
2. Khizhinsky M. CDS C++ library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/khizmax/libcds> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Relacy Race Detector [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1024cores.net/home/relacy-race-detector> (дата обращения: 06.03.2019).
4. ThreadSanitizer project: documentation, source code, dynamic annotations, unit tests [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://code.google.com/p/data-race-test> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Doronin O., Dergun K., Dergachev A. Automatic fuzzy-scheduling of threads in Google Thread Sanitizer to detect errors in multithreaded code // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – V. 2344. – P. 1–12.
6. Serebryany K., Iskhodzhanov T. ThreadSanitizer: data race detection in practice // WBIA. – 2009. – P. 62–71.
7. Fuzzing for ThreadSanitizer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/dorooleg/compiler-rt/tree/schedulers/lib/tsan/rtl> (дата обращения: 06.03.2019).

Ивашенко Аркадий Александрович

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4203

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivaschenkoarkady@gmail.com

Вахвиянова Полина Денисовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R3440

Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах

e-mail: vahvianovapd@gmail.com

Пенской Александр Владимирович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н.

e-mail: aleksandr.penskoj@itmo.ru

УДК 658.5.012.2**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АНАЛИЗА И ПЛАНИРОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ****Ивашенко А.А., Вахвиянова П.Д.****Научный руководитель – к.т.н. Пенской А.В.**

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (грант 08-08).

Определены методы анализа производственных ресурсов. Разработаны математическая модель средств планирования производственных ресурсов и архитектура программного обеспечения, в рамках которой рассмотрена модель фондов, занимающаяся генерацией приближенного производственного плана.

Ключевые слова: автоматизация, алгоритмы, Индустрия 4.0, планирование.

Целевой разработкой являлась система, которая сможет генерировать выходные данные, предусмотренные методом объемно-календарного планирования [1]. Основной задачей работы являлась разработка системы автоматической генерации объемно-календарного плана, который должен содержать следующую информацию [2]:

- детализированный анализ потребности в ресурсах, структурированный по времени;
- составление данных для генерации плана закупок на основе потребности ресурсов;
- сравнительная оценка эффективности составленных планов.

Для решения задачи генерации объемно-календарного плана предложен метод оценки утилизации производственных ресурсов. Для определения этого метода за основу было взято экономическое понятие фонда [3] и расширено так, чтобы оно охватывало другие аспекты планирования. Таким образом, сформулировано понятие производственного фонда – численная оценка производственных мощностей, характеризующая производственные процессы (возможные, запланированные и пр.).

Исходя из определения производственного фонда, сформулирована модель производственных фондов – функция использования ресурсов на выделенном отрезке времени. Она основана на разных подходах к расчету производственных фондов:

- идеальный фонд – подход к усредненной оценке затрат на реализацию ЦПВ (или ОКП) при минимальных расходах и издержках процесса производства, основанный на картах технологического процесса;

Фонд финансов – численная оценка доходов и затрат предприятия, характеризующая производственные процессы.

Он позволяет учитывать расходы и доходы [5], как непосредственно связанные с процессов производства, так и любые дополнительные расходы или доходы, например, амортизация, индексация зарплат и т.д.

Разработка математической модели и реализации фонда финансов является следующим шагом проекта.

В связи со спецификой некоторых ресурсов, необходимых на производстве, таких как электричество, вода, воздух, их потребность и расход рассчитываются отдельно. Главной особенностью этих ресурсов является то, что они являются восстанавливаемыми, а также имеют верхнее и нижнее ограничения по объемам потребления.

Фонды потока – численная оценка восполняемых ресурсов, которые параметризуются максимальными и минимальными значениями, характеризующая производственные процессы.

Фонд запасов – численная оценка количества материальных единиц, использующихся в производстве, характеризующая производственные процессы (возможные/запланированные и пр.).

Кроме непосредственного отображения материальных единиц, фонд запасов учитывает задержки, вызванные временем доставки материальных единиц, а также работой складов. Однако есть два случая использования фонда запасов [6]:

- планирование внутри цеха, где можно пренебречь временем на логистику и хранение;
- планирование на большое предприятие, где доставка материальных единиц от и до складов, а также сам процесс хранения становятся более затратными по времени, чем само производство.

Таким образом, базовый фонд запасов отображает потребление и восполнение определенного типа продукции. Также, исходя из базового фонда потока, можно получить скорость потребления и количество ресурса для каждого типа материальных единиц.

Для генерации объемно-календарного плана разработан и реализован алгоритм (таблица), основанный на циклическом запуске имитационной модели [7] с пошаговым увеличением количества уникальных материальных единиц, пока количество продукции не перестанет влиять на время выполнения необходимых операций. После этого можно сделать предположение о том, что, увеличивая найденное количество продукции в несколько раз, время выполнения операций будет соответственно линейно увеличиваться.

Таблица. Алгоритм генерации объемно-календарного плана

№	Алгоритм
1.	Из ОКП, предоставляемым менеджментом, определяются границы интервала планирования a, b .
2.	Рассчитывается объем доступных фондов каждого ресурса k , как $F_a^k = S^k F_a^{k1} = S_k < RP^k; a, b >$, где F_a^{k1} – объем фонда единицы ресурса k .
3.	Рассчитывается идеальный объем потребления фондов F_i^{j1k} для единицы каждого вида продукции из ОКП j для каждого ресурса k на основе РС.
4.	Рассчитывается общий идеальный объем потребления фондов для каждой партии (дата отгрузки, количество одного вид продукции) из ОКП $F_i^j = NF_i^{j1}$.
5.	Площадь идеального потребления фондов раскладываются в график с учетом ограничений на потребление ресурсов (PR) таким образом, чтобы удовлетворять датам отгрузки.

№	Алгоритм
6.	Рассчитывается общее идеальное потребление каждого из фондов в единицу времени $F_i^k = \sum_j F_i^{jk}$.
7.	Имитационная модель запускается для каждого проекта j с разным количеством продукции с заданным шагом. Для каждого прогона рассчитываем объем потребленных фондов k на единицу продукции F_c^{kj1} . Осуществляется запуск по циклу, пока объем продукции не перестанет влиять на потребление фондов. Получаем зависимость F_c^{kj1} от объема партии N_j .
8.	Таблично выбираем потребление фондов ресурсов на единицу каждой позиции из номенклатуры ОКП на основании объема N_j партии.
9.	Рассчитывается потребление фондов ресурсов для каждой партии (даты отгрузки, количество одного вид продукции) из ОКП путем масштабирования: $F_c^{kj} = F_c^{kj1} N_j$.
10.	Площадь потребления фондов раскладываются в график с учетом ограничений на потребление ресурсов PR^k таким образом, чтобы удовлетворять датам отгрузки.
11.	Рассчитывается общее потребление каждого из фондов в единицу времени $F_c^k = \sum_j F_c^{jk}$.
12.	Рассчитывается объем неиспользуемых фондов каждого вида ресурсов в единицу времени.
13.	Для каждого вида ресурсов пользователю визуализируется: <ul style="list-style-type: none"> – идеальный и фактический графики потребления ресурсов, ограничения; – характеристики фондов: общий объем, общее потребление (идеальное и реальное), объем неиспользованных (идеальное и реальное).

В результате работы был разработан метод анализа и планирования производственных ресурсов, формализованы классификация и подходы к расчету фондов, разработана и реализована математическая модель фондов времени, разработан и реализован прототип алгоритма генерации объемно-календарного плана. В дальнейшем планируется разработка математической модели фондов финансов и ее реализация, а также доработка прототипа алгоритма генерации объемно-календарного плана.

Литература

1. Колесников С.Н. Некоторые современные тенденции в области автоматизации функций управления предприятием. – 1С-Публишинг, 2016. – 382 с.
2. Винокур М.Е. Организация производства и менеджмент. – М.: Проспект, 2015. – 168 с.
3. Кузнецов П.М., Борзенков В.В., Дьяконова Н.П., Поляков С.А., Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических процессов и подготовки производства в машиностроении. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 512 с.
4. Азбель В.О. и др. Гибкое автоматическое производство. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.
5. Путилов А.В., Черняховская Ю.В. Коммерциализация технологий и промышленные инновации. – М.: Лань, 2018. – 321 с.
6. Лущикова А.П. Планирование на предприятии. Учебное пособие. – Прокопьевск: Филиал ГУ КузГТ, 2008. – 102 с.
7. Curry G.L., Feldman R.M. Manufacturing Systems Modeling and Analysis. – Springer: Texas A&M University, 2014. – 335 p.

Калёнова Ольга Вячеславовна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ovkalenova@corp.ifmo

Перл Иван Андреевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н.

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo

УДК 003.625**ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ****Калёнова О.В., Перл И.А.****Научный руководитель – к.т.н. Перл И.А.**

Идея или наука не получают развития, если авторы не могут правильно донести ее до аудитории. Примером этого является теория хаоса, которая получила широкую огласку благодаря удачным выступлениям, ориентированным на демонстрацию всеобъемлемости. Данная работа написана на основе опыта выступлений автора перед различной аудиторией с исследованиями абстрактного аппарата, применяемого для различных прикладных областей, и имеет целью описание подхода презентации сложных абстрактных структур мультимодальных данных.

Ключевые слова: абстрактный объект, мультимодальные данные, визуализация.

В ходе исследований, посвященных изучению сложных математических и абстрактных объектов, часто важной задачей является их визуализация. Особую роль это играет при подготовке исследований к публикациям и различным публичным представлениям, так как в таком случае исследователю необходимо не только изобразить то, что он понимает, но еще и в такой форме, чтобы это стало понятно целевой аудитории [1].

Для того чтобы изображаемый абстрактный объект был понятен целевой аудитории исследователя, могут быть использованы следующие основные подходы:

- проектирование визуальных схем на основе области знаний целевой аудитории;
- проектирование визуальных схем на основе предметной области исследования;
- проектирование визуальных схем на основе традиций визуализации используемого математического аппарата.

1. При проектировании визуальных схем на основе знаний целевой аудитории для исследований сложных структур мультимодальных данных могут возникать проблемы, связанные с терминологическим аппаратом, так как предметная область исследователей большинства научных изданий и конференций не ограничивается мультимодальными данными, в то время как область приложений данных исследований крайне широкая, что определяет неоднородность целевой аудитории, а следовательно, и области их знаний.

2. При проектировании визуальных схем сложных структур мультимодальных данных для единственной предметной области могут возникнуть три разнонаправленные проблемы:

- область приложения слишком узкая и сложно найти подходящую целевую аудиторию – требуется большое междисциплинарное исследование и поиск

соответствующих научных коммуникаций для персонального донесения собственных исследований;

- область приложения слишком широкая: в таком случае трудно найти целевую аудиторию, которой данные исследования покажутся интереснее других, а терминология может оказаться слишком общей и недостаточно точной для каждого отдельно взятого исследователя;
- область приложения мультимодальных данных также является абстрактной наукой или ее частью, в таком случае вероятны проблемы, аналогичные пункту 1.

3. При проектировании визуальных схем сложных структур на основе традиций визуализаций используемого математического аппарата также возникает ряд проблем в разнообразии используемого математического аппарата. При рассмотрении мультимодальных данных с различных позиций может включать в себя такие разделы математики как:

- дискретная математика, в том числе:
 - модальная логика (философская и математическая составляющие);
 - комбинаторика;
 - теория графов;
- теория множеств и топология, включая:
 - теорию групп;
 - теорию категорий;
 - гомотопическую теорию типов.

Помимо этого, при использовании структур мультимодальных данных используются различные инструменты и подходы компьютерных наук и информатики. Это также включает в себя такие предметные области как:

- анализ и интеграция данных;
- онтологии и семантические сети;
- проектирование программного обеспечения на различных уровнях;
- вопросы компьютерного моделирования.

На основании описанных выше подходов с учетом их проблем был разработан комбинированный подход, который представляет собой построение визуальных схем путем различных выборок одних и тех же данных для демонстрации возможностей приложения исследований и направлений на основе разнообразия знаний целевой аудитории при учете их изначальной совокупности.

Покажем применение описанного подхода на презентации понятия мультимодальных данных.

В связи с абстрактностью объекта исследования, а именно сложных структур мультимодальных данных, для точности формулировки, но не исключая возможность применения понятия для широкого круга задач, определение следует давать в нескольких аспектах. В узком смысле понятие мультимодальных данных представляет собой набор сигналов, обрабатываемых человеком, а именно: зрительные образы, слуховые, обонятельные и так далее. Согласно такому определению модальностей всегда может быть по количеству не больше, чем число органов чувств человека. Однако такое определение сильно ограничивает область применения понятия мультимодальных данных, а также существенно ограничивает работу с ними: не понятно, как хранить и обрабатывать данные вне человека, компьютерными методами.

Более широкое определение понятия мультимодальных данных – это набор данных, описывающий какие-либо объекты, представленные в разных, четко выделенных модальностях [2].



Рисунок. Пример визуализация понятия мультимодального объекта

Сформулированные определения также могут быть представлены в виде изображения (рисунок). В центре находится описываемый мультимодальный объект, который описывается в различных модальностях. Значение мультимодального объекта в какой-либо из модальностей будем называть сущностным представлением.

В зависимости от рассматриваемой в дальнейшем задачи, докладчиком или автором научной статьи могут быть сформулированы другие определения базового понятия в терминах используемого математического аппарата.

В качестве примера мультимодальных объектов следует выбрать базовый и понятный объект, в рамках рассматриваемого подхода, исследуемой предметной области. В идеальном случае он должен представлять собой базовый объект для широкой аудитории, на которую направлен доклад или статья.

В дальнейшем, если того требует задача, в качестве базового мультимодального объекта может быть выбран другой объект, однако для первичного погружения аудитории в терминологию мультимодальных данных более эффективным способом привлечения внимания к дальнейшим изысканиям является выбор базового объекта из широкого научного спектра потенциальной аудитории.

При дальнейшем рассмотрении понятия мультимодальных данных на основании выбранной предметной области и одновременно при рассмотрении сложных структур мультимодальных данных, таких как: мультимодальные данные со связями во внешних модальностях, мультимодальные данные высших порядков, рекурсивные мультимодальные данные, рекомендуется использовать уже конкретные рассматриваемые в последствие структуры. Связано это в первую очередь с тем, что в отличие от базового объекта, который может быть воспринят единоразово, сложные структуры требуют большего внимания аудитории. Соответственно, если сложные структуры были вначале продемонстрированы на отвлеченном объекте, а затем уже на рассматриваемом, слушателю или читателю будет необходимо держать в уме уже два примера и сопоставлять их.

При рассмотрении методов, производящих и манипулирующих сложными структурами мультимодальных данных, наибольший успех имеют способы представления метода в различных последовательно выводимых вариантах визуальных схем. Однако при этом стоит помнить о необходимости дополнительного обоснования отображения одного представления на другой, так как потенциальный слушатель или

читатель может не обладать в достаточной мере тем аппаратом, на который производится отображение. Описывая законы отображения, необходимый аппарат доопределяется.

Эффективным способом также является возврат и сопоставление всех представлений метода манипуляций с объектами сложных структур мультимодальных данных [3].

Литература

1. Франсис Дж. Книжка с картинками по топологии / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
2. Kalyonova O., Perl I. Revealing of Entities Interconnections in System Dynamics Modelling Process by Applying Multimodal Data Analysis Paradigm // Proceedings of the 21st Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2017. – P. 156–161.
3. Глейк Д. Хаос. Создание новой науки. – Амфора, 2001. – 398 с.

Ключников Валерий Владимирович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3418

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: valeriy.v.klyuchnikov@gmail.com

Вахвиянова Полина Денисовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R3440

Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах

e-mail: vahvianovapd@gmail.com

Пенской Александр Владимирович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н.

e-mail: aleksandr.penskoj@corp.ifmo.ru

УДК 004.89**ЗАДАЧА ОТОБРАЖЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА РАБОЧИЙ КАЛЕНДАРЬ****Ключников В.В., Вахвиянова П.Д.****Научный руководитель – к.т.н. Пенской А.В.**

Рассмотрена задача оптимизации расписания сотрудников производства. Целью исследования являлось создание алгоритма расчета календарного времени относительно заданной даты и длительности операции с учетом расписания предприятия.

Ключевые слова: производственный календарь, оптимизация производства.

В процессе автоматизации производства при расчете расписания работы сотрудников либо прогнозировании сроков выполнения заказов существует необходимость привязки расчетов, базирующихся на времени выполнения операций, к конкретно заданному календарю предприятия, который учитывает выходные, праздничные дни и смены занятых сотрудников. Данный шаг позволяет оценить применимость составленного расписания в конкретных условиях и оценить реальные сроки выполнения заказа [1].

Одним из подходов к планированию производства является планирование во временных интервалах без привязки к астрономическому календарю [2]. Для таких систем существует необходимость в отображении временных промежутков на астрономический календарь с учетом рабочего расписания, которое включает в себя шаблоны рабочих смен занятых сотрудников, а также данные о выходных и праздничных днях [3]. Программный компонент (алгоритм работы которого представлен на рис. 1), реализующий данную функциональность, являлся целью данной работы.

Основную сложность решаемой задачи представляли следующие особенности организации рабочего времени на производстве:

- наличие чередующихся рабочих и нерабочих временных интервалов;
- несоответствие астрономического и рабочего дня;
- сложная организация сменного графика;
- наличие перенесенных выходных дней, праздников;
- неоднозначность отображения временных интервалов на астрономическое время.

В рамках разработанного алгоритма была предложена модель итеративного отображения временного интервала на астрономическую дату с учетом рабочего расписания. Итеративный процесс описывается при помощи смены состояний конечного автомата, где переходы между состояниями соответствуют началу или окончанию рабочих интервалов.

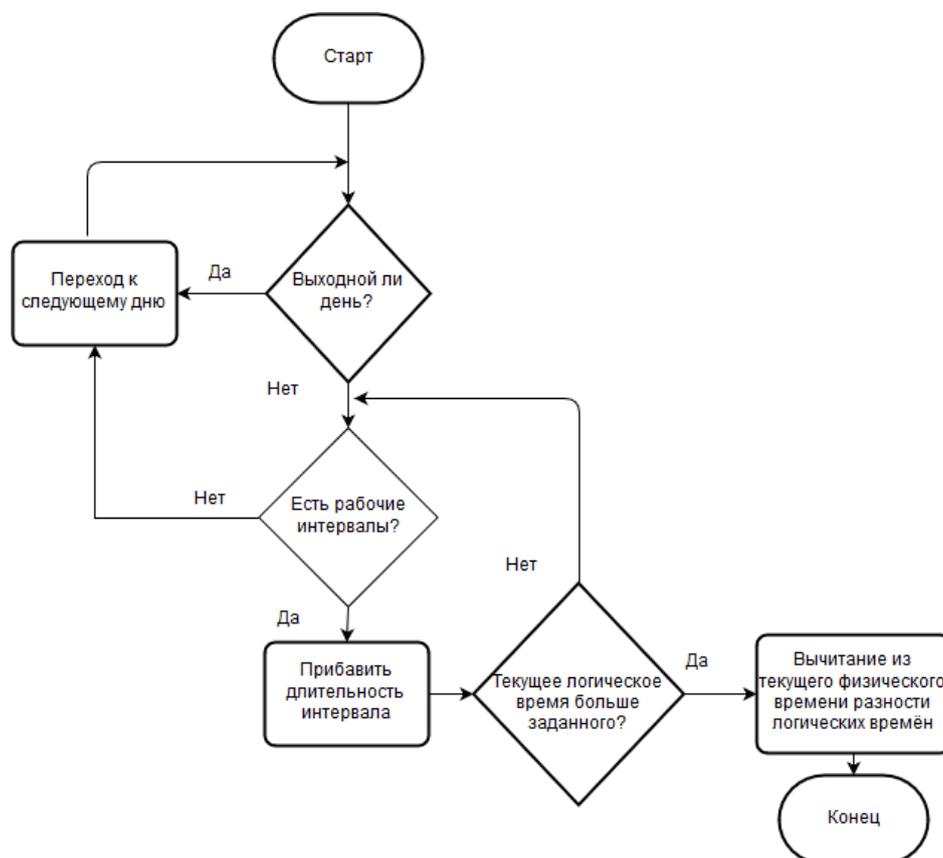


Рис. 1. Блок-схема программного компонента

Так как расчет выполнения операции (как и расчет всей карты технологического процесса) ядром имитационного моделирования производится в логическом времени, т.е. во времени, отсчитываемом от нуля, существует необходимость в отображении (соответствие между элементами двух множеств) логического времени на физическое, которое используется в повседневной жизни. Одной из главных сложностей, как было сказано ранее, является неоднородность рабочего времени, которая проявляется в рабочем графике (чередование интервалов рабочего и нерабочего времени), наличие выходных, перенесенных дней.

Другой сложностью является наличие в системе «обратного расчета», при котором планирование ведется от даты «дедлайна» (дата или время, к которому должна быть выполнена задача), что накладывает некоторые ограничения на реализацию данной компоненты.

Для отображения логического времени на физическое был предложен итеративный процесс, который осуществляет «переход» к необходимому времени путем последовательного перебора дат.

Как было сказано ранее, из-за того, что рабочее время является дискретным, нет возможности просуммировать начальную дату и значение поданного логического времени. Это ведет к тому, что необходимо синхронизировать логическое и физическое время. Это достигается путем последовательного периодического отображения конкретного логического времени на физическое время (рис. 2). Это подразумевает под собой наличие двух массивов чисел или «осей»:

- оси логического времени, которая начинается с нуля, и единица которой соответствует одной секунде (необходимости в более точном отображении нет);
- оси физического времени, на которой может быть отложено любая дата физического времени, отсчет которой начинается 1 января 1970 года 00:00:00 (эпоха Unix).

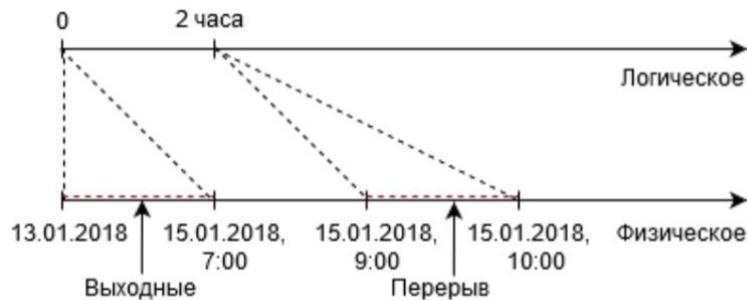


Рис. 2. Пример отображения оси логического на ось физического времени

Особенностью оси физического времени является наличие на ней «выколотых» промежутков времени, в которые работа не ведется, и операции не выполняются, следовательно, об этих промежутках системе необходимо знать, что означает, что данная информация должна передаваться системе как входные данные. Входными данными для модуля являются:

- дата, с которой необходимо начинать отсчет;
- логическое время, которого необходимо достигнуть;
- конфигурация модуля, которая состоит из информации о перенесенных днях и информации о сменах занятых сотрудников.

Дата является точкой на физической оси, на которую будет отображаться ноль логической. Представляет собой количество секунд, прошедшее с начала эпохи Unix.

Логическое время – количество секунд, которое должно быть отложено на логической оси. В силу непрерывности физической оси, каждой логической точке сопоставляется отрезок на физической оси, сопоставляется пара чисел – границ данного отрезка.

После запуска модуль получает параметры и совершает проверку последних на корректность и непротиворечивость (например, если два дня имеют пересечения временных промежутков, то они противоречивы, ведь ресурс не может работать одновременно в двух сменах) как в рамках смен одного, так и соседних дней. Далее производится определение режима работы: прямой или обратный расчет, анализ заданного физического времени:

- прямой расчет – задается дата начала отсчета, логическое время и расчет ведется до нахождения даты окончания работ (рис. 3);
- обратный расчет – задается дата дедлайна, логическое время, и расчет ведется до нахождения времени начала работ;
- анализ заданного физического времени – задается дата и логическое время, равное нулю, что запускает оба предыдущих расчета, пока не будет найдено первое ненулевое время в обоих направлениях от даты начала расчета.

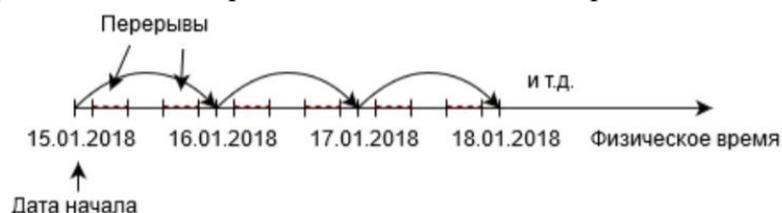


Рис. 3. Схема прямого расчета

Определение интервалов рабочего времени происходит взятием даты из текущего физического времени, после чего начинается определение принадлежности данной даты к перенесенным датам, после чего есть два варианта развития ситуации:

- дата является перенесенным днем, и модуль получает информацию о расписании, которое нужно применить;
- дата не является перенесенным днем, и получение информации происходит исходя из того, каким днем недели является данная дата.



Рис. 4. Смещение интервалов рабочего времени относительно рабочего дня

Как было сказано ранее – физическое время непрерывно, а следовательно, когда производится отображение на него логического времени, в результате должен получиться промежуток (рис. 4), который и характеризуют две границы. Эта пара чисел, характеризующие начало и конец отрезка, которые отображаются на логическую ось в точке, значение которой равно входному логическому времени, и являются выходными данными данного модуля.

В результате работы над модулем были написаны модульные и интеграционные тесты [4], и проведено тестирование, также были проведены тесты обратного расчета и анализа заданного физического времени, с покрытием кода около 96,5% [5].

В результате исследования разработан модуль, автоматизирующий расчет временных линий, что позволяет произвести оценку заданного расписания с целью максимизации эффективности (с точки зрения стоимости хранения или сроков) распределения производственных мощностей, задействованных при выполнении заказа. Также имея конкретные даты, производитель с определенной точностью может говорить планируемых сроках окончания выполнения заказа.

Литература

1. Кремлев А.С., Маргун А.А., Юрьева Р.А. Интеллектуальные технологии цифрового производства. – 2018.
2. Мюллер Э., Шенк М., Вирт З. Планирование и эксплуатация промышленных предприятий: Рабочие методики для адаптивного, сетевого и ресурсосберегающего предприятия. – М.: Альпина Паблишер, 2017. – 978 с.
3. Кремлев А.С., Маргун А.А., Иващенко А.А. Система планирования и прогнозирования.
4. Основы тестирования программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/48/48/lecture/1432> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Пайк Р. The Go Blog [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.golang.org/cover> (дата обращения: 06.03.2019).

Корепанов Павел Юрьевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4203

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: P.Corepanow@gmail.com

Иващенко Аркадий Александрович

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4203

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivaschenkoarkady@gmail.com

Волков Андрей Владимирович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, студент группы № R3440

Направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах

e-mail: andrey95v@gmail.com

Пенской Александр Владимирович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н.

e-mail: aleksandr.penskoj@itmo.ru

УДК 658.5.012.2**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
ДЛЯ СБОРОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ****Корепанов П.Ю., Иващенко А.А., Волков А.В.****Научный руководитель – к.т.н. Пенской А.В.**

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (грант 08-08).

Для современных производственных предприятий в области машиностроения, выпускающих продукцию средними сериями, крайне актуальной является задача оптимизации и автоматизации процесса оперативного планирования производственного процесса. Особенно с учетом тенденций к созданию гибких производств, когда предприятие вынуждено быстро реагировать на новые обстоятельства и изменения рынка. Задача планирования производственного процесса является сложной оптимизационной задачей, которая может решаться по множеству различных критериев (время на выполнение работ, загрузка ресурсов, стоимость выполнения работ). В работе рассмотрена задача планирования для слабо автоматизированного сборочного производства

Ключевые слова: автоматизация, алгоритмы, Индустрия 4.0, планирование.

Современные системы автоматизации производств глубоко интегрируются в реальные процессы. При этом интегрируются на уровне SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) систем [1], на уровне сбора первичных данных, если система производства слабо автоматизирована, то интеграция происходит на уровне носимых устройств, систем распределения задач, а также систем исполнения процессов.

Разрабатываемая система цифрового двойника, глубоко интегрированная в производственные процессы, представляет собой не что иное, как киберфизическую систему, которая на основе обратной связи относительно физического объекта принимает решение, анализирует его поведение и формирует управляющие воздействия. Более того, разрабатываемый модуль ориентирован на то, чтобы быть встроенным в качестве главного узла принятия решений в системе автоматизированного производства.

Глобальная цель такого рода разработок направлена на то, чтобы исключить менеджмент среднего уровня, заменив его алгоритмами [2, 3]. Оставить только менеджеров высокого уровня, которые будут принимать общие решения относительно того, в какое направление развивать производство, руководствуясь данными цифровых двойников, для того чтобы принятие решения не сводилось к персональным оценкам, а в них была объективность.

В настоящей работе рассмотрены методы оптимизации производственных процессов. Данные методы имеют непосредственное отношение к уже созданной системе имитационного моделирования. Данная система была предметом исследования и разработки, результаты были представлены на международной научно-практической конференции молодых ученых «Программная инженерия и компьютерная техника (Майоровские чтения)» [4]. В данной работе была представлена архитектура подсистемы имитационного моделирования, разработаны и описаны алгоритмы имитационного моделирования, формализована предметная область.

Логическим продолжением разработки имитационной модели производственных процессов стало рассмотрение вопроса оптимизации производства. Данный вопрос включал следующие аспекты:

1. выбор наилучшего метода оптимизации и адаптации для существующего проекта;
2. рассмотрение критериев оптимальности;
3. приближительная оценка вычислительной сложности предложенных вариантов;
4. рассмотрение вопроса оптимизации конвейеризированных производств.

Архитектура подсистемы оптимизации. В разделе рассмотрена созданная архитектура подсистемы оптимизации (рис. 1). Данная архитектура была разделена на две условные части. Такое разделение обусловлено разными входными данными.

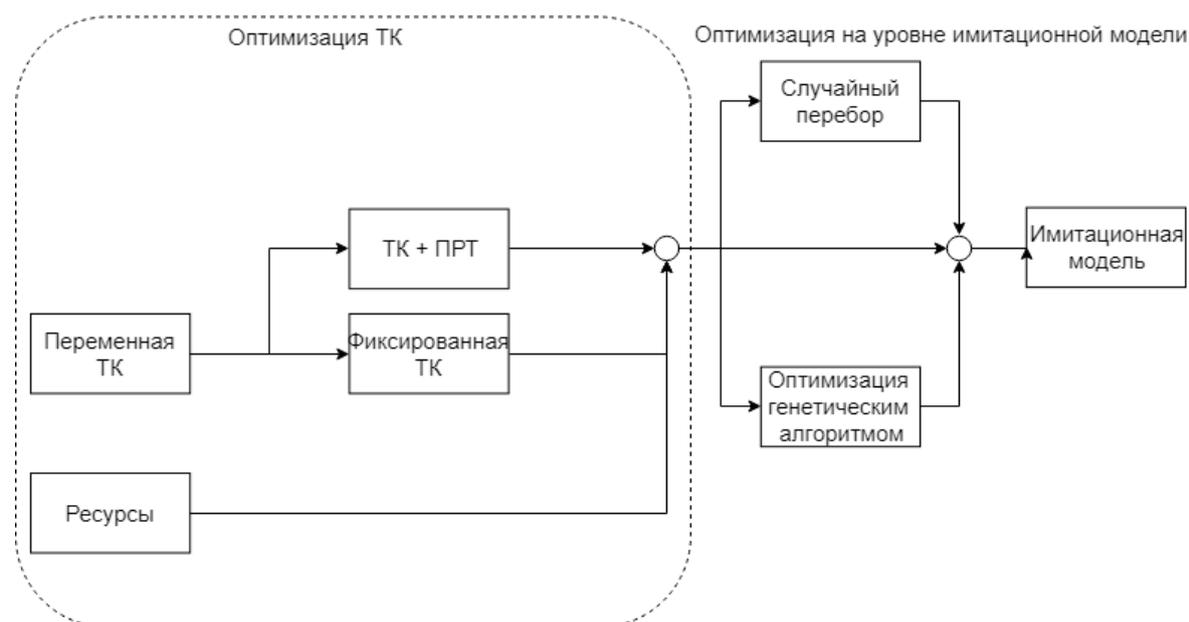


Рис. 1. Подсистема оптимизации (ТК – техническая карта, ПРТ – план работы на такт)

Оптимизация на уровне имитационной модели работает непосредственно в процессе планирования, при этом основная задача оптимизации сводится к выбору наиболее «правильной» операции. Таким образом, можно говорить о построении оптимальной цепочки операций, которая учитывает равномерную загрузку ресурсов, а также минимизацию времени работы над заготовкой. На рис. 2 изображены технологическая карта (ТК) продукта и два плана, который были построены в результате случайного выбора операций.

В первом варианте разложения ТК две независимые операции А и В выполняются параллельно, при этом задействованы все ресурсы в промежутке от нуля до четырех часов. Далее выполняется операция С, которая требует для выполнения одного работника, при этом трое рабочих остаются без работы на протяжении восьми часов.

Во втором варианте операция С выполняется параллельно с операциями А и В, при этом общее выполнение всех операций сократилось до восьми часов и на протяжении восьми часов один незадействованный рабочий.

Данный пример демонстрирует один из возможных способов оптимизации путем перетасовки операций, опирающийся на причинно-следственную связь операций.

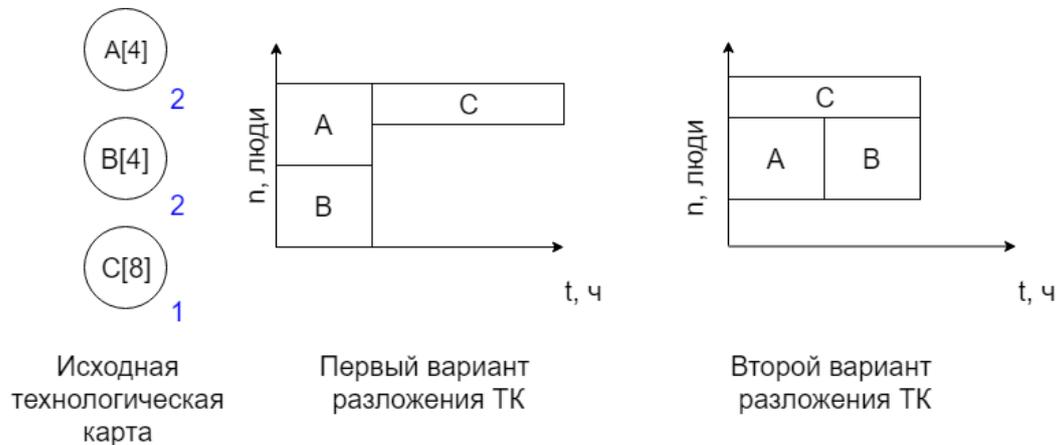


Рис. 2. Два плана, полученные путем перебора исходной технологической карты

Второй частью архитектуры подсистемы оптимизации является обработка ТК. Одним из условий осуществимости данной обработки является вариативность конфигурации привязки к операциям. Под конфигурацией операции подразумевается:

- минимальное число рабочих, необходимое для выполнения операции;
- максимальное число рабочих;
- трудозатраты, измеряемые в человеко-часах;
- привязка к линии конвейера.

Вариативность подразумевает возможность менять конфигурацию, таким образом, чтобы менять длительность операции.

Одним из подходов к поиску оптимальной ТК является случайный перебор. Суть метода проста. Случайным образом меняется конфигурация для каждой операции, по итогу делается оценка полученных результатов. Оценкой, как и с оптимизацией на уровне имитационной модели, может служить равномерная загруженность линии и минимизация общего процесса сборки продукта. Одним из основных преимуществ данного подхода является простота реализации. Но, к сожалению, данный подход плохо работает с большим объемом данных, и чем больше этот объем, тем меньше гарантия получения оптимального решения. Результат работы алгоритма оптимизации приведен на рис. 3. Идеальным продолжителем подхода случайного перебора является генетический алгоритм, призванный решить проблему большого объема данных более специфичными средствами.

Основной задачей генетического подхода является поиск оптимального значения путем смешивания и введения небольших правок (мутаций) в выборку наилучших решений [4]. Идеей такого рода алгоритмов является направленность поиска, которая позволяет преодолеть плато решений, при которых не происходит изменений в лучшую сторону.

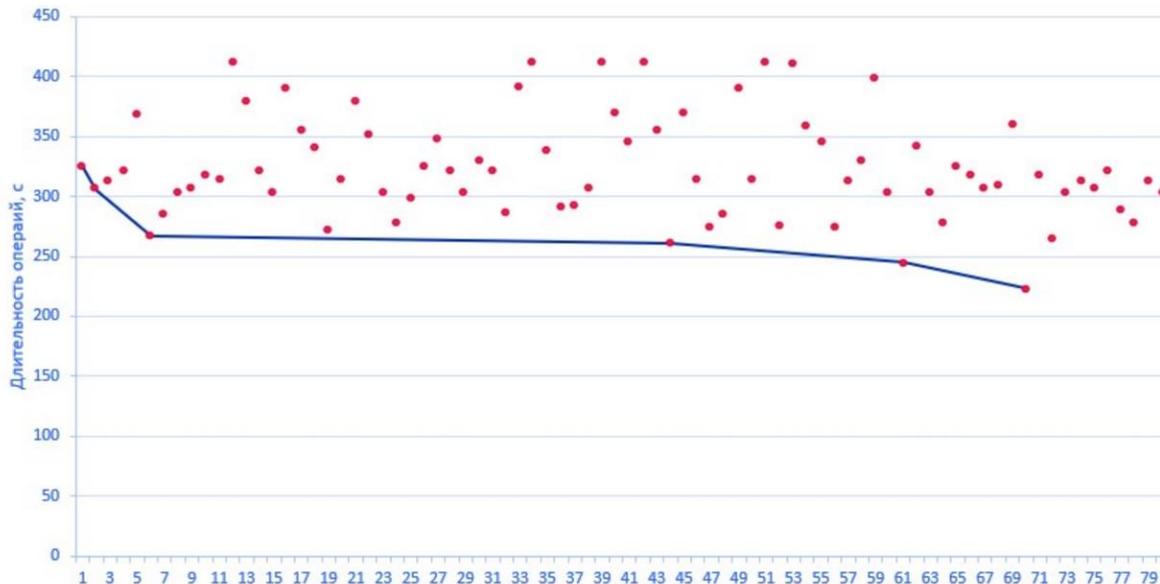


Рис. 3. Случайный перебор на уровне имитационной модели

Частные математические модели. В данном разделе приведено описание частных оптимизационных моделей. Необходимость применения данных моделей возникла с появлением задач оптимизации на специфичных производствах. Данная специфика характеризуется уникальной для каждого предприятия структурой, где стандартные методы оптимизации будут не эффективны, либо не будут давать результата.

На текущий момент представлена одна частная оптимизационная модель, задача которой оптимизация сборочных производств или, другими словами, расчет оптимального плана работы на такт (рис. 1 ТК+ПРТ). Сборочные производства характеризуются сборочными линиями, где на разных этапах установлены рабочие станции. Рабочий процесс на таком производстве выглядит следующим образом, заготовка перемещается от станции к станции, при этом на каждой станции ведется своя независимая работа.

Целью оптимизации является равномерная загрузка всех станций на линии, чтобы избежать простоя производства. Для достижения данной цели были созданы модели, необходимые для описания сборочного производства. Такими моделями являются: ресурс рабочих и модель конвейера.

Эксперименты эффективности оптимизации. Результаты экспериментов показали, что эффективность оптимизации во многом зависит от размера и состава входных данных.

Так, на входных данных, полученных от реального производства, оптимизация случайным перебором показала себя неэффективно. В первую очередь это связано с размером входных данных. Во-вторых, это связано со сложностью алгоритма планирования, так как сам случайный перебор является его частью, что делает его зависимым от реализации имитационной модели.

Также стоит отметить проблемы, связанные с входными данными. Данные проблемы заключаются в вариативности данных. На уровне имитационной модели метод случайного перебора может оперировать только выбором следующей операции на обработку. Таким образом, если операция на выбор только одна, в случае, когда последовательность операций в технологической карте задана строгим образом, и такая связь задана для большинства операций, то количество вариантов стремится к минимуму, а значит, и целесообразность применения метода ставится под вопросом [5].

В результате эксперимента были сделаны следующие выводы. Метод случайного перебора зависит от размера входных данных, при этом важно оценивать входные данные на предмет вариативности. В том числе стоит отметить, что сложность задачи определяется пользователем на этапе конфигурации перебора, что еще сильнее повышает ценность предварительной оценки технологической карты.

Литература

1. Ricardo A., Mani P. Envision of an integrated information system for project-driven production in construction // Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). – 2018. – P. 134–143.
2. Groover M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes, and systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://futureingscientist.files.wordpress.com/2014/01/copy-of-fundamentals-of-modern-manufacturing-4th-edition-by-mikell-p-groover.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Jahangirian M., Eldabi T., Naseer A., Stergioulas L.K., Young T. Simulation in manufacturing and business: A review // European Journal of Operational Research. – 2010. – V. 203. – P. 1–13.
4. Корепанов П.Ю., Иващенко А.А. Автоматическая генерация производственного плана // Сборник трудов X международной научно-практической конференции молодых ученых «Программная инженерия и компьютерная техника (Майоровские чтения)». – 2019. – С. 9–12.
5. Lim C., Sim E. Production Planning in Manufacturing/Remanufacturing Environment using Genetic Algorithm // Proceeding GECCO'05 Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation. – 2005. – P. 2217–2218.

Коротких Алексей Евгеньевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: frid21art@gmail.com

Меженин Александр Владимирович

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.925

**ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ
ЗАДАННОГО КОНТУРА****Коротких А.Е.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

Проводимые исследования направлены на поиск и разработку подходов к процедурной генерации контента. В качестве возможного решения рассмотрено применение модульных объектов, и предложена модель для их построения. Для предложенной модели был разработан и реализован алгоритм генерации модульных объектов на основе заданного контура. Данный алгоритм обеспечивает возможность генерации объектов в режиме реального времени, что позволяет оптимизировать процесс генерации контента и сделать его более гибким.

Ключевые слова: процедурная генерация контента, модульные объекты, алгоритм в режиме реального времени.

Процедурная генерация контента долгое время используется для автоматизации производственных процессов в областях, связанных с компьютерной графикой. Под процедурной генерацией контента понимается автоматическое и полуавтоматическое создание, а также динамическое изменение контента различного типа [1]. Научные исследования различных подходов к процедурной генерации зачастую направлены на ее применение в инженерных областях, однако в настоящее время такие исследования актуальны и в разработке медиапродуктов, таких как кино, виртуальные реконструкции, симуляторы, компьютерные игры и многое другое [2, 3]. Процедурная генерация позволяет не только сократить ресурсы, необходимые для создания большого объема контента, но и сделать сам процесс разработки более гибким и оптимальным [4–6].

Учитывая большое количество типов задач, для решения которых может использоваться процедурная генерация, существует множество различных инструментов. Например, Esri CityEngine или CityGenerator (плагин для UE4), осуществляющие генерацию городов. Также существуют программы более общего характера, предоставляющие пользователю широкие возможности для создания процедурного контента произвольного типа, например, Houdini или Substance Designer.

Несмотря на большое количество существующих решений, часть из них зачастую направлена на некоторый узкий круг задач (например, построение городов), или же наоборот, дает обширный набор простых функций, что требует от пользователей траты дополнительных ресурсов для создания подходящей системы [7, 8]. Таким образом, актуальной оказывается задача, стоящая между вышеупомянутыми, т.е. разработка подхода к процедурной генерации контента, обеспечивающего достаточную универсальность и требующего меньшего количества ресурсов в сравнении с

существующими аналогами. Одним из решений, которое потенциально удовлетворяет указанным требованиям, может быть использование так называемых модульных объектов, которые очень часто применяются на практике художниками компьютерной графики [9].

Под модульным объектом понимается объект, состоящий из заранее подготовленных элементов (модулей) и совмещенных друг с другом определенным образом. Модульным объектом может быть, например, здание, составленное из различных типов стен, окон, дверей, или мост, состоящий из различных прямых и угловых участков. Создание таких объектов вручную путем последовательного добавления каждого нового элемента дает художнику полный контроль над конечным результатом, что может быть важно при создании значимых объектов (объектов первого плана), однако часто создаваемые объекты могут быть второстепенны или достаточно просты по структуре. В этом случае автоматизация создания модульного объекта может значительно оптимизировать весь процесс производства контента.

В рамках проводимого исследования была разработана модель, позволяющая однозначно представлять модульные объекты, состоящие из конечного числа элементов. Предлагаемая модель состоит из двух основных структур:

1. модульный объект O , представляющий собой последовательность модулей $M=(T, \alpha)$, где T – тип модуля, а α – угол, под которым текущий модуль совмещается с предыдущим, при этом при совмещении модулей точка начала модуля M_{i+1} соответствует точке окончания модуля M_i ;
2. набор модулей, представляющий собой совокупность различных типов модулей $T=(I, (x_b, y_b), (x_e, y_e))$, где I – идентификатор типа модуля; (x_b, y_b) – точка начала данного типа модуля; (x_e, y_e) – точка конца модуля, а также матрицы связей \mathbf{R} вида:

$$\mathbf{R} = \begin{Bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{Bmatrix},$$

где n – количество модулей в наборе; C_{ij} – набор углов, под которыми модуль типа j может быть совмещен с модулем типа i .

Пример модулей и модульного объекта представлен на рис. 1.

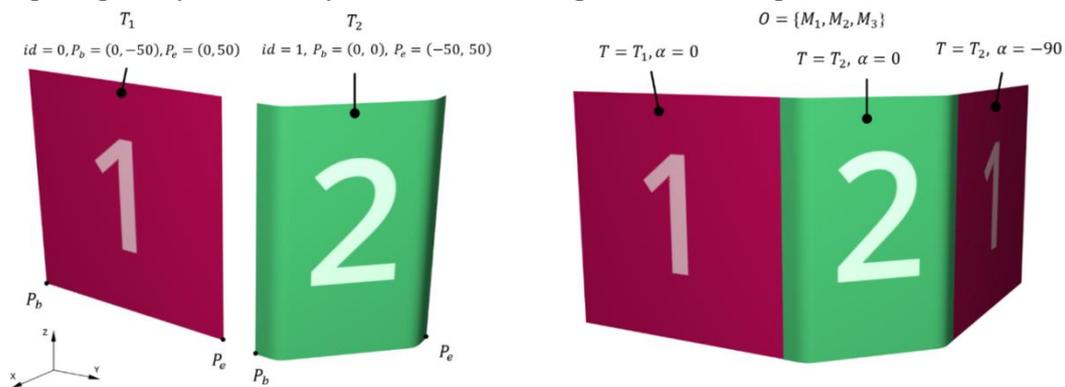


Рис. 1. Пример набора модулей и модульного объекта, построенного на его основе

В рамках проводимого исследования в качестве одного из средств, дающего художнику возможность контролировать вид генерируемого объекта, используется контур. Контур представляет собой не имеющую самопересечений ломаную. Таким образом, одной из решаемых задач было разработать алгоритм, генерирующий объект вдоль контура и работающий в режиме реального времени.

Предлагаемое решение основано на жадном алгоритме, при котором каждый следующий модуль выбирается путем сравнения всех доступных вариантов по коэффициенту k . Для вычисления k необходимо знать, какой из отрезков контура

является актуальным для проверяемого модуля (B_c). Актуальным отрезком является тот отрезок, номер которого в контуре больше либо равен номеру отрезка, являющегося актуальным для предыдущего модуля (B_{c-1}), и расстояние до которого от точки окончания проверяемого модуля минимально (d). Таким образом, коэффициент k вычисляется по следующей формуле:

$$k = \begin{cases} d + l_c^e & | B_c = B_{c-1} \\ d + \sum_{i=B_{c-1}+1}^{B_c} l_i^b & | B_c > B_{c-1} \end{cases}$$

где l_c^e – расстояние от точки окончания проверяемого модуля до точки конца актуального отрезка; l_i^b – расстояние от точки окончания проверяемого модуля до точки начала i -го отрезка. Лучшим считается модуль, при котором значение k минимально.

Учитывая возможность того, что используемый набор модулей может быть недостаточен для построения заданного контура, для предупреждения бесконечного цикла необходимо добавить условие окончания алгоритма. В данном случае алгоритм оканчивает свою работу в случае, если $B_c = B_{c-1}$ и $l_c^e \geq l_{c-1}^e$.

Важно заметить, что данный алгоритм не гарантирует получения наиболее оптимального результата, что, например, могут обеспечить некоторые алгоритмы поиска кратчайшего пути. Однако, в отличие от них, сложность представленного алгоритма равна $O(mn)$, где m – количество модулей сгенерированного объекта; n – количество различных типов модулей с учетом возможных углов, что позволяет ему работать в режиме реального времени. Значительным минусом данного алгоритма является невозможность гарантированной генерации замкнутых объектов.

Результаты работы алгоритма представлены на рис. 2.

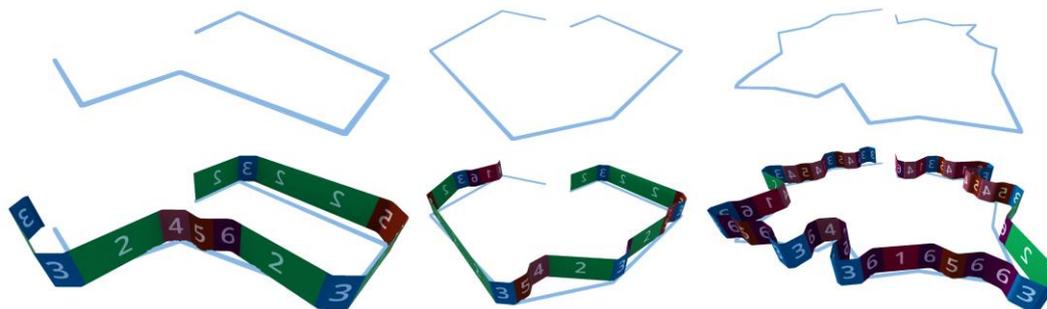


Рис. 2. Пример объектов, сгенерированных с помощью описанного алгоритма

Таким образом, в результате работы были рассмотрены некоторые из существующих решений для процедурной генерации контента, на основе чего была выделена одна из актуальных задач данного направления, а именно процедурная генерация модульных объектов. В процессе решения данной задачи была разработана модель модульных объектов, позволяющая однозначно представлять их, а также разработан алгоритм для автоматического построения модульных объектов на основе заданного контура.

В рамках дальнейших исследований планируется работа по оптимизации существующего алгоритма и его модернизации для получения возможности генерации замкнутых объектов, расширение модели для возможности генерации многоярусных объектов, а также поиск и разработка алгоритмов для добавления контролируемой вариативности используемых модулей.

Литература

1. Меженин М.Г. Обзор систем процедурной генерации игр // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: вычислительная математика и информатика. – 2015. – Т. 4. – № 1. – С. 5–20.

2. Muller P., Wonka P., Haegler S. Procedural Modeling of Buildings // ACM Transactions on Graphics (TOG). – 2006. – V. 25. – P. 614–623.
3. Семенихин Д.В. Система проектирования ветвящихся узоров для разработки дизайна изделий: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (17.00.06) / Семенихин Дмитрий Вячеславович; Московский государственный университет приборостроения и информатики. – М., 2014. – 20 с.
4. Snodgrass S., Ontanon S. A Hierarchical Approach to Generating Maps Using Markov Chains // Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. – 2014. – P. 59–65.
5. Liapis A., Yannakakis G., Togelius J. Towards a Generic Method of Evaluating Game Levels // Ninth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. – 2013. – P. 30–36.
6. Guzdial M., Riedl M. Game Level Generation from Gameplay Videos // TwELFth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. – 2016. – P. 44–50.
7. Hendrikx M., Meijer S., Van Der Velden J., Iosup A. Procedural Content Generation for Games: A Survey // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications. – 2013. – V. 9. – № 1. – P. 1–22.
8. Togelius J., Nelson M., Liapis A. Characteristics of Generatable Games // Proceedings of the Fifth Workshop on Procedural Content Generation in Games. – 2014. – P. 63–68.
9. Cook M., Colton S., Gow J. Automating Game Design in Three Dimensions // Proceedings of the AISB Symposium on AI and Games. – 2014. – P. 20–24.

Кузьмин Кирилл Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4222

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия систем реального времени

e-mail: wee3dood@gmail.com

Штенников Дмитрий Геннадьевич

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

УДК 004**МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ****Кузьмин К.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.**

Работа содержит описание программной реализации, а также тестирование прототипа программного обеспечения для реализации метода обеспечения безопасности передачи идентификационных данных мобильных устройств.

Ключевые слова: целостность ПО, безопасность передачи данных, мобильные устройства.

Введение. В современном мире существует проблема обеспечения целостности программного обеспечения (ПО) различных устройств. Актуальна эта проблема и для мобильных устройств [1–3].

Решением данной проблемы может стать использование сети частных блокчейнов для обеспечения контроля за ПО. Однако технология блокчейн достаточно ресурсоемкая, а потому использовать данную технологию на мобильных устройствах может оказаться не лучшим решением. Одним из возможных решений данной проблемы может стать комбинированное решение, содержащее в себе несколько подходов. С одной стороны – это использование технологии блокчейн только на мощных серверных машинах, и транспортирование необходимой информации до серверов в зашифрованном виде.

В данной работе рассмотрен процесс взаимодействия клиента, представленного в виде мобильного устройства с низкой производительностью и серверной машины, в качестве которой будет выступать устройство, с достаточной для поддержания частного блокчейна производительностью.

Архитектура системы. Сама система передачи состоит из модулей сборки информации об устройстве и хеша ПО, шифрования полученных данных для обеспечения безопасности их передачи, а также передача самих данных.

Благодаря сочетанию технологий хеширования и шифрования обеспечивается контроль целостности и безопасность передачи данных об устройствах, а система верификации позволяет обеспечить журналируемость данных об устройствах и легко отследить изменения при сбоях или вредоносных изменениях ПО извне.

Система состоит из нескольких частей:

- блок хеширования;
- блок шифрования;
- блок транспорта.

Блок хеширования – использование классического метода хеширования для создания «слепок» бинарных файлов системы или программных файлов, позволяющих проверить целостность ПО.

Блок шифрования – для обеспечения безопасности данных на транспорте используется шифрование. Хеш-свертка вместе с дополнительными данными «оборачиваются» в шифрование, позволяя обезопасить хеш от изменения на транспорте.

Блок транспорта – данные, полученные в результате работы предыдущих двух блоков, необходимо передать. Для этого создается клиент, подключающийся по сети к серверу и передающий ему данные.

Архитектура системы представлена на рис. 1.

Система должна представлять собой три блока, каждый из которых содержит свою компонентную реализацию. На рис. 1 представлены блоки системы, и то, по какому пути они взаимодействуют между собой.

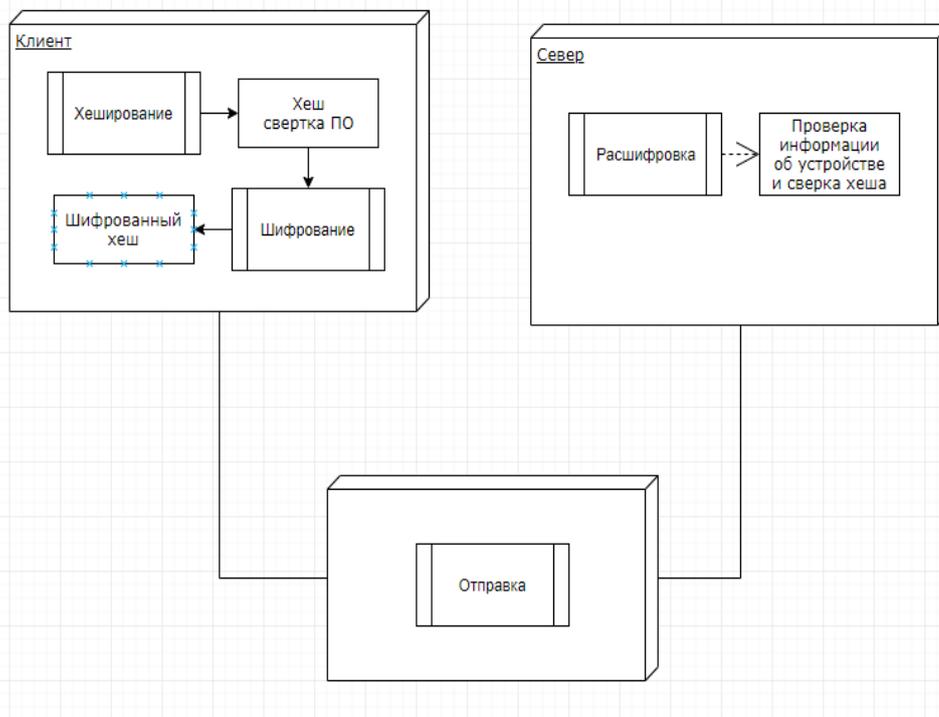


Рис. 1. Архитектура системы

Система работает по следующему принципу:

1. происходит запрос к клиентскому устройству;
2. устройство возвращает идентификационные данные об устройстве;
3. устройство собирает хеш заранее заданных файлов/информации и дополнительные параметры устройства;
4. происходит шифрование данных;
5. данные передаются серверу;
6. сервер расшифровывает данные.

Хеширование. Важной частью данного программного решения является хеширование. Оно позволяет хранить сборку ПО благодаря предоставлению так называемой «свертки» – строки в особом представлении.

В качестве алгоритмов шифрования были использованы алгоритмы категории SHA3(256 и 512), а также SHA 512.

Результаты тестирования приведены на рис. 2.

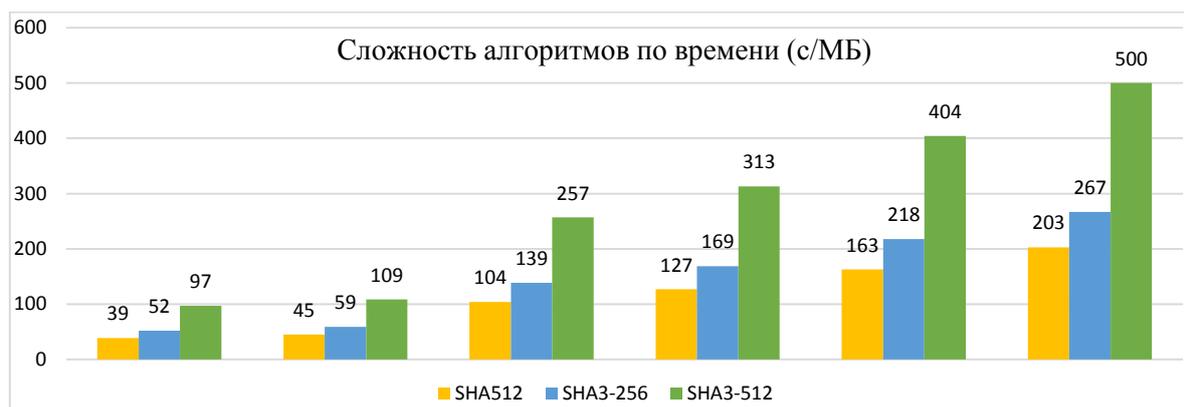


Рис. 2. Тестирование хеширования

Шифрование. Шифрование в данной системе используется для обеспечения безопасности данных об устройстве, а также хеш-свертки ПО устройства. Так как время реакции системы – один из главных показателей данной системы, сложность шифрования по времени – важный критерий. Сравнение основных алгоритмов проводится именно по критерию сложности по времени.

В качестве алгоритмов были выбраны алгоритмы AES (128 и 256) как эталонные для сравнения, так и облегченные алгоритмы, созданные специально для мобильных устройств. Это ChaCha (8 и 20) а также алгоритм Speck (128 и 256).

В данном случае рассматривались алгоритмы шифрования с точки зрения скорости их работы с одинаковыми данными. Результаты проведенных замеров представлены на рис. 3.

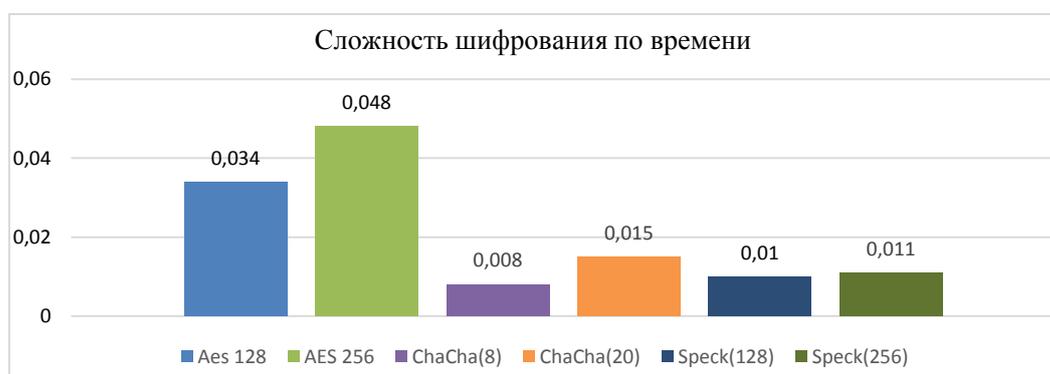


Рис. 3. Сложность шифрования по времени

Выводы. Таким образом, разработана и протестирована система, позволяющая обеспечить безопасность данных об устройстве и его программном обеспечении при передаче данных и обновлении ПО. В дальнейшем планируется провести полную оценку работы и тестирование всех блоков системы в составе единой системы.

Литература

1. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. – Киев: ООО «ТИД «ДС», 2002. – 688 с.
2. Блокчейн и IoT: перспективы взаимодействия и проблемы на пути развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forklog.com/blokchejn-i-iot-perspektivy-vzaimodejstviya-i-problemy-na-puti-razvitiya/> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Проблемы и перспективы интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/russian-iot/> (дата обращения: 06.03.2019).

Куликова Дарья Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3401

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: d.d.kulikova@gmail.ru

Алиев Тауфик Измайлович

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: aliev@cs.ifmo.ru

УДК 004.72**СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ****Куликова Д.Д.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

В работе проведен сравнительный анализ различных способов организации сетевой инфраструктуры в виртуализированной среде, а также выработаны рекомендации по повышению производительности сети. Определены параметры производительности и масштабируемости для различных способов организации сети, которые позволят сделать правильный выбор в пользу применения одного из рассматриваемых вариантов организации сетей.

Ключевые слова: виртуализированная среда, сетевая инфраструктура, способы организации сети, производительность, масштабируемость.

Постановка проблемы. Виртуализация сети позволяет объединять несколько физических сетей, разделить сеть на несколько сегментов или создавать сети между виртуальными машинами (ВМ) только для программного обеспечения (ПО). Целью виртуализации сети является повышение скорости, автоматизации и управления сетью путем добавления новых элементов ПО [1]. Для решения подобных задач существует несколько способов организации сетевой инфраструктуры в виртуализированной среде.

Цель работы: выработка рекомендаций для увеличения производительности сети в виртуализированной среде.

Базовые положения исследования. В традиционной среде сетевой инфраструктуры комплекс необходимых приложений разворачивается на группе физических серверов. Для организации обмена между ними на каждый сервер устанавливается один или несколько сетевых адаптеров, подключенных к внешней сетевой инфраструктуре. Сетевые адаптеры и стек сетевого ПО через сетевую инфраструктуру обеспечивают коммуникации между конечными точками. Эта функциональность реализуется коммутатором (switch), который отвечает за эффективный обмен пакетами между взаимодействующими конечными точками.

Сетевая подсистема должна обеспечивать связность ВМ между собой и с внешним миром, а также построение произвольных топологий сетей в виртуальной инфраструктуре. Виртуальные сети должны быть идентичными физическим сетям и поддерживать прозрачность работы используемых сетевых протоколов. Абстрактное аппаратное обеспечение, называемое гипервизором, позволяет нескольким операционным системам и приложениям совместно использовать физическое аппаратное обеспечение [2].

Одним из видов организации виртуализированной сети является использование виртуального адаптера (рис. 1). При таком подходе используется программная реализация сетевого адаптера, аналогичного физическому. VM подключаются к этому адаптеру, тем самым объединяясь в локальную сеть. Использование этого вида организации сети позволяет подключать большое количество VM и предоставлять им доступ во внешнюю сеть, однако программная прослойка снижает производительность системы.

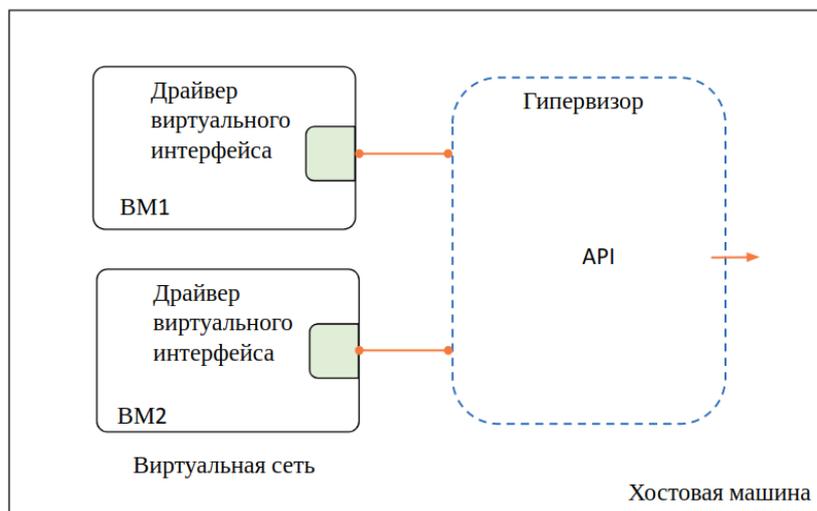


Рис. 1. Виртуальный сетевой адаптер

В случае, когда совместное использование устройства невозможно или нецелесообразно, используется подход со сквозным доступом к устройствам PCI (рис. 2). В технологии сквозного доступа к устройствам предоставлены средства, которые позволяют изолировать устройство для конкретной гостевой операционной системы. Таким образом, это PCI устройство может использоваться исключительно этой гостевой системой, а все остальные теряют доступ к нему. Данный способ организации сети позволяет выиграть в производительности, но при этом уменьшает масштабируемость системы.

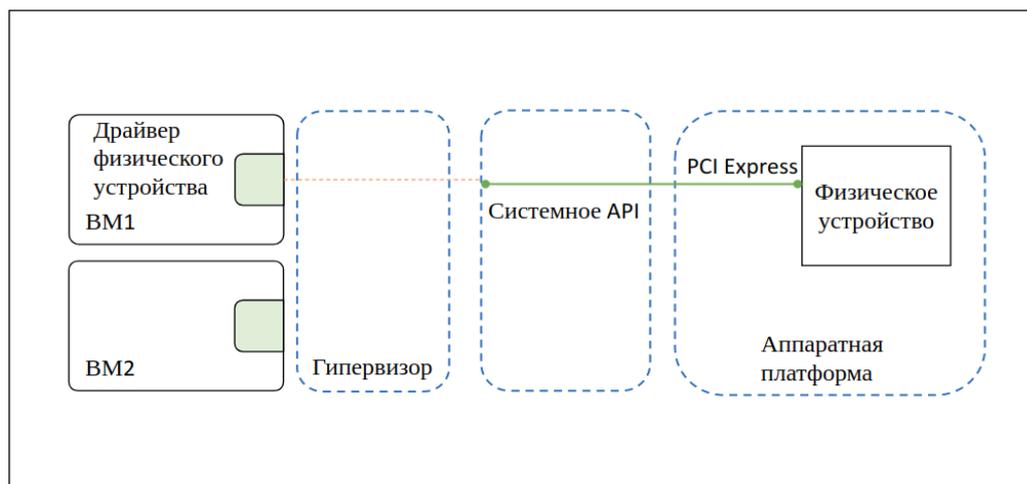


Рис. 2. Проброс устройства

При необходимости объединить виртуальные машины, расположенные на разных хостах, может быть использована технология VLAN. VM с помощью моста могут быть соединены с интерфейсом хостовой машины, на котором на исходящие из виртуальной машины пакеты навешивается специальная метка (рис. 3). Помеченные пакеты

передаются по сети. Поступив на хостовую машину, по таблице проверяется соответствие метки IP виртуальной машины, и пакет коммутируется на нужную VM [3]. Эта технология применяется для построения различных топологий и подсетей и может использовать коммутаторы для передачи пакетов.

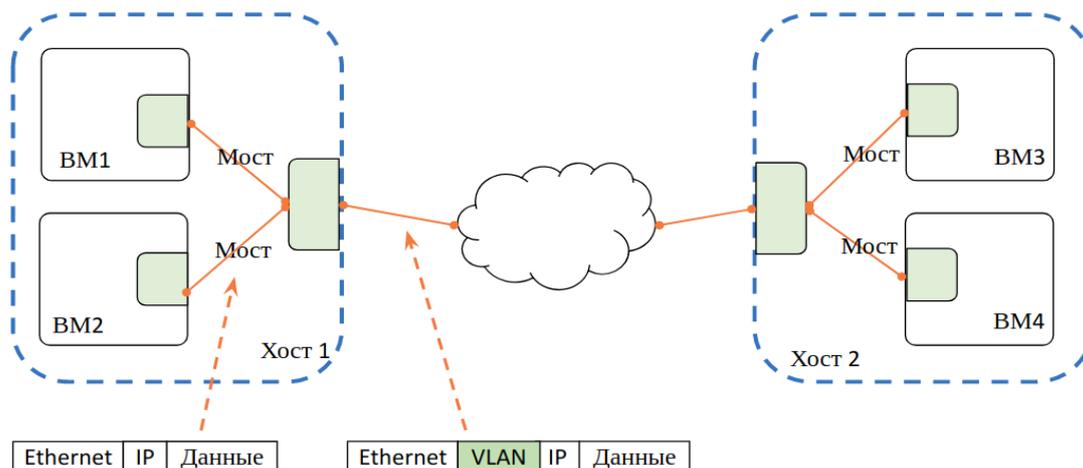


Рис. 3. Технология VLAN

Альтернативным способом организации связи между VM, расположенными на разных хостовых машинах является подход, при котором IP-пакеты, выходящие из виртуальной машины маршрутизируются при помощи системы, расположенной на хостовой машине (рис. 4). Далее эти пакеты просто передаются по сети, попадая к цели назначения.

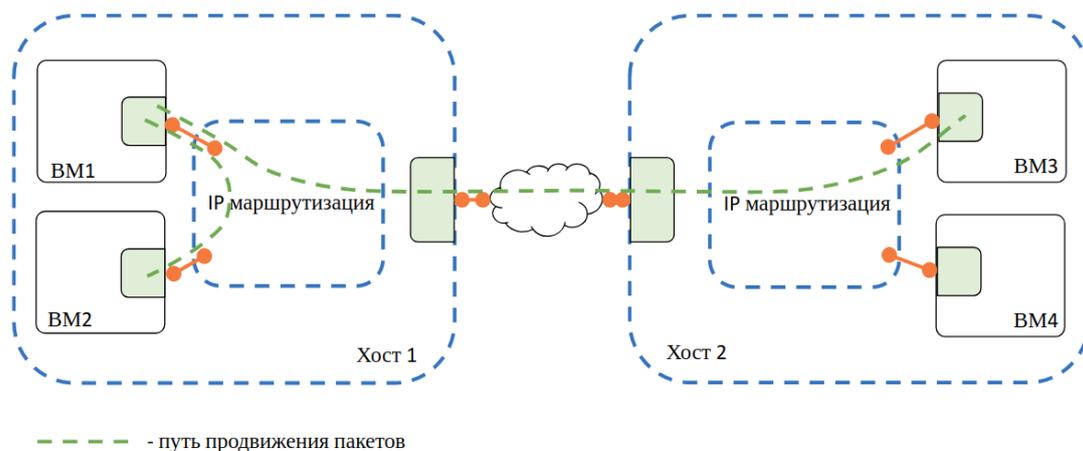


Рис. 4. IP-маршрутизация

Анализ характеристик. На последнем этапе работы были реализованы тестовые стенды для анализа характеристик. Был реализован тестовый стенд для последнего из рассмотренных типов организации сети (IP-маршрутизация). На одном хосте находятся три виртуальные машины, которые отправляют пакеты на другую хостовую машину.

В ходе исследования была измерена зависимость скорости передачи данных от размера буфера, а также от количества VM, одновременно осуществляющих передачу.

Как видно из диаграмм, представленных на рис. 5, увеличение количества VM, одновременно передающих пакеты, приводит к заметному снижению скорости передачи данных. Это связано с тем, что VM разделяют один физический интерфейс хоста, что приводит к существенным накладкам во время одновременной передачи пакетов.

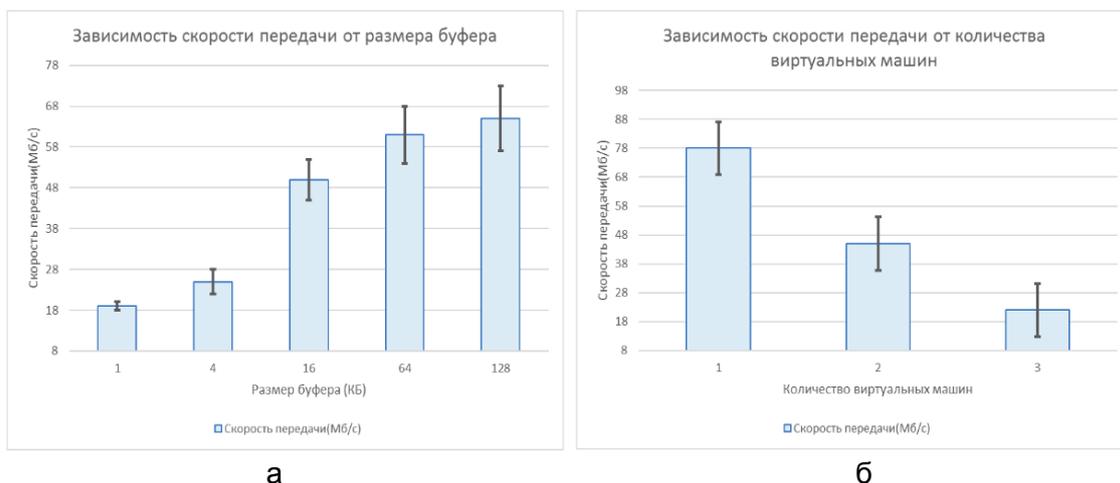


Рис. 5. Зависимость скорости передачи данных от размера буфера (а) и количества виртуальных машин (б) для IP-маршрутизации

Также, был построен стенд, где был осуществлен проброс сетевой карты в виртуальную машину. Аналогично предыдущему эксперименту была измерена зависимость скорости передачи от размера буфера, а также задержки при передаче пакетов. Из диаграмм, представленных на рис. 6, можно заметить, что для данного вида организации сети скорость передачи данных и задержки ниже, чем у предыдущего. Разница в скорости появляется из-за того, что проброс устройства позволяет передавать L2 трафик, обработка которого происходит быстрее.

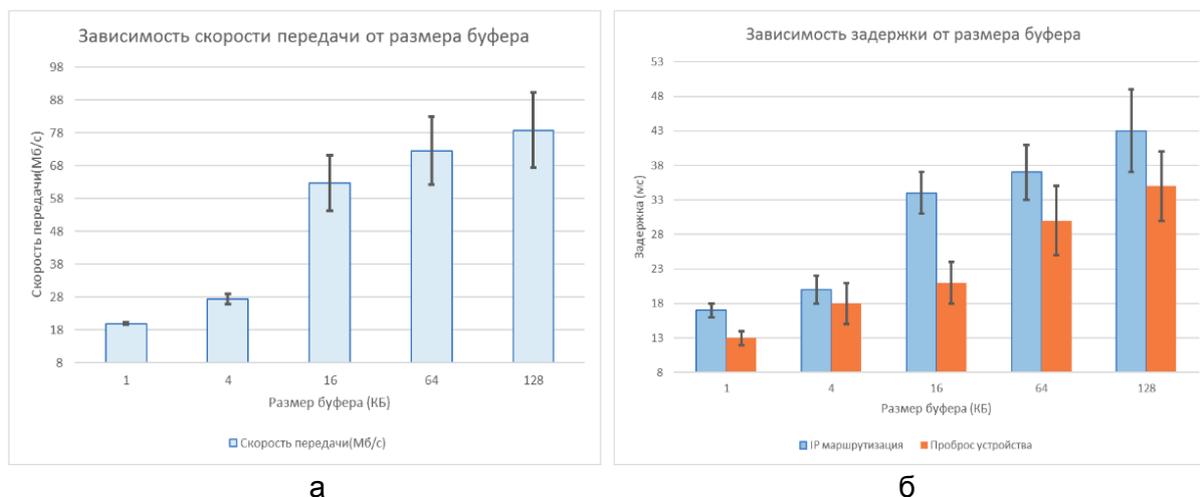


Рис. 6. Зависимость скорости передачи данных (а) и задержки (б) от размера буфера

Результаты. Таким образом, на основе полученных результатов можно сказать, что при необходимости максимальной производительности необходимо использовать сквозной доступ к устройству. Однако при этом масштабировать полученную систему можно будет только путем добавления новых устройств.

При необходимости предоставления доступа во внешнюю сеть большего числа VM, целесообразно использование виртуального адаптера, учитывая потери в производительности [4].

Для больших топологий лучше подойдет IP-маршрутизация, которая также будет уступать по производительности прямому доступу к устройству, но которая практически не ограничивает в сложности топологии и количестве узлов в ней.

Литература

1. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 992 с.
2. Карвальо Л. Windows Server 2012 Hyper-V. Книга рецептов / Пер. с англ. Слинкина А.А. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 302 с.
3. Смирнова Е., Козик П. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2012. – 272 с.
4. Джеймс К. Компьютерные сети: нисходящий подход. – 6-е изд. – М.: Изд-во «Э», 2016. – 921 с.

Лавская Лина Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P41601

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: lavskaya1v@yandex.ru

Постникова Полина Игоревна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P41601

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: kentucky.anisimova@yandex.ru

Шуклин Дмитрий Анатольевич

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.педагог.н., доцент

e-mail: dmshuklin@niuitmo.ru

УДК 004.51**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
UI/UX-ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ****Лавская Л.В., Постникова П.И.****Научный руководитель – к.педагог.н., доцент Шуклин Д.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Сравнительный анализ технологий UI/UX моделирования приложений для мобильных устройств».

В работе выделены и обоснованы критерии для сравнительного анализа UI/UX-технологий моделирования приложений для мобильных устройств, после чего были сделаны выводы. Также в работе рассмотрены основные тенденции дизайна интерфейса.

Ключевые слова: критерии, UI, UX, интерфейс, сравнительный анализ, мобильные приложения, дизайн интерфейсов.

В первую очередь, чтобы оценить приложение, пользователи смотрят на интерфейс. Именно он может сделать программу популярной среди аналогов, поэтому интерфейс является неотъемлемой частью самого приложения [1].

Для того чтобы интерфейс был привлекателен и обращал на себя внимание используются технологии UX и UI моделирования.

Использование данных технологий позволяет повысить качество проектирования, а также сократить затраты на этом. Качество проектирования влияет не только на удобное взаимодействие мобильного приложения с потенциальным пользователем, но и на качество работы программистов за счет отсутствия необходимости вносить изменения в информационную структуру приложения на этапе реализации [2].

Интерфейс успешного приложения будет создан благодаря использованию обеих технологий, которые помогут достичь главной цели – заинтересовать пользователя и передать ему определенную информацию.

При определении понятий UX/UI-технологий наиболее распространенным является заблуждение о взаимозаменяемости данных терминов. Во многих случаях, ошибкой является ожидание, что специалист, занимающийся дизайном интерфейса (UI-дизайнер) по умолчанию понимает либо фокусируется на UX, лишь только потому, что его работа напрямую связана с пользователями.

Факт в том, что пользовательский интерфейс (UI) не является опытом взаимодействия (UX). Более вероятно, это происходит из-за совпадения набора навыков, требующихся для обеих дисциплин. Эти технологии, безусловно, связаны между собой, и на самом деле многие дизайнеры хорошо осведомлены и компетентны в них обоих. Однако, несмотря на совпадения, обе области существенно различаются по своей природе, и, что более важно, по общим целям и задачам.

Пользовательский интерфейс (UI) ориентирован на фактические элементы взаимодействия с пользователем – в основном физические и технические методы ввода и вывода. UI относится к накоплению подходов и элементов, которые позволяют пользователю взаимодействовать с системой. Он не затрагивает такие детали, как, например, реакция пользователя на систему.

Дизайнеры UX сосредотачиваются на взаимодействии пользователя с информацией, а UI заботятся о внешнем виде и интерактивном дизайне. UX-дизайнер создает особую экосистему, которая передает основную идею бизнеса, а UI, в свою очередь, дает этой системе жизнь, переводя ее в реальный мир благодаря использованию визуальных сигналов, которые вызовут у пользователей желаемую реакцию [3].

UI- и UX-дизайнеры создают эмоции. Они стремятся сделать пользователей непринужденными, расслабленными и свободными, поскольку они используют цифровую платформу, которая решает все их вопросы [4].

Понимание различий, взаимоотношения и использования данных терминов крайне необходимо для корректной работы с ними [3].

Для того чтобы полностью убедиться в различиях данных технологий в дальнейшем будет проведен сравнительный анализ. Но для начала необходимо выбрать критерии сравнения.

После анализа научных исследований было решено провести отбор критериев, ориентируясь на деятельность UX- и UI-дизайнеров, чтобы на примере их работы определить сходства и различия UX/UI-технологий.

На рисунке показаны одни из основных процессов создания дизайна мобильного интерфейса, за которые отвечают UX- и UI-дизайнеры.

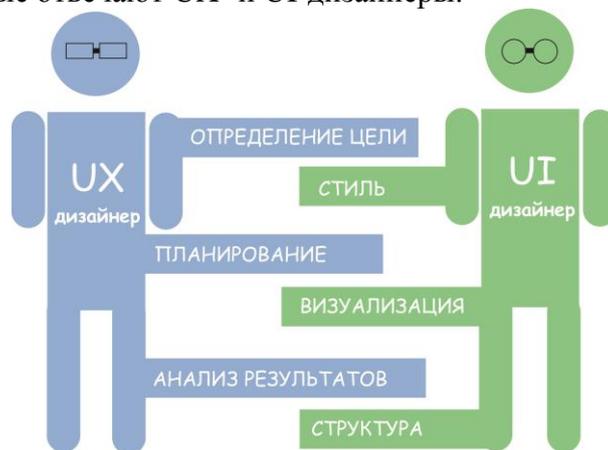


Рисунок. Процессы создания дизайна мобильного интерфейса

UI- и UX-дизайнеры фокусируются на разных аспектах создания приложения и относятся к пользователям по-разному, поэтому определение критериев, опираясь на их рабочие моменты приемлемо.

В ходе анализа было выделено 5 наиболее оптимальных критериев.

1. область применения;
2. направленность;
3. цель и задачи;

4. навыки, требующиеся от специалиста;
5. инструменты для работы.

Каждый из представленных критериев необходимо обосновать для лучшего понимания и дальнейшего сравнения.

«Область применения» определит принадлежность UX/UI-технологий к определенной сфере IT-деятельности. И без сравнительного анализа понятно, что по данному критерию UX и UI будут схожи.

Также интересно то, что оба понятия можно отнести не только к сфере IT, но и фактически к любой другой. UX-дизайн определяет удобство для пользователя, а в любой сфере деятельности человека есть то, что используется, и тот, кто использует. Примером использования UX не в информационной сфере может послужить простой фломастер.

UX-дизайн фломастера – это то, насколько хорошо он пишет, яркость цвета, удобство нажатия, т.е. насколько хорошо продукт решает задачу, для которой предназначен и при этом важно – насколько понятен пользователю.

То же самое касается и UI-дизайна, который отвечает за визуальную часть продукта.

«Направленность» укажет направление использования технологий UI/UX. Оно у UX и UI также схожее, и заключается в обеспечении комфорта пользователя.

Самое важное при использовании любого мобильного приложения – это его удобство и привлекательность. Эти два параметра, касающихся интерфейса, как раз создают комфорт при работе с приложением.

В ходе исследования были выделены основные требования и тенденции применения технологий UI/UX-дизайна к интерфейсу мобильного приложения.

1. Чем проще интерфейс, тем меньше усилий пользователь прилагает, а это хорошо сказывается на пользовательском опыте. На сегодняшний день минимализм является одной из главных тенденций. Простота цветов фона и легкий доступ к навигации создает приятное впечатление от интерфейса.
2. Цвет в дизайне интерфейса акцентирует на главном. Например, дизайнеры могут использовать цвета, чтобы установить визуальное различие между разными типами уведомлений.
3. Быстрое время загрузки. Долгое ожидание загрузки страницы отталкивает пользователя.
4. Использование анимации между страницами или объектами интерфейса.
5. Принцип «диалогового дизайна». Общение с пользователем посредством чатботов и голосовых помощников, усиленных искусственным интеллектом.

Представленные рекомендации значительно помогут при создании комфортного в использовании интерфейса мобильного приложения.

«Цель и задачи» отразит предмет каждой из технологий. По-сути этот критерий выделит главные различия UX и UI, так как UX- и UI-дизайнеры нацелены на разные процессы создания интерфейса.

«Навыки, требующиеся от специалиста» выделяют требования к умениям дизайнеров. Требования к UX- и UI-дизайнерам также различны. Определенные задачи требуют соответствующие навыки.

Список таких требований будет подробнее описан уже в сравнительном анализе, но если говорить кратко, то UI-дизайнер в основном занимается разработкой кнопок, иконок, подбирает шрифты, готовит макет, т.е. занимается визуальной составляющей мобильного интерфейса.

UX-дизайнер проектирует дизайн приложения так, чтобы пользователю было удобно и понятно, что к чему, и он мог получить от приложения то, что ему нужно с минимальными усилиями.

В настоящее время очень часто оба вида работ выполняет один человек – UI/UX-дизайнер. Этот факт также повлиял на заблуждение о том, что UI и UX представляют собой одно и то же. Однако профессии существуют раздельно: отдельно UI, и отдельно UX-дизайнер.

Критерий «Инструменты для работы» будет применен для сравнения программ или сайтов для использования UI/UX при создании интерфейса мобильного приложения.

Программы UI-дизайнера в основном направлены на создание и редактирование внешнего вида мобильного приложения. Главным инструментом UI-дизайнера являются различные графические редакторы.

Инструменты UX-дизайнера в основном связаны с прототипированием и тестированием юзабилити.

Однако UX-дизайнер должен уметь работать в графических редакторах, так как и UI-дизайнер должен знать принципы прототипирования. Это характеризуется тем, что оба дизайнера взаимодействуют друг с другом.

Во многом успех того или иного продукта зависит от удобства его использования, поэтому UX/UI-дизайн решает сразу несколько задач: упрощает процесс взаимодействия с интерфейсом и делает его максимально привлекательным для пользователя [2].

В ходе исследования были определены и обоснованы критерии для дальнейшего сравнительного анализа UI/UX-технологий моделирования приложений для мобильных устройств.

Сравнительный анализ в будущем покажет, что данные технологии являются взаимодополняющими, но не как не одним и тем же.

Литература

1. Михайлов О.С. UI и UX: сходства и различия // Высшая школа. – 2016. – № 18. – С. 41–43.
2. Flood D., Harrison R., Duce D, IacobC. Evaluating Mobile Applications: A Spreadsheet Case Study [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/0100/af54a68e7a117f4a418de8cd4de0ac4b444d.pdf> (дата обращения: 25.03.2019).
3. Conor Hood The Difference Between UI and UX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mayvendev.com/blog/the-difference-between-ui-and-ux> (дата обращения: 25.03.2019).
4. Сорока О., Ноэль Я. UX vs UI: в чем разница [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/design/50911-ux-vs-ui-v-chem-raznica> (дата обращения: 25.03.2019).

Постникова Полина Игоревна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P41601

Направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная графика и веб-дизайн

e-mail: kentucky.anisimova@yandex.ru

Лавская Лина Владимировна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P41601

Направление подготовки: 09.04.02 – Компьютерная графика и веб-дизайн

e-mail: lavskayalv@yandex.ru

Шуклин Дмитрий Анатольевич

Научный руководитель

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.педагог.н., доцент

e-mail: dmshuklin@niuitmo.ru

УДК 004.51**КОММУНИКАЦИИ В КОМПАНИИ НА ПРИМЕРЕ КОРПОРАТИВНЫХ ПЛАТФОРМ BITRIX24 И DAOFFICE****Постникова П.И., Лавская Л.В.****Научный руководитель – к.педагог.н., доцент Шуклин Д.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование UX-дизайна приложений для коммуникаций».

В работе проведен сравнительный анализ двух популярных на российском рынке корпоративных платформ – Bitrix24 и DaOffice – с целью использования полученных результатов в дальнейших исследованиях. В ходе исследования были определены базовые функции двух платформ, их особенности, сходства и различия, а также сделаны выводы по проделанному анализу.

Ключевые слова: корпоративные коммуникации, корпоративные платформы, социальный интранет, UX-дизайн, интерфейс.

На сегодняшний день многие компании ищут возможности для оптимизации своих технических средств и обеспечения сотрудников многофункциональными и эффективными технологиями. Создание подобных технологий часто реализуется с помощью разных производителей и комбинируется с собственными решениями компании. Объединение нескольких систем в единую, цельную технологию для эффективного взаимодействия между сотрудниками обеспечит интеграцию решений на корпоративном уровне.

Корпоративные средства коммуникаций для бизнеса позволяют формировать внутри компании информационное сообщество с хорошо развитыми вертикальными и горизонтальными связями. Это значит, что работники компании могут взаимодействовать в сети не только друг с другом, но и с руководством, причем независимо от того, где они в данный момент находятся [1]. Особенно для крупных компаний актуальны корпоративные платформы, чьи офисы находятся в разных городах или даже по всему миру.

Однако справедливо возникает вопрос: какую платформу предпочесть заказчику? В современном мире немало программных обеспечений, обладающих самыми разными

характеристиками, но объединенных одной из важных целей – улучшить социальные коммуникации внутри компании.

Bitrix24 – система CMS (Content Management System), а не CRM (Customer Relationship Management). CMS – это контент-менеджмент систем, а именно система управления контентом, которая объединяет всю компанию [2]. Bitrix24 разделен на 12 основных модулей, представленных на рисунке.



Рисунок. 12 основных модулей Bitrix24

DaOffice – корпоративная платформа для совместной работы внутри компании. С ее помощью сотрудники могут быстро находить контакты своих коллег, получать ответы на вопросы, делиться экспертной информацией, обмениваться документами, координировать работу проектных групп, генерировать и обсуждать идеи [3]. DaOffice направлена на оперативное решение каких-либо проблем, задач.

DaOffice имеет оперативный отклик на возникающие проблемы и ситуации. Интранет помогает сотрудникам адаптироваться в компании.

Рассмотрев порталы по отдельности, перейдем к их сравнительному анализу.

В табл. 1 представлены сравнительные характеристики Bitrix24 и DaOffice.

Таблица 1. Сравнительные характеристики Bitrix24 и DaOffice

	Bitrix24	DaOffice
Платформа	Социальный интранет	Социальный интранет
Версия	Коробочная и облачная версии	Коробочная и облачная версии
Стоимость облачной версии	120 тыс. руб. в год для неограниченного количества пользователей; внешние пользователи без ограничений	1260 руб. за пользователя в год; 354 руб. за внешнего пользователя в год
Стоимость коробочной версии	199 тыс. руб. + 1400 руб. за пользователя, внешние пользователи неограниченно либо 499 тыс. руб. неограниченное использование	Лицензируется по подписке. 1068 руб. за пользователя в год + 270 руб. за внешнего пользователя в год. При приобретении бессрочной лицензии – стоимость будет равна двум годам подписки
Индивидуальный дизайн	Да, в коробочной версии	Да

	Bitrix24	DaOffice
Платформа	Социальный интранет	Социальный интранет
Интерфейс	Интерфейс русский, английский, украинский, испанский, немецкий	Только русский интерфейс

Социальный слой и интеграция с другими приложениями представлены в табл. 2.

Таблица 2. Социальный слой и интеграция

	Bitrix24	DaOffice
Управление задачами и проектами	Есть; делегирование полномочий, график отсутствий, учет времени	Управление мероприятиями
Мотивация	Да	Репутация, бэйджи, экспертные статусы по темам, благодарности
Вовлечение новых пользователей	Ссылки на обучающие материалы. Шаблоны писем по вовлечению	По умолчанию пользователя можно подписать других пользователей на определенные группы и определить другие правила (политика использования подписывается при регистрации)
Интеграция с другими приложениями	Открытый API	SocialGraph
Мобильные платформы	iOS, Android	iOS, Android
Голосовая и видеосвязь	Да, также телефония	Нет
Дополнительные приложения	CRM, конструктор процессов, магазин приложений	Магазина приложений нет. Данная ситуация исправляется программистами
Интеграция	Office 365, Google Docs, SharePoint	SharePoint и другие порталы

Базовые функции, такие как лента новостей, видео, уведомления, картинки, текстовые сообщения, подписки присутствуют в обеих платформах; наличие открытых и закрытых групп, блогов. И в Bitrix24, и в DaOffice существуют приватные переписки, чаты, папки с входящими/исходящими письмами и унифицированный поиск по людям, файлам, контенту [4].

Пример использования таблицы: у крупного корпоративного заказчика уже есть портал на SharePoint, и он рассматривает добавление к порталу социальной функции, т.е. политически неправильно строить параллельный портал. Но служба безопасности может быть против облачной инсталляции, а переплачивать компания не намерена. По совокупности параметров видим, что в данной ситуации наиболее подходящее решение – это DaOffice.

Другой пример, когда филиалы компании могут быть в России или зарубежом, а также большое количество партнеров, общение с которыми надо упорядочить [5]. Для того чтобы не общаться с партнерами разрозненно (по электронной почте, телефону, Skype), в компании удобно использовать систему телефонии Cisco. Наиболее логичное решение – выбрать единый портал для более широкого маркетингового проникновения и организовать обратную связь через корпоративную социальную сеть. Поскольку

требуется социальный интранет, многоязычные интерфейсы и интеграция с Cisco, наиболее предпочтительной представляется платформа Bitrix24.

Резюмируя вышенаписанное, можно составить определенные выводы по данной работе.

Социальные интранеты актуальны на сегодняшний день в особенности для компаний, имеющих филиалы в разных городах или даже странах. При этом их наличие воспринимается сотрудниками как часть корпоративной культуры, такая же, как мероприятия по тимбилдингу или бесплатный тренажерный зал, как свидетельство того, что руководство компании заинтересовано в своих подчиненных и стремится создать для них комфортные условия труда.

В качестве примера приведены два социальных интранета, занимающих значимые позиции на российском рынке: Bitrix24 и DaOffice. На основе сравнительного анализа выявлены сходства и различия двух популярных на российском рынке корпоративных социальных сетей. Данный анализ может служить компаниям вспомогательным средством в выборе платформы для коммуникации.

Подобные социальные интранеты играют существенную роль в ускорении бизнес-процессов, в обмене опытом, в обсуждении и принятии решений по любым рабочим вопросам. При этом процесс вовлечения сотрудников в корпоративную платформу происходит достаточно быстро. Это происходит потому, что большинство социальных интранетов для бизнеса адаптированы для пользователей социальных медиа и имеют аналогичный интерфейс.

Литература

1. Кросс Р. Невидимая сила социальных связей / Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Гелла-принт, 2010. – 96 с.
2. Начало работы с «Битрикс24» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpdesk.bitrix24.ru/open/6559595/> (дата обращения: 21.02.2019).
3. Интранет DaOffice [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://daoffice.ru/> (дата обращения: 05.03.2019).
4. Интранет DaOffice: видео-урок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/korporativnye-sotsialnye-seti.html> (дата обращения: 22.02.2019).
5. Нахимова Е.А. Основы теории коммуникации. Учебное пособие. – М.: Флинта, 2013. – 164 с.

Логинов Павел Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р41001

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: lgnv2009@gmail.com

Быковский Сергей Вячеславович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: sergei_bykovskii@itmo.ru

УДК 004.92**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ****Логинов П.В.****Научный руководитель – к.т.н. Быковский С.В.**

В работе рассмотрена проблема оценки точности трехмерной реконструкции помещений по стереопарам. Для оценки точности предложено построить эталонную 3D-модель на основе виртуальной трехмерной сцены и использовать метод трассировки лучей для сравнения эталона и расчетных данных. С использованием предложенного подхода производится оценка точности для методов регистрации, в основе которых лежат алгоритмы Speeded-Up Robust Features, Oriented FAST and Rotated BRIEF для выделения особых точек, методы полного перебора и поиска k -ближайших соседей для сопоставления выделенных точек.

Ключевые слова: облако точек, трехмерная реконструкция, объединение облаков точек, трассировка лучей.

Введение. В настоящее время задача анализа геометрии наблюдаемой сцены актуальна в таких областях, как техническое зрение роботов, например, при автономной навигации роботов в пространстве, в приложениях дополненной и смешанной реальности для восстановления освещения реального окружения с интегрированными в него виртуальными объектами, в приложениях 3D-сканирования для построения моделей объектов в метрических координатах.

В данной работе рассмотрен подход извлечения геометрии помещения на базе данных со стереопары, полученных с разных ракурсов. При таком подходе по стереопарам строится множество облаков точек, которые необходимо затем совместить, т.е. произвести их регистрацию, для получения результирующего плотного облака точек помещения. Выбор метода регистрации облаков точек для конкретного приложения зависит от точности результатов на выходе и вычислительной сложности. Задача оценки точности осложняется наличием шумов в исходных облаках и сложностью построения эталонного набора данных. Решению данной проблемы было посвящено настоящее исследование.

Целью работы являлась оценка точности существующих методов трехмерной реконструкции помещений с использованием трассировки лучей.

Методы сравнения трехмерных моделей. Рассмотрены существующие методы сравнения трехмерных сцен.

1. Сравнение с помощью трассировки лучей [1]. Данный метод заключается в испускании лучей с малым шагом по регулярной сетке с позиции наблюдателя и регистрации точек поверхности трехмерной модели в местах пересечения ее лучом.

Таким образом, можно получить множество точек поверхности для результирующей и эталонной моделей и получить численную метрику различия. Ее можно вычислить как среднеквадратичное отклонение по всем точкам.

В целях увеличения производительности метода возможно использование стохастического подхода к трассировке, когда лучи выпускаются случайным образом по нерегулярной сетке.

2. Сравнение по метрике Хаусдорфа [2]. Пусть есть объект и эталон, с которым его предстоит сравнить. И объект, и эталон представлены как наборы неких абстрактных структурных элементов. Нахождение структурного отклонения объекта от эталона в таком случае сводится к нахождению для каждого элемента объекта соответствующего ему элемента эталона. Для тех элементов объекта, которым не будет найдено соответствие, устанавливается штраф, а структурное отклонение определяется как сумма штрафов. Аналогично, отклонение эталона от объекта сводится к нахождению всех элементов эталона, для которых нет соответствующих элементов объекта, и суммы штрафов для этих элементов. Сумма штрафов может восприниматься как метрика различия.
3. Сравнение по мере различия поверхностей на объединенной триангуляции Делоне [3]. Предлагаемый алгоритм решения поставленной задачи основан на построении триангуляций Делоне на множествах узлов сеток поверхностей моделей, локализации узлов каждой из триангуляций в треугольниках другой триангуляции и дальнейшей интерполяции значений в узлах сетки. В результате работы метода строится общая триангуляция на объединенной сетке, и вычисляются метрики на отдельных гранях общей триангуляции. Данные метрики могут быть использованы как метрики сходства поверхностей трехмерных моделей.

Постановка задачи. Для оценки точности методов, используемых для реконструкции, необходимо провести сравнение результата реконструкции с некоторым эталоном. Эталон может выступать реальное физическое помещение, но сравнение трехмерной модели с ним не представляется возможным. Поэтому для возможности оценки точности предлагается строить эталонную трехмерную модель на основе виртуальной трехмерной сцены и использовать метод трассировки лучей для сравнения эталона и расчетных данных.

Описание алгоритма построения трехмерной реконструкции виртуальной сцены. На рис. 1 представлена блок-схема предложенного алгоритма оценки точности реконструкции модели помещения.

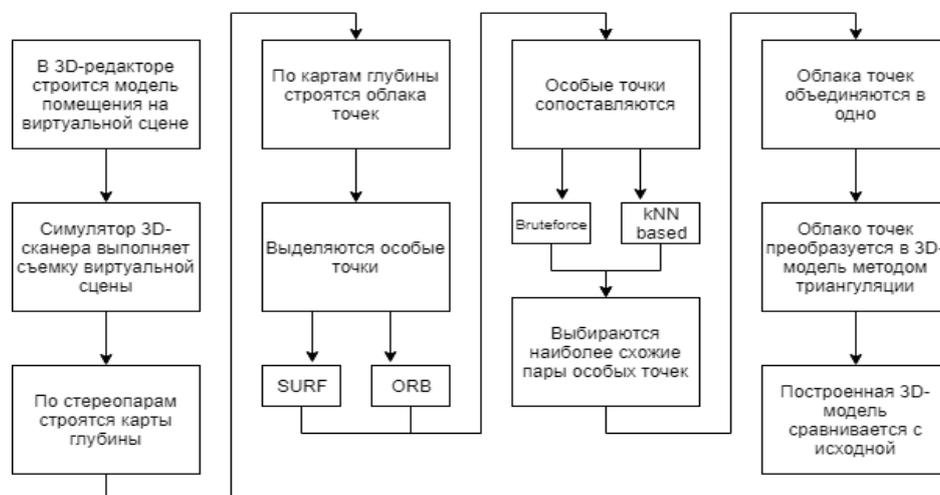


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Сначала в программном комплексе Lumiscept загружается в виртуальную сцену модель помещения. Далее симулируется работа 3D-сканера, выполняется съемка сцены путем вращения виртуальной стереокамеры между снимками на заданный угол и сохранения стереопар, полученных с различных ракурсов камеры (рис. 2).



Рис. 2. Пример стереопары

Далее по каждой стереопаре строится карта глубины. По карте глубины строится облако точек [4].

На картах глубины выделяются особые точки одним из методов [5]: Speeded-Up Robust Features (SURF) или Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB).

Особые точки на всех парах карт глубины, соответствующих соседним положениям виртуальной камеры, сопоставляются между собой одним из методов (рис. 3): полный перебор (bruteforce) или поиск k -ближайших соседей (kNN based).

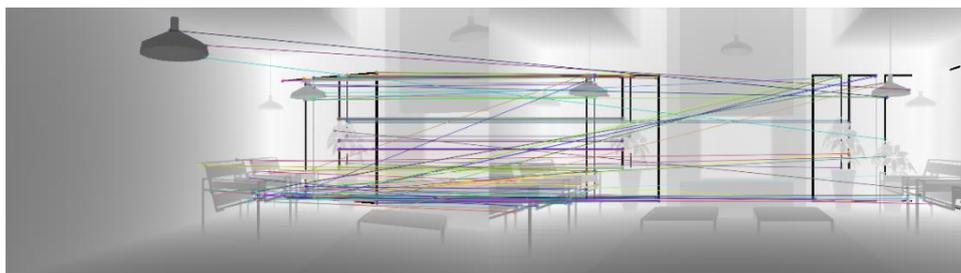


Рис. 3. Сопоставление пар особых точек на картах глубины двух соседних ракурсов

Из списка сопоставленных пар особых точек выбираются наиболее схожие между собой следующим образом: список сортируется по возрастанию расстояния между дескрипторами, выбираются 5 лучших пар с наименьшим расстоянием.

Далее облака точек объединяются между собой таким образом, что пересекающиеся области соседних облаков совмещаются с учетом координат сопоставленных особых точек (рис. 4). При объединении соседние облака поворачиваются на угол, на который была повернута камера при съемке.

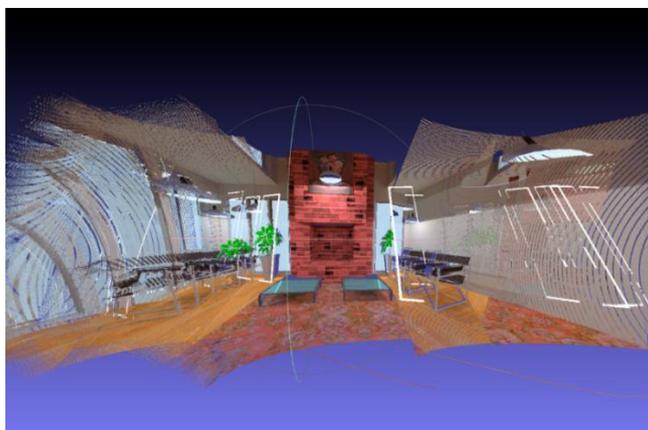


Рис. 4. Облако точек, объединенное из трех облаков, полученных с соседних ракурсов камеры

Полученное облако точек преобразуется в 3D-модель методом жадной триангуляции. Построенная трехмерная модель сравнивается с исходной.

Результаты работы. Для оценки точности построения модели был разработан симулятор 3D-сканера, выполняющий съемку виртуальной сцены, с использованием движка Panda3D на языке Python.

Реализована программная библиотека, реализующая вычисление карты глубины стереопары на основе диспаратета, сопоставление соседних карт глубины по особым точкам, построение облаков точек по карте глубины, объединение соседних облаков точек.

Время работы алгоритмов отображено в таблице.

Таблица. Время работы алгоритмов

Этап обработки	Алгоритм	Время выполнения, с
Построение карты глубины для одной стереопары	По карте диспаратета	0,62
Построение облака точек для одной карты глубины		3,58
Выделение особых точек на одной карте глубины	SURF	2,41
	ORB	0,86
Сопоставление особых точек на двух картах глубин	Полный перебор	0,04
	Поиск k -ближайших соседей	0,13
Объединение двух облаков точек		2,1

В будущем планируется сравнение полученной модели с исходным методом трассировки лучей с целью выбора наиболее точного и эффективного метода трехмерной реконструкции помещения [6–8].

Литература

1. Kay T.L., Kajiya J.T. Ray tracing complex scenes // ACM SIGGRAPH computer graphics. – 1986. – V. 20. – № 4. – P. 269–278.
2. Хмелев Р.В. Совместное использование структурного анализа и метрики Хаусдорфа при сравнении объекта и эталона // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 174–176.
3. Дышкант Н.Ф. Эффективные алгоритмы сравнения поверхностей, заданных облаками точек: дисс. канд. физ.-мат. наук. – М., 2011. – 139 с.
4. Тупицын И.В. Реконструкция трехмерной модели объекта на основе стереопары при решении задач 3D-моделирования // Сибирский журнал науки и технологий. – 2011. – № 3(36). – С. 88–92.
5. Karami E., Prasad S., Shehata M. Image matching using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: performance comparison for distorted images [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1710/1710.02726.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
6. Gao Y., Dai Q., Zhang N.Y. 3D model comparison using spatial structure circular descriptor // Pattern Recognition. – 2010. – V. 43. – № 3. – P. 1142–1151.
7. Seitz S.M. et al. A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06). – 2006. – V. 1. – P. 519–528.
8. Shih N.J., Wu M.C. A 3D point-cloud based verification of as-built construction progress // CAADFutures. – 2005. – P. 193–202.

Мазунин Константин Юрьевич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3317

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mazuninky@gmail.com

Мамедова Эльнара Назимовна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3317

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: m.elnara.397@gmail.com

Исаев Илья Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivisaev@itmo.ru

УДК 004.415.53

**РАЗРАБОТКА ФРЕЙМВОРКА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ E2E ТЕСТИРОВАНИЯ
МИКРОСЕРВИСОВ**

Мазунин К.Ю., Мамедова Э.Н.

Научный руководитель – аспирант Исаев И.В.

В работе рассмотрены проблемы, которые возникают при тестировании микросервисов, и последующее их решение при помощи фреймворка.

Ключевые слова: микросервисы, тестирование, разработка, Kotlin, DSL.

Что такое микросервисная архитектура? Микросервисная архитектура (Micro Service Architecture, MSA) [1] – организация распределенной системы на основе слабо связанных и легко изменяемых модулей – микросервисов. Микросервисы коммуницируют друг с другом посредством просто API.

Для лучшего понимания MSA стоит подробнее рассмотреть и сравнить два подхода построения архитектуры приложений:

1. монолитная архитектура;
2. микросервисная архитектура.

MSA – это подход, при котором единое приложение проектируется как набор нескольких сервисов, каждый из которых работает в собственном процессе и связывается с остальными, используя легкие механизмы, например, HTTP. В то время как монолитная архитектура полностью замкнута на контексте приложения. Во время работы такое приложение может взаимодействовать с другими службами или хранилищами данных, но основа поведения такой архитектуры реализуется в собственном процессе, а все приложение, как правило, развертывается как один элемент. Обобщая вышесказанное, получается, что при монолитном подходе построения приложения часто выбирается некоторый фреймворк, и внутри него реализуются компоненты (рис. 1). При микросервисном подходе для каждого компонента строится отдельное приложение и подбирается свой стек технологий. Компоненты чаще всего взаимодействуют через REST API.

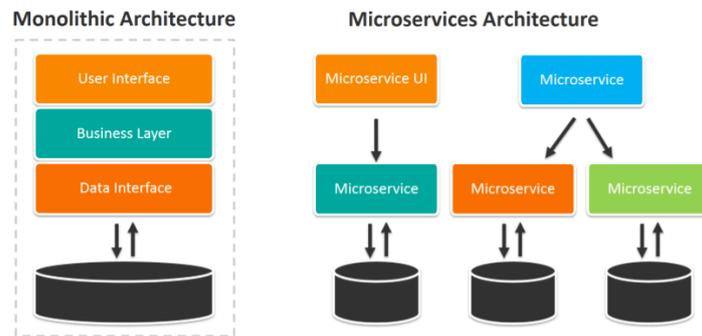


Рис. 1. Сравнение микросервисной и монолитной архитектуры

Несмотря на свою простоту, монолитная архитектура с одним проектом имеет некоторые недостатки. По мере увеличения сложности и размера приложения будет расти число файлов и папок. Любые изменения, даже самые небольшие, требуют пересборки и развертывания всего монолита. С течением времени становится труднее сохранять хорошую модульную структуру и поддерживать приложение. Все подобные минусы монолитной архитектуры привели к MSA: построению приложений в виде набора сервисов.

Достоинства микросервисной архитектуры. Одна из важнейших характеристик любого архитектурного решения – это масштабируемость. Различные функции приложения можно рассматривать как независимые сервисы, поэтому вместо монтирования всего приложения только тогда, когда оно полностью сделано, разработчики могут монтировать отдельные сервисы независимо друг от друга.

В отличие от приложений с монолитной архитектурой, микросервисы:

- улучшают изоляцию компонентов: большие приложения могут продолжать эффективно работать, даже если какой-то из его модулей неисправен;
- MSA имеет четкую модульную структуру, что может быть удобно для больших команд разработчиков;
- при микросервисном подходе для каждого из сервисов может быть выбран свой стек технологий;
- проще поддерживать все приложение, так как одно приложение разбито на меньшие сервисы;
- микросервисы, из которых состоит все приложение, содержат намного меньше кода, чем монолитное приложение, благодаря этому вероятность допустить ошибку в программе сильно снижается.

Недостатки микросервисной архитектуры. При всех своих достоинствах MSA имеет также и недостатки:

- разработка распределенных систем может быть трудной, так как удаленные вызовы работают медленно и невозможно исключить риск сбоя;
- для распределенной системы сложнее поддерживаться строгую согласованность;
- приложения, построенные на MSA сложнее тестировать.

End-to-end тестирование микросервисов. Есть ряд подходов к тестированию микросервисов [1]: unit тестирование, интеграционное тестирование и E2E-тестирование. E2E-тесты являются более высокоуровневыми и хорошо подходят для сценариев, когда бизнес-логика какого-то процесса находится на нескольких микросервисах. Также даже полное покрытие тестами всех микросервисов не гарантирует их корректного взаимодействия.

На данный момент E2E-тестирование микросервисов сводится либо к разработке самописных решений, либо к вовсе отсутствию автоматизации E2E-тестов.

Для написания своих решений по автоматизации E2E-тестирования требуются более квалифицированные и дорогие специалисты, а также каждый раз требуется дополнительное время на то, чтобы написать такие решения.

Ручное тестирование микросервисов занимает много времени (чем дальше, тем больше). Обычно тестируется только новая функциональность и непонятно ломается ли существующая. Часто на ручном тестировании заняты квалифицированные разработчики (дорогие специалисты, выполняющие дешевую работу). Следовательно, для избежания всех перечисленных минусов необходим фреймворк, который автоматизирует E2E-тестирование микросервисов и удовлетворяет некоторым требованиям, таким как: человекочитаемое описание тестов, генерация отчета о проведенных тестах, интеграции с другими сервисами.

1. Разработка фреймворка. К разрабатываемому фреймворку предъявляются следующие требования:

- расширяемость;
- возможность запуска на continuous integration серверах;
- формирование отчетов;
- поддержка фреймворка в IDE.

Поэтому для реализации фреймворка был выбран язык Kotlin. Архитектура языка Kotlin позволяет писать человекочитаемый DSL средствами языка, также в языке присутствуют конструкции для расширения текущей функциональности.

Было выбрано рабочее название фреймворка MicroSpek, и был выбран ряд библиотек для реализации побочной функциональности:

- ktor-client – для отправки веб-запросов;
- freemarker – для написания шаблонов для отчетов.

2. Взгляд на DSL. Для описания тестов была разработана модель теста: E2E тест состоит шагов, которые выполняются последовательно и взаимодействуют с микросервисами. Шаг может сохранять промежуточные данные. Самым последним шагом происходит проверка условия/утверждения. Для того чтобы DSL удовлетворял условию человекочитаемости была выбрана схема для языка:

```
Тест (Имя теста) {
  шаг1
  шаг2
  шаг3 {параметры_для_шаг3}
  ...
  проверка_условия {}
}
```

3. Архитектура. Для реализации был выбран подход, пользующийся популярностью для написания библиотек/фреймворков на Kotlin: минимальная функциональность выносится в core, а вся основная функциональность пишется при помощи extensions [2] функций, выносится в отдельный модуль и зависит от core. Наглядный пример данного подхода Ktor [3] – фреймворк от JetBrains для написания веб-приложений (рис. 2).

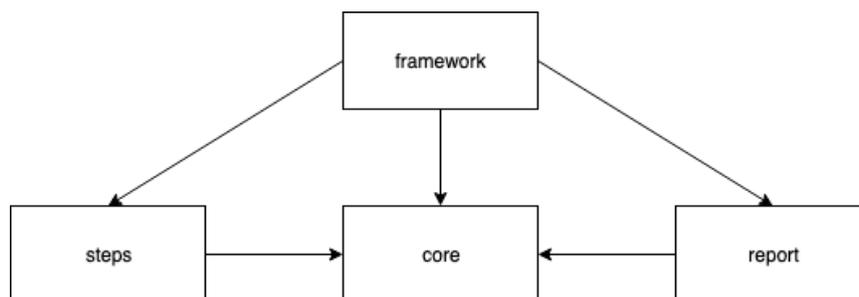


Рис. 2. Архитектура фреймворка

В данном случае код для прогона тестов и шагов был помещен в core, а реализация самих шагов была написана в модуле steps. Код для формирования отчетов также разрабатывался отдельным модулем (рис. 3).

```
abstract class Step(val name: String) {
    abstract fun execute(context: TestDslContext)
    abstract val description: String
}
```

Рис. 3. Пример теста, написанного на фреймворке

4. Базовые концепции. В core модуле фреймворка находится класс Step, который необходимо реализовать, чтобы добавить свой шаг в фреймворк. Базовый класс содержит в себе метод execute, который вызывается при выполнении данного шага, а также имеет поле description, которое описывает работы данного шага.

```
fun TestCaseBody.echo(message: String) {
    val step = EchoStepContextStep(message)
    registerStep(step)
}

class EchoStepContextStep(private val message: String) :
    Step("Echo") {
    override fun execute(context: TestDslContext) {
        println(message)
    }

    override val description: String
        get() = "Echo $message"
}
```

Рис. 4. Код реализации шага Echo

Стандартный шаг Echo реализован в модуле steps через extension функции (рис. 4). Данный шаг выводит сообщение в консоль.

5. Отчет. Отчет о результатах прогона формируется в трех форматах: HTML, XML, JSON (рис. 5). Отчет содержит информации о времени прохождения всех тестов, о количестве прошедших тестов и о количестве проваленных тестов, а также содержит причину провала каждого теста с указанием шага.



```
{
  "tests": 2,
  "errors": 1,
  "failures": 0,
  "skipped": 0,
  "success": 1,
  "time": "3 505",
  "details": [
    {
      "name": "Book add feature",
      "status": "Success"
    },
    {
      "name": "Book remove feature",
      "status": "Failed",
      "error": "Step 2: Postgres"
    }
  ]
}
```

Рис. 5. Отчет о тестирование в формате JSON

6. Инструменты. Для упрощения разработки и запуска тестов были написаны:

- генератор проектов;
- CI runner.

```
generator -language=kotlin -package=com.example -dist=./e2etest
```

```
fun main() = TestFramework()  
    .add<SampleTest>()  
    .run()
```

Рис. 6. Генерация проекта и main функция сгенерированного проекта

7. Генератор проектов (рис. 6). Генератор позволяет в одну строчку создать проект для написания тестов на MicroSpek. В качестве системы сборки используется Gradle. В параметрах генератора можно указать язык build файлов gradle, package проекта, а также директорию проекта.
8. CI runner. Для упрощения запуска тестов на continuous integration серверах был написан скрипт
ci_run.sh

Результаты. В ходе данной работы были рассмотрены недостатки текущих подходов тестирования микросервисов, для устранения которых был написан фреймворк на язык Kotlin.

В дальнейшем планируется развить фреймворк, добавив в него новые шаги и документацию.

Литература

1. Ньюмен С. Создание микросервисов. – Изд. дом «Питер», 2018. – 304 с.
2. Документация языка Kotlin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kotlinlang.org/docs/reference/extensions.html> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Ktor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kotlinlang.org/docs/reference/extensions.html> (дата обращения: 06.03.2019).

Мариничев Никита Андреевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4270

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: nikitus.1995@yandex.ru

Меженин Александр Владимирович

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.92**ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМАМИ KINECT И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ АНИМАЦИИ****Мариничев Н.А., Меженин А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Оценка качества захвата движения системами Kinect».

В работе рассмотрены вопросы оценки качества захвата движений системами Kinect. Исследуется вопрос, касающийся целесообразности использования трех модулей Kinect в сравнении с использованием двух модулей. Для оценки предложено использовать значения угловых ускорений узлов кости между соседними кадрами. На основании данных об углах поворота производится статистический анализ.

Ключевые слова: система захвата движений, Kinect, угловое ускорение, трехмерная анимация, качество захвата движений.

Захват движений используется повсеместно как в киноиндустрии, так и при разработке компьютерных игр. На данный момент существует множество различных систем захвата движений, среди которых системы компьютерного зрения на основе камер глубины являются наиболее доступным решением в соотношении цена-качество. Использование одного модуля не сможет обеспечить захват движений актера со всех сторон, однако увеличение числа модулей позволит решить эту проблему, но потребует дополнительных вычислительных и финансовых затрат [1–5].

Элементами новизны данной работы можно считать разработку методики, согласно которой производится оценивание качества захвата движения при использовании разного количества модулей Kinect. В рамках исследования были изучены несколько схем подключения, состоящих из трех модулей Kinect. При этом схемы были подобраны таким образом, чтобы была возможность убрать один модуль из схемы и оценить целесообразность использования трех модулей в сравнении с использованием двух модулей. Для проведения опыта была выбрана одна из кафедральных аудиторий, изображение которой представлено на рис. 1.

Проверяемая альтернативная гипотеза гласит, что с большей долей вероятности использование трех модулей Kinect 2.0 позволит добиться лучшего качества захвата движений, т.е. будет заметно уменьшение значений угловых ускорений в суставах скелета в сравнении с использованием двух модулей, но понесет за собой дополнительные вычислительные и финансовые затраты.

Нулевая гипотеза гласит, что использование трех модулей Kinect 2.0 не даст ощутимой прибавки в качестве получаемой анимации в сравнении с использованием двух модулей.



Рис. 1. Расположение модулей Kinect в выбранном помещении

В рамках эксперимента были получены видеозаписи с движениями, включающими отрезок танца, ходьбы и разминки и содержащие 600 кадров. Без учета костей пальцев, не предусмотренных к захвату движения средствами Kinect, а также без учета костей, в которых не наблюдалось изменение углов поворота, были получены данные по 15 костям. Значения углов поворота Rotate по осям X , Y и Z для каждой из кости в каждом из кадров выгружались из программы iPi MoCap Studio для дальнейшей обработки в программе MS Excel.

На основании значений об углах поворота необходимо получить угловую скорость по оси Ox , которая считается как первая производная от перемещения вдоль оси Ox :

$$vx_{i,i+1} = \frac{x_{i+1} - x_i}{f} \text{ град/с},$$

где $f=1/30$ с, поскольку Kinect 2.0 имеет частоту записи видео 30 кадров/с. Угловая скорость по осям Oy и Oz считается аналогично.

Затем подсчитывается угловое ускорение по оси Ox как вторая производная от перемещения вдоль оси Ox :

$$ax_{i,i+1} = \frac{vx_{i,i+1} - vx_{i+1,i+2}}{f} \text{ град/с}^2.$$

Угловое ускорение по осям Oy и Oz считается аналогично.

Итоговое угловое ускорение считается, как длина вектора, образуемого ускорениями по осям Ox , Oy и Oz :

$$a_{i,i+1} = \sqrt{(ax_{i,i+1})^2 + (ay_{i,i+1})^2 + (az_{i,i+1})^2} \text{ град/с}^2.$$

Используя вышеперечисленные преобразования, было получено две выборки значений угловых ускорений для каждого из отрезков с захваченными движениями, которые в дальнейшем используются для проведения статистического анализа. Для этих целей был выбран парный t -критерий Стьюдента.

Для этого на основании значений угловых ускорений была посчитана разность значений d угловых ускорений при использовании схем из двух и трех модулей Kinect.

Далее считается среднее арифметическое разностей по формуле:

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^n d}{n},$$

где n – количество значений выборки.

Среднее квадратическое отклонение разностей от средней находится по формуле:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_d - d)^2}{n-1}}$$

Парный t -критерий Стьюдента считается по формуле:

$$t = \frac{M_d}{\sigma_d/\sqrt{n}}$$

Таким образом, на основании указанных формул были посчитаны средние арифметические разностей значений угловых ускорений и значения парного t -критерия Стьюдента, которые были занесены в таблицу, изображенную на рис. 2.

танец	кость	Hip	Middle Spine	Chest	Lclavicle	Lshoulder	Lforearm	Rclavicle	Rshoulder
	значимость	33,264%	68,891%	67,778%	41,855%	3,072%	24,323%	11,394%	41,597%
	кость	Rforearm	Rthigh	Rshin	Rfoot	Lthigh	Lshin	Lfoot	
	значимость	95,133%	52,750%	72,183%	69,817%	42,124%	87,813%	12,414%	
зарядка	кость	Hip	Middle Spine	Chest	Lclavicle	Lshoulder	Lforearm	Rclavicle	Rshoulder
	значимость	41,676%	2,156%	1,865%	61,306%	54,200%	8,530%	5,008%	0,011%
	кость	Rforearm	Rthigh	Rshin	Rfoot	Lthigh	Lshin	Lfoot	
	значимость	4,029%	14,781%	16,791%	0,000%	0,000%	0,000%	0,012%	
ходьба	кость	Hip	Middle Spine	Chest	Lclavicle	Lshoulder	Lforearm	Rclavicle	Rshoulder
	значимость	16,571%	1,911%	2,508%	24,893%	6,155%	19,046%	11,324%	0,007%
	кость	Rforearm	Rthigh	Rshin	Rfoot	Lthigh	Lshin	Lfoot	
	значимость	0,100%	19,049%	5,727%	32,205%	2,347%	5,265%	4,222%	

Рис. 2. Результаты статистического анализа

Поскольку в данной работе рассматривались 15 нулевых гипотез, т.е. присутствовала множественная проверка гипотез, было принято решение проводить проверку каждой из гипотез на уровне значимости 0,34%. Тем самым, при проверке сразу 15 нулевых гипотез вероятность того, что, хотя бы одна из них окажется ошибочно отклонена, будет составлять 4,98%.

Зеленым цветом на рисунке выделены ячейки, в которых были получены статистически значимые результаты. Это подтверждает гипотезу, согласно которой увеличение количества модулей Kinect привело к увеличению качества получаемой анимации.

На основании полученных результатов становится необходимым оценить также субъективный фактор сравнения, согласно которому полученные анимации будут применены к авторской модели персонажа, чтобы создать видеозаписи, которые будут использоваться при составлении опросных листов.

Литература

1. Егорова Е.С., Лавров А.В., Меженин А.В. Оценка точности захвата движений в рабочем пространстве системы Kinect // Наука и образование в жизни современного общества: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 2015. – Ч. 12. – С. 31–33.
2. Коротких А.Е., Меженин А.В. Технологии трекинга камеры в реальном времени // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2018. – Т. 2. – С. 330–333.
3. Извозчикова В.В., Меженин А.В. 3D-моделирование методов съемки мобильными видеосистемами // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 163–167.
4. Меженин А.В. Виртуальные 3D среды как средство верификации и тестирования при проектировании // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 21. – С. 105–110.
5. Sizikov V.S., Stepanov A.V., Mezhenin A.V., Burlov D.I., Eksemplyarov R.A. Determining image-distortion parameters by spectral means when processing pictures of the earth's surface obtained from satellites and aircraft // Journal of Optical Technology. – 2018. – V. 85. – № 4 – P. 203–210.

Маркитантов Максим Викторович

Год рождения: 1995

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, программист;
Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № Р4210

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: m.markitantov@yandex.ru

Тропченко Александр Ювенальевич

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники,
д.т.н., профессор

e-mail: tau@cs.ifmo.ru

УДК 004.934.2**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗРАСТА ДИКТОРА ПО ГОЛОСУ**

Маркитантов М.В.

(Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН;
Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Тропченко А.Ю.

(Университет ИТМО)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-11-00145).

Работа содержит аналитический обзор нескольких речевых корпусов, включая корпуса NIST SRE2008, NIST SRE 2010 и aGender, который использовался в ходе соревнования Computational Paralinguistics Challenge (ComParE) в рамках INTERSPEECH 2010. В работе рассмотрены существующие системы автоматического распознавания возраста диктора по голосу: используемые признаки (интонация, интенсивность, мел-частотные кепстральные коэффициенты) и машинные классификаторы (метод опорных векторов, смеси гауссовских распределений, нейронные сети).

Ключевые слова: компьютерная паралингвистика, машинное обучение, распознавание возраста диктора по голосу, речевые технологии.

Введение. В повседневном общении люди используют не только вербальную (речевую, текстовую и т.д.), но и невербальную (паралингвистическую, жестовую и т.д.) информацию. Последняя может содержать такие характеристики диктора, как его психоэмоциональное состояние, возраст, пол, наличие заболевания и другие характеристики его текущего состояния. При отсутствии прямого контакта с клиентом (пользователем), паралингвистическая информация о нем может быть полезна для предоставления определенных товаров и услуг в Интернете.

Различные исследования по извлечению акустических признаков и разработке машинного классификатора возраста диктора по голосу пока не позволяют получить удовлетворительную точность распознавания. Получение возрастной информации по речи диктора осложняется влиянием таких факторов, как, например, фоновый шум и голосовая вариативность. Таким образом, ключевая проблема в определении возраста диктора заключается в извлечении надежных признаков и разработке эффективного метода классификации.

Целью работы являлся анализ существующих систем автоматического распознавания возраста диктора по голосу, включающий в себя анализ корпусов,

содержащих представительный набор различных дикторов с указанием возраста и пола в метаданных.

Речевые корпуса. Существует несколько корпусов речи, которые содержат представительный набор различных дикторов с указанием возраста и пола в метаданных. Корпус aGender [1] был представлен на соревновании компьютерной паралингвистики Computational Paralinguistic Challenge (ComParE) в рамках международной конференции INTERSPEECH 2010 в Японии, г. Макухари. Данный корпус состоит из 49 ч немецкой телефонной речи, которая содержит 945 дикторов. Корпус содержит 65364 высказывания, которые были записаны в шести сессиях. Данные высказывания содержат выражения переменной длины: командные слова, названия месяцев и дней, время, даты, номера телефонов, имена и фамилии, продолжительность фраз находится в диапазоне от 1 до 6 с. Каждое высказывание аннотировано в соответствии с полом и возрастом диктора. Данные хранятся в виде звуковых файлов с частотой дискретизации 8 кГц. В корпусе используется 7 групп (классов) дикторов, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Метаданные корпуса aGender

Класс	Возрастная группа	Возраст	Пол	Количество дикторов/ высказываний
1	Дети	7–14	Х (М и Ж)	106/6802
2	Молодые люди	15–24	Ж	99/7360
3	Молодые люди	15–24	М	88/6189
4	Люди среднего возраста	25–54	Ж	113/7934
5	Люди среднего возраста	25–54	М	107/6929
6	Пожилые люди	55–80	Ж	123/8485
7	Пожилые люди	55–80	М	134/9375

Корпуса NIST SRE 2008 и 2010 являются разработками Национального института стандартов и технологий США (National Institute For Standards and Technology, NIST) и также активно использовались в современных исследованиях и содержат представительный набор различных дикторов с указанием возраста и пола в метаданных.

Корпус NIST SRE 2008 содержит 3772 записи телефонной речи 1154 дикторов от 20 до 70 лет. 3726 записей в представленном корпусе аннотировано языковой меткой диктора, из них 2656 записей на английском языке, а оставшиеся 1070 на русском, итальянском и японском языках.

Корпус NIST SRE 2010 содержит 5479 записей телефонной речи 442 дикторов с возрастом от 20 до 70 лет. Все записи представлены на английском языке. Данные корпусов NIST SRE 2008 и 2010 не дублируются, метаданные корпусов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Метаданные корпусов NIST SRE 2008 и 2010

Корпус	Пол	Количество дикторов
NIST SRE 2008	М	412
	Ж	742
NIST SRE 2010	М	218
	Ж	224

Системы автоматического распознавания возраста диктора. Соревнование ComParE 2010 проводилось по двум направлениям: распознавание возраста диктора (4 класса) и пола диктора (3 класса) [2]. Участникам были предоставлены аудиозаписи корпуса aGender и набор из 450 признаков, полученных с помощью программного инструментария openSMILE [3, 4]. В качестве базового показателя оценки результатов использовалась точность (unweighted accuracy, UA). Организаторы предоставили результаты испытаний базовой системы, которая была основана на методе опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) с линейным ядром, которая показала значения точности на тестовом наборе данных для определения пола и возраста 81,21% и 48,91% соответственно, что в дальнейшем использовалось в качестве минимальной планки в рамках соревнования ComParE 2010. На валидационном наборе данных представленная система показала значения UA для определения пола и возраста 77,28% и 47,11% соответственно.

Лучший результат по определению возраста диктора на соревновании ComParE 2010 составил 52,88% [5]. Представленная система состояла из нескольких подсистем. В работе использовались акустические и просодические признаки. Система использовала смеси гауссовских распределений (Gaussian Mixture Model, GMM) и SVM в качестве классификатора. Для одной из систем улучшение составило 2% в сравнении с базовым решением. В результате слияния подсистем по распознаванию возраста и пола была получена точность 52,88% и 81,82% на валидационном наборе данных, на тестовом наборе – 52,35% и 83,14% соответственно.

После ComParE 2010 работы в этом направлении с использованием речевого корпуса aGender активно продолжались. Так в [6] был представлен метод автоматического определения возраста и пола диктора, который сочетает в себе несколько различных подходов. Три базовые подсистемы: GMM, основанная на мел-частотных кепстральных коэффициентах (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC); SVM, основанная на супервекторах GMM; SVM, основанная на 450 признаков, полученных с помощью программного инструментария openSMILE. В дополнение было предложено еще три подсистемы: SVM, который использовал супервектор апостериорных весовых коэффициентов универсальной фоновой модели (Universal Background Model, UBM); SVM на основе супервекторов GMM линейной регрессии с максимальным правдоподобием (Maximum Likelihood Linear Regression, MLLR); SVM, который был основан на контурах основного тона (pitch, F0), энергии и формант на уровне слога в речевых сегментах. Предложенные подсистемы продемонстрировали свою эффективность. Также в системе было проведено взвешенное объединение результатов представленных подсистем в одну систему. Точность составила 52,80% и 81,70% при распознавании возраста и пола соответственно.

В [7] в качестве признаков использовались *i*-вектора (identity vector, *i*-vector), полученные из 19 MFCC с производными первого и второго порядка. Для извлечения *i*-векторов использовался набор инструментов MATLAB MSR Identity Toolbox [8]. В данной работе *i*-вектора, размерность которых равна 400, объединялись с акустическими признаками. В работе использовались как классификационный, так и регрессионный подходы, основанные на SVM и методе наименьших квадратов (Least Squares Support Vector Regression, LSSVR) с радиально-базисной функцией ядра (Radial Basis Function, RBF). В представленном исследовании использовался набор инструментов LS-SVMlab. В качестве оценки регрессионного подхода использовалась средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE), которая составила 8,46. Точность системы при классификационном подходе в распознавании возраста совместно с полом составила 62,90%.

Глубокие нейронные сети (Deep Neural Network, DNN) также применялись как для извлечения признаков, так и для классификации. Так в [9] предлагается подход

преобразования существующего набора признаков (MFCC с производными первого и второго порядка) в более эффективный набор признаков (Transformed MFCC, T-MFCC), которые получаются с помощью DNN, которая состоит из нескольких скрытых слоев с небольшим количеством нейронов. В последнее время использование таких DNN с узкими местами (bottleneck, бутылочное горлышко) показало улучшенные результаты в автокодировщике для реконструкции входных признаков [10]. Данная архитектура (Bottleneck Feature Extractor, BNF) нейронной сети позволяет нелинейно уменьшить размерность входного вектора признаков. BNF строится из предварительно обученной DNN, в которой все слои над узким местом удаляются для получения BNF. В качестве классификатора использовалась DNN с 5 скрытыми слоями, по 1024 нейрона в каждом слое, за исключением слоя бутылочного горлышка, в котором было 39 нейронов. Точность системы, где в качестве признаков используются T-MFCC, составила 58,89%, с использованием обычных MFCC – 45,89%.

Существуют также системы, основанные на данных корпусов NIST SRE 2008 и 2010. В представленных корпусах речи в качестве метрики используется средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE) и коэффициент корреляции Пирсона (ρ). Возраст мужчин и женщин оценивается отдельно.

В [11] был представлен подход, основанный на i -векторах, с помощью которых моделируется каждое высказывание. В качестве базовых признаков использовались 20 MFCC с производными первого и второго порядка, на которых обучались GMM с 512 смесями для извлечения i -векторов. Для оценки возраста дикторов используется регрессионный подход, основанный на SVR, LSSVR и GMM. Средняя абсолютная ошибка при оценке возраста отдельно мужчин и женщин составила 7,44 и 7,87 при использовании LSSVR. При использовании GMM MAE – составила 6,17 и 6,71 при оценке возраста женщин и мужчин соответственно. В работе [12] Braun и Cerrato проводили ряд экспериментов по оценке возраста диктора людьми. Авторы пришли к выводу, что возраст диктора можно определить вне зависимости от того, знает ли слушатель язык диктора. Schotz рассматривал язык речи, как важный источник, влияющий на акустический анализ возраста диктора [13]. Он и соавторы проводили исследование, в котором при обучении системы использовались одни языки речи, а при тестировании и валидации – другие. В [11] проводилось аналогичное исследование, и были сделаны выводы, что при таких условиях производительность системы автоматического распознавания возраста снижалась. Кроме того, длина высказывания также влияет на оценку возраста диктора – производительность системы снижается, при уменьшении длины высказывания.

В [14] в качестве признаков использовались 12 MFCC с производными первого и второго порядка, из которых в дальнейшем с помощью GMM извлекались i -вектора. Для оценки возраста использовался регрессионный подход, который основан на GMM, SVR и искусственных нейронных сетях (Artificial Neural Network, ANN). Лучший результат MAE 5,49 и 6,35 при оценке возраста женщин и мужчин соответственно был достигнут с использованием ANN, которая состояла из двух слоев, количество нейронов варьировалось от 128 до 1024. Лучшая производительность была достигнута при количестве нейронов, равном 512. В связи с ограничением производительности, более сложные архитектуры нейронных сетей не использовались в данном исследовании. В данной работе также было разработано мобильное приложение для оценки возраста диктора.

В [15] использовалась архитектура, основанная на x -векторах. Архитектура такой системы представлена на рисунке.

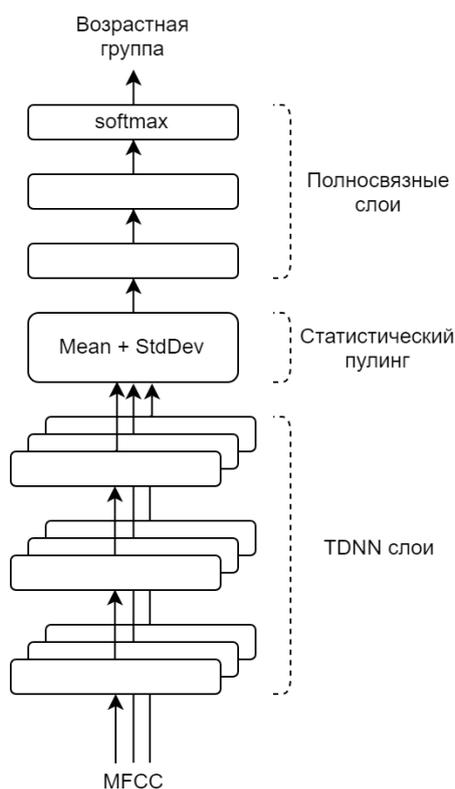


Рисунок. Архитектура нейронной сети, основанной на x -векторах

На вход данной архитектуры подается последовательность признаков переменной длины, результатом является представление высказывания фиксированной длины, полученной из слоя статистического пулинга (statistics pooling), который суммирует информацию по оси времени. Система состоит из DNN с несколькими слоями временной задержки (Time-Delay Neural Network, TDNN) и слоем статистического пулинга. TDNN обрабатывают входные данные на уровне кадра, захватывая небольшой временной контекст. К выходу последнего TDNN слоя применяется слой статистического пулинга, который среднее значение (mean) и стандартное отклонение (stddev) объединяет в один вектор вдоль временной оси. Затем полученный вектор проходит через полносвязные слои и, наконец, слой softmax выдает результат распознавания возраста. В качестве признаков использовались 23 MFCC. В данной работе данные NIST SRE 2008 использовались для обучения, а NIST SRE 2010 – для тестирования. MAE такой системы составила 4,92, отдельно для мужчин и для женщин MAE составила 5,78 и 4,23 соответственно. Предложенный подход сравнивался с i -векторами, MAE составила 6,54 и 5,12 для мужчин и женщин соответственно. При объединении i -векторов с x -векторами MAE составила 5,84 и 4,68 для мужчин и женщин соответственно.

Заключение. В ходе исследования можно сделать выводы, что такие наборы признаков, как мел-частотные кепстральные коэффициенты, коэффициенты линейного перцептивного предсказания, i -вектора, x -вектора, помогают достигать системам автоматического распознавания возраста диктора по голосу высокой точности. Также признаки, извлеченные из BNF, показали хорошую производительность. Также высокая точность обусловлена такими классификаторами, как GMM, SVM, DNN.

Из аналитического обзора существующих подходов к автоматическому распознаванию возраста диктора по голосу видно, что признаки на основе i -векторов и глубокие нейронные сети дают лучшие результаты в области автоматического распознавания возраста диктора по голосу.

Литература

1. Burkhardt F., Eckert M., Johannsen W., Stegmann J. A database of age and gender annotated telephone speech // Proceedings of 7th International Conference on Language Resources and Evaluation. – 2010. – P. 1562–1565.
2. Schuller B., Steidl S., Batliner A., Burkhardt F., Devillers L., Müller C., Narayanan S. The INTERSPEECH 2010 paralinguistic challenge // Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Speech Communication Association. – 2010. – P. 2794–2797.
3. Eyben F., Wöllmer M., Schuller B. openSMILE - the Munich versatile and fast open-source audio feature extractor // Proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference. – 2010. – P. 1459–1462.
4. Eyben F., Weninger F., Gross F., Schuller B. Recent developments in openSMILE, the Munich open-source multimedia feature extractor // Proceedings of the 2013 ACM Multimedia Conference. – 2013. – P. 835–838.
5. Kockmann M., Burget L., Cernocký J. Brno University of Technology system for Interspeech 2010 Paralinguistic Challenge // Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Speech Communication Association. – 2010. – P. 2822–2825.
6. Li M., Han K., Narayanan S. Automatic speaker age and gender recognition using acoustic and prosodic level information fusion // Computer Speech & Language. – 2013. – V. 27. – № 1. – P. 151–167.
7. Równicka J., Kacprzak S. Speaker Age Classification and Regression Using i-Vectors // Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH 2016): Understanding Speech Processing in Humans and Machines. – 2016. – P. 1402–1406.
8. Sadjadi S., Slaney M., Heck L. MSR identity toolbox v1.0: A Matlab toolbox for speaker-recognition research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/0776/190ac55b4966767762458b2bae9143b720be.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
9. Qawaqneh Z., Abumallouh A., Barkana B. Deep Neural Network Framework and Transformed MFCCs for Speaker's Age and Gender Classification // Knowledge-Based Systems. – 2016. – V. 115. – P. 5–14.
10. Hinton G., Salakhutdinov R. Reducing the dimensionality of data with neural networks // Science. – 2006. – V. 313. – P. 504–507.
11. Bahari M. Automatic speaker characterization; identification of gender, age, language and accent from speech signals [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pdfs.semanticscholar.org/9ca5/a9228023714c9b486b62b943aa0c0a698ead.pdf?_ga=2.37409632.1373800880.1572001522-1072790387.1570707202 (дата обращения: 06.03.2019).
12. Braun A., Cerrato L. Estimating speaker age across languages // Proc. ICPHS. – 1999. – V. 99. – P. 1369–1372.
13. Schotz S. Perception, analysis and synthesis of speaker age [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/4908673/1624468.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
14. Silnova A. Exploring i-Vector Based Speaker Age Estimation // Master's Thesis. – 2015. – P. 42.
15. Ghahremani P., Sankar Nidadavolu P., Chen N., Villalba J., Povey D., Khudanpur S., Dehak N. End-to-end Deep Neural Network Age Estimation // Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Speech Communication Association. – 2018. – P. 277–281.

Мартюшов Михаил Валентинович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: martyushovmv@gmail.com

Лукьянов Николай Михайлович

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: nikolay.lukianov@gmail.com

УДК 004.738.5**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАРАДИГМЫ СОЦИАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ****Мартюшов М.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Лукьянов Н.М.**

Интернет вещей – это новая парадигма, объединяющая Интернет и физические объекты, относящиеся к различным областям деятельности, таким как домашняя автоматизация, промышленное производство, здравоохранение и мониторинг окружающей среды. В настоящее время активно обсуждается концепция, объединяющая в себе сферу интернета вещей и социальные сети. Есть вероятность, что в ближайшем будущем интеграция этих двух сфер позволит получить немало важных преимуществ.

Ключевые слова: Интернет, интернет вещей, социальные сети, SIoT, сетевые устройства, сервисы и услуги IoT.

Идея о том, что сближение миров «интернета вещей» и «социальных сетей», которые до сих пор в основном рассматривались по отдельности как научными, так и промышленными сообществами, возможна или даже целесообразна и сейчас довольно быстро набирает обороты. Это связано с растущим осознанием того, что парадигма «Социального интернета вещей» (SIoT) несет в себе много потенциально положительных последствий для повседневной жизни людей.

В научной литературе все чаще стали рассматриваться предположения о том, что интернет вещей и социальные сети – это два мира, которые в действительности не так далеки друг от друга, как можно подумать. Это относится, например, к работам [1] и [2]. Более конкретно, в работе [1] авторы представляют будущее Интернета в форме повсеместно распространенной архитектуры интернета вещей, которая напоминает модель структуры социальной организации. Эта работа дает исчерпывающий обзор ожидаемой структуры сети интернета вещей. Однако в ней не рассматривается возможность использования характеристик социальных сетей в интернете вещей. Аналогично, исследовательская деятельность, о которой сообщается в работе [2], предполагает, что, социальные сети могут быть построены на основе интернета вещей, и для этого имеет смысл исследовать отношения и эволюцию объектов в локальной сети. Наконец, сходимость интернета вещей и социальных сетей была рассмотрена в [3]. В этой работе рассматривается возможность человека делиться услугами своих интеллектуальных устройств, либо со своими друзьями, либо со своими вещами. В научной статье [3] эталонная социальная сеть рассматривается как социальная сеть людей, которая используется вещами как инфраструктура для рекламы услуг, их обнаружения и доступа. Предлагается принять во внимание такое видение интернета

вещей, в котором объекты должны взаимодействовать спонтанно, чтобы предлагать людям дополнительные услуги.

Важный шаг в исследовании вопроса был сделан в работе [4]. Там были исследованы последствия интеграции между интернетом вещей и социальными сетями и описано несколько возможных интересных применений технологии. Однако в этой статье не описывается, как объекты должны устанавливать социальные отношения, и не предлагается какое-либо решение относительно требуемой архитектуры и протоколов.

Наконец, в научной статье [5] были проанализированы социальные атрибуты, которые отражают социальные отношения узлов. Существует своего рода количественная оценка социальных отношений между мобильными узлами, вычисляемая с помощью таких параметров, как коэффициент взаимодействия и коэффициент расстояния. Кроме того, авторы изучают поведение мобильных узлов, применяя типичную теорию социальных сетей. Однако в работе [6] предполагается, что существует взаимно-однозначное соответствие между людьми и объектами. Напротив, в интернете вещей несколько объектов могут переноситься одним и тем же лицом, в то время как большая часть объектов будет оставаться статичной или встроенной в среду.

Как логическое следствие описанных выше исследований, в последнее время название «Социальный интернет вещей» стало появляться в официальных документах и опубликованных статьях. Это происходит либо в форме простого изложения целей, которые должны быть достигнуты в рамках деятельности по стратегическим исследовательским программам [1], либо в форме интересных попыток исследовать социальные возможности строительных блоков интернета вещей [2].

Однако в цитируемой литературе все еще отсутствуют некоторые основные аспекты, которые следует учитывать для полного достижения реальных «социальных сетей из интеллектуальных устройств». Фактически, по аналогии с социальными сетями для людей, сеть SIoT, по-прежнему, нуждается:

- в определении понятия социальных отношений между объектами;
- в разработке эталонной архитектурной модели, реализующей социальный интернет вещей на основе заданных межобъектных отношений;
- в анализе структуры социальной сети, которая будет строиться из взаимодействия объектов на основе определенных социальных отношений.

Только тщательное исследование этих трех проблем позволит эффективно распространить использование моделей, предназначенных для изучения социальных сетей людей на социальные сети вещей. Определение новой парадигмы SIoT и начальные исследования соответствующих социальных структур были предметом первоначальных исследований в работе [3]. В этой статье была предложена эмбриональная идея архитектуры, начиная с соответствующего пересмотра тех, которые используются основными существующими веб-сайтами социальных сетей.

Стоит рассматривать идею того, что в будущем вещи будут связаны с услугами, которые они могут предоставлять. Таким образом, в рамках данной социальной сети объектов ключевой задачей будет публикация информации/услуг, их нахождение и обнаружение новых ресурсов для более эффективного внедрения услуг, в том числе посредством информирования об окружающей среде. Это может быть достигнуто путем навигации по социальной сети «дружественных» объектов, вместо того чтобы полагаться на типичные инструменты интернет-обнаружения, которые не могут масштабироваться до обслуживания триллионов устройств.

Данные модели взаимодействия между людьми непосредственно применимы к возможному социальному поведению типичных объектов, которые реализуют распространенные приложения. Нет сомнений в том, что в будущем многие приложения и службы будут связаны с группами объектов, индивидуальность которых

будет «принесена в жертву» ради общего интереса по предоставлению услуг пользователям (как, например, в случае приложений, включающих использование речевого интеллекта). В равной степени верно и то, что многие приложения будут реализовывать взаимодействие между объектами, которое будет выполняться параллельно, т.е. каждый объект будет являться носителем своего конкретного сервиса для сообщества. Кроме того, уже доступны несколько сервисов, которые включают использование нескольких объектов, которые устанавливают асимметричные отношения (как, например, в сервисах, основанных на сетях датчиков/исполнительных элементов Bluetooth, Zigbee, 6LoWPAN, или системах идентификации радиочастотной идентификации (RFID)). В других сервисах объекты обуславливают «дружеские» отношения по достижению взаимной выгоды (например, в случае кооперативных услуг, предназначенных для снижения энергопотребления беспроводных устройств).

Стоит отметить, что у технологии интернета вещей есть ряд проблем, которые влияют на аспекты использования устройств и подключения их в сеть. Одну из основных проблем можно описать так: нет единого стандарта и наработанных практик беспрепятственного и устойчивого взаимодействия различных устройств. Это приводит к усложнению взаимодействия субъектов сетей интернета вещей, что также негативно влияет на безопасность. Смежным вопросом, который заслуживает отдельного внимания, является интеллектуальная собственность на решения и протоколы, относящиеся к устройствам интернета вещей, а также задача обеспечения конкуренции в рассматриваемой сфере [7].

Объединение устройств интернета вещей в особые социальные сети могло бы частично решить проблему безопасности, поскольку отслеживать все действия внутри сети и вести учет истории выполняемых операций стало бы в разы проще. Кроме того, это может позволить расширить возможности поиска необходимых услуг и устройств.

Из анализа возможных типологий сервисов и приложений, построенных на предполагаемых принципах «социального интернета вещей», можно также вывести некоторые базовые отношения, на основе которых будут определены профили отношений в архитектуре эталонной системы. Виды отношений можно кратко представить следующим образом:

- «Родительские отношения объектов» (POR): устанавливаются среди объектов, принадлежащих к одной и той же производственной партии, т.е. обычно представляют собой однородные объекты, созданные в один и тот же период одним и тем же производителем;
- «Отношения объектов совместного размещения» (C-LOR): устанавливается среди объектов (либо однородных, либо гетерогенных), используемых всегда в одном и том же месте (как в случае датчиков, исполнительных механизмов и дополненных объектов, используемых в одной и той же среде, такой как умный дом или умный город). Стоит заметить, что в некоторых случаях такой вид отношений создается между объектами, которые вряд ли будут взаимодействовать друг с другом для достижения общей цели. Тем не менее, они, по-прежнему, полезны для наполнения сети «короткими» ссылками;
- «Отношения объектов для совместной работы» (C-WOR): устанавливается всякий раз, когда объекты сотрудничают, чтобы обеспечить общее приложение интернета вещей (как, например, в случае объектов, которые сопрягаются для совместного использования и взаимодействия в рамках таких приложений как экстренное реагирование, телемедицина и т.д.);
- «Владельческие отношения объектов» (OOR): устанавливается среди разнородных объектов, принадлежащих одному пользователю (мобильные телефоны, музыкальные плееры, игровые приставки и т.д.);

– «Социальные отношения объектов» (SOR): устанавливается, когда объекты вступают в контакт, время от времени или непрерывно, в связи с тем, что их владельцы контактируют друг с другом в течение своей жизни (например, устройства и датчики, принадлежащие друзьям, одноклассникам, попутчикам, коллегам).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективы развития у парадигмы «Социального интернета вещей» (SIoT) есть и работа в этом направлении в ближайшем будущем будет проводиться еще активнее.

Литература

1. Guinard D., Fischer M., Trifa V. Sharing using social networks in a composable web of things [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vs.inf.ethz.ch/publ/papers/dguinard-sharin-2010.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Ning H., Wang Z. Future internet of things architecture: Like mankind neural system or social organization framework? // *Communications Letters, IEEE*. – 2014. – V. 15. – P. 461–463.
3. Jian A., Xiaolin G., Wendong Z., Jinhua J. Nodes social relations cognition for mobility-aware in the internet of things // *Proc. of the 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*. – 2011. – P. 687–691.
4. Atzori L., Iera A., Morabito G. SIoT: Giving a social structure to the internet of things // *IEEE Communications Letters*. – 2014. – V. 15. – № 11. – P. 1193–1195.
5. Kosmatos E.A., Tselikas N.D., Boucouvalas A.C. Integrating rfids and smart object into a unified internet of things architecture // *Advances in Internet of Things*. – 2011. – V. 1. – P. 5–12.
6. Ding L., Shi P., Liu B. The clustering of internet, internet of things and social network // *Proc. of the 3rd International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*. – 2010. – P. 417–420.
7. Правовые аспекты Интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unicongress.ru/wp-content/uploads/iot16/pz-3.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

Машина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № Р3110

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mashina.katherina@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.91**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПАЦИЕНТО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ****Машина Е.А.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Работа выполнена в рамках инициативных разработок по проекту PersonalMedHelper.beginning, осуществляемому при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative.

В работе рассмотрены особенности и основные принципы создания пациенто-ориентированных телемедицинских систем, направленных на предоставление информационной поддержки непосредственно пациенту и его близким. Изложены основные подходы к предварительной обработке специализированных медицинских данных, в результате которых они станут понятийно доступны лицам, не имеющим медицинского образования.

Ключевые слова: информационная система, телемедицина, пациенто-ориентированная система, доступный тезаурус, муниципальные медицинские волонтеры.

Целью проведения работ, описываемых в настоящей работе, является определение основных принципов и особенностей создания информационных пациенто-ориентированных телемедицинских систем на базе структурного анализа потребностей в реализации подобных продуктов.

На сегодняшний день телемедицина является одним из наиболее динамично развивающихся рынков [1]. Дополнительным фактором, повышающим востребованность телемедицинских технологий, являются уникальные географические условия нашей страны, большие расстояния, высокая концентрация населения в европейской части и небольшая плотность проживания за Уралом [2].

Несмотря на все возрастающий дефицит современных отечественных телемедицинских решений, ощущаемых практически во всех сферах отечественного здравоохранения [3], наиболее остро стоит вопрос создания системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров, занимающихся оказанием доврачебной медицинской помощи населению «на местах».

Необходимость создания таких пациенто-ориентированных информационных систем, направленных на использование волонтерами, осуществляющими доврачебную и первичную медицинскую помощь в удаленных населенных пунктах, объясняется существующей низкой транспортной доступностью многих сельских поселений.

Для того чтобы повысить доступность высокотехнологической медицинской помощи для населения удаленных и малонаселенных регионов Российской Федерации начал осуществляться проект создания семейства телемедицинских продуктов

PersonalMedHelper (PMH), ориентированных на оказание информационной поддержки непосредственно пациенту.

В связи с тем, что создание подобных пациенто-ориентированных телемедицинских систем сегодня повсеместно находится на начальной стадии [4], создателям подобных решений приходится самостоятельно решать массу концептуальных проблем из различных отраслей знаний. Так к вопросам, требующим первичной проработки относятся:

- анализ успешного опыта создания подобных информационных систем;
- изучение существующего правового поля использования пациенто-ориентированных телемедицинских систем;
- исследование путей создания специализированного медицинского контента, ориентированного на использование неквалифицированным пользователем;
- анализ применимости методов создания систем машинного обучения, позволяющих автоматизировано накапливать, систематизировать обрабатывать для предоставления пользователям медицинские данные, необходимые для принятия решений;
- изучение существующих и перспективных технико-технологических методов осуществления телемедицинских практик, возможных к включению в создаваемую систему.

Для решения такого количества мультидисциплинарных вопросов в 2018 году была создана межуниверситетская инициативная группа PMH.Team, в которую вошли студенты Университета ИТМО, МГУ и СПбГУ, ведущие разработку информационных продуктов семейства PersonalMedHelper.

В результате предварительного анализа данных были определены основные подходы к проведению работ по созданию семейства пациенто-ориентированных телемедицинских продуктов семейства PersonalMedHelper, а именно:

- использование информационного пространства Open.PMH, создаваемого на основе принципов построения открытых систем;
- модульный принцип создания, позволяющий осуществление «бесшовного» процесса трансформации создаваемого продукта на основе расширения его функционала вновь разрабатываемыми на основе открытых интерфейсов модулями;
- использование регулируемого по тезаурусу (в зависимости от квалификации конечного пользователя) медицинского контента.

Основным принципом, положенным в основу разработки пациенто-ориентированного телемедицинского продукта, стала открытость разработки. Данная разработка основана на модульном принципе концепции эксплуатации системы PMH.CONOPS, предназначенной для пользователя PersonalMedHelper и содержащей информацию о рабочих характеристиках системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров с точки зрения пользователя, описывающая один или несколько взаимосвязанных сценариев эксплуатации системы. Отличительной особенностью созданной PMH.CONOPS является то, что она представляет собой суперпозицию базового (PMH.CONOPS.basic) и специализированного (PMH.CONOPS.medvolunteer) компонентов. Подобное двухуровневое решение позволяет использовать базовый компонент (PMH.CONOPS.basic) в качестве основы для реализации других решений PMH-семейства, которые уже имеются в текущих планах разработки межуниверситетской рабочей группы PMH.Team.

Однако основным методологическим вопросом, связанным с созданием пациенто-ориентированных телемедицинских систем, является отсутствие специально адаптированного медицинского контента, сочетающего в себе исчерпывающую предметную глубину предоставляемой медицинским волонтерам информации с тем,

что ее реципиенты не обладают специализированным медицинским образованием. Путь «механического упрощения» пользовательского контента не представляется логичным, поскольку он может вести к снижению общего качества предоставляемой информации.

Для того чтобы создать специализированный медицинский контент, пригодный для использования в пациенто-ориентированных телемедицинских системах, предназначенных для неквалифицированного пользователя, предполагается предварительная адаптационная обработка специализированного медицинского контента, основанная на использовании модульного принципа построения тезауруса контента.

При создании специализированного гармонизированного информационно-справочного медицинского контента, ориентированного на использование «непрофессионалом» в рамках создания системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров, любой контент-юнит проектируется состоящим из базового (PMH.DBBaseUnit) и специализированного (PMH.DSpecUnit) компонентов, позволяющих выделить общемедицинскую (PMH.DBBaseUnit), а значит, и применимую и в других телемедицинских продуктах РМН-семейства часть, и часть медицинского алгоритма, непосредственно ориентированного на медицинского волонтера, оказывающего доврачебную помощь.

Еще одним важным принципом, изначально закладываемым в проектируемую пациенто-ориентированную телемедицинскую систему, предназначенную для использования медицинскими волонтерами, является принцип «одного окна», предполагающий присутствие в системе всей полноты необходимой информации по необходимым протоколам как доврачебного обслуживания, так и по сопутствующим направлениям.

Причем первичными источниками подобной справочной информации (после прохождения процедуры необходимой адаптации) при создании информационной базы системы поддержки муниципальных медицинских волонтеров может являться множество разнообразных документов, содержащихся в форме:

- автоматизированных баз медицинской, фармацевтической, экономической и другой информации;
- электронных аналогов медицинской документации (историй болезни, медицинских карт амбулаторных больных, карт вызова скорой медицинской помощи и т.п.);
- информационных систем автоматизации рабочих мест врачей и других медицинских работников;
- электронных изданий медицинской научной и учебной литературы;
- экспертных и тому подобных систем.

Возможность получения медицинским волонтером избыточного объема систематизированной и понятной ему информации по предмету интереса закладывается в РМН для того, чтобы использовать информационную систему и как средство повышения уровня компетенции использующих ее реципиентов.

Дополнительно к необходимым особенностям пациенто-ориентированных телемедицинских систем следует отнести необходимость реализации в их структуре обязательного модуля предварительной обработки информации, генерируемой при использовании системы пользователем. Объясняется это тем, что, во-первых, на основе анализа пользовательских (в рассматриваемом случае – волонтерских) запросов возможно достаточно точно оценить уровень его квалификации, и на основании этого последующую информацию представлять с учетом этого уровня, и во-вторых, система будет позволять накапливать большие объемы фактографической информации о проводимых доврачебных действиях «на местах». Подобная информация очень важна,

поскольку описывает данные о медико-санитарной обстановке в муниципалитетах, которая практически никогда не попадает в региональную и федеральную статистику, поскольку реализуется и потребляется исключительно в пределах удаленных муниципалитетов. Но собранная информация, перед тем как быть переданной на региональный и федеральный уровень, обязательно должна пройти предварительную обработку для учета влияния фактора недостаточной специальной медицинской квалификации пользователя, ведущего учет.

На основании вышеизложенного можно сделать два основных вывода:

- создаваемые пациенто-ориентированные телемедицинские системы будут очень востребованы на рынке информационных продуктов медицинской направленности в первую очередь в связи с чрезвычайно большим объемом рынка [5], так как в конечном итоге они имеют шанс действительно стать персональными медицинскими ассистентами;
- пациенто-ориентированные телемедицинские информационные системы, т.е. ориентированные на помощь непосредственно пациенту, а не врачу, имеют ряд существенных особенностей по сравнению традиционными информационными системами, используемыми квалифицированным медицинским персоналом, и эти особенности обязательно должны быть учтены при проектировании персональных медицинских ассистентов.

Описанные результаты будут практически использованы при создании системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper.

Литература

1. Штыкова Н.Н. Сущность и проблемы реализации электронной медицины (на примере Владимирской области) // Медицинское право. – 2014. – № 5. – С. 22–27.
2. Черкашина Т.Ю. Дифференциация населения России в получении медицинских услуг: значение индивидуальных и территориальных факторов // Регион: экономика и социология. – 2014. – № 11. – С. 162–182.
3. Руденко М.Н., Гаухберг Л.Д. К вопросу об оценке эффективности системы здравоохранения // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – № 17. – С. 57–64.
4. Сисигина Н. Развитие инфраструктуры здравоохранения в 2014–2016 гг. // Экономическое развитие России. – 2018. – № 5. – С. 68–72.
5. Андрющенко Г.И., Потехина Е.В. Экономические предпосылки развития рынка услуг здравоохранения в Российской Федерации // Социальная политика и социология. – 2015. – Т. 14. – № 5. – С. 6–14.

Машина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № P3110

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mashina.katherina@gmail.com

Баркалов Максим Максимович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, студент группы № M3305

Направление подготовки: 09.03.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: maksimbark@corp.ifmo.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.85: 519.816

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ АНАЛИЗА МАССИВОВ ФАКТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ,
ГЕНЕРИРУЕМЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАЦИЕНТО-
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ****Машина Е.А., Баркалов М.М.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Работа выполнена в рамках инициативных разработок по проекту PersonalMedHelper.beginning, осуществляемому при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative.

В работе рассмотрены вопросы сравнительного анализа возможностей и особенностей применения методов машинного обучения при первичной обработке массивов фактографической информации, генерируемой пациенто-ориентированными телемедицинскими системами с целью дальнейшего использования обработанных статистических данных в информационных системах региональных медицинских учреждений.

Ключевые слова: информационная система, пациенто-ориентированная телемедицинская система, машинное обучение, обработка фактографических данных, алгоритм, логистическая регрессия.

В связи с тем, что значительная часть населения Российской Федерации (особенно за Уралом) проживает в труднодоступных местностях, существенно удаленных от центров оказания квалифицированной медицинской помощи [1], целесообразно привлекать медицинских волонтеров. Для повышения эффективности их работы в настоящий момент авторами статьи разрабатывается система информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper.beginning (PMH), ориентированная на использование лицами (уполномоченными на местах), не имеющими специального медицинского образования. Помимо предоставления муниципальным медицинским волонтерам адаптированной информации по оказанию первой доврачебной помощи, уходу за хроническими пациентами, действиями во время чрезвычайных ситуаций и оказания первичной санитарной помощи, предполагается, что создаваемая информационная

система поддержки медицинских волонтеров РМН будет вести учет предоставленных населению доврачебных услуг, а также собирать и подвергать первичной обработке массивы фактографических данных, полученных исходя из информационных запросов медицинских волонтеров и специально заполняемых ими отчетных форм.

Подобного рода информация о предоставленной доврачебной медицинской помощи «на местах» очень важна, поскольку описывает данные о медико-санитарной обстановке в муниципалитетах, которая практически никогда не попадает в региональную и федеральную статистику, поскольку реализуется и потребляется исключительно в пределах удаленных муниципалитетов [2]. Однако без предварительной обработки использовать подобные фактографические массивы не представляется возможным, поскольку уполномоченные медицинские добровольцы не обладают специализированными знаниями, и получаемые от них данные не могут гарантировать случайные выбросы и регулярные ошибки, диктуемые отсутствием специализированных знаний. Поэтому, чтобы не направлять в региональные и федеральные статистические базы такую «зашумленную» информацию, необходима ее предварительная обработка, учитывающая накапливаемую системой РМН информацию о квалификации пользователя (уполномоченного муниципального волонтера доврачебной помощи).

Одним из наиболее перспективных направлений автоматизированной обработки больших объемов данных являются методы, основанные на применении машинного обучения. В настоящее время уже разработано достаточно большое число подобных высокоэффективных алгоритмов. Однако следует иметь в виду, что выбор необходимого для использования алгоритма зависит от объема, природы, качества данных, а также и от того, как обработанные данные используются.

Поэтому, приступая к выбору наиболее приемлемого алгоритма обработки массивов фактографических данных, генерируемых при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем, в первую очередь необходимо учитывать следующее:

- недостаточную квалификацию применяющих подобные системы муниципальных медицинских волонтеров;
- факт того, что в качестве используемых и генерируемых данных используются, по большей части, классификационные признаки, позволяющие лицам, использующим систему, выбрать тот или иной протокол оказания доврачебной медицинской помощи.

Подобные ограничения на характер входных данных следует учитывать при выборе метода получения и использования информации [3].

Во-первых, данные, используемые для контролируемого обучения подобных систем, необходимо будет каким-либо образом маркировать вручную, выбирая исключительно бесспорные варианты, поскольку пользователь, не обладающий необходимой медицинской квалификацией, не в силах самостоятельно учесть «недостаточно коррелируемые результаты», что делает этот процесс весьма трудоемким. Во-вторых, получить достаточно большой и полный набор данных для обучения по «бесспорным вариантам» может быть трудно, информация может быть «грязной», разрозненной, храниться в разных приложениях и форматах и содержать ошибки, а низкое качество данных на входе приведет к столь же низкому качеству на выходе (принцип *garbage in – garbage out*). В-третьих, результаты, полученные с использованием больших сложных моделей, может оказаться трудно объяснить в человеческих терминах, а регуляторов часто интересует, по каким критериям было принято то или иное решение, если речь идет о столь непосредственно затрагивающей безопасность граждан области как здравоохранение. В-четвертых, трансфер результатов обучения пока слабо развит, и большинство алгоритмов испытывают

проблемы с переносом знаний, полученных в одной ситуации в другую. В-пятых, исходный набор данных и алгоритмы, заложенные человеком, могут быть сознательно или неосознанно искажены (что может быть особенно заметно для систем, пользователями которых могут являться люди с недостаточной квалификацией).

По результатам предварительно проведенного сравнительного анализа алгоритмов машинного обучения, в качестве наиболее успешно противостоящих указанным выше вызовам, можно назвать алгоритмы, специализирующиеся на многоклассовой классификации для прогнозирования той или иной категории, наиболее подходящие для решения задачи предварительной обработки данных, генерируемых при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем, а именно:

- логистическая регрессия (Logistic Regression) – функция вероятности принадлежности значения к классу;
- лес деревьев решений (Decision Forest) – создание множества деревьев выбора и дальнейший выбор наилучшего;
- джунгли деревьев решений (Decision Jungle) – усложненный вариант леса деревьев, в котором допускается слияние деревьев;
- нейронная сеть (Neural Network) – использование набора взаимосвязанных слоев, на которых происходит обработка данных;
- один против всех (One-vs-All) – введение «меры уверенности» в выборе той или иной категории.

С учетом вышеизложенных особенностей массивов фактографической информации, генерируемой при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем, оптимальным для решения поставленной задачи является логистическая регрессия [4], являющаяся одним из статистических методов классификации с использованием линейного дискриминанта Фишера.

В отличие от обычной регрессии в способе логистической регрессии не производится тем или иным образом предсказание значения числовой переменной, основываясь на выборке исходных значений данных. Вместо этого значением функции является вероятность того, что данное исходное значение принадлежит определенному классу. В связи с тем, что выбор алгоритма оказания медицинской помощи можно отнести к тому или иному классу, то пространство исходных значений решения в каждом рассматриваемом случае может быть разделено линейной границей на две области, соответствующие классам. При этом указанная линейная граница задается в зависимости от исходных данных, имеющих для рассмотрения, а механизм обучения логистической регрессии при этом старается максимизировать среднее значение вероятности того, что точка обучающей выборки классифицируется моделью правильным образом.

На основании изложенного могут быть сделаны следующие выводы:

- информация, генерируемая муниципальными медицинскими волонтерами при использовании информационной системы поддержки и основывающаяся на их пользовательских запросах и результатах анамнеза их действий, представляет большой интерес для получения специализированных медицинских статистических данных;
- в связи с низкой квалификацией медицинских волонтеров, использующих специализированные средства информационной поддержки своей деятельности, использование накопленных данных без предварительной обработки невозможно, поскольку генерируемые информационные массивы содержат большое число (в том числе систематических и персонифицированных) ошибок;
- учитывая особенности генерируемой системами поддержки муниципальных медицинских волонтеров информации, предварительную обработку генерируемых

массивов фактографических данных представляется наиболее целесообразным обрабатывать применяя статистические методы классификации с использованием линейного дискриминанта Фишера.

Описанные в настоящей работе результаты будут практически использованы при создании аналитического модуля системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper.beginning, работы над которой ведутся в настоящее время инициативной междууниверситетской рабочей группой, в состав которой в настоящее время входят студенты МГУ, СПбГУ и Университета ИТМО.

В настоящее время работы по созданию PersonalMedHelper.beginning ведутся при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative, предоставленного междууниверситетской студенческой инициативной рабочей группе.

Литература

1. Андрющенко Г.И., Потехина Е.В. Экономические предпосылки развития рынка услуг здравоохранения в Российской Федерации // Социальная политика и социология. – 2015. – Т. 14. – № 5. – С. 6–14.
2. Лепехина Т.Л., Пепеляева А.В. Анализ взаимодействия формальных и неформальных правил в формировании института здоровьесбережения // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – № 15. – С. 50–59.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. – 1104 с.
4. Shalev-Shwartz S., Ben-David S. Understanding Machine Learning from Theory to Algorithms. – Cambridge University Press, 2014. – 449 p.

Машина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № Р3110

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mashina.katherina@gmail.com

Бейлин Максим Тимурович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий, студент группы № К3320

Направление подготовки: 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи

e-mail: icevenom98@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 614.2: 004.91**АНАЛИЗ НОРМАТИВОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ОКАЗАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ДОВРАЧЕБНОЙ ПОМОЩИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ МУНИЦИПАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ВОЛОНТЕРОВ, РАБОТАЮЩИХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ****Машина Е.А., Бейлин М.М.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Работа выполнена в рамках инициативных разработок по проекту PersonalMedHelper.beginning, осуществляемому при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с анализом потребностей в специальном технологическом обеспечении волонтеров, осуществляющих доврачебную помощь с использованием системы информационной поддержки в зависимости от территориальных особенностей регионов, а также предложен возможный вариант решения логистической задачи оснащения подобных муниципальных бригад быстрого реагирования.

Ключевые слова: информационная система, доврачебная помощь, материально-техническое оснащение, качество линий связи.

Для решения задачи оптимального технологического оснащения муниципальных волонтеров, оказывающих доврачебную медицинскую помощь в территориально-удаленных районах с использованием автоматизированных систем информационной поддержки, необходимо проведение предварительного анализа нормативов на оказание подобного рода услуг с учетом решения логистической задачи быстрого реагирования, а так же технологических возможностей автоматизированного информационного сопровождения их деятельности.

На основании анализа статистических данных [1] можно заключить, что необходимый перечень медицинских услуг в ряде случаев не может быть предоставлен в полном объеме всем жителям страны не столько в связи с загруженностью больниц, но и из-за трудной физической доступности больниц и лечебных учреждений в малонаселенных районах, проявляющейся особенно остро в сельской местности [2].

Согласно существующим нормативам оказания медицинских услуг неотложная медицинская помощь должна быть оказана в течение 120 мин, экстренная – в течение – 20 мин, специализированная – в течение 180 мин. Однако большие расстояния и совокупность климатогеографических особенностей некоторых регионов приводит к практически повсеместным срывам указанных нормативов в сельской местности. В связи с этим согласно анализу статистических данных Минздрава Российской Федерации [3]:

- 63% сельских жителей вынуждены самостоятельно обращаться за медицинской помощью в город;
- число фельдшерско-акушерских пунктов в последние годы сократилось более чем на 5 тысяч;
- населенные пункты, в которых проживает менее ста человек, фактически оказались без медицинской помощи – первую медицинскую помощь в них должны теперь оказывать уполномоченные домовые хозяйства;
- 17,5 тысяч населенных пунктов не имеют никакой медицинской инфраструктуры, из них в 11 тысячах – до ближайшего врача более 20 км;
- в 35% тех населенных пунктов, где нет медпомощи, также отсутствует и общественный транспорт;
- в регионах с низкой плотностью населения, таких как Камчатский и Приморский край, Омская область, вообще нет мобильных бригад.

Одним из вариантов решения проблемы быстрого реагирования на обращения пострадавших и заболевших граждан и оказания качественной медицинской помощи является разработка комплексного решения поддержки деятельности муниципальных медицинских добровольцев, осуществляющих доврачебную помощь «на местах» и привлечение граждан на волонтерскую службу [4].

Согласно результатам анализа информационных потребностей уполномоченных домохозяйств, наиболее востребованными темами обращений за первичной доврачебной помощи в территориально удаленных муниципалитетов являются: обострения хронических, инфекционных и иных заболеваний, вопросы, связанные с поддержкой ухода за пациентами, имеющими хронические заболевания, оказание первичной доврачебной помощи при несчастных случаях и чрезвычайных ситуациях.

При решении логистической задачи доступности подобного рода волонтерских услуг установлено, что оборудовать полным комплектом материально-технических и информационных средств центр поддержки муниципальных медицинских волонтеров следует в количестве один комплект на 700–800 жителей. Причем в первую очередь необходимо внедрить подобные комплекты материально-технического снабжения (включающие минимальный набор медицинского снабжения и оборудования, а также вычислительно-коммуникативных средств, обеспечивающих доступ муниципальным медицинским волонтерам к специализированной информационной среде, осуществляющей их поддержку) в наиболее транспортно-труднодоступных регионах, к которым относятся удаленные от крупных населенных пунктов села, деревни, поселения на севере страны и другие области с тяжелыми погодными условиями [5].

Помимо этого результаты анализа показали, что в регионах с наибольшей степенью востребованности услуг волонтеров, оказывающих доврачебную помощь с применением удаленных информационных систем поддержки их деятельности, не всегда обеспечивается необходимый уровень качества связи. В связи с этим информационная система поддержки муниципальных медицинских волонтеров, осуществляющих доврачебную помощь населению должна включать опции, позволяющие осуществление ее функций при неустойчивых соединениях и при полном отсутствии связи.

Таким образом, в результате проведенных работ можно сделать следующие выводы о том, что исходя из существующих нормативов оказания первичной доврачебной помощи среднестатистическая норма обеспечения муниципальных медицинских волонтеров полным комплектом оборудования, обеспечивающего поддержку работ с использованием специализированных информационных систем, должна производиться из расчета одного комплекта на 700–800 жителей. А автоматизированная информационная система поддержки медицинских волонтеров должна помимо online режима поддерживать и автономный режим удаленной работы (offline). Причем создание информационной системы поддержки волонтеров, осуществляющих первичную доврачебную медицинскую помощь «на местах» целесообразно, поскольку приведет к улучшению качества медицинского обслуживания в территориально удаленных от стационарных точек оказания медицинской помощи.

Полученные результаты работ будут использованы при создании уточненной редакции функциональных требований к системе поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper, разработка которой ведется совместной инициативной рабочей группой студентов Университета ИТМО, МГУ и СПбГУ.

Литература

1. Россия в цифрах. 2018: Крат. Стат. Сб./Росстат. – М., 2018. – 522 с.
2. Черкашина Т.Ю. Дифференциация населения России в получении медицинских услуг: значение индивидуальных и территориальных факторов // Регион: экономика и социология. – 2014. – № 11. – С. 162–182.
3. Здравоохранение в России. 2017: Стат.сб./Росстат. – М., 2017. – 170 с.
4. Лепехина Т.Л., Пепеляева А.В. Анализ взаимодействия формальных и неформальных правил в формировании института здоровьесбережения // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – № 15. – С. 50–59.
5. Щепин В.О. Государственная и муниципальная системы здравоохранения Российской Федерации в 2013 году: обеспеченность основными ресурсами, объемы и показатели деятельности, региональные особенности // История науки и техники. – 2014. – № 11. – С. 49–62.

Машина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № Р3110

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mashina.katherina@gmail.com

Нелепко Любовь Николаевна

Год рождения: 1999

Санкт-Петербургский государственный университет, факультет лечебного дела, студент группы № 102

Направление подготовки: 31.05.01 – Лечебное дело

e-mail: lykila@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.62: 004.91**СТРУКТУРА И ИСТОЧНИКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ВОЛОНТЕРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ДОВРАЧЕБНУЮ МЕДИЦИНСКУЮ ПОМОЩЬ****Машина Е.А.** (Университет ИТМО), **Нелепко Л.Н.** (Санкт-Петербургский государственный университет)**Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**
(Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках инициативных разработок по проекту PersonalMedHelper.beginning, осуществляемому при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative.

В работе рассмотрены основные принципы выбора предметных областей данных, в которых нуждаются муниципальные волонтеры, оказывающие доврачебную помощь, основанные на производимом сравнительном анализе причин обращения пациентов за первичной медицинской помощью, а также методики, ресурсы, технологии и протоколы обслуживания, реально доступные волонтерам, оказывающим такую помощь на местах.

Ключевые слова: информационная система, телемедицина, доврачебная помощь, первичная медицинская помощь, классификатор обращений.

К сожалению, реально существующие сегодня параметры оказания различных видов медицинской помощи в зависимости от форм и условий ее оказания часто не соответствуют нормативам Минздрава России (в том числе по времени предоставления услуги, расстоянию между опорными медицинскими учреждениями и по численности медперсонала на местах) [1]. Большие расстояния и совокупность климатогеографических особенностей некоторых регионов приводит к необходимости открытия и содержания новых медицинских организаций в связи с тем, что имеющаяся сеть участковых больниц и фельдшерско-акушерских пунктов в настоящее время уже не в состоянии предоставить населению труднодоступных районов законодательно закрепленный уровень предоставления медицинских услуг.

Для повышения уровня специализированной медицинской помощи II уровня с учетом транспортной доступности необходимы существенные структурные изменения [2], привлечение дополнительного финансирования, в связи с чем большое внимание уделяется привлечению неквалифицированных медицинских добровольцев ответственных домохозяйств [3]. Однако привлечение к оказанию первичной и доврачебной помощи муниципальных волонтеров, занимающихся оказанием подобной помощи, требует больших объемов их информационной поддержки для качественной реализации потребных протоколов неотложных доврачебных мероприятий, для чего и проводятся работы по созданию системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper (PMH), призванной осуществлять такую поддержку.

В связи с тем, что в настоящее время отсутствует единый подход к формированию подобных информационных ресурсов, необходимо провести большой объем подготовительных работ, связанных с определением структуры и источников информации, размещаемой в этой информационной системе, а также рассмотреть вопросы об адаптации предоставляемых данных волонтерам, как правило, не имеющим специализированного медицинского образования.

Для того чтобы правильно определить структуру справочной информации, доступной муниципальным волонтерам, оказывающим доврачебную помощь населению необходимо определить наиболее востребованную тематику информационных запросов, которая, в свою очередь, будет основываться на наиболее распространенных случаях, требующих первичной доврачебной помощи, что требует отдельного рассмотрения.

Согласно результатам анализа информационных потребностей уполномоченных домохозяйств, наиболее востребованными темами обращений за первичной доврачебной помощи в территориально удаленных муниципалитетах являются: обострения хронических, инфекционных и иных заболеваний; вопросы, связанные с поддержкой ухода за пациентами, имеющими хронические заболевания; оказание первичной доврачебной помощи при несчастных случаях и чрезвычайных ситуациях.

Следует обратить внимание на то, что востребованность и объем необходимой для медицинских волонтеров справочной информации существенно различается по серьезности рассматриваемого случая и частоте его проявления. Например, если среди причин смертности в России на первых трех местах находятся сердечно-сосудистые заболевания (56%), несчастные случаи (14%) и новообразования (13%), то список «первой тройки» заболеваемости (и, соответственно, обращений за первичной помощью) несколько иной: инфекционные заболевания (26%), болезни органов дыхания (19%), болезни системы кровообращения (15%). Причем статистика обращений за доврачебной помощью также зависит от региона. Это свидетельствует о необходимости тщательного предварительного анализа информации, потребной волонтерам, оказывающим доврачебную первичную помощь на местах.

Источниками подобной справочной информации при создании информационной базы системы поддержки муниципальных медицинских волонтеров может являться множество разнообразных документов, содержащихся в форме:

- автоматизированных баз медицинской, фармацевтической, экономической и другой информации;
- электронных аналогов медицинской документации (историй болезни, медицинских карт амбулаторных больных, карт вызова скорой медицинской помощи и др.);
- информационных систем автоматизации рабочих мест врачей и других медицинских работников;
- электронных изданий медицинской научной и учебной литературы;

– экспертных и тому подобных систем.

При этом следует иметь в виду, что большая часть доступных на сегодняшний день протоколов, описывающих оказание парамедицинской помощи и сопутствующих информационных документов, основываются на узкоспециализированном медицинском тезаурусе, который может быть недоступен медицинским добровольцам, в силу отсутствия у них квалификации [3]. Однако идти по пути «механического упрощения» пользовательского контента не представляется логичным, поскольку этот путь может вести к снижению общего качества предоставляемой информации [4]. В связи с этим необходимо решать вопросы, связанные с предварительной подготовкой специальных медицинских данных для приведения ее к виду, доступному для использования муниципальными волонтерами, оказывающими доврачебную помощь и не обладающими достаточной медицинской квалификацией.

В результате проведенного сравнительного анализа путей решения этой проблемы сформирован алгоритм предварительной подготовки специализированного медицинского контента, который позволит предоставлять пользователям по их запросам информацию, соответствующую их квалификации, состоящий в разделении используемых понятий на базовые (basic), специальные (special) и расширенные (advance). Причем основным условием предварительной подготовки должно являться то, что все данные, доступные пользователю любой квалификации должны создаваться на основе единой информационной базы. Подобной обработке должна быть подвергнута вся информация, находящаяся в автоматизированных базах медицинской, фармацевтической, и другой информации, электронных аналогах медицинской документации (историй болезни, медицинских карт амбулаторных больных, карт вызова скорой медицинской помощи и др.), существующих сегодня средствах автоматизации рабочих мест медицинских работников, электронных базах медицинской научной и учебной литературы и пр. При этом должна быть обеспечена безусловная интегрируемость информационных баз, доступных неквалифицированным медицинским добровольцам с узкоспециализированными информационными ресурсами [5]. Упорядоченные вышеизложенным образом информационные массивы специальной информации могут быть представлены и медицинским добровольцам, осуществляющим доврачебную помощь, и медицинским профессионалам.

Проект РМН планирует включить в свою структуру в первую очередь предварительно обработанные массивы информации из наиболее востребованных методических указаний, грамотно изложенных на понятном неподготовленному волонтеру языке, чтобы помочь ему не только грамотно оказать помощь, но и, обработав информацию, занесенную членом дружины в систему, выбрать, какую именно манипуляцию (протокол действий) целесообразно применить в данном случае.

Приведем простой пример: человек потерял сознание. Вокруг нет никого, кто был бы достаточно квалифицирован, чтобы действовать самостоятельно. Тогда волонтер с вооруженный средствами РМН, понимая, что пациент без сознания, обращается к системе, на что та выдает самый первый алгоритм, по которому стоит действовать в подобной ситуации: во-первых, быстро оценить обстановку: нет ли внешней опасности для волонтера и пациента, во-вторых, сесть на колени перед лежащим человеком и приложить ухо к его дыханию, наблюдая при этом за тем, движется ли грудная клетка больного, в-третьих, если нет ни дыхания, ни пульса, преступить к непрямому массажу сердца (с подробной инструкцией) и так далее. Причем РМН-база «персональных данных», основанная на историях болезней (и предшествующих обращениях) пациентов сможет существенно повысить качество оказываемой первичной доврачебной помощи, так как алгоритмы предлагаемых к реализации протоколов будут составляться с учетом анализа анамнеза пациента.

На основании изложенного могут быть сделаны следующие выводы:

- создание информационной системы поддержки волонтеров, осуществляющих первичную доврачебную медицинскую помощь «на местах», целесообразно, поскольку приведет к улучшению качества медицинского обслуживания в территориально удаленных от стационарных точек оказания медицинской помощи;
- источниками информации для такой системы могут явиться существующие сегодня специализированные информационные ресурсы;
- информацию, полученную из специализированных информационных ресурсов, необходимо специально подготовить, сделав ее понятной волонтерам, осуществляющим доврачебную помощь и не имеющим специального медицинского образования;
- предлагаемые для волонтера сценарии реализации протоколов оказания услуг необходимо составлять с учетом анализа анамнеза конкретного пациента.

Описанные в настоящей работе результаты будут практически использованы при создании системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper.beginning, работы над которой ведутся в настоящее время инициативной межуниверситетской рабочей группой, в состав которой в настоящее время входят студенты МГУ, СПбГУ и Университета ИТМО.

Литература

1. Костенко А.Н., Свитайло Д.Н., Смиянов А.В. Оценка доступности медицинской помощи населению: опыт регионального исследования // Социологические исследования. – 2013. – № 12. – С. 133–136.
2. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» // СЗ РФ. 2011. № 48.
3. Андрющенко Г.И., Потехина Е.В. Экономические предпосылки развития рынка услуг здравоохранения в Российской Федерации // Социальная политика и социология. – 2015. – Т. 14. – № 5. – С. 6–14.
4. Сисигина Н. Развитие инфраструктуры здравоохранения в 2014–2016 гг. // Экономическое развитие России. – 2018. – № 5. – С. 68–72.
5. Штыкова Н.Н. Сущность и проблемы реализации электронной медицины (на примере Владимирской области) // Медицинское право. – 2014. – № 5. – С. 22–27.

Машина Екатерина Алексеевна

Год рождения: 2000

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № Р3110

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: mashina.katherina@gmail.com

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.91**ОСОБЕННОСТИ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТОВ
В ТЕЛЕМЕДИЦИНЕ****Машина Е.А.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Работа выполнена в рамках инициативных разработок по проекту PersonalMedHelper.beginning, осуществляемому при поддержке гранта ITMOSTUDENTS.Initiative.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с юридическими аспектами использования персональных данных пациентов в телемедицинских системах, особенности существующего правового поля в этой области, а также осуществляется анализ возможностей использования существующих технологических методов защиты персональных данных в пациенто-ориентированных информационных системах.

Ключевые слова: информационная система, телемедицина, пациенто-ориентированная система, защита персональных данных, информационная безопасность.

В связи с тем, что медицина является одной из наиболее социально-значимых областей социальных отношений, законодатели повсеместно придерживаются консервативной стратегии внесения изменений в существующее правовое поле. Поэтому внедрение технологических инноваций в здравоохранение почти всегда сдерживается существующим законодательством. И при разработке инновационных телемедицинских продуктов, оперирующих, в том числе такими важными социальными нормами как «врачебная тайна» и «персональные данные», и ориентированных на массовое коммерческое использование, необходимо в первую очередь определять легальные границы их применения [1].

Пациенто-ориентированные телемедицинские системы, процесс создания которых начинается в настоящее время, представляют собой специализированные информационные системы, предназначенные для предоставления профессиональной и юридически значимой медицинской информации непосредственно пациенту (или его уполномоченным) минуя врача [2]. Такие системы, призванные обеспечить доступ к достижениям высокотехнологичной медицины для жителей территориально отдаленных районов, предполагают существенное изменение правовых отношений при оказании медицинской услуги, вызванное постепенным вытеснением из цепочки «справочная информационная система – медицинский работник – пациент» лица, имеющего специальное медицинское образование [3]. В связи с этим вопросы внедрения, а следовательно, и разработки таких систем, вносящие изменения в

существующие практики предоставления медицинской информации, требуют обязательного анализа и учета затрагиваемых ими правовых норм [4].

Во избежание возможных правовых коллизий при разработке пациенто-ориентированных телемедицинских продуктов семейства PersonalMedHelper (PMH), ведущейся с 2018 года инициативной группой студентов Университетов ИТМО, МГУ и СПбГУ, на начальном этапе работ был проведен детальный анализ правовых аспектов использования подобного рода продуктов, для последующего их учета в проектируемой системе безопасности решения.

1. Обеспечение безопасности персональных данных – основополагающее требование, которое необходимо учитывать при проектировании пациенто-ориентированных систем. Несмотря на то, что Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» [5] закрепляет статус информационных систем в сфере здравоохранения, на практике существующее правоприменение фактически принуждает разработчиков к созданию информационных систем в соответствии с законом об обязательном медицинском страховании [6]. Это обстоятельство налагает особые требования к защите персональных данных пациентов в информационных системах, которые в своей совокупности и по своим характеристикам не в полной мере отвечают потребностям телемедицины [7]. При этом обеспечение информационной безопасности персональных данных пациентов в виде безусловной их целостности и конфиденциальности должно носить при проектировании телемедицинских систем обязательный и безусловный характер [8].

Соблюдение требований безусловной целостности и конфиденциальности персональных данных пациентов накладывает дополнительные серьезные ограничения на манипуляции с данными при проектировании именно пациенто-ориентированных телемедицинских систем, поскольку в идеологии их применение стоит серьезного расширения круга лиц, имеющих доступ к персональным данным.

Естественное желание законодательных и регулирующих органов ограничить доступ к историям болезней пациентов сегодня практически на каждом шагу входит в противоречие с телемедицинскими практиками. Наиболее острым в этом отношении является вопрос получения согласия на обработку персональных данных. Причем отправной точкой этой проблемы можно назвать фиксацию факта конкретности согласия. Так как в телемедицинских информационных системах происходит обработка данных о здоровье пациента, то задача получения указанного выше согласия постоянно осложняется необходимостью заполнения письменной формы с учетом дополнительных формальностей.

В результате необходимость выполнения всех юридических норм превращается из гарантий права на неприкосновенность личности пациента в дополнительные барьеры для использования существующих и создания новых телемедицинских технологий.

Вместе с тем, в Федеральном законе № 152-ФЗ «О персональных данных» [9] описано несколько исключений, позволяющих использование персональных данных пациентов без их согласия, в том числе:

- обработка персональных данных необходима для защиты жизни, здоровья или иных жизненно важных интересов субъекта персональных данных, если получение согласия субъекта персональных данных невозможно;
- обработка специальной категории персональных данных осуществляется в медико-профилактических целях, в целях установления медицинского диагноза, оказания медицинских и медико-социальных услуг при условии, что обработка осуществляется лицом, профессионально занимающимся медицинской деятельностью и обязанным сохранять врачебную тайну;

– обработка персональных данных осуществляется в статистических или иных исследовательских целях при условии обязательного обезличивания персональных данных (причем все «файлы обезличивающих связей» необходимо хранить на защищенных ресурсах уполномоченных медучреждений).

Таким образом, законодательство предписывает, что для телемедицинских систем, в которых происходит накопление и обработка персональных данных пациентов, содержащихся в их историях болезней, все манипуляции с персональными данными возможны лишь в обезличенном виде [9]. Это обстоятельство, в свою очередь, предполагает следующую последовательность разработки процессов обработки персональных данных в телемедицинских системах с расширенным доступом к персональным данным:

- разработка для пациенто-ориентированных систем специализированной структуры данных для записей, имеющих статус персональных данных (к которым, кстати, относится и вся информация по историям болезней, анамнезу, и результаты объективных исследований), обеспечивающей требуемое регуляторами разделение информационной составляющей персональных данных для их последующего обезличивания;
- разработка специализированных механизмов раздельного хранения разделенных частей персональных данных, в том числе на защищенных ресурсах уполномоченных медучреждений;
- разработка механизмов, обеспечивающих защищенные аналитические манипуляции с реверсно-скомпонованными необезличенными данными (с последующим обезличиванием результата).

Из этого можно сделать существенный вывод о том, что при построении телемедицинских пациенто-ориентированных систем необходимо обязательно предусматривать описанный выше механизм разделения персональных данных пациентов, приводящий к передаче наружу «защищенного периметра системы» лишь обезличенные анамнезы, сохраняя все файлы связей на защищенных ресурсах уполномоченных медучреждений.

2. Текущие совершенствования существующего правового поля, законодательно упрощающие требования регуляторов к использованию пациенто-ориентированных систем. Несмотря на отмечающуюся выше консервативность правового поля, описывающего требования, налагаемые законодателем и регуляторами на применение персональных данных в телемедицинских продуктах, в последнее время в Российской Федерации наметился процесс адаптации существующего законодательства в области защиты персональных данных пациентов к современным реалиям использования информационных технологий [7]. И это, в свою очередь, значительно упрощает процессы «легализации» использования персональных данных пациентов «третьими лицами», что очень существенно для пациенто-ориентированной телемедицины.

Основными тенденциями развития законодательства в этом направлении можно назвать:

- юридическое закрепление статуса электронных записей о здоровье (Electronic Health Records, EHR);
- обеспечение централизации этих записей и расширение прав пациентов по управлению своими записями о здоровье.

В настоящее время законодателями ведутся активные работы по совершенствованию российской законодательной базы, регулирующей телемедицину в следующих направлениях [7]:

- обеспечение дальнейшей интеграции и взаимодействия информационных систем с учетом того, что на сегодняшний день российским законодательством лишь отчасти

урегулировано взаимодействие операторов информационных систем, входящих в систему обязательного медицинского страхования, и следующий шаг состоит в большей интеграции этих систем и допуске в данный механизм других субъектов телемедицинских отношений;

- обеспечение дальнейшей интеграции и комплексного взаимодействия существующих телемедицинских информационных систем различных производителей;
- обеспечение мобильности и динамичности данных, обрабатываемых в информационных системах, причем сведения, хранящиеся в них, должны быть всегда доступны для использования лицами «с законным интересом» и регулярно актуализироваться;
- расширение области полезного использования информационных систем, в том числе через возможность подключения к этим системам третьих лиц, предлагающих инновационные решения в телемедицине;
- обеспечение прав доступа граждан и уполномоченных ими лицам к персональным электронным записям, хранящимся в информационных системах, включая полномочия по управлению информацией, что особенно важно для пациенто-ориентированной медицины (такой доступ легко может быть организован через механизм личного электронного кабинета с удобным и функциональным интерфейсом).

Еще одним нововведением, существенно облегчающим широкое коммерческое применение пациенто-ориентированных телемедицинских систем, ориентированных на «неограниченный круг пользователей» является планирующееся юридическое закрепление статуса «субъекта телемедицинской деятельности», существенно расширяющего круг лиц, которым доступна юридически значимая медицинская информация и ее обработка.

Существенность этого ожидаемого «законодательного прорыва» в том, что на настоящий момент в российском законодательстве в качестве специальных субъектов обработки персональных данных в медицине (а следовательно, и субъектов использования телемедицинских систем) можно выделить:

- лиц, профессионально занимающихся медицинской деятельностью и обязанных сохранять врачебную тайну;
- субъектов отношений в области медицинского страхования.

Таким образом, на настоящий момент доступа к персональным медицинским данным пациентов (в том числе и к их анамнезам, составляющим основу анализа течения болезни) лишены многие участники медицинских отношений, предполагающиеся к привлечению в подобные отношения при широком внедрении пациенто-ориентированных телемедицинских систем.

И именно поэтому ожидаемое в скором времени юридическое закрепление в нашей стране статуса «субъекта телемедицинской деятельности» [10] фактически даст законодательный «зеленый свет» началу разработок в области пациенто-ориентированных телемедицинских информационных систем.

Основным выводом из сказанного является то, что в ближайшее время будут сняты последние существенные ограничения на коммерческое применение пациенто-ориентированных систем, что позволяет говорить об ожиданиях выхода на рынок совершенно нового вида телемедицинских систем.

И именно поэтому, начало разработки пациенто-ориентированных телемедицинских продуктов семейства РМН представляется не только важным, но и своевременным шагом.

Таким образом, проведенный с целью обоснованно подойти к проектированию структуры данных пациенто-ориентированных продуктов семейства РМН анализ

существующей отечественной законодательной базы в области защиты персональных данных пациентов показал:

- существующая законодательная база позволяет проводить работы по созданию пациенто-ориентированных телемедицинских систем;
- существующая законодательная база накладывает ряд ограничений на структуру, хранение, обработку и передачу персональных данных, используемых в информационных телемедицинских системах, которые необходимо учитывать, в том числе используя алгоритмы, описанные в настоящей работе;
- полноформатное использование пациенто-ориентированных телемедицинских систем возможно лишь после законодательного закрепления статуса субъектов телемедицинской деятельности, которое ожидается в самое ближайшее время.

Описанные в настоящей работе результаты будут практически использованы при создании пациенто-ориентированной системы информационной поддержки муниципальных медицинских волонтеров PersonalMedHelper.beginning, работы над которой ведутся в настоящее время инициативной межуниверситетской рабочей группой, в состав которой в настоящее время входят студенты МГУ, СПбГУ и Университета ИТМО при поддержке гранта, предоставленного в рамках ITMOSTUDENTS.Initiative.

Литература

1. Терещенко Л.К. Модернизация информационных отношений и информационного законодательства: монография. – М.: Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, ИНФРА-М, 2013. – 227 с.
2. Машина Е.А., Баркалов М.М., Бейлин М.Т. Подходы к созданию пациенто-ориентированных телемедицинских систем // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/745> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Машина Е.А., Нелепко Л.Н. Структура и источники специализированных данных системы информационной поддержки муниципальных волонтеров, оказывающих доврачебную медицинскую помощь // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/1930> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Машина Е.А., Нелепко Л.Н., Сушенцова М.В. Анализ особенностей правового регулирования использования и защиты персональных данных пациентов в телемедицине // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/740> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» // СЗ РФ. 2011. № 48. Ст. 6724.
6. Федеральный закон от 29.11.2010 № 326-ФЗ «Об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации» // СЗ РФ. 2010. № 49. Ст. 6422.
7. Савельев А.И. Проблемы применения законодательства о персональных данных в эпоху «Больших данных» (Big Data) // Право. Журнал Высшей школы экономики. – 2015. – № 1. – С. 43–67.
8. Венедиктов Д.Д., Гасников В.К., Кузнецов П.П., Радзиевский Г.П., Столбов А.П. Современная концепция построения единой информационной системы здравоохранения // Информатизация здравоохранения. – 2008. – № 2. – С. 17–23.
9. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» // СЗ РФ. 2006, № 31 (1 ч.). Ст. 3451.
10. Журавлев М.С. Защита персональных данных в телемедицине // Право. Журнал высшей школы экономики. – 2016. – № 3. – С. 72–84.

Медведев Дмитрий Сергеевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, студент группы № P4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Технологии промышленного программирования
e-mail: medvedev.dmitrii@niuitmo.ru**Шматков Владислав Николаевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: shmatkovvlad@gmail.com**Муромцев Дмитрий Ильич**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: mouromtsev@itmo.ru

УДК 004.825**ПРИМЕНЕНИЕ МСМС-СЭМПЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В РУССКОЯЗЫЧНОЙ ВОПРОСНО-ОТВЕТНОЙ
СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ГРАФА ЗНАНИЙ****Медведев Д.С., Шматков В.Н.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Муромцев Д.И.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе рассмотрены компоненты естественно-языковых интерфейсов – вопросно-ответные системы, в частности основанные на графовых базах знаний. Приведены подходы к информационному поиску и логическому выводу, которые могут быть использованы для данного вида вопросно-ответных систем. Для русскоязычных вопросно-ответных систем был адаптирован алгоритм вероятностного вывода, основанный на методе Монте-Карло по схеме марковской цепи (МСМС-сэмплинге). Полученные результаты демонстрируют работоспособность метода и доказывают возможность использования его для построения вопросно-ответных систем для русскоязычных пользователей.

Ключевые слова: вопросно-ответная система, онтология, русский язык, логический вывод, графовая база знаний, Монте-Карло, сэмплирование.

Введение. В связи с устойчивой динамикой развития алгоритмов распознавания и синтеза речи, все большее распространение получают [1] голосовые ассистенты, такие как Siri (Apple Inc.), Google Assistant (Google Inc.), Alexa (Amazon) или Алиса (Яндекс). Любой из этих ассистентов обеспечивает удобный для пользователя естественно-языковой интерфейс. Для использования описанных интерфейсов достаточно знания языка без какой-либо дополнительной подготовки пользователя. Программные компоненты, отвечающие за решение задач распознавания вопросов пользователя и предоставления на них ответа на естественном языке, называются вопросно-ответными системами (Question Answering System, QAS).

В качестве основного источника сведений вопросно-ответные системы могут использовать ресурсы сети Интернет, а также базы данных и базы знаний. В дальнейшем речь пойдет о вопросно-ответных системах, использующих данные онтологических графовых баз знаний.

Подходы к логическому выводу по графу знаний. Информационный поиск и механизмы логического вывода тесно связаны друг с другом при использовании графов знаний. Некоторые данные в графовой базе знаний могут содержаться в неявном виде, и для их извлечения используется логический вывод. Наиболее распространенный способ логического вывода основан на применении фиксированных наборов правил [2]. Данный механизм используют многие библиотеки, предназначенные для работы с графами знаний, например, Apache Jena¹.

Ручное составление правил особенно для сравнительно объемных графов знаний весьма трудоемко и чревато ошибками. Решением данной проблемы может стать автоматическая генерация правил с использованием вероятностных подходов. В контексте вопросно-ответных систем данный подход используется в [3], где с помощью метода Монте-Карло по схеме марковских цепей (Markov chain Monte Carlo, MCMC) решается проблема «lexical gap» (более детально описана в следующем разделе) для английского, немецкого и испанского языков.

Методология. Одной из основных проблем генерации семантического отображения вопроса по его текстовому представлению – проблема «lexical gap». В качестве примера можно привести вопрос: «Кто написал «Войну и мир»?». SPARQL-запрос для поиска ответа на данный вопрос может быть следующим:

```
prefix dbr: <http://dbpedia.org/resource#>
prefix dbo: <http://dbpedia.org/ontology#>
select distinct ?uri where { ?uri dbo:author dbr:War_and_Peace . }
```

Поскольку не существует прямого отображения строки запроса «написать» в URI свойства «author», система должна иметь инструменты логического вывода для преодоления подобного рода неоднозначностей.

В целях преодоления «lexical gap» и определения наиболее вероятного значения вопроса – с учетом используемой модели – применяется вероятностный вывод. Параметры модели подбираются в процессе обучения модели. Вывод основан на методе MCMC. В процессе вывода каждому узлу дерева разбора, полученному от синтаксического анализатора, ставится в соответствие идентификатор базы знаний и семантическое представление в виде сущностей DUDES (Dependency-based Underspecified Discourse Representation Structures) [3, 4]. Используются 5 типов DUDES, соответствующих 5 типам DUDES из [3]: Resource (соответствует конкретным объектам – individuals – и ресурсам наборов данных RDF), Class (соответствует наборам объектов, или классам RDF), Property (соответствует свойствам объекта или типа), Restriction Class (соответствует классам-ограничениям) и QueryVar (соответствует переменным запроса).

В процессе вывода используются две модели [3]: модель L2KB для обеспечения отображения слов в сущности первых четырех типов и модель QC для отображения слов в сущности типа QueryVar. По результатам применения алгоритма MCMC для вопроса с каждой из двух моделей на выходе получаем полное семантическое представление вопроса в виде набора объектов DUDES, которые легко преобразуются в SPARQL-запрос [4].

Программный код для русского языка был основан на оригинальном проекте AMUSE² и использует его классы и методы.

Математическое обеспечение. Для преодоления проблемы «lexical gap» было решено использовать инструменты вероятностного вывода, основанные на методе MCMC [3]. Пусть имеется фактор-граф G – двудольный граф, определяющий

¹ <https://jena.apache.org/>

² <https://github.com/ag-sc/AMUSE>

распределение вероятностей π . В графе содержатся переменные V и факторы ψ . Множество переменных может быть разделено на множество видимых переменных X и множество скрытых переменных Y . Фактор ψ_i соединяет подмножество видимых переменных x_i с подмножеством скрытых переменных y_i и позволяет рассчитать некоторую оценку качества, зависящую от вектора признаков $f_i(x_i, y_i)$ и набора параметров θ_i по следующему закону: $\psi_i = e^{f_i(x_i, y_i)\theta_i}$. В таком случае можно предсказать вероятность того, что скрытые переменные будут соответствовать известными видимым переменным, с помощью следующей формулы [3]:

$$\pi(y|x; \theta) = \frac{1}{Z(x)} \prod_{\psi_i \in G} \psi_i(x_i, y_i) = \frac{1}{Z(x)} \prod_{\psi_i \in G} e^{f_i(x_i, y_i)\theta_i},$$

где $Z(x)$ – статистическая сумма.

Для входного дерева разбора предложения фактор-граф выводится применением шаблонных процедур, проходящих по частям дерева и генерирующих соответствующие факторы. Шаблоны задаются заранее и имеют следующее значение. Пусть шаблон $T_j \in T$ определяет подмножество видимых и скрытых переменных (x', y') , где $x' \in X$, $y' \in Y$. Для каждого подмножества шаблон генерирует факторы и функцию признаков $f_j(x', y')$. В то же время все факторы, сгенерированные шаблоном T_j , имеют общие параметры θ_j .

С учетом нового определения, расчет вероятности π может быть видоизменен [3]:

$$\pi(y|x; \theta) = \frac{1}{Z(x)} \prod_{T_i \in T} \prod_{(x', y') \in T_j} e^{f_j(x', y')\theta_j}.$$

На вход компоненты поиска поступает граф (W, E) , где $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ – последовательность слов, $E \subseteq W \times W$ – множество ребер (зависимости между словами). Пусть $(W, E, \alpha, \beta, \gamma)$ – сэмпл, отражающий семантическую интерпретацию предложения. Сэмпл включает в себя частичные функции: $\alpha: W \rightarrow KB$ – частичное отображение множества слов на множество идентификаторов базы знаний KB , $\beta: W \rightarrow \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ – частичное отображение множества слов на пять базовых типов DUDES, $\gamma: E \rightarrow \{1, 2\}$ – отображение ребра на 1, если ребро указывает на субъект связи, или на 2, если ребро указывает на объект связи. При этом факторы являются мерой совместимости между различными наборами видимых переменных и скрытых. Полная интерпретация вопроса – это сэмпл, при котором функция вероятности π с набором параметров θ принимает максимальное значение: $y^* = \operatorname{argmax}_y \pi(y|x; \theta)$ [3].

Данные. В качестве данных для обучения и тестирования модели был взят мультязыковой корпус QALD-9³, предоставляющий вопросы, ответы и SPARQL-запросы, которые необходимо выполнить для получения ответа. Ввиду низкого качества русскоязычных данных корпус был подвергнут предобработке ручными и автоматическими средствами Google Translate. По субъективным ощущениям автора, носителя русского языка, в результате обработки корпуса качество русскоязычных вопросов значительно возросло.

В качестве словаря синонимов была выбрана одна из векторных моделей тезауруса русского языка Russian Distributional Thesaurus⁴. В оригинальном исследовании [3] при поиске синонимов использовалась собственная система DBLexipedia⁵, доступная лишь для английского, немецкого и испанского языков.

Поиск по базе знаний осуществлялся с использованием обратного индекса, собранного по аналогии с существующим индексом для английского языка. Формат индекса определяет наиболее близкое ассоциированное с сущностью слово, URL в

³ <https://github.com/ag-sc/QALD/tree/master/9/data>

⁴ <http://panchenko.me/data/dsl-backup/w2v-ru>

⁵ <http://dblexipedia.org>

онтологической базе знаний и количество ссылок на эту сущность. Подобные индексы были собраны для объектов типа Resource, Class и Relation.

Анализ результатов. В таблице представлены наибольшие метрики F1 для алгоритма МСМС, применительно к русскому языку. Результаты были получены на тестовой выборке QALD. Также приведено сравнение полученных результатов с результатами для английского, немецкого и испанского языков, которые были получены авторами [3] в схожих условиях. В оригинальном исследовании [3] использовались данные с DBpedia в сочетании с DBLexipedia. В данной работе для поиска синонимов использовалась векторная модель w2v-ru.

Таблица. Метрики F1 для поиска по онтологии DBpedia

	RU	EN	DE	ES
L2KB	0,19	0,22	0,27	0,30
QC	0,20	0,34	0,37	0,42

Заключение. В данной работе были рассмотрены инструменты информационного поиска и логического вывода по онтологической базе знаний. Был впервые применен алгоритм МСМС для преодоления проблемы «lexical gap» применительно к обработке русскоязычных вопросов и продемонстрирована жизнеспособность данного метода.

В дальнейших исследованиях планируется произвести улучшение качественных характеристик обучаемых моделей за счет расширения поискового индекса и использования увеличенного тезауруса синонимов. Возможно использование дополнительных словарей синонимов, например, YARN⁶.

Литература

1. Alto P. Global smart speaker shipments grew 187% year on year in Q2 2018, with China the fastest-growing market [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.canalys.com/static/press_release/2018/Press-release-160818-global-smart-speaker-shipments-grew.pdf (дата обращения: 01.04.2019).
2. Wang X. et al. Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL // Percom workshops. – 2004. – V. 18. – P. 22.
3. Hakimov S., Jebbara S., Cimiano P. AMUSE: multilingual semantic parsing for question answering over linked data // International Semantic Web Conference. – 2017. – P. 329–346.
4. Cimiano P. Flexible semantic composition with DUDES // Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Semantics. – 2009. – P. 272–276.

⁶ <https://russianword.net>

Милешин Андрей Александрович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3410

Направление подготовки: 09.03.04 – Разработка программно-информационных систем

e-mail: mileschin@itmo.ru

Цопа Евгений Алексеевич

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, ассистент

e-mail: evgenij.tsopa@cs.ifmo.ru

УДК 004.822

ЯЗЫК ЗАПРОСОВ К СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ**Милешин А.А.****Научный руководитель – Цопа Е.А.**

В работе рассмотрен разработанный автором язык запросов к семантической сети, позволяющий пользователю получить любые узлы и связи между ними. Данный язык запросов позволяет пользователю указать множество условий в запросе и явно задать порядок их выполнения. Также он позволяет использовать регулярные выражения, что расширяет его возможности. Использование предложенного языка запросов повышает качество взаимодействия пользователя с семантической сетью.

Ключевые слова: семантические сети, язык запросов, SQL, синтаксический анализ, лексический анализ, AST-дерево.

Введение. Семантическая сеть – это ориентированный граф, в вершинах которого находятся смыслы, отражающие определенную предметную область [1]. Связи между понятиями задаются ребрами графа, которые отражают семантические отношения. В отличие от словарей, семантические сети оперируют не словами, а их конкретными смыслами и толкованиями.

Полная сеть смыслов является огромной структурой [2]. Использование ее в реальных задачах представляется слишком трудоемким процессом из-за ее громоздкости. При этом зачастую в задаче требуется использовать только часть семантической сети, относящуюся к заданной предметной области. Намного удобнее оперировать лишь частью семантической сети (подсетью). Кроме того, необходим механизм для формирования и обновления локальных подсетей, которые возникнут вследствие разделения и выгрузки данных из большой сети. Проблема поиска решения в семантической сети сводится к задаче поиска фрагмента сети, соответствующего подсети, отражающей поставленный запрос.

В настоящее время семантические сети широко используются для решения различных задач [3, 4]. Для работы с семантической сетью необходимо иметь возможность формулировать запросы на выборку данных. До разработки данного языка возможности работы пользователя с семантической сетью были ограничены отсутствием возможности формировать сложные запросы.

В соответствии с этим была сформулирована цель работы: разработать язык запросов, позволяющий осуществлять выборку данных из семантической сети. Для достижения поставленной цели был определен следующий ряд задач:

1. проанализировать требования к языку запросов;
2. разработать грамматику языка запросов;

3. предложить формат представления сериализованных данных семантической сети;
4. разработать интерпретатор запросов;
5. интегрировать разработанный интерпретатор с семантической сетью.

Разработанный язык запросов. Разработанный язык SemQL имеет SQL-подобный синтаксис, что делает его удобным и легким в изучении для пользователей, которые уже имеют опыт работы с языком SQL.

Команда SELECT позволяет выбрать данные из семантической сети в удобном для пользователя виде. Синтаксический разбор данной команды представлен на рис. 1, а.

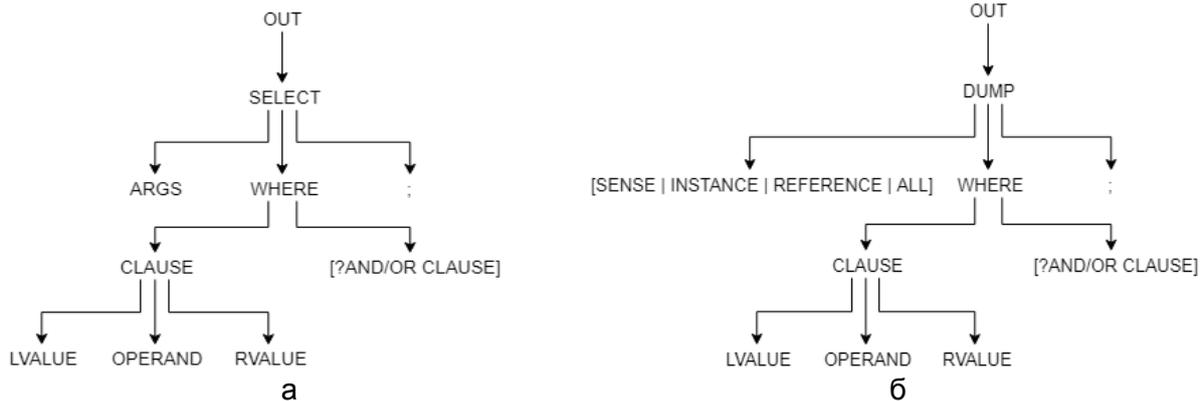


Рис. 1. Синтаксический разбор команды SELECT (а) и DUMP (б)

Команда DUMP аналогична команде SELECT, однако используется для выборки данных из семантической сети и последующей генерации кода для создания выбранной подсети. Синтаксический разбор данной команды представлен на рис. 1, б.

Запрос можно условно разбить на две части. Первая часть SELECT/DUMP указывает, какие именно данные необходимо получить пользователю. При использовании команды SELECT необходимо указать, какие поля должны быть получены после исполнения запроса. Поля указываются в формате ОБЪЕКТ_ИМЯПОЛЯ. Так как подобная запись зачастую получается довольно длинной, что усложняет написание запросов пользователем, в предложенном языке существует возможность использовать сокращенное название полей. При использовании команды DUMP необходимо указать название типов объектов семантической сети, которые должны быть представлены в выбранной семантической сети. Так, для выборки сущностей нужно указать аргумент SENSE, для выборки экземпляров сущностей – INSTANCE, а для семантических отношений – REFERENCE.

Вторая часть запроса – это часть WHERE. Она отвечает за фильтрацию данных, которые необходимо получить в результате запроса. Названия полей, используемых в условии, идентичны названиям полей, используемым в выборке, за исключением обобщающих полей. Также как и в части выборки для названий полей, могут быть использованы сокращенные формы. В качестве операнда в условии могут быть использованы знак «равно» и оператор LIKE.

Предложенный синтаксис языка запросов позволяет использовать сразу несколько условий в одном запросе. При этом пользователь имеет возможность задать конкретный порядок выполнения условий в запросе. Порядок задается при помощи операторов AND, OR и круглых скобок. Для операторов AND и OR существуют альтернативные обозначения & и | соответственно.

Помимо простого сравнения, в языке SemQL могут быть использованы регулярные выражения. Указанием к применению регулярных выражений в условии является оператор LIKE. Язык SemQL не накладывает никаких ограничений на

использование регулярных выражений в условии. Другими словами, регулярное выражение можно использовать в условиях, где левым операндом является любое поле семантической сети.

Некоторые условия выборки данных в семантической сети невозможно выразить через отдельный операнд, так как выборка должна одновременно происходить по более чем, одному полю. Для решения этой проблемы язык SemQL поддерживает использование функций в части фильтрации данных. Функция заменяет собой условие и, наряду с условиями, может иметь свой порядок выполнения.

Разработанный интерпретатор запросов. Для возможности проведения интерпретации и дальнейшего выполнения запроса, была разработана командная оболочка семантической сети под названием `semql_plus`. Данная утилита написана на языке C++ и использует свободно распространяемую библиотеку `Boost::Spirit`, которая позволяет строить грамматики прямо в коде C++ [5]. Процесс интерпретации и исполнения запроса представлен на рис. 2.

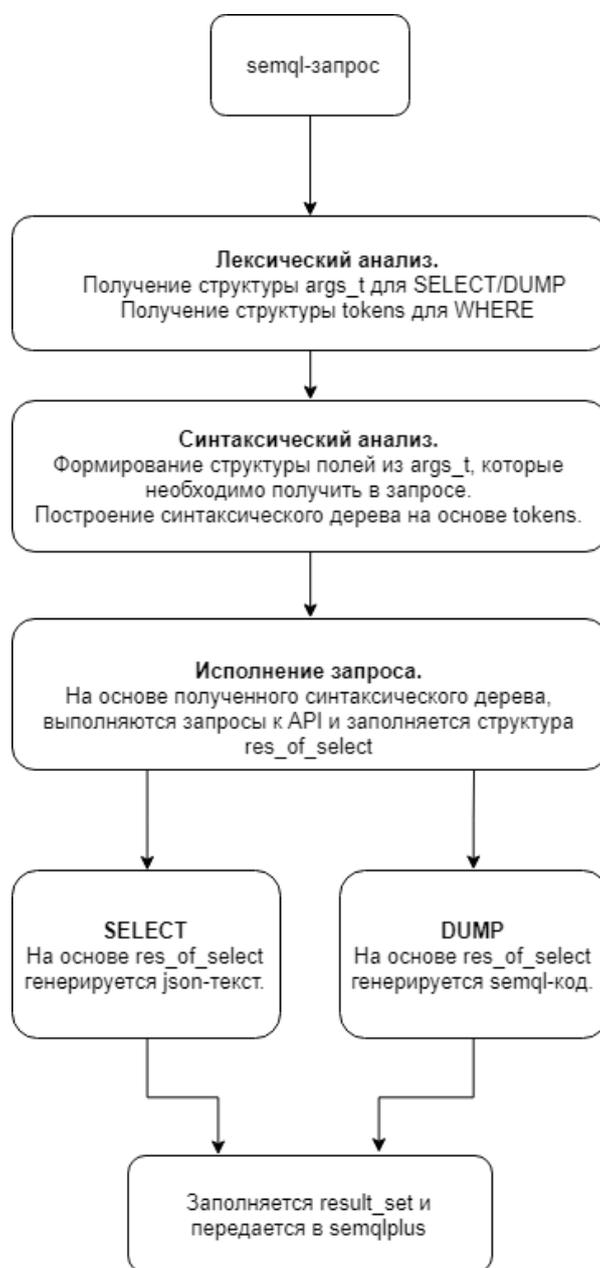


Рис. 2. Интерпретация и исполнение запросов

Первым этапом интерпретации запроса является лексический анализ. В начале лексического анализа определяется, какая из доступных команд была введена пользователем. Одновременно с этим, на основе построенных при помощи Boost::Spirit грамматик, определяется, верно ли задана структура команды, и распознаются лексемы. Используемые грамматики состоят из отдельных независимых частей. Такой способ организации позволяет при необходимости легко вносить изменения в существующую грамматику и дополнять ее функциональность. При этом отдельные части можно использовать в различных грамматиках. Если произойдет ошибка интерпретации в любой из частей грамматики, интерпретация прекратится, а пользователю вернется сообщение, что интерпретация данного запроса невозможна, с указанием на место в запросе, где была обнаружена ошибка.

На выходе лексического анализа получаются две группы токенов: токены, относящиеся к выборке данных – `args_t`, и токены, относящиеся к условиям выборки данных – `tokens`.

На этапе синтаксического анализа из данных, хранящихся в `args_t`, формируется структура полей, которые необходимо получить в результате выполнения запроса. Это позволяет реструктурировать информацию о данных, которые необходимо получить в результате запроса и избавиться от повторов названий полей.

На основе `tokens` строится абстрактное синтаксическое дерево (AST-дерево). Благодаря построению AST-дерева получается структурное представление исходного запроса уже без привязки к синтаксису SemQL. Так как корректность введенного запроса была проверена на этапе лексического анализа, при построении дерева достаточно верно разобрать порядок выполнения условий. Для построения AST используется стек, который позволяет установить верный порядок выполнения запросов к API. При этом разрозненные токены условий и функций объединяются, для того чтобы в дальнейшем можно было совершить необходимые запросы к API. В результате этого, в листьях полученного синтаксического дерева находятся условия фильтрации данных и функции. В узлах находятся операторы AND и OR.

Для унификации данных, возвращаемых в результате запросов к API менеджера семантической сети, была написана API-прослойка. Это позволяет использовать универсальный формат хранения данных, полученных во время выполнения запроса. Помимо этого, данная прослойка API служит для облегчения корректной выгрузки данных из сети. К примеру, при запросе к API-менеджера семантической сети для получения экземпляра понятия, дополнительно происходит запрос на получение данного понятия. Аналогично, при запросе семантических отношений в качестве результата запроса, помимо самих отношений, записываются понятия, которые этими отношениями связываются. Это позволяет получать в качестве результата запроса не просто отдельный объект семантической сети, а часть сети, которая способна существовать отдельно от общей сети. Результаты запросов к API записываются в структуру `res_of_select`, содержащую ассоциативные контейнеры для каждого типа объектов семантической сети. Для данной структуры реализованы процедуры, позволяющие получать пересечения и объединения данных структур. Так как условия и функции находятся только в узлах синтаксического дерева, количество запросов к API будет минимальным, что позволяет ускорить процесс исполнения запроса.

Выполнение запроса происходит следующим образом:

1. обработчик запроса рекурсивно спускается до листьев полученного синтаксического дерева;
2. по именам полей в условии и по названиям функций определяется, какой именно запрос к API необходимо произвести;
3. выполняется запрос к API, и полученные данные записываются в структуру `res_of_select`;

4. обработчик поднимается в дереве на узел уровнем выше и в зависимости от оператора в данном узле получает пересечение (при использовании оператора AND) или объединение (при использовании оператора OR) полученных ранее структур;
5. пункт 4 повторяется до тех пор, пока не будет достигнута вершина дерева.

В результате, на выходе получается структура `res_of_select`, содержащая именно те данные, которые были запрошены по условию запроса.

Заключение. На сегодняшний день не существует языка запросов, который бы отражал все требования к запросам пользователя к семантической сети. Разработанный механизм выборки данных из семантической сети вместе с предложенным языком запросов позволяет выполнять большинство задач пользователя.

Для возможности использования предложенного языка запросов был разработан ряд утилит, включающий в себя: командную оболочку семантической сети – `semql_plus`, интерпретатор запросов – `SemQL Parser` и исполнитель запросов – `SemQL Executer`. Данный программный комплекс был интегрирован с существующей семантической сетью `Jackalope`.

Литература

1. Письмак А.Е., Харитонов А.Е., Цопа Е.А., Клименков С.В. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 74–78.
2. Klimentov S., Tsopa E., Pismak A., Yarkhev A. Reconstruction of Implied Semantic Relations in Russian Wiktionary // Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. – 2016. V. 2. – P. 74–80.
3. Osika V., Klimentov S., Tsopa E., Pismak A., Nikolaev V., Yarkhev A. Method of Reconstruction of Semantic Relations using Translingual Information // Proceedings of the 9th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. – 2017. – V. 2. – P. 239–245.
4. Цопа Е.А., Осика В.П., Письмак А.Е., Клименков С.В., Николаев В.В. Метод восстановления семантических отношений с использованием транслингвальной информации // Программные продукты и системы. – 2017. – Т. 30. – № 4. – С. 50–57.
5. Документация библиотеки Boost Spirit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://boost-spirit.com/home/doc/> (дата обращения: 26.03.2019).

Муратова Ульяна Дмитриевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3411

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: ulyafka.muratova@mail.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.934, 004.01

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧАТ-БОТОВ**Муратова У.Д., Балакшин П.В.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

В работе было проведено исследование некоторых диалоговых систем и голосовых ассистентов, на основе их сравнения были сформулированы основные базовые требования для создания чат-ботов. Так как одним из требований является интеграция с Automatic Speech Recognition, также было проведено сравнение систем распознавания речи с открытым исходным кодом в целях выбора оптимальной для встраивания в мобильное приложение.

Ключевые слова: диалоговые системы, чат-боты, голосовые ассистенты, требования, ASR, распознавание речи.

В настоящее время очень актуальна идея разработки программ, позволяющих обращаться к гаджетам на естественном языке, получать ответы на этом же языке или ждать выполнения команды, данной гаджету голосом. Многие компании пишут чат-ботов для рассылки информации в социальных сетях, разрабатываются системы, известные под общим названием «Умный дом», способные управлять домашней техникой, проводятся конкурсы на создание лучших программ, способных отвечать человеку. Например, в ноябре 2018 года в Университете ИТМО проводился конкурс IBM по созданию чат-бота для бизнеса.

Зачастую чат-боты необходимы компаниям, не имеющим в своем штате программистов, что заставляет компанию подписывать договоры и технические задания на создание необходимого чат-бота. В открытом доступе есть не так много технических заданий на эту тему, однако в одном из них [1] много внимания уделялось интерфейсу, и почти ничего не было сказано об основной задаче чат-бота – общении: как это будет реализовано и какие требования будут предъявлены к умению чат-бота общаться. Поэтому цель данного исследования – формирование и валидация основных требований для создания чат-ботов.

Для возможности реализации разговора с роботом на данный момент известны два способа – это диалоговые системы (они же чат-боты) и голосовые ассистенты. В первую очередь стоит разобраться, в чем разница между этими понятиями.

Диалоговая система (чат-бот) – это встроенная или отдельная программа, предназначенная для ведения диалога с помощью слуховых или текстовых методов. Таким образом, задача чат-бота – распознать человеческий запрос, сформировать необходимую команду, если это необходимо, и ответить человеку.

Вторая технология – голосовой помощник или голосовой ассистент. Это программа, способная воспринимать и выполнять голосовые команды. Наиболее распространено использование таких программ в системах «Умный дом» и в смартфонах (планшетах).

Из-за схожести функций и отсутствия собственного названия для программ, соединивших в себе функции чат-бота и голосового ассистента, возникла путаница в правильном именовании программ каждого вида. Достаточно часто в Интернете, а особенно в реальной жизни такие программы, как Яндекс.Алиса и подобные ей, называют чат-ботами из-за способности этих программ отвечать на запросы пользователя. Сами разработчики называют такие программы голосовыми ассистентами, хотя эти программы объединяют в себе и функции голосового ассистента, и функции чат-бота, однако на данный момент нет названия, которое можно было бы использовать для программ такого рода.

Еще два понятия, которые используются в области именовании данных программ – это голосовые ассистенты и голосовые помощники. Эти понятия эквивалентны, разница появляется из-за того, что английское слово *assistant*, используемое в англоговорящих странах, на русский переводят и как ассистент, и как помощник.

Для наглядности и упрощения понимания можно выделить основные функции этих технологий и изобразить с помощью кругов Эйлера, представленных на рисунке.

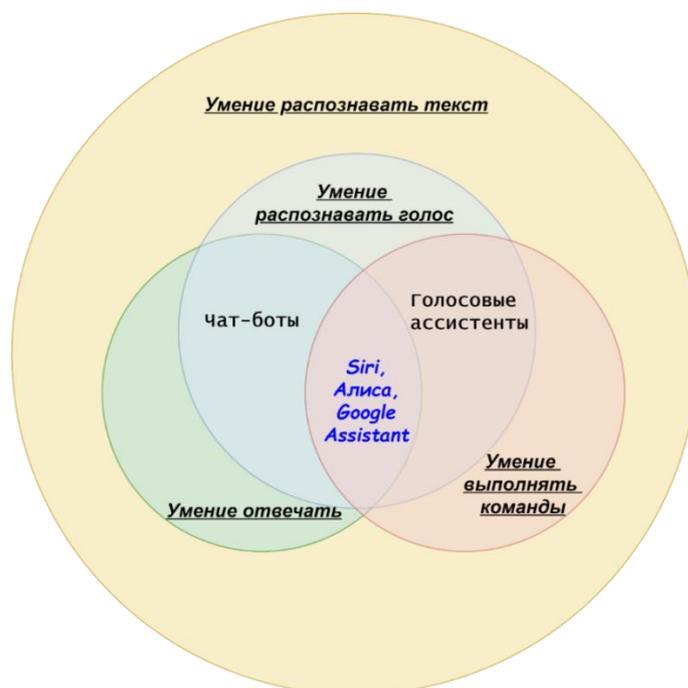


Рисунок. Связь основных функций чат-ботов и диалоговых систем

На основании вышеперечисленного были определены задачи исследования:

1. изучить типы и архитектуру диалоговых систем;
2. сформировать основные требования для создания чат-ботов;
3. разработать прототип чат-бота;
4. провести тестирование распространенных систем автоматического распознавания речи (Automatic Speech Recognition, ASR);
5. сравнить полученный прототип чат-бота с существующими решениями;
6. провести валидацию сформулированных требований.

Для сравнения были выбраны чат-боты социальной сети Вконтакте, мессенджера Telegram, а также Яндекс.Алиса [2], Google Assistant [3] и Siri. Критерии и сравнение этих чат-ботов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сводная таблица характеристик выбранных чат-ботов и диалоговых систем

Критерии	Чат-боты VK	Чат-боты Telegram	Яндекс.Алиса	Google Assistant	Siri
Количество фраз, которые программа способна понимать	до 10	до 200	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Количество ответов	до 10	до 50	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Использование ASR	–	–	+	+	+
Простые действия	до 5	до 20	более 100	более 100	более 100
Интеграция со сторонними программами	–	–	+	+	+
Самостоятельное приложение	–	–	+	+	–
Добавление навыков сторонними разработчиками	–	–	+	+	+
Модуль синтеза речи	–	–	+	+	+

Основная функция чат-бота – общение. Чат-бот умеет общаться только заранее заготовленными фразами, следовательно, для любой программы такого рода должны быть подготовлены два блока фраз: возможные фразы человека, которые чат-бот будет понимать, и фразы, которыми чат-бот будет отвечать. Стоит учесть, что одну фразу можно сформулировать различными способами (например, «Сколько сейчас времени?» и «Который час»), а ответ на них будет одинаков. Однако при использовании нейросети проблема составления набора фраз пропадает, что улучшает способность чат-бота общаться, но усложняет работу разработчика.

В современном мире люди сталкиваются с проблемой нехватки времени, что в отношении к чат-ботам проявляется нежеланием печатать и читать текст. В таком случае большей используемости чат-бота может помочь включение в него модулей распознавания и синтеза речи, что позволит человеку выполнять несколько действий разом – заниматься своими делами и одновременно общаться с чат-ботом.

Многие чат-боты и голосовые ассистенты на данный момент не могут работать без вспомогательных программ. Так, чат-боты, работающие в разных социальных сетях, разработаны исключительно для этих социальных сетей, и этих социальных сетей не функционируют. Даже известная Яндекс.Алиса, считающаяся сторонним приложением, поставляется исключительно с Яндекс.Браузером. Для многих пользователей это является лишним функционалом, усложняющим работу с приложением, и они отказываются от использования чат-ботов и голосовых ассистентов. В связи с этим разработка отдельного приложения становится более актуальной.

На основе проведенного сравнения были сформулированы общие базовые требования, которым должен соответствовать любой чат-бот.

– Минимальные требования:

1. до 30 фраз с простым синтаксисом, которые чат-бот способен понимать;
2. до 15 фраз с простым синтаксисом, которыми чат-бот может ответить;
3. реализация на любом языке программирования для любой социальной сети.

– Достаточные:

1. более 200 фраз, которые чат-бот способен понимать;
2. более 50 фраз, которыми чат-бот может ответить;

3. выполнение простых операций (например, запись/вывод требуемых данных).
- Опциональные:
 1. интеграция с любой системой ASR;
 2. самостоятельное приложение;
 3. использование нейросетей для понимания запроса и ответа на него;
 4. возможность добавления операций.

На данный момент существует несколько достаточно известных коммерческих ASR. Это Google Cloud Speech, Amazon Alexa, IBM Watson, Siri и Yandex.SpeechKit. Однако у данных систем есть недостатки, мешающие использовать их для разработки собственных программ:

- все эти ASR работают только с Интернетом, что резко ограничивает их использование – при любой ошибке связи возможность распознавания голоса станет недоступна;
- отсутствие возможности персонализации распознавателя для нужд определенной программы – все вышеперечисленные системы ориентированы на среднего пользователя и будут хуже работать со многими специфическими областями;
- время распознавания и ответа на команду может увеличиться из-за низкой скорости Интернета, любых неполадок в сети или на сервере;
- проблемы с приватностью и защитой информации – любой, у кого есть доступ (в том числе и незаконный) к серверу, может прослушать запись, отправленную для распознавания.

Исходя из вышесказанного, следует выбирать системы распознавания речи с открытым кодом, что позволит настроить и обучить их, исходя из потребностей разработчика и пользователя.

Наиболее используемыми и известными ASR с открытым исходным кодом являются Kaldi, Mozilla DeepSpeech, Sphinx, RWTH ASR и Julius. Критерии и сравнение перечисленных ASR представлены в табл. 2 [4, 5].

Таблица 2. Сводная таблица характеристик, выбранных ASR

Критерии	Kaldi	DeepSpeech	Sphinx	RWTH ASR	Julius
WER ¹ , %	6,5	7,2	21,4	15,5	23,1
SF ²	0,6	4,3	0,5	3,8	1,3
Язык	C++	Python	C/Java	C++	C
Структура	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная
Поддерживаемые операционные системы	Linux, Windows, FreeBSD	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS	Linux, Windows, FreeBSD, Mac OS
Интерфейс	Консольный	Консольный	Консольный, API	Консольный	Консольный, API
Языки	Английский	Английский	Множество языков, в том числе экзотические	Английский	Японский, английский
Исследование распознавания речи	Предназначена	Нужно писать модули в случае необходимости			

Из табл. 2 видно, что у системы Julius наиболее высокий процент ошибок, а у системы DeepSpeech самое долгое время распознавания звуковой записи, соответственно, эти системы точно не подойдут.

Из оставшихся трех систем наиболее примечательны Kaldi и Sphinx. Первая удобна для использования в клиент-серверном приложении и позволяет вычислять и сравнивать различные метрики, что необходимо для понимания качества работы ASR и в целом чат-бота и, при необходимости, улучшения этой работы. Вторая позволит создать приложение для телефона без использования дополнительных средств и работать с чат-ботом оффлайн. Соответственно, для исследований эффективности работы чат-бота необходимо разработать оба варианта чат-бота и сравнить их между собой и с известными, активно используемыми чат-ботами.

Таким образом, на данный момент сформулированы основные требования для разработки чат-бота и выбраны несколько вариантов ASR для использования в чат-боте, сформированы критерии отбора данных для тестирования ASR, а также начата разработка прототипа чат-бота.

Исходя из цели исследования и поставленных задач, следующими этапами исследования будут расширение функциональности прототипа чат-бота и сравнение результата с существующими решениями, на основе сравнения будет проведена валидация требований, сформулированных на данном этапе.

Литература

1. Техническое задание на разработку и внедрение чат-ботов в мессенджерах: «Viber», «Telegram», «Facebook» и в социальной сети «ВКонтакте» для», «Facebook» и в социальной сети «ВКонтакте» для» и в социальной сети «ВКонтакте» для потребителей услуги по обращению с ТКО. – Ханты-Мансийск, 2019.
2. Навыки Алисы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dialogs.yandex.ru/store> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Google Ассистент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://assistant.google.com/explore?hl=ru_ru (дата обращения: 06.03.2019).
4. Бойко Д. Системы распознавания речи с открытым исходным кодом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lvee.org/en/abstracts/273> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Беленко М.В., Балакшин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 4(58). – С. 13–18.

Ночевной Дмитрий Сергеевич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4212

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: nochds@gmail.com

Клименков Сергей Викторович

Год рождения: 1972

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, ассистент

e-mail: serge.klimenkov@cs.ifmo.ru

УДК 004.822

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ ИЗ ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ WORD2VEC

Ночевной Д.С.

Научный руководитель – ассистент Клименков С.В.

Для построения современных онтологий всегда актуальным является извлечение семантически связанных слов из текста на естественном языке. Целью исследования являлось получение семантических отношений (меронимов и холонимов) с помощью инструментов, позволяющих получить векторное представление слов (word embedding). В процессе исследования была расширена исходная онтология, а также были восстановлены недостающие в ней связи. В итоге получены результаты, позволяющие говорить о достаточной точности выбранного метода.

Ключевые слова: семантическая сеть, онтология, семантическая связь, мероним, холоним, Word2vec.

Одним из ключевых элементов систем автоматической обработки текста являются онтологии или тезаурусы. Обычно в этом качестве используются онтологии или тезаурусы, построенные на базе тех или иных словарей. Общим недостатком таких онтологий является отсутствие специализированных терминов, специфичных для данной предметной области. Поэтому возникает проблема дополнения существующей онтологии узлами из внешних источников. Целью работы стало расширение исходной онтологии, а также восстановление отсутствующих связей, а именно меронимии [1].

Из имеющихся исходных данных и цели были выявлены задачи, требующие решения:

- поиск меронимов и холонимов в различных источниках неструктурированной и слабоструктурированной текстовой информации;
- анализ найденных элементов;
- добавление узлов и связей в исходную онтологию.

В рамках исследования была составлена классификация способов извлечения семантических отношений из текста.

Перечислим основные группы методов, основанные:

- на шаблонах (поиск в тексте информации, соответствующей одному из шаблонов, описывающих связь, например ЦЕЛОЕ «содержит» ЧАСТЬ) [2];
- на анализе объектной модели документа и форматирования текста (часто вложенные и родительские элементы обладают семантической связью) [3, 4];
- на машинном обучении (ярким примером этой категории является Word2vec [5], который рассматривался в данной работе).

Word2vec – это инструмент, который с помощью нейронной сети позволяет построить векторные представления слов, исходя из близости в тексте. С помощью

этих векторов можно определять слова, встречающиеся в одном контексте с заданным словом наиболее часто. Слова, близкие по смыслу, имеют похожие векторные представления. В то же время их векторы находятся далеко от семантически не связанных с ними слов.

Однако применение Word2vec не ограничивается только этим, интересной частью этого проекта является определение аналогий. Иначе говоря, мы можем находить разность векторов, которая является не чем иным, как связью между двумя словами. Классическим примером использования аналогий является определение столицы государства по примеру с другим государством. Например, вычитая вектор слова «Франция» из вектора слова «Париж» получим вектор отношения «иметь столицу». Прибавляя это отношение к вектору слова «Россия» получаем вектор, очень близкий к вектору слова «Москва».

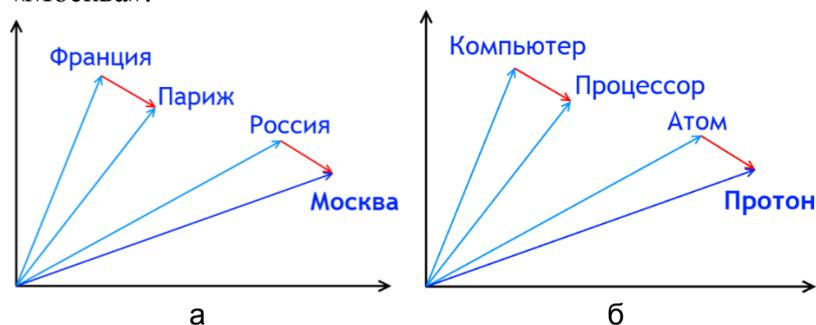


Рис. 1. Векторные представления отношений: «столица-государство» (а); «часть-целое» (б)

Таким же образом можно получить отношение типа «часть-целое», например, вычитая вектор слова «Компьютер» из вектора слова «Процессор». Сложив это отношение с вектором слова «Атом» получим вектор, близкий по значению к вектору слова «Протон». На рис. 1 приведены примеры векторного представления рассмотренных отношений.

Проведенные исследования показали, что количество ошибок при использовании данного подхода достаточно велико. Эта проблема была частично решена путем введения так называемых «обобщенных векторов отношений», а именно с помощью замены меронимов конкретного слова в тексте на ключевое слово.

Рассмотрим пример замены меронимов. Имеем исходное предложение: «Компьютер, как правило, включает в себя такие элементы, как процессор, память и диск». Далее необходимо запросить все известные связи для анализируемого слова из данной исходной онтологии. Например, для слова «компьютер» можно выполнить следующий запрос:

```
curl -XPOST http://ontology/manager/find_references -d '{"source": "компьютер", "type": "MERONYMY"}',
```

где в поле «source» указывается «сенс» или смысл исходного слова, для которого запрошены семантические связи, а в поле «type» указывается тип искомого отношения (в данном случае меронимия).

В ответе сервера будет содержаться информация об известных в онтологии меронимах:

```
[ { "type" : "MERONYMY", "value" : "процессор" }, { "type" : "MERONYMY", "value" : "диск" } ],
```

где в поле «type» указывается тип найденного отношения (в данном случае меронимия), а в поле «value» – найденный «сенс» или семантический смысл меронима.

В рамках существующей онтологии была разработана графовая база данных, позволяющая с помощью REST-запросов запрашивать лексемы, словоформы, «сенсы» и семантические отношения. Но для удобства также была разработана программная

обертка на языке Python 3.7 над этими REST-«эндпоинтами». С помощью нее можно получить словоформы меронимов для отдельно взятой словоформы меронима (это особенно важно для русского языка, в котором используется несколько падежей). Но на самом деле внутри этого вызова происходит несколько действий:

1. получение «сенса» или смысла по словоформе (например, словоформа «компьютер» указывает на «сенси» «компьютер_1»);
2. получение идентификатора семантически связанных «сенси» по заданному типу и идентификатору «сенса»-источника. На этом шаге получаем список идентификаторов меронимов для заданного холонима;
3. преобразование идентификатора в номер «сенса» в словаре;
4. поиск «сенса» по номеру для каждого найденного меронима. В ответе сервера уже есть список возможных словоформ для данного «сенса».

Поскольку данная онтология наполнена узлами и связями для русского языка, то и тексты для ее дополнения необходимо было найти на русском языке. В качестве входных данных для работы данного алгоритма был использован национальный корпус текстов русского языка (а именно его синтаксически размеченный подкорпус «СинТагРус»), который распространяется бесплатно по запросу для научных исследований.

Корпус состоит из множества XML-файлов. Структура каждого файла подразумевает наличие информации об авторе, редакторе, дате создания и изменения текста, а также о его названии. Вся эта информация находится внутри двойного тега `<inf>...</inf>`. Далее, внутри тегов `<body>...</body>` перечисляются предложения (в тегах `<S>...</S>`) и отдельные слова с синтаксической информацией (в тегах `<W>...</W>`). Для обработки документов в таком формате был разработан читатель на языке Python.

Для каждого слова в предложении необходимо запросить все известные меронимы из данной онтологии. После этого нужно произвести замену всех найденных меронимов. Следует отметить, что данная исходная онтология была заполнена связями вручную экспертами-лингвистами. Приведем пример получившегося предложения после замены известных меронимов: «Компьютер, как правило, включает в себя такие элементы, как MERONYMY, память и MERONYMY».

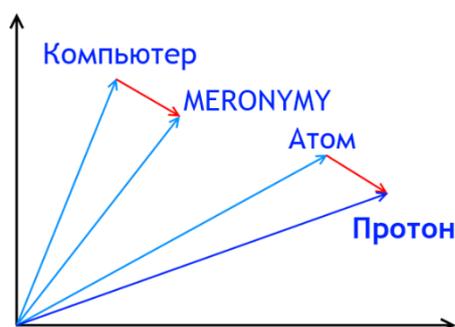


Рис. 2. Обобщенное векторное представление отношения «часть-целое»

После обучения нейронной сети на измененном корпусе текстов, получено векторное представление ключевого слова «МЕРОНЫМУ», приведенного на рис. 2, которое обобщает в себе векторы всех известных меронимов, найденных в тексте. После этого удалось использовать его при вычислении аналогий.

На рис. 3 приведены результаты работы инструмента Word2vec с использованием конкретных меронимов, а также с использованием так называемых «обобщенных» меронимов. Эти примеры показывают, что в среднем количество правильно определенных связей увеличилось на 5–10%.

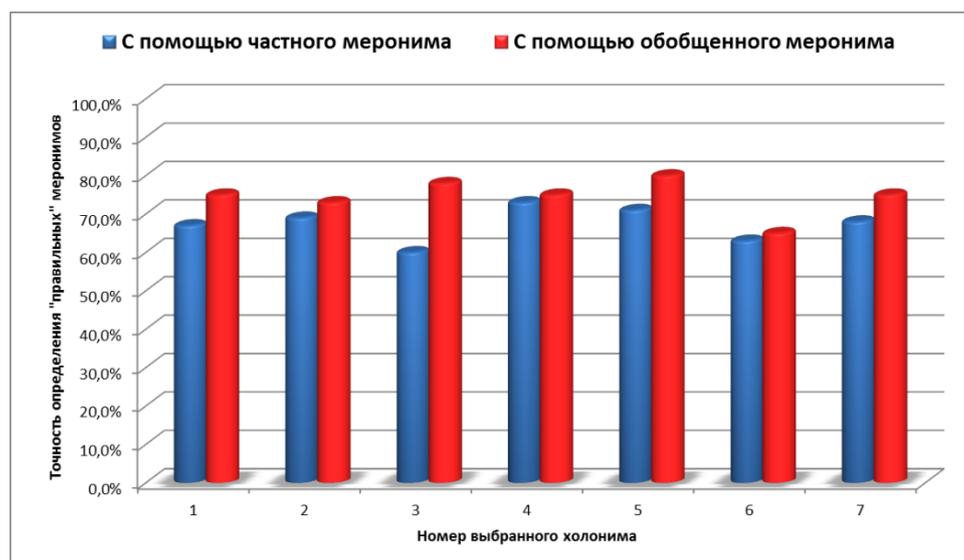


Рис. 3. Полученные результаты с использованием векторных представлений конкретных меронимов (синие столбцы) и с использованием обобщенного векторного представления меронимов (красные столбцы)

Были получены результаты, позволяющие говорить о достаточной точности выбранного метода. В процессе исследования была составлена классификация способов извлечения семантических отношений из неструктурированной и слабоструктурированной текстовой информации. В итоге была достигнута исходная цель, и выполнены все поставленные задачи, в частности, добавлены новые узлы и связи в исходную онтологию. Средняя точность получения новых связей составила около 71,3%. Полученные результаты показывают практическую значимость предложенного метода и возможность его применения для извлечения связей из текста.

В дальнейшей научной работе планируется продолжение исследований по этой теме, а именно увеличение точности извлечения семантических отношений из текста и, возможно, разработка новых методов для обогащения существующей онтологии новыми узлами и связями.

Литература

1. Письмак А.Е., Харитонов А.Е., Цопа Е.А., Клименков С.В. Метод автоматического формирования семантической сети из слабоструктурированных источников // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 74–78.
2. Winston M.E., Chaffin R., Herrmann D. A taxonomy of part-whole relations // Cognitive science. – 1987. – V. 11. – № 4. – P. 417–444.
3. Davalcu H. et al. Ontominer: Bootstrapping and populating ontologies from domain-specific web sites // IEEE Intelligent Systems. – 2003. – V. 18. – № 5. – P. 24–33.
4. Aussenac-Gilles N., Kamel M. Ontology Learning by Analyzing XML Document Structure and Content // KEOD. – 2009. – P. 159–165.
5. Mikolov T. et al. Efficient estimation of word representations in vector space [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

Орлов Иван Максимович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3400

Направление подготовки: 09.03.01 – Вычислительные машины, комплексы, системы и сети

e-mail: kaicoldheart@gmail.com

Соснин Владимир Валерьевич

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н.

e-mail: vsosnin@mail.ru

УДК 004.732

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К МОДЕРНИЗАЦИИ WI-FI-СЕТИ**Орлов И.М.****Научный руководитель – к.т.н. Соснин В.В.**

В работе рассмотрена проблема модернизации Wi-Fi-сети на примере корпуса Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49. Целесообразность и необходимость улучшений доказаны с помощью анкетирования студентов. Представлено применение математического аппарата теории игр для анализа полезности модернизации и нахождения решения, удовлетворяющего и университет, и студентов.

Ключевые слова: теория игр, Wi-Fi, Университет ИТМО, теория оптимизации, сети.

Проблема модернизации инфраструктуры публичной сети Wi-Fi сегодня решается очень часто, но обычно во внимание принимаются только интересы заказчика, стремящегося минимизировать функцию затрат. Теоретико-игровой подход решения этой проблемы, учитывающий нужды обеих сторон, с высокой вероятностью позволит найти решение, приносящее наибольшее суммарное удовлетворение и повышающее эффективность взаимного сотрудничества, что очень важно в системе долгосрочных отношений «студент-университет». Задачей данной работы являлось создание игры, иллюстрирующей ситуацию модернизации Wi-Fi-сети, и ее анализ с целью нахождения стратегий, максимизирующих выигрыш обоих игроков.

Однако сама целесообразность модернизации Wi-Fi-сети может оказаться не совсем очевидной. Важность Wi-Fi для высших учебных заведений (ВУЗ) в общем и для Университета ИТМО в частности может быть сомнительна. Несомненно, качество обучения и помещений являются очень важными факторами, но в современном мире и Wi-Fi-покрытие может играть существенную роль в решении студента о месте поступления. Исследование, проведенное Дэнни Мореко из SecurEdge Networks [1], охватило 208 студентов ВУЗов США и показало, что для 38% из них качество кампусного Wi-Fi было решающим фактором при выборе университета, а 30% рекомендовали бы ВУЗ, основываясь на этом качестве.

Несмотря на то, что Россия и США сильно различаются, можно предположить, что обилие гаджетов и желание иметь доступ к Интернету (желательно бесплатно) практически везде, дошедшее в сегодняшней цифровой эре по силе почти до уровня базовых потребностей, роднит студентов этих стран. Значит, удовлетворив такую потребность, Университет ИТМО обеспечит себе конкурентное преимущество перед другими ВУЗами. Для подтверждения данного предположения было проведено анкетирование студентов Университета ИТМО, занимающихся в корпусе на

Кронверкском проспекте, д. 49. Участие в опросе приняли 58 учащихся – 31 мужчина и 27 женщин. Частичные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сравнение результатов анкетирований

Показатель	SecurEdge	Университет ИТМО
Количество респондентов	203	58
Процент мужчин	58	53
Процент женщин	42	47
Преимущественный возраст, лет	18–29 (75-перцентиль)	18–29 (97-перцентиль)
Наиболее популярный девайс	смартфон	смартфон
Главное занятие онлайн	исследования и учеба	исследования и учеба
Процент людей, для которых Wi-Fi был решающим фактором при выборе ВУЗа	38	5
Процент людей, которые рекомендовали бы ВУЗ, опираясь на качество Wi-Fi в нем	30	9
Процент людей, которые считают Wi-Fi важной частью своего успеха как студента	90	59

Таблица 2. Распределение студентов по количеству часов в день, проводимых онлайн

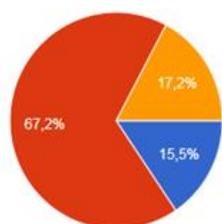
Время онлайн, ч	SecurEdge, %	Университет ИТМО, %
[0;4)	19	9
[4;8)	40	29
[8;12)	29	28
[12;16)	8	24
[16;24]	4	10

Большое расхождение в результатах опроса в последних трех строках табл. 1 можно объяснить тем, что, в отличие от России, в США кампусом является не только здание университета, но и общежитие. Таким образом, американские студенты проводят в кампусе гораздо больше времени, чем российские студенты. Также стоит отметить, что мобильный Интернет в Америке стоит дороже, чем в России, однако, возможно, эта разница сглаживается разницей в покупательных способностях. Из табл. 2 видно, что 62% опрошенных проводят онлайн 8 и более часов в день, т.е. для них потеря доступа к Интернету на время пребывания в университете неприемлема.

Дополнительные вопросы в анкетировании для студентов Университета ИТМО касались удовлетворенности их сетью itmonet, результаты представлены на рис. 1.

Довольны ли Вы покрытием сети itmonet?

58 ответов



Довольны ли Вы качеством сети itmonet?

58 ответов

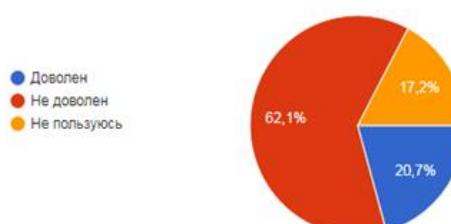


Рис. 1. Результаты анкетирования относительно itmonet

Как видно, процент довольных студентов крайне низок, при этом многие используют сеть в учебных целях (59% считают Wi-Fi важной частью своего успеха как студента) и хотели бы иметь лучший Wi-Fi, а, стало быть, сеть itmonet нуждается в модернизации. Целесообразность налицо.

Для оценки прибыльности модернизации и ее планирования создана игра, описывающая потери и выигрыши, как Университета, так и студентов от замены существующих или установки дополнительных роутеров Wi-Fi. Зоной может являться учебная аудитория или другое выделяемое пространство: столовая, ITMO.PLACE (студенческое пространство) и др. Для каждой уже покрытой зоны каждый семестр происходит игра, представленная на рис. 2.

Студенты \ Университет	Ничего не делать	Обеспечить качественное покрытие зоны
Пользоваться мобильным интернетом	$N^*(-A), 0$	$N^*(-A), (B(N)-C(N))$
Пользоваться сетью itmonet	$0, 0$	$0, (B(N)-C(N))$

Рис. 2. Игра «Wi-Fi-покрытие», где N – число студентов в данной зоне; A – затраты студента на мобильный интернет, руб.; $B(N)$ – функция выигрыша Университета от студентов, руб.; $C(N)$ – функция затрат Университета на покрытие зоны сетью Wi-Fi, руб.

Следует заметить, что функции являются изолированными: $B(N)$ учитывает выигрыш от студентов, на чье поступление повлияло качество Wi-Fi, а $C(N)$ – затраты на покрытие без учета, например, необходимого для установки точки доступа ремонта зоны. Затраты и выигрыши сугубо финансовые ввиду сложности квантификации психологических.

Игра представлена в нормальной (матричной) форме: стратегии игрока 1, «Студенты», расположены в строках, стратегии игрока 2, «Университет» – в столбцах. Выигрыши находятся в ячейках в формате X, Y ; где X – выигрыш (utility, полезность) игрока 1, Y – выигрыш игрока 2.

В случае непокрытой зоны «Студенты» не могут воспользоваться itmonet, так что до ее покрытия им остается пользоваться мобильным интернетом (либо не иметь подключения вообще, что, как показало анкетирование, является неприемлемым вариантом).

Одним из способов решения матричных игр является Iterated Elimination of Strictly Dominated Strategies (IESDS). Согласно книге Лейтона-Брауна и Шохам [2] он заключается в последовательном удалении из матриц строк и столбцов, соответствующих строго доминируемым стратегиям. Стратегия А является строго доминирующей над Б, если, выбирая А, игрок всегда получает больший выигрыш, чем выбирая Б. Стратегия Б в таком случае является строго доминируемой.

Воспользуясь IESDS, получим, что оптимальной для «Студентов» будет стратегия «Пользоваться сетью itmonet», потому что 0 по определению больше отрицательного числа $N^*(-A)$. Однако для «Университета» все зависит от значения выражения $B(N)-C(N)$.

Рассчитаем значение этого выражения и докажем, что оно больше 0, т.е. доходы от обеспечения качественного покрытия зоны превышают расходы, и стратегия «Обеспечить качественное покрытие зоны» является доминирующей. В расчетах примем следующие допущения:

- рассматриваются студенты-бакалавры, так как на выбор магистров больше влияет их собственный опыт и направление дальнейших исследований;
- «цена студента» приравнивается цене его обучения, т.е. потенциальные выигрыши олимпиад, гранты и другие денежные суммы не учитываются;

- так как тендеризацию и оптовые закупки товаров/услуг точно проанализировать невозможно, расчет проводится без них;
- расчет проводится для одной зоны – столовой;
- показывается худший случай: максимизируются затраты (самый дорогой роутер и самые дорогие работы), минимизируется прибыль (улучшение Wi-Fi повлияло на выбор одного студента) – если в таком случае прибыль будет больше 0, то и в любом другом она будет положительна.

Усредненная стоимость обучения студента на основе списка групп первого курса с парами на Кронверкском проспекте, д. 49, (79 групп) и приказа 121-од от 28.02.2018 равна 208354 рубля 43 копейки.

Стоимость выбранного роутера Asus RT-AC86U равна 17000 рублей. Работы по установке – 1500 рублей за точку доступа. Численные показатели взяты из подборок лучших роутеров и сайтов фирм, занимающихся установкой Wi-Fi-оборудования. Для покрытия столовой необходимо 3 роутера. Итого, в худшем случае средний выигрыш составит:

$$B(N) - C(N) = (1 \times 208354) - (3 \times [17000 + 1500]) = 152854 \text{ рублей.}$$

Из расчета следует, что стратегия «Обеспечить качественное покрытие зоны» является доминирующей. Также следует заметить, что значение $B(N) - C(N)$ будет только увеличиваться, если студент продолжит обучение. Несомненно, эти средства не являются чистой прибылью Университета, а лишь показывают ту сумму, которой у него не было бы, если бы один студент не сделал выбор в пользу поступления, руководствуясь, в том числе и качеством Wi-Fi. «Стоимость студента» включает затраты на зарплату педагогов, коммунальные услуги, услуги связи, содержание зданий, культурно-массовую и спортивную работу, доплаты за эффективность и многое другое согласно И. Борисовой [3].

Таким образом, модернизация имеет смысл, так как может принести доход: для того, чтобы затраты превысили «цену студента» необходимо добавить в зону 12 самых дорогих роутеров, что не является целесообразным и оправданным ни для одной зоны корпуса Университета ИТМО на Кронверкском проспекте, д. 49. Улучшения следует начинать с зон, в которых присутствует наибольшее количество людей. Скорее всего, там они обойдутся дороже, так как для обеспечения требований QoS одновременно для большого числа людей может потребоваться большее количество или более высокое качество точек доступа, а стало быть, и их стоимость будет выше. Однако это нивелируется тем, что потенциальный выигрыш «Университета» будет гораздо больше.

При планировании модернизации также встает вопрос о количестве зон, которые необходимо модернизировать. В теории игр, а точнее в ее подразделе, изучающем аукционы, существует идея «go big or go home», т.е. игрок либо делает большую ставку (например, то, во сколько он оценивает лот), либо не ставит вовсе. Эта идея применима здесь, потому что для того, чтобы улучшение возымело действие (в данном случае повысило удовлетворенность качеством сети и, как следствие, сделало хорошую рекламу), оно должно быть замечено, причем, чем больше пользователей его заметят, тем лучше. Нижний порог составляет величину, хотя бы на единицу большую половины суммарного количества студенто-часов – для того, чтобы на каждый «недовольный» студенто-час пришелся хотя бы один «довольный» (что уже даст улучшение, так как на данный момент из 58 анкетированных всего 9 довольны покрытием и 12 – качеством сети itmonet). Студенто-час – студент, проводящий 1 университетский час (2 академических, «пару») в аудитории по расписанию. Следует заметить, что покрытие столовой является первоочередной задачей по причине популярности, наибольшего количества сидячих мест и отсутствия прямых ограничений ее посещения расписанием (теоретически студент не должен находиться в столовой только тогда, когда у него есть занятия).

Оценка прогнозируемой эффективности затруднена неопределенностью количества студентов, на выбор которых повлияет это улучшение, однако ввиду того, что это улучшение открывает большой простор для рекламы, как от Университета ИТМО, так и от студентов, а также потому, что «цена студента» намного больше цены покрытия зоны, эффективность оценивается как высокая.

Анкетирование, анализ составленной игры и расчет цены показали, что модернизация Wi-Fi-инфраструктуры корпуса на Кронверкском проспекте, д. 49, является целесообразной, так как она повысит очень низкий на данный момент процент довольных сетью студентов. Количество средств, появляющихся в университете в результате улучшения, превысит затраты на осуществление этого улучшения даже в худшем случае, когда оно повлияет на выбор всего одного студента. После перерасчета функций $B(N)$ и $C(N)$ разработанная игра может быть использована для анализа модернизации Wi-Fi в другом корпусе или университете.

Литература

1. Is Your Campus Wifi Quality Affecting Student Enrollment? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.securedgenetworks.com/blog/is-your-campus-wifi-quality-affecting-student-enrollment> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Leyton-Brown K., Shoham Y. Essentials of Game Theory // Morgan and Claypool Publishers. – 2008. – P. 1689–1699.
3. Борисова И. Цена студента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2017/02/20/po-kakomu-principu-vuzy-poluchaiut-dengi-iz-biudzheta.html> (дата обращения: 06.03.2019).

Осипов Денис Андреевич

Год рождения: 1997

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
институт автоматизации и робототехники, студент группы № ИДБ-15-09Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: ironwolf97@gmail.com

Забелин Александр Владимирович

Год рождения: 1980

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
кафедра измерительных информационных систем и технологий, ст. преподаватель

e-mail: zabelin-a-v@yandex.ru

УДК 531.715.1

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА
КОНТАКТНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА****Осипов Д.А.**

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

Научный руководитель – Забелин А.В.

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

В работе приведен пример успешного повышения производительности труда оператора оптического прибора и удобства пользования прибором за счет его компьютеризации. Данная работа показывает, как можно улучшить показатели эффективности использования старых измерительных оптических приборов, не прибегая к покупке новых. Также приведено описание разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: компьютеризация, контактный интерферометр, DirectShow, производительность, программное обеспечение.

Актуальность и современность данной работы обусловлена тем, что на сегодняшний день проблема производительности измерений на измерительных приборах (в том числе оптических) и удобства пользования устаревшими приборами стоит остро. Данная работа показывает, как можно повысить производительность и удобство пользования на старых измерительных оптических приборах, не прибегая к покупке новых. Это также касается новых оптических некомпьютеризированных приборов. На примере компьютеризированного контактного интерферометра ИКПВ-К (рис. 1) опробован алгоритм автоматической настройки яркости изображения поля зрения прибора. Это позволяет упростить процедуру переключения прибора в режим градуировки шкалы и обратно в режим измерения.

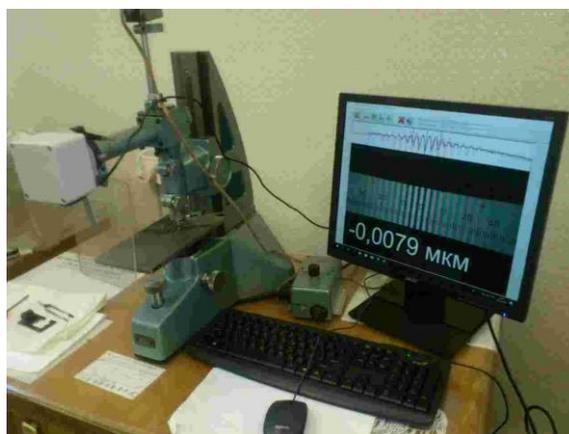


Рис. 1. Компьютеризированный контактный интерферометр системы Уверского

Компьютеризация – процесс дополнения конструкции существующего прибора различными цифровыми устройствами, такими как видеокамеры, датчики (умеющие передавать данные в компьютер). Компьютеризация какого-нибудь старого прибора может оказаться выгодной как экономически, потому что новые приборы стоят очень дорого, а для компьютеризации не требуется больших средств, так и практически, так как часто таким образом можно «дать вторую жизнь» старому прибору и/или старому компьютеру, который пылится где-нибудь на дальней полке.

На кафедре измерительных информационных систем и технологий Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» на протяжении 15 лет, среди многих прочих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведутся работы по компьютеризации контактного интерферометра системы Уверского [1]. Данный прибор является достаточно сложным для того, чтобы на этом примере получить необходимые начальные навыки компьютеризации оптических приборов. По этой причине он и стал основным объектом внимания при выполнении представленной работы. Принцип измерения на интерферометре Уверского основан на схеме интерферометра Майкельсона (рис. 2).

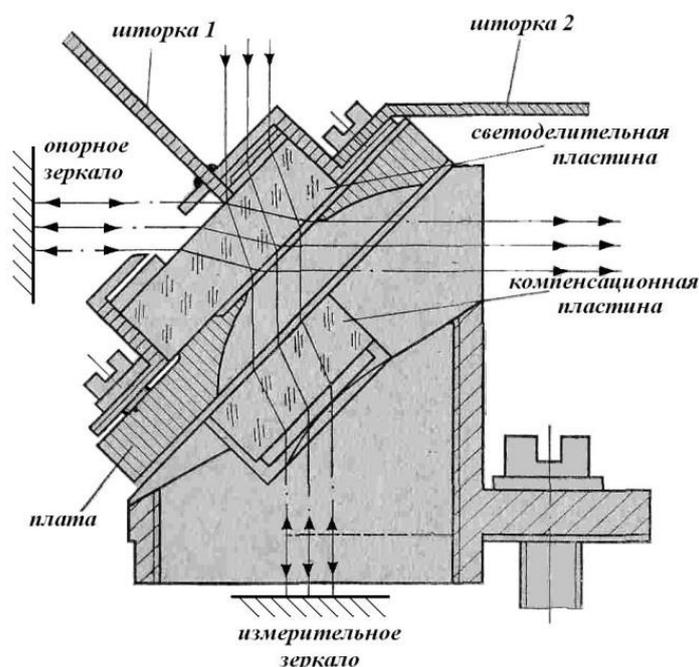


Рис. 2. Схема светоделительного узла интерференционной трубки прибора ИКПВ [2]

Свет от источника проходит через конденсор и попадает сверху на разделительную пластину. Опорный пучок света отражается от неподвижного зеркала справа и возвращается на полупосеребренную поверхность разделительной пластины. Второй (измерительный) пучок света проходит вниз и отражается от подвижного зеркала, которое жестко связано с измерительным наконечником трубки. На полупосеребренной поверхности разделительной пластины он интерферирует с опорным пучком, и результирующий луч идет направо в зрительную трубу, оснащенную камерой с прибором с зарядовой связью (ПЗС) для регистрации изображения поля зрения прибора. Полученное изображение обрабатывается по специальному алгоритму, и в результате определяется положение интерференционных полос, содержащее информацию о величине перемещения измерительного стержня прибора.

Контактные интерферометры используются в целях проверки концевых мер длины (КМД) второго, третьего и четвертого разрядов и классов точности нулевого, первого и второго. Также эти интерферометры используют для измерения особо точных изделий. Измеряют на ИКПВ методом сравнения с концевыми мерами и образцовыми деталями.

Автором разработана компьютерная программа Фраунгофер, которая позволит повысить производительность работы оператора на оптическом измерительном приборе, улучшить условия пользования данным прибором, а также, что немаловажно, опробовать на практике принципы разработки программного обеспечения для управления устройствами ввода изображения.

Программа позволяет изменять параметры цифровых видеокамер во время работы. Взаимодействие с пользователем осуществляется на двух языках: русском и английском. Для корректного запуска программы необходимы три файла: исполняемый файл программы (с расширением .exe), файл с настройками (UserSavedProperties.ini по умолчанию, но может быть другой, заданный пользователем) и динамическая библиотека (dshowcap.dll). Работа программы основана на библиотеке dshow.dll. Это динамическая библиотека, использующая мультимедийный фреймворк и интерфейс программирования приложений DirectShow, выпущенный корпорацией Microsoft [3].

При запуске программы открывается ее главное окно. Оператор имеет возможность выбрать устройство из списка доступных, с помощью которого будет осуществляться транслирование видеопотока. Это может быть любое видеоустройство, подключенное к компьютеру с помощью USB-порта. По умолчанию программа выбирает первое устройство из списка доступных. После выбора камеры и нажатия кнопки «Включить» появится диалоговое окно, показанное на рис. 3.

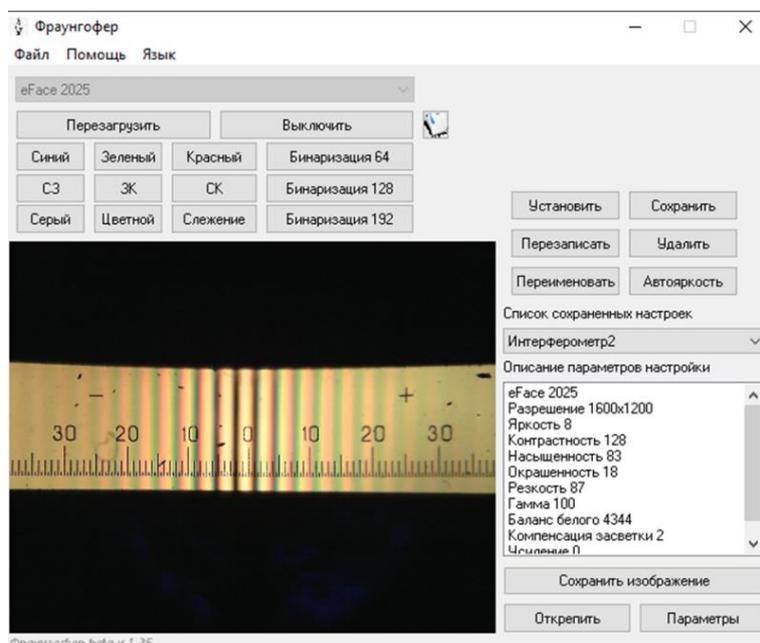


Рис. 3. Главное окно программы после инициализации видеоустройства

Для получения справки необходимо нажать на пункт «Помощь» в основном меню. При этом откроется вспомогательное окно справки. Выбирая далее в выпадающем меню необходимую тему, можно получить подробную информацию о ней в текстовом поле. Справка также доступна на двух языках. Нажатие на пункт «О программе» элемента меню «Файл» выдаст на экран информационное окно о разработчиках программы.

Для регулировки параметров видеоустройства необходимо открыть соответствующее окно нажатием кнопки «Параметры». Окно регулировки параметров показано на рис. 4. Кнопка «По умолчанию» возвращает все значения параметров видеоустройства к начальным. Кнопка «Отмена» при нажатии на нее возвращает все параметры к значениям, установленным в момент открытия окна «Параметры видеоустройства». Регулировка любого параметра (кроме разрешения) осуществляется

с помощью соответствующего ползунка с названием этого параметра. Если же пользователю известно точное значение параметра, то он может задать его в соответствующем текстовом поле.

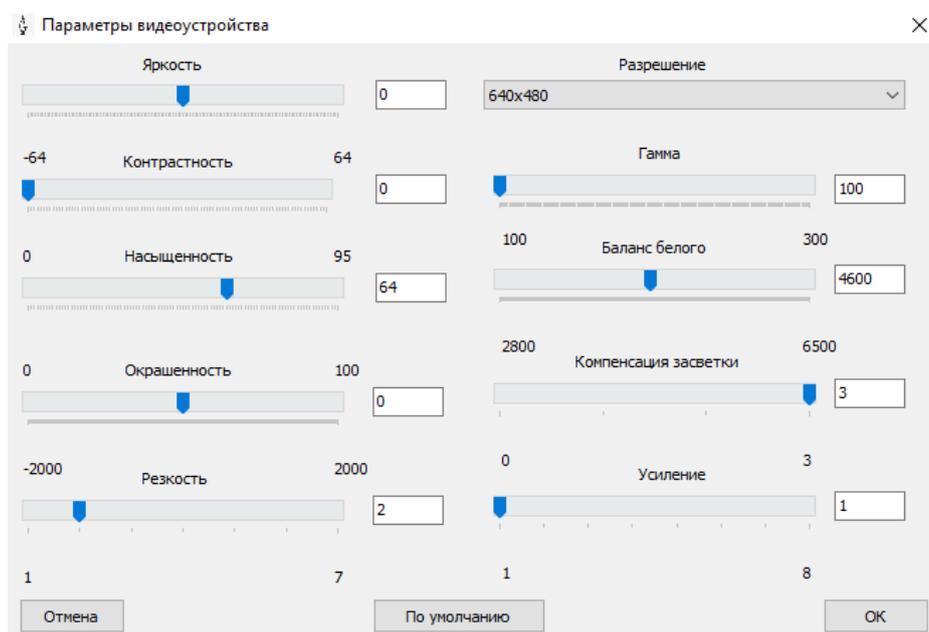
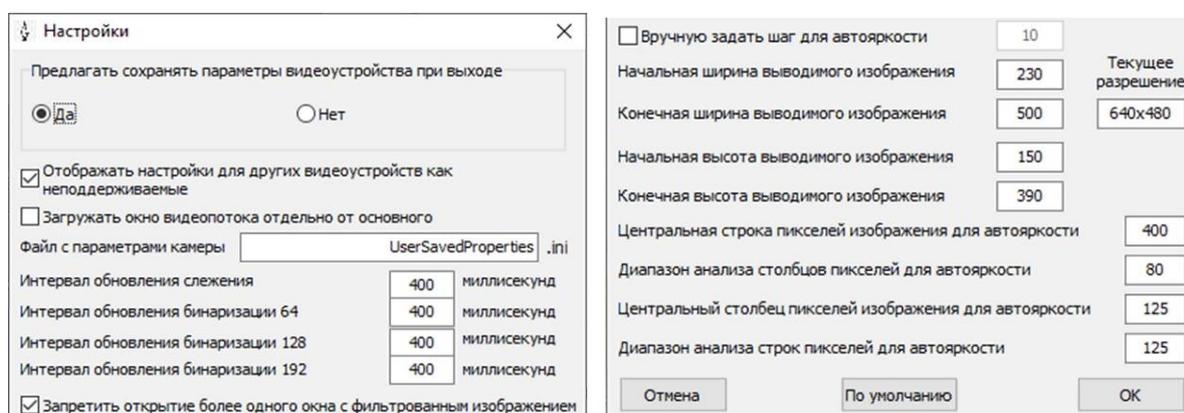


Рис. 4. Окно параметров видеоустройства

Программой предусмотрена возможность сохранения текущих значений параметров видеоустройства. Хранятся они в файле с расширением .ini. Это необходимо для упрощения процесса настройки свойств видеоустройств в оптических приборах и проведения исследований зависимости метрологических характеристик от этих свойств. Пользователь может сохранить изображение, отображаемое видеоустройством, в виде файла формата .bmp, .jpg, .png или .tif. Поменять расширение сохраняемого файла можно в настройках. В программе предусмотрен встроенный блокнот, в котором можно вести записи (например, записывать результаты измерений). Для его вызова необходимо в главном окне программы нажать на кнопку с соответствующей иконкой. Помимо всего прочего у программы есть собственные настройки. Чтобы открыть окно с настройками, нужно нажать на пункт «Файл» выпадающего меню, после чего нажать на пункт «Настройки». Откроется окно настроек (рис. 5). Если пользователь решит изменить эти настройки, то они сохранятся даже при закрытии программы и останутся такими же при следующем запуске.



а

б

Рис. 5. Верхняя (а) и нижняя (б) части окна настроек программы Фраунгофер

Пользователь может доверить программе настройку параметра «Яркость». Программа сможет сама подобрать шаг значений яркости в зависимости от диапазона возможных значений этого параметра, или же этот шаг может быть задан пользователем в настройках программы. Чтобы позволить программе подобрать яркость самостоятельно, необходимо нажать соответствующую кнопку на главном окне программы, после чего придется подождать, пока программа завершит выполнение алгоритма. Алгоритм подбора яркости заключается в следующем: программа изменяет яркость в доступном диапазоне с заданным или подобранным автоматически шагом, в процессе запоминая совокупности максимально ярких и максимально тусклых пикселей по некоторому количеству строк изображения. После этого она вычисляет максимальную разницу в таких парах. Найдя самую большую разницу, программа устанавливает то значение яркости, при котором была найдена самая большая разница в яркости пикселей. Пользователь может сам задать не только шаг, с которой будет меняться яркость при выполнении алгоритма подбора, но также и строки и столбцы изображения, по которым будет проходить программа.

Реализованный таким образом алгоритм подбора яркости изображения поля зрения интерферометра позволит упростить процедуру градуировки шкалы. Перед началом процесса поверки КМД шкалу интерференционной трубки необходимо проградуировать. Для этого в осветительную схему интерферометра временно включают светофильтр, который пропускает свет с длиной волны приблизительно 555 нм. По этой причине освещенность поля зрения резко уменьшается и для корректной работы алгоритма градуировки яркость изображения требуется временно увеличить. При градуировке определяется количество пикселей ПЗС-матрицы, которые укладываются в одну полосу интерферограммы, и определяется цена пикселя в микрометрах. Далее светофильтр необходимо выключить, и получают яркую интерференционную картину в белом свете для проведения измерений в основном режиме. Теперь яркость изображения поля зрения прибора требуется уменьшить. При автоматическом подборе уровней яркостей данная процедура будет более объективной, а также появится возможность освободить оператора от выполнения времяемких процедур подстройки яркости источника света интерферометра.

Таким образом, путем проведения компьютеризации контактного интерферометра Уверского была достигнута поставленная цель: производительность работы оператора данного оптического прибора существенно повысилась, как и повысилось удобство пользования. Так, например, благодаря сохранению настроек камеры оператору не нужно каждый раз настраивать эту камеру вновь, что существенно экономит время. За счет предусмотренной автоматической настройки яркости оператор освобождается от ручной настройки этого немаловажного параметра камеры, что также влияет на его производительность. Большое влияние на повышение удобства пользования оказала реализация (посредством компьютеризации) наблюдения за шкалой прибора через монитор, а не через окуляр. Более того: до проведения данной работы оператор не мог изменять параметры изображения (не считая изменения яркости, за счет регулировки падающего на зеркало интерферометра света). Теперь же при помощи разработанного программного обеспечения оператор может менять целых десять параметров, подбирая их так, чтобы изображение шкалы прибора было наилучшим. Очевидно, что наличие таких регулировок снизит количество ошибок, допускаемых оператором.

Семь USB-устройств было проверено на предмет корректной работы с данным программным обеспечением. Все из них успешно прошли проверку. Приобретен и задокументирован опыт по программистской работе с современными USB-приемниками изображения.

Литература

1. Забелин А.В., Емельянов П.Н. Технические аспекты программной коррекции оптических искажений при компьютеризации оптико-механических измерительных приборов // Развитие науки и образования в современном мире: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Ч. III. – 2015. – С. 18.
2. Ефремов А.А. Сборка оптических приборов. Учебник для средн. проф-техн. училищ. – М.: Высшая школа, 1978. – 259 с.
3. Хранилище документации Майкрософт для пользователей, разработчиков и ИТ-специалистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru> (дата обращения: 06.03.2019).

Панарина Дарья Николаевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3400

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: darpanar@yandex.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерных технологий, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.932.2

**ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ТИПА
МЫШЛЕНИЯ И ЧЕРТ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА****Панарина Д.Н.****Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.**

Использование биометрических данных в настоящее время применяется во множестве сфер деятельности человека, включая анализ психофизического состояния человека. При этом существующие базы знаний и методы оценивания не обладают проверенными результатами. В работе представлено приложение, реализованное для проверки гипотезы, что люди одной и той же профессии обладают схожими чертами лица. Гипотеза проверяется на базе изображений лиц студентов первого и четвертого курсов компьютерной специальности.

Ключевые слова: цифровая лицевая антропометрия, антропометрические точки лица, OpenCV, поиск ключевых точек лица, программная разработка, тип мышления.

Введение. Одно из важных и актуальных сегодня направлений развития биометрических технологий составляют научные исследования методов автоматического распознавания психофизического состояния людей по их лицам [1]. Оценка индивидуально-психологических особенностей человека востребована в ряде сфер деятельности человека, например, в образовании, коучинге, профориентации, при найме на работу и т.д. Проведение такой оценки посредством автоматического анализа лица человека позволило бы ускорить процесс и сделать его более точным, быстрым и объективным, чем использование вопросников [2].

Основным инструментом исследований в области лицевой биометрии является цифровая черепно-лицевая антропометрия. Цифровая лицевая антропометрия включает в себя методы автоматического определения координат ключевых антропометрических точек на изображениях лиц, вычисления различных параметров лиц, а также проведение специальных статистических (сравнительных) исследований по ним [3]. Для проведения антропометрических исследований изображений лиц разработан ряд пакетов программ, выполняющих такие функции как поиск лица и антропометрических точек, определение выражаемых эмоций, антропометрическое сравнение по изображениям лиц [3]. Примерами таких пакетов являются Luxand FaceSDK и Portret Client 5.0. Однако большая часть подобных программ являются коммерческими решениями.

В рамках проведенного исследования был рассмотрен вопрос возможности регистрации взаимосвязи между типом мышления и чертами лица человека посредством автоматического анализа изображения лица. Если эта взаимосвязь существует, то у людей одинаковой профессии должны наблюдаться некоторые схожие черты лица. Данная гипотеза была рассмотрена на примере студентов первого и

четвертого курсов по направлениям подготовки 090301 «Информатика и вычислительная техника» и 090304 «Программная инженерия».

Проверка выдвинутой гипотезы осуществлялась методами цифровой лицевой антропометрии, для чего была разработана программа, проводящая антропометрический анализ лиц. Создание приложения включает в себя формирование списка критериев анализа лиц, выбор средств реализации приложения, а также составление требований к базам изображений, с которыми будет работать программа.

Критерии анализа лиц. Для сравнения лиц были выбраны 19 базовых антропометрических параметров, в измерении которых задействованы 34 ключевых точки лица. Расстояние между центрами глаз является базисом, по отношению к которому определяются все параметры лица.

Выбранные характеристики описывают как размеры элементов лица, так и расстояния между ними:

1. ширина лица на уровне линии глаз;
2. ширина лица на уровне носа;
3. ширина лица на уровне губ;
4. расстояние от подбородка до линии глаз;
5. ширина глазной щели правого глаза;
6. высота глазной щели правого глаза;
7. ширина глазной щели левого глаза;
8. высота глазной щели левого глаза;
9. расстояние от центра правого глаза до верхней точки правой брови;
10. расстояние от центра левого глаза до верхней точки левой брови;
11. расстояния от центра правого глаза до точки кончика носа;
12. расстояния от центра левого глаза до точки кончика носа;
13. ширина носа;
14. высота носа;
15. расстояние от подбородка до середины линии смыкания губ;
16. ширина губ;
17. высота губ;
18. расстояние от нижней точки носа до середины края верхней губы;
19. площадь треугольника, вершины которого располагаются в точках внутренних уголках глаз и середине линии смыкания губ.

Выбор средств реализации приложения. Разрабатываемая программа является десктопным приложением, которое должно состоять из двух основных компонентов: графического интерфейса и основной части. Выбор средств реализации заключается в выборе языка программирования, а также библиотек для работы с изображениями и создания графической оболочки программы.

Для разработки был выбран язык программирования C++. В качестве библиотеки для работы с изображениями была выбрана библиотека OpenCV версии 4.0.1. Она содержит все необходимые методы для обработки изображений, детектирования лиц, а также поиска координат 68 антропометрических точек. Для разработки графического интерфейса задействован фреймворк Qt версии 5.12, предоставляющий целый набор инструментов для проектирования GUI (Graphical User Interface).

Требования к базам изображений лиц. Важным условием корректного проведения исследования является то, что все изображения лиц должны соответствовать единому стандарту. Был составлен перечень требований, которым

должны соответствовать все входные изображения программы, и согласно которым формировались базы изображений лиц студентов:

1. каждое изображение представляет собой фотографию анфас одного человека;
2. размер изображения не меньше 240×320 пикселей и не превышает 250×350 пикселей;
3. лицо занимает не менее 80% от размера изображения;
4. фон на изображении однороден;
5. элементы лица не закрыты волосами или очками.

В случае, когда входное изображение соответствует данным требованиям, оно проходит ряд базовых преобразований, сохраняющих параллельность линий (аффинные преобразования), таких как вращение и масштабирование. В итоге все входные изображения приводятся к единому стандарту:

1. центры глаз находятся на одной линии, параллельной горизонтальной границе изображения;
2. расстояние между центрами глаз составляет 60 пикселей;
3. линия симметрии лица проходит через середину изображения;
4. центр левого глаза отстоит от вертикальной границы изображения на 91 пиксель;
5. линия глаз находится от верхней границы на расстоянии, равном 145 пикселям.

При составлении условий формата изображений лиц, используемых в приложении, был рассмотрен стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-5-2013 «Информационные технологии. Биометрия. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 5. Данные изображения лица» [4].

Описание разработанного приложения. Сначала с помощью программы формируется собирательный образ – усредненная модель студента четвертого курса. После того, как программа сформировала модель-образец, можно проводить сравнения моделей лиц студентов первого курса с этим образцом.

Таким образом, пользователю доступны две команды:

- создание образца;
- сравнение с образцом.



	Parameter	Value, px
1	Face width at eye level	130.443
2	Face width at nose level	124.073
3	Face width at lip level	106.701
4	Distance from chin to eye line	104.582
5	Right eye width	24.2701
6	Right eye height	7.38145
7	Left eye width	24.7187
8	Left eye height	7.62768
9	Distance from centre of right eye to top of eyebrow	24.0572
10	Distance from centre of left eye to top of eyebrow	23.3828
11	Distance from centre of right eye to nose tip	39.5766
12	Distance from centre of left eye to nose tip	42.8173

Number of processed images : 21

Рис. 1. Отображение результатов формирования модели-образца

При нажатии на кнопку «создание образца» появляется диалоговое окно, с помощью которого пользователь может указать директорию с набором изображений посредством проводника операционной системы (ОС). После того, как пользователь укажет директорию, будет выполнен алгоритм формирования модели-образца, основные шаги которого:

1. последовательная обработка всех файлов изображений в директории и проведение антропометрических измерений каждого лица;
2. усреднение полученных результатов по всей выборке;
3. передача пользователю количества обработанных фото и списка параметров сформированной модели-образца.

На рис. 1 представлен пользовательский интерфейс программы после формирования модели лица студента четвертого курса.

Для сравнения модели лица студента первого курса с моделью-образцом пользователь должен нажать на соответствующую кнопку и выбрать фото с помощью проводника ОС. Шаги алгоритма «сравнения с образцом»:

1. загрузка и обработка выбранного изображения;
2. проведение сравнения с образцом;
3. передача пользователю:
 - изображения лица с указанными ключевыми точками;
 - список антропометрических измерений лица;
 - разности между параметрами лица и моделью-образцом;
 - итогового процента совпадения.

На рис. 2 представлен вид программы после проведения сравнения лица студента первого курса с моделью студента четвертого курса.



	Parameter	Value (Model), px	Value (Image), px	Difference, px
1	Face width at eye level	130.443	123.407	7.03586
2	Face width at nose level	124.073	118.466	5.60712
3	Face width at lip level	106.701	101.772	4.92881
4	Distance from chin to eye line	104.582	96.794	7.78754
5	Right eye width	24.2701	22.4418	1.82827
6	Right eye height	7.38145	6.93137	0.45008
7	Left eye width	24.7187	22.7509	1.96779
8	Left eye height	7.62768	6.61845	1.00923
9	Distance from centre of right	24.0572	21.4347	2.6225

Comparison result : 83.9652%

Рис. 2. Отображение результатов сравнения лица с моделью-образцом

По итогам тестирования приложения были проведены замеры времени обработки одного изображения:

1. время загрузки и проверки изображения на соответствия требованиям: 386 ± 22 мс;
2. время обработки изображения для приведения к стандарту: 39 ± 2 мс;
3. время подсчета параметров лица: меньше 1 мс.

Значения были получены при работе программы в 64-разрядной ОС Windows 10. Аппаратная часть состояла из процессора Intel(R) Core(TM) i3-6006U CPU (2,0 ГГц) и оперативной памяти 6 ГБ (1333 МГц).

Результаты обработки сформированных баз изображений лиц с помощью приложения. Анализ лиц студентов проводится отдельно для юношей и девушек. В эксперименте приняло участие 49 студентов первого курса, из которых 9 девушек и 40 юношей, и 36 студентов 4 курса, из которых 14 девушек и 22 юноши. Проведенное исследование вызвало большой интерес у студентов. Обработка персональных данных проводилась с согласия студентов.

Анализ полученных результатов работы показал существование корреляции между процентом схожести с моделью-образцом и достижениями студента. Наиболее ярко это проявилось среди студенток первого курса. Студентка первого курса, оказавшаяся наиболее схожей с моделью-образцом, поступила в университет по конкурсу ITMO.Stars – конкурсу уникальных достижений абитуриентов. Являясь студентом первого курса, она успешно учится и участвует в различных мероприятиях Университета ИТМО.

Полученные в ходе исследования результаты показывают возможные направления дальнейших работ по проверке гипотезы о взаимосвязи типа мышления и черт лица человека. Для этого необходимо совершенствовать методики анализа и определения параметров лиц, что потребует модернизации приложения. Также для проведения более качественной проверки выдвинутой гипотезы необходимо увеличение базы изображений анализируемых лиц.

Литература

1. Кухарев Г.А., Каменская Е.И., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Под ред. М.В. Хитрова. – СПб.: Политехника, 2013. – 388 с.
2. Хрисанфова Л.А., Сергеева О.М., Сибирякова И.А., Орлов А.В., Бронфман Л.Б. Сравнительный анализ оценок индивидуально-психологических особенностей человека, полученных различными методами // Вестник КГУ. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2016. – № 4. – С. 123–127.
3. Кухарев Г.А., Казиева Н. Применение цифровой лицевой антропометрии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 255–270.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-5-2013. Информационные технологии. Биометрия. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 5. Данные изображения лица. – Введен 01.01.2015. – М.: Стандартиформ, 2015. – 118 с.

Полякова Дарья Александровна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P4260

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии, компьютерная графика и веб-дизайн

e-mail: poodaba@gmail.com

Шалобаев Евгений Васильевич

Год рождения: 1947

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: shalobaev47@mail.ru

УДК 004.356.2**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЕСА ДЕТАЛЕЙ В ПРОГРАММЕ AUTODESK NETFABB****Полякова Д.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Шалобаев Е.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Производство решетчатых структур быстро выполняется с помощью технологий аддитивного производства, с целью получения продукта с меньшим весом и прочностью, а также обеспечением высоких специфических механических свойств, таких как прочность и поглощение энергии. Тем не менее современные технологии моделирования продукта имеют много трудностей для создания модели структуры решетки.

Ключевые слова: решетчатые структуры, аддитивные технологии, оптимизация, 3D-печать, снижение веса, Autodesk Netfabb.

Аддитивное производство (АП) обеспечивает экономию времени и средств в процессе разработки продукта. Оно имеет большой потенциал в производстве более легких деталей или инструментов путем встраивания ячеистых (решетчатых) структур, которые потребляют меньше материала, в то же время распределяя необходимую прочность. Меньший вес продукта и меньший расход материала могут привести к огромной экономии энергии и затрат. Хотя за прошедшие 25–30 лет с момента изобретения первой технологии АП прошло большой путь, разработка деталей и инструментов, использующих эту технологию, еще не в полной мере реализует ее потенциал. Проектирование для АП требует отхода от традиционных руководящих принципов проектирования и принятия новых конструктивных соображений и структур мышления. Там, где предыдущие методы производства (обработка с ЧПУ, литье и т.д.) часто требовали создания твердых деталей, АП допускает сложные детали с сотовой и решетчатой структурой реализации. Геометрия структуры решетки может изменяться для обеспечения требуемого уровня производительности детали.

Разработка и исследование различных ячеистых и решетчатых структур для облегченного дизайна представляет значительный интерес для реализации всего потенциала технологий АП. Исследование содержит в себе не только анализ существующих программных инструментов для проектирования и оптимизации структур ячеек, но и рассмотрение конструкции различных структур элементарных ячеек. Данная работа содержит прочную теоретическую основу для экспериментального анализа деталей, изготовленных аддитивными технологиями с

различными структурами элементарных ячеек, в испытаниях на сжатие и изгиб. Тем не менее, прежде чем эти достижения дизайна могут быть реализованы, необходимо понять связь между параметрами решетки и ее свойствами.

В исследовании [1] описано, что тремя основными факторами, влияющими на свойства клеточных структур, являются: свойства материала, топология и форма ячейки, а также относительная плотность клеточной структуры.

Цель данного исследования заключалась в изучении различных структур элементарных ячеек и их оптимизирующих свойств. Конечная цель состояла в том, чтобы сформировать достаточное понимание свойств элементарной ячейки для эффективной и результативной замены твердой детали с решетчатой структурой и создания новых деталей, использующих решетчатые структуры в полном объеме.

Все образцы с разнообразными структурами элементарной ячейки были разработаны с использованием Autodesk Netfabb Premium [2] – программный инструмент, который позволяет преобразовывать твердые части в решетчатые структуры. Конкретные размеры и цифры образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики ячеистых структур для образцов

Type	Unit cell dimensions (X), мм	Unit cell dimensions (Y), мм	Unit cell dimensions (Z), мм	Cube dimensions (X), мм	Cube dimensions (Y), мм	Cube dimensions (Z), мм
Solid	–	–	–	25,00	25,00	25,00
X	3,00	3,00	3,00	25,36	25,38	25,34
Grid	5,00	5,00	5,00	25,00	25,00	25,00
Star	2,50	2,50	2,50	25,56	25,56	25,62
W	4,00	4,00	4,00	25,00	25,00	25,00
Octagon	5,00	5,00	5,00	25,00	25,00	25,00
3D Spider	3,50	3,50	3,50	25,79	25,43	25,34
Dark Horse	5,00	4,00	3,00	25,45	25,30	25,30
Crush	6,25	6,25	6,25	25,32	25,39	25,50
Pyritohedron	5,00	5,00	5,00	25,52	25,51	25,57

Каждая элементарная ячейка была реализована в кубическом объеме со сторонами 25 мм, которые были взяты согласно стандарту ASTM D695 (испытание на сжатие). Геометрии кубов экспортировались в формате STL (stereolithography), который описывает геометрию поверхности трехмерного объекта с неструктурированными триангулированными плоскими гранями [3, С. 2–3]. Из-за большого количества клеточных структур, САД-модели имели увеличенную площадь поверхности (табл. 2). Для высокого качества производства с учетом подходящих допусков печати, необходимо большое количество треугольных граней, что приводит к увеличению объема памяти STL-файлов.

Таблица 2. Влияние топологии ячейки на триангуляцию и размер файла

Тип	Triangles	Area, см ²	Volume, см ³	STL file, КБ	Build Time (SLM 280HL)
Solid	12	37,500	15,625	11402	5h 20m 22s
X	339504	150,561	2,942	16578	3h 17m 37s
Grid	25600	28,136	0,381	1251	2h 50m 26s
Star	549504	220,761	5,271	26832	3h 42m 01s
W	149472	98,313	1,931	7299	3h 08m 40s
Octagon	166636	61,146	0,899	8137	2h 58m 21s
3D Spider	883338	162,323	2,649	43045	3h 14m 44s

Тип	Triangles	Area, cm^2	Volume, cm^3	STL file, КБ	Build Time (SLM 280HL)
Dark Horse	148394	78,171	1,242	7243	3h 00m 34s
Crush	149256	94,952	1,651	7288	3h 05m 45s
Pyritohedron	233898	94,633	1,531	11400	3h 04m 54s

Предпочтительный вариант для использования в дальнейших исследованиях – использование производственного формата AMF (Additive Manufacturing File), который описывает ту же поверхность области с меньшим количеством треугольников благодаря использованию изогнутых граней. Дополнительный потенциал исследования заключается в разработке новых алгоритмов и методов экспорта для форматов данных.

Избыточное количество треугольников STL-файлов создает определенные проблемы на уровне слайсинга. Процесс слайсинга преобразует трехмерную часть в двухмерную информацию, а именно на совокупность двумерных слоев с определенной толщиной. Модуль слайсинга Autodesk Netfabb также обрабатывает информацию среза для создания траекторий инструмента или шаблонов экспозиции для реальных принтеров. Точечное сокращение (Reduce Points) удаляет ненужные точки из среза и тем самым уменьшает объем данных файла. Цель выполнения точечного сокращения – это уменьшение сложности срезов, поскольку уменьшение количества точек облегчает длительные вычисления во время экспорта и производства, часто без или практически не изменяя фактическую форму. Однако необходимо с осторожностью проводить точечное редуцирование при изменении плавных кривых среза, иначе точечное сокращение может сделать их менее гладкими [2, С. 254], не рекомендуется ставить слишком высокую максимальную деформацию.

Избыточное количество треугольников также генерирует высокое значение опорных точек, а те, в свою очередь, влияют на генерацию внутреннего заполнения (Hatches). После проведения точечного сокращения длина области штриховки уменьшается, тем самым уменьшая общий вес файлов срезов и снижая расход материала, упрощая движение головки инструмента.

Анализируя полученные данные из табл. 2 можно сделать вывод, что высокая степень триангуляции не влияет критическим образом на время печати. В рамках исследования был смоделирован рабочий процесс в машинном оборудовании SLM 280 HL с материальным решением AlSi10Mg ATU 30 μm . Ориентировочное время печати при этом целиком зависело от объема полученной решетки (рисунок).

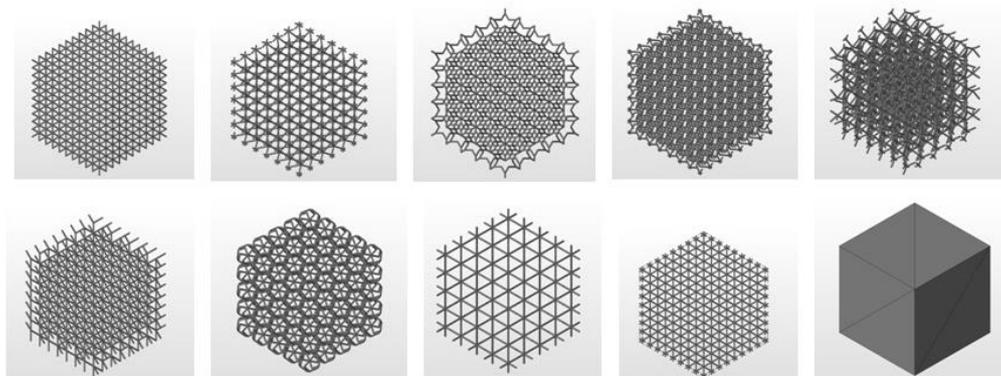


Рисунок. Образцы ячеистых структур, реализованных в кубическом объеме

С помощью программы Discovery Live выявлено, что наибольшей прочностью на изгиб обладают образцы, близкие по своей структуре к кубической, и имеющие большую относительную плотность клеточной структуры. Дальнейший интерес исследования также представляет анализ решетчатых структур, со смещением по одной из координатных осей, а также с распределением градиента решетки.

Литература

1. Gibson L.J., Ashby M.F., Harley B.A. Cellular Materials in Nature and Medicine. – UK: Cambridge University Press, Cambridge, 2010. – 320 p.
2. Autodesk Netfabb User Manual For version 2017 // Netfabb GmbH, Parsberg, Germany, November 2016. – 309 p.
3. Khau V., Lourey E., Napau S. 3D Printing Tips and Tricks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dprinting.eng.unimelb.edu.au/pdf/3D-printing-tips-and-tricks.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

Рогазинский Антон Александрович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р41101

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: rogazinskii@email.ru

Лукьянов Николай Михайлович

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: nikolay.lukianov@gmail.com

УДК 004.771

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СЕТИ**Рогазинский А.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Лукьянов Н.М.**

Одной из задач, выполняемой в рамках управления сетями является управление неисправностями. В работе рассмотрен вариант построения программной системы, обеспечивающей поддержку в обнаружении неисправности, выяснении ее причины и минимизации негативного влияния. Целью системы является уменьшение времени, затрачиваемого специалистами на устранение неисправностей сети.

Ключевые слова: управление сетью, устранение неисправности, мониторинг сети, локализация неисправности.

Введение. Современный бизнес при реализации своих процессов активно полагается на использование информационных технологий (ИТ), включающих в себя телекоммуникационные сети. Это приводит к необходимости поддержания качества работы сети и разработки для этого соответствующих методов и инструментов. Одним из главных требований при этом является обеспечение управления неисправностями. Значительное количество исследований [1] в данном вопросе посвящено разработке и улучшению алгоритмов фильтрации и поиска коренной причины наблюдаемых инцидентов в работе сети. Последовательность действий после обнаружения порождающей их причины остается за рамками таких исследований или ограничивается оповещением технического персонала об обнаруженной причине и выдаче рекомендаций на основании имеющихся данных о проблеме. Другая группа исследований [2] ориентирована на разработку методов для автоматического разрешения некоторых частных видов неисправностей сети и зачастую не применима для общего случая, включающего взаимодействие с техническим персоналом.

В данной работе предложено описание структуры и реализации системы устранения неисправностей сети, основанное на требованиях процессов управления инцидентами и проблемами. В рамках работы эти процессы применяются с целью устранения возникающих инцидентов и минимизации негативного влияния имеющихся проблем в текущей конфигурации сети предприятия.

В основе предлагаемой системы лежит программная поддержка процессов, описанных в библиотеке ITIL, широко используемой при управлении ИТ-сервисами. Данная библиотека может быть успешно применена для организации управления неисправностями сети. В рамках данной работы наиболее важными для рассмотрения явились процессы управления инцидентами и управление проблемами.

Система устранения неисправностей. В работе описаны архитектура и функциональные возможности разрабатываемого прототипа системы устранения неисправностей. Стоит отметить, что данная система ориентирована только на работу с неисправностями сети, так как создание общей системы для всей ИТ-инфраструктуры является чрезвычайно сложной задачей ввиду большого числа компонентов с различным назначением в ее составе.

Предлагаемая система управления неисправностями основана на архитектуре, включающей модули изменения параметров работы сети, связи с техническим персоналом, а также модуль локализации. Для наглядности общая структура предлагаемой реализации прототипа представлена на рис. 1.

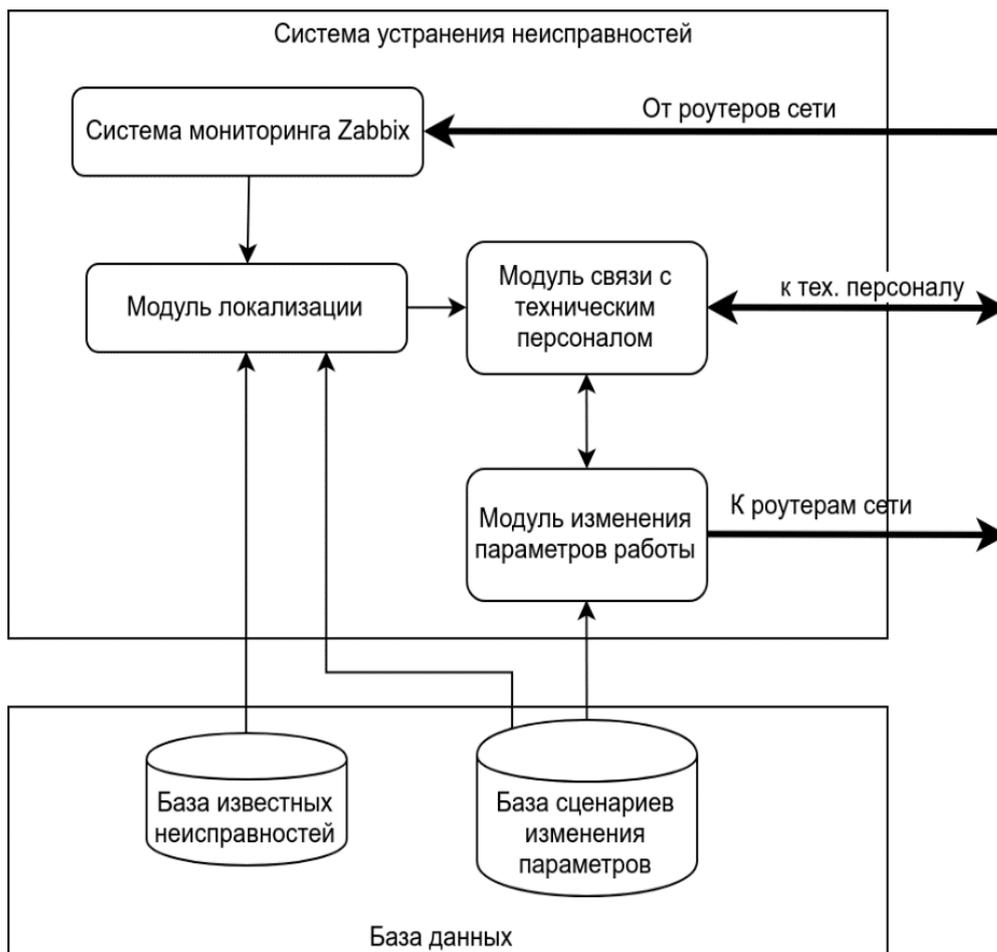


Рис. 1. Структурная схема системы устранения неисправностей

Основным функциональным элементом разрабатываемой системы является блок изменения параметров работы сети. Этот блок предоставляет программный интерфейс для запуска одного из заранее заданных сценариев изменения параметров работы одного маршрутизатора или группы маршрутизаторов в отслеживаемой сети. Отличие от схожих инструментов состоит в отсутствии зависимости от поставщика используемого сетевого оборудования и протокола для связи с маршрутизатором. Это достигается путем применения архитектуры с несколькими слоями. Верхний слой получает задание на изменение параметров работы сети и преобразует его в вызовы интерфейса, предоставленного нижним слоем. Нижний слой, соответственно, реализует один из возможных протоколов взаимодействия с устройствами сети и предоставляет унифицированный интерфейс для верхнего уровня. На данный момент реализовано взаимодействие по протоколу SSH. Предполагаемые связи между элементами при данной архитектуре представлены на рис. 2.

Помимо этого, в рассматриваемом модуле проводится проверка, разрешен ли сценарий для выполнения данным пользователем. Планируется реализовать проверку: набрано ли нужное количество разрешений для выполнения и находится ли отслеживаемая сеть в ожидаемом состоянии для внесения данных изменений.

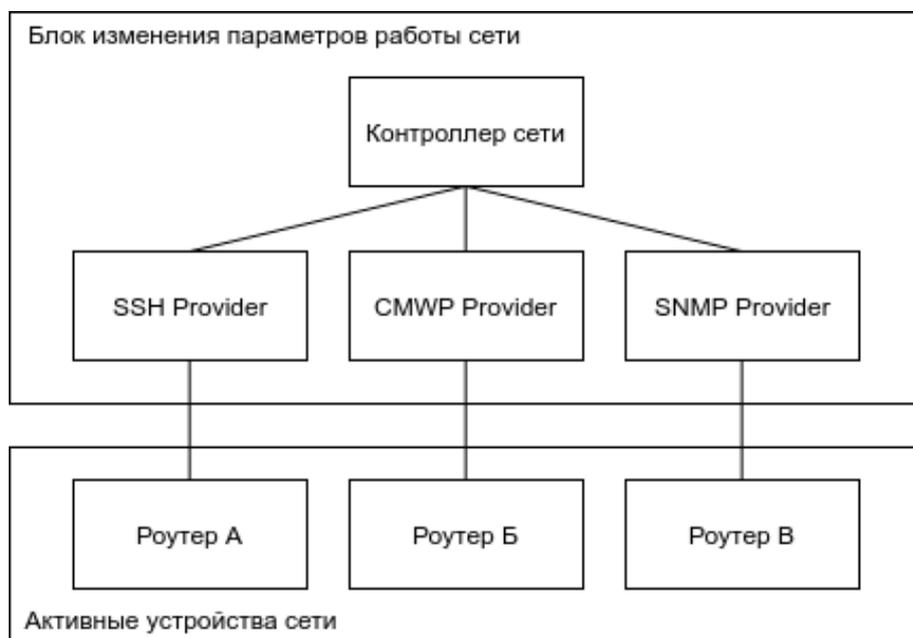


Рис. 2. Многослойная архитектура модуля для изменения параметров работы сети

Другим важным блоком системы является модуль мониторинга. Он предназначен для определения аномалий в значениях показателей работы сети. После производится фильтрация этих инцидентов на основании данных о зависимостях между отслеживаемыми элементами и предположении, что аномалия в работе одного элемента сети может спровоцировать возникновение аномалий в работе связанных элементов. Было принято решение, что прототип разрабатываемой системы будет использовать возможности инструмента для мониторинга Zabbix в качестве реализации функционала данного блока. Это связано с тем, что в настройках процесса мониторинга в Zabbix уже предусмотрена возможность задания зависимостей между отслеживаемыми показателями работы сети, указания правил фильтрации и объединения возникающих инцидентов, а также использования сложных логических выражений для определения отклонений. Помимо этого, упомянутая система мониторинга предоставляет возможность использования пользовательских программ для расчета более сложных характеристик системы (например, применение методов статистического анализа к отслеживаемым показателям).

Блок локализации предназначен для поиска коренной причины на основании информации о возникающих инцидентах в сети и выдачи рекомендаций пользователям системы [3]. Рекомендации могут включать в себя как информацию о предполагаемой причине неисправности, так и набор сценариев для выполнения. Это поможет техническому персоналу сократить время, необходимое для изучения сообщений об инцидентах и применения изменений с целью минимизации негативного влияния на предоставляемые ИТ-сервисы. На данный момент представлено множество различных алгоритмов для поиска коренной причины инцидентов [4]. В качестве реализации будет использован алгоритм, принимающий решения на основании двудольного графа, описывающего для каждой проблемы возможные ее проявления в виде инцидентов [5]. На уровне пользовательского интерфейса это будет представлено в виде возможности задать идентификаторы событий, которые могут возникнуть в отслеживаемой системе

при проявлении той или иной проблемы. Данный алгоритм позволяет определить набор наиболее вероятных причин на основании множества обнаруженных инцидентов с момента начала наблюдения.

В качестве реализации модуля связи с техническим персоналом используются мобильный интерфейс и веб-интерфейс. Веб-интерфейс применяется для настройки всей системы устранения неисправностей. Мобильный интерфейс представлен в виде обмена текстовыми сообщениями между пользователем и специальной программой (ботом). Данный интерфейс необходим для уменьшения времени устранения неисправностей техническим персоналом, находящимся за пределами стационарного рабочего места. Также предоставляется API для интеграции с другими системами, используемыми в компании.

Пример использования системы. В качестве демонстрации роли системы в устранении неисправностей рассмотрим ситуацию возникновения сбоя в работе одного из маршрутизаторов в сети предприятия. Это приведет к ошибке передаче данных между вычислительными узлами, использующими данный маршрутизатор. Будучи настроенной правильным образом, система получит оповещения от каждого такого узла и неисправного маршрутизатора. После этого, за счет информации о конфигурации сети, будет произведена фильтрация данных оповещений, и только информация о сбое в работе маршрутизатора будет передана дальше сотруднику. Система проанализирует историю возникновения инцидентов и отправит оповещение о сбое и рекомендации по его устранению на телефон сотрудника. Сотрудник знакомится с полученной информацией и с использованием мобильного интерфейса и отправляет указание на запуск определенного сценария. Система получает данное указание, подключается к нужному маршрутизатору и выполняет необходимые изменения. По окончании выполнения изменений система отправляет отчет о полученных результатах сотруднику и переходит в режим ожидания дальнейших указаний или оповещений от системы мониторинга. Схема данного взаимодействия представлена на рис. 3.

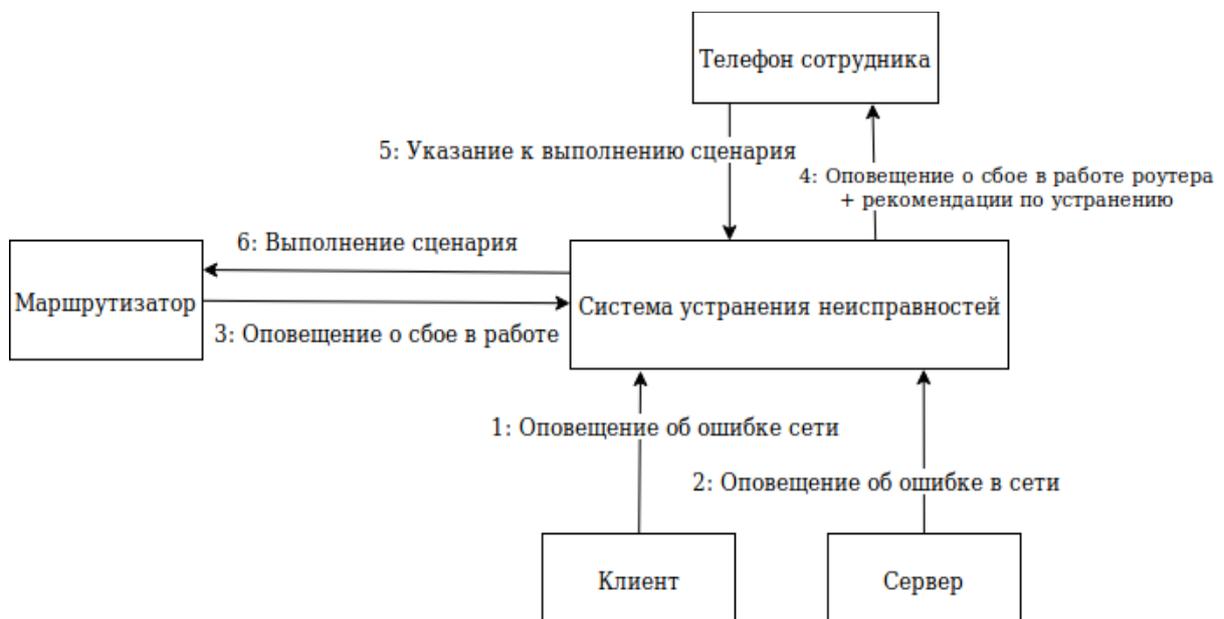


Рис. 3. Схема взаимодействия при обнаружении неисправности в сети

Таким образом, реализуется поддержка всего процесса по управлению неисправностями сети, начиная с их обнаружения и фильтрации сообщений и заканчивая внесением необходимых изменений в параметры работы сети.

Заключение. Одной из задач в управлении сетями в компании является управление неисправностями, возникающими в результате нерешенных проблем в организации сети. Данный процесс включает в себя обнаружение неисправностей, выявление их причины и устранение. Значительная часть исследований в данном вопросе посвящена обнаружению и анализу неисправностей. Устранение же рассматривается только для определенных неисправностей, в результате чего предлагаемое решение не применимо для общего случая, включающего взаимодействие с техническим персоналом.

В данной работе предложена структура системы, которая может быть использована для управления неисправностями сети в компании. Данная система выполняет мониторинг показателей работы сети, обнаружение неисправностей, их фильтрацию на основании данных о зависимостях между отслеживаемыми показателями, определение причины возникших неисправностей и выдачи рекомендаций техническому персоналу. Помимо этого, система предоставляет возможность выполнения сценариев для изменения параметров работы сети. Таким образом, система предоставляет поддержку на протяжении всего процесса устранения неисправностей сети. При проектировании системы было учтено требование в отсутствии зависимости от конкретного поставщика сетевых устройств или используемого протокола связи. Помимо этого, система предоставляет API для расширения своих возможностей путем интеграции с другими сервисами, используемыми в компании.

Данная система находится на этапе реализации, но использование мобильного интерфейса для выполнения изменений на сетевых устройствах уже демонстрирует уменьшение времени, затрачиваемого на устранение обнаруженных неисправностей. Дальнейшее развитие системы будет направлено на обеспечение мониторинга сети и анализа обнаруженных неисправностей.

Литература

1. Sterritt R. Facing fault management as it is, aiming for what you would like it to be // *Soft-Ware 2002: Computing in an Imperfect World.* – 2002. – P. 31–45.
2. Gupta B.K., Mundra A., Rakesh N. Failure detection and recovery in hierarchical network Using FTN approach [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1401/1401.8131.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Ролик А.И., Тимофеева Ю.С., Турский Н.И. Управление устранением неисправностей в ИТ-системах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://it-visnyk.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/03/49_15.pdf (дата обращения: 06.03.2019).
4. Igorzata Steinder M., Sethi A.S. A survey of fault localization techniques in computer networks // *Science of computer programming.* – 2004. – V. 53. – № 2. – P. 165–194.
5. Steinder M., Sethi A.S. Probabilistic fault diagnosis in communication systems through incremental hypothesis updating // *Computer Networks.* – 2004. – V. 45. – № 4. – P. 537–562.

Романов Олег Алексеевич

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3411

Направление подготовки: 09.03.04 – Разработка программно-информационных систем

e-mail: romanov-97@mail.ru

Тропченко Александр Ювенальевич

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: tauslon@yandex.ru

УДК 004**АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО
БИОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ****Романов О.А.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Тропченко А.Ю.**

В настоящее время все чаще используются алгоритмы распознавания пользователей на основе биометрических данных, так как они лишены недостатков традиционных методов. Биометрические характеристики являются признаками самого человека, поэтому такие данные невозможно потерять. Биометрические характеристики делятся на динамические и статические, которые различаются изменяемостью или неизменяемостью на протяжении всей жизни человека. Распознавание пользователей можно производить как по статической характеристике, к примеру, по изображению лица, так и по динамической характеристике, к примеру, по походке. Также существуют системы, которые используют несколько биометрических характеристик для распознавания. Такие системы называются мультибиометрическими системами. Они ставят своей целью увеличение эффективности за счет получения большего количества информации об объекте распознавания. Наибольшую эффективность среди рассмотренных алгоритмов показали: алгоритм распознавания пользователей по фотографии лица на основе сверточной нейронной сети с точностью 98,7% и мультибиометрический алгоритм распознавания пользователей, использующий метод главных компонент для распознавания лица по фотографии и нейронную сеть для распознавания походки с точностью 97,4%. И как следствие, алгоритмы распознавания пользователей на основе сверточных нейронных сетей, а также мультибиометрические системы являются наиболее перспективными решениями.

Ключевые слова: биометрия, биометрические характеристики, алгоритм Виолы–Джонса, вейвлеты Габора, метод главных компонент, сверточная нейронная сеть, распознавание лица, распознавание походки, мультибиометрия.

Введение. Привычные средства идентификации пользователей, такие как пароли, магнитные карты и др. являются достаточно широко распространенными, однако имеют следующие недостатки: пароль могут подсмотреть, карту украсть, а система в этом случае не заподозрит ничего необычного, так как проверяет правильность пароля и наличие магнитной карты, а не самого человека [1–5].

Однако существуют методы распознавания, основанные на биометрических характеристиках. Все биометрические данные можно разделить на статические и динамические.

Статические характеристики основаны на физиологических свойствах человека. К ним относятся: геометрия лица, рук, ушных раковин, рисунки папиллярных линий, радужной оболочки глаза и т.д. Такие характеристики не меняются на протяжении всей жизни человека.

Динамическими характеристиками являются поведенческие особенности людей. Они основываются на подсознательных действиях человека в процессе повторения однотипных действий. К ним относятся: манера походки, почерк и динамика написания текста, скорость и динамика работы на клавиатуре, особенности речи и т.д.

1. Алгоритм Виолы–Джонса. Данный алгоритм используется в качестве основы для распознавания пользователей по фотографии лица.

Сначала рассчитывается интегральное представление изображения, т.е. матрица с размером, равным размеру изображения, в которой каждый элемент является суммой интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного пикселя. Такое представление позволяет рассчитывать суммарную интенсивность любого произвольного прямоугольника на изображении за константное время.

Далее пробегается сканирующее окно, и для каждого окна вычисляются всевозможные расположение признаков Хаара со всем многообразием их положений и масштабов. Признаки Хаара дают представление о локальном перепаде яркости и рассчитываются на основе интегрального представления изображения (рис. 1). Затем размер окна увеличивается, и предыдущие действия повторяются.

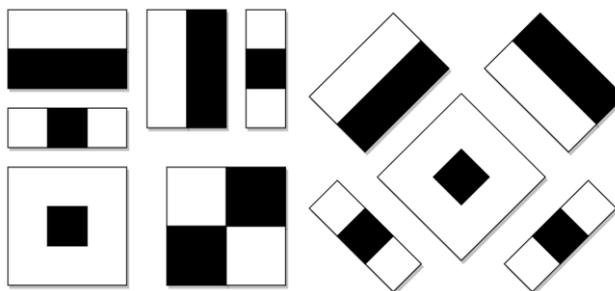


Рис. 1. Прямоугольные примитивы Хаара

Все найденные признаки поступают на вход классификатора, который выносит вердикт. В алгоритме Виолы–Джонса задача классификации решается средствами машинного обучения. Как правило, используются цепочки классификаторов, называемые каскадом, каждый из которых обучается на ошибках предыдущего. Обычно применяется алгоритм AdaBoost, который позволяет использовать произвольное число классификаторов и производить обучение на одном наборе примеров, поочередно применяя их на различных шагах.

Точность систем распознавания пользователей, основанных на алгоритме Виолы–Джонса приблизительно равна 90%. Алгоритм хорошо работает при повороте лица до 30°, что является очень хорошим результатом. Однако алгоритм плохо работает при очень сильной или очень слабой яркости изображения.

2. Вейвлеты Габора. Следующий подход, чем-то напоминает алгоритм Виолы–Джонса, однако вместо прямоугольных примитивов Хаара используются эллипсоидные вейвлеты Габора (рис. 2). Данный алгоритм устойчив к изменению яркости изображения за счет обнуления постоянной составляющей. Вейвлеты Габора характеризуют изображение в локальной области вокруг точки, а не только в самой точке. Они различаются ориентацией и масштабом. Также при этом подходе учитывается двумерный характер изображения, в отличие от многих других методов, в которых, по сути, двумерная задача решается как одномерная.

Свертка изображения – это применение вейвлета Габора к изображению. Так как вычисление свертки достаточно трудоемкая операция, то используется алгоритм быстрого преобразования Фурье. Выходы операций свертки подаются на вход классификатора, задачи которого, как и в алгоритме Виолы–Джонса решаются средствами машинного обучения. Однако данный метод немного точнее алгоритма Виолы–Джонса. Он показывает высокую производительность и равен приблизительно 90%.

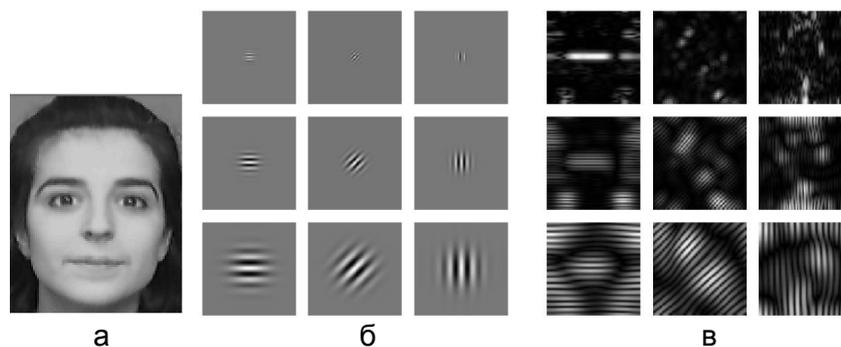


Рис. 2. Результат вейвлет-преобразования Габора: исходное изображение (а); вейвлеты Габора (б); амплитуда отклика вейвлетов (в)

3. Метод главных компонент (МГК). Идея метода состоит в представлении нескольких изображений лиц в виде набора главных компонент изображений, называемых «собственные лица». Представление набора зависимых признаков на плоскости имеет форму «облака», вытянутого в направлениях максимальной корреляции. МГК находит группу ортонормированных направлений, в которых достигается максимальная дисперсия «облака», а затем снижает размерность за счет отсекаания направлений с малой дисперсией. Таким образом, алгоритм находит комбинации признаков, и ценой части информации выражает исходные признаки меньшим количеством новых признаков.

В случае с многомерной случайной величиной используют ковариационную матрицу признаков, так как она является обобщением дисперсии на случай многомерных случайных величин. Собственные лица имеют одно свойство: изображение, соответствующее каждому такому вектору, имеет лицеподобную форму. Процесс распознавания заключается в сравнении компонент неизвестного изображения с компонентами всех известных изображений.

Метод собственных лиц требует для своего применения идеализированных условий, таких как единые параметры освещенности, нейтральное выражение лица, отсутствие помех вроде очков и бород. При несоблюдении этих условий главные компоненты не будут отражать межклассовые вариации. Например, при различных условиях освещенности метод собственных лиц практически неприменим, поскольку первые главные компоненты преимущественно отражают изменения освещения, и сравнение выдает изображения, имеющие похожий уровень освещенности. Данный алгоритм имеет точность, равную 90%.

4. Распознавание походки на основе сверточной нейронной сети (СНС). Для распознавания пользователя используется последовательность кадров видео. Каждый кадр переводится из цветного изображения в оттенки серого. Затем определяется и ограничивается силуэт человека, удаляется фон, изображение переводится в бинарный вид и сужается до размера 32×32 пикселя. Каждый такой кадр поступает на вход СНС, которая распознает человека по походке и выносит решение.

СНС состоит из 16 слоев свертки/субдискретизации со сверточными фильтрами 3×3 размера и трех полносвязанных слоев, где последний слой является классификатором.

Сверточный слой производит фильтрацию путем свертки, извлекая определенную информацию из матриц исходных изображений. Фильтрацией является поэлементное перемножение весовой матрицы на определенный участок изображения такого же размера. Все эти умножения суммируются. Каждый сверточный слой реагирует на определенные элементы изображения. Чем глубже находится сверточный слой, тем на более высокоуровневые элементы он реагирует.

Субдискритизирующий слой упрощает вывод, выполняя уменьшение разрешения, уменьшая количество необходимых параметров (а также вычислений) для обучения сети.

Полносвязанный слой выдает N -пространственный вектор похожести, где N – число классов, а последний слой Softmax преобразует этот вектор в вектор вероятностей принадлежности походки каждому классу. На основе вектора вероятностей принимается решение, о том, какому человеку принадлежит данная походка.

Алгоритм распознавания пользователей на основе СНС имеет очень хорошие показатели. Он хорошо работает при различных параметрах освещения, с разными углами обзора, и при использовании камеры низкого качества. Точность данного алгоритма достигает 98,7%.

5. Мультибиометрические системы. Кроме однобиометрических алгоритмов распознавания, существуют мультибиометрические, они используют несколько биометрических характеристик вместо одной. Мультибиометрия ставит своей целью увеличение эффективности распознавания пользователей за счет получения большего количества информации об объекте распознавания.

6. Распознавание по лицу и походке. Рассмотрим пример алгоритма распознавания пользователей по лицу и походке. Так как данные биометрические характеристики независимы друг от друга, система проверяет совпадение по каждой биометрической характеристике отдельно, а затем выносит решение.

Как и в предыдущем алгоритме, извлечение силуэта из последовательности кадров видео осуществляется похожим образом. На силуэте лицо выделяется и распознается МГК, который был рассмотрен ранее. Походка в данном алгоритме распознается нейронной сетью и характеризуется:

- частотным представлением, которое описывает скоростью движения каждого пикселя;
- двоичным представлением огибающей, которое описывает траектории движения каждого пикселя.

При идентификации людей и по лицу, и по походке алгоритм показывает очень хорошие результаты 97,4%.

Выводы. Рассмотренные алгоритмы распознавания пользователей по фотографии лица на основе метода Виолы–Джонса, вейвлетов Габора и метода главных компонент имеют примерно одинаковую точность распознавания 90%, хотя условия, при которых работают алгоритмы, отличаются. Метод Виолы–Джонса успешно работает при повороте лица до 30° , но плохо себя показывает при очень сильной и очень слабой яркости изображений. Алгоритм на основе вейвлетов Габора устойчив к изменению яркости и работает немного точнее метода Виолы–Джонса. МГК следует применять только при соблюдении идеализированных условий, иначе его точность резко падает.

Наилучшую эффективность среди рассмотренных алгоритмов показали алгоритм распознавания пользователей по фотографии лица на основе сверточной нейронной сети с точностью 98,7% и мультибиометрический алгоритм распознавания пользователей, использующий МГК для распознавания лица по фотографии и нейронную сеть для распознавания походки с точностью 97,4%. Данные алгоритмы являются наиболее перспективными решениями, несмотря на то, что их реализации являются наиболее сложными.

Литература

1. Sayed M. Performance of Convolutional Neural Networks for Human Identification by Gait Recognition // Journal of Artificial Intelligence. – 2018. – V. 11. – P. 30–38.

2. Derbel A., Vivet D., Emile B. Access control based on gait analysis and face recognition // Electronics Letters. – 2015. – V. 51. – № 10. – P. 751–752.
3. Babiy M.S., Chekalov O.P. Распознавание изображений на основе двумерного вейвлет-анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/27895/1/Babii_Raspoznavanie_vyrazhenii.pdf (дата обращения: 06.03.2019).
4. Как работает метод главных компонент (PCA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/304214/> (дата обращения: 06.03.2019).
5. Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/133826/> (дата обращения: 06.03.2019).

Садырин Даниил Сергеевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: cyberguru2209@gmail.com

Дергачев Андрей Михайлович

Год рождения: 1963

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: dam600@gmail.com

УДК 004.052.42**ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ АЛЛОКАТОРОВ ПАМЯТИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИМВОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ****Садырин Д.С., Дергачев А.М.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Дергачев А.М.**

В работе рассмотрено применение различных методов и средств для поиска ошибок при работе с динамической памятью в программном обеспечении, написанном на языке C.

Ключевые слова: верификация, ошибки в программном обеспечении, символьное выполнение, проверка моделей, динамическая память, язык C.

Введение. В настоящее время программное обеспечение используется в разных областях человеческой деятельности. Ошибки в программном обеспечении могут привести к потерям и ущербу, поэтому задача верификации с целью обнаружения ошибок является актуальной. В языке C выделением динамической памяти занимается аллокатор (allocator). Ошибки в программном коде аллокатора являются причиной уязвимостей в прикладном коде программ. Для поиска ошибок необходимо в рамках жизненного цикла программного обеспечения проводить его формальную верификацию.

Целью работы являлась разработка механизмов верификации аллокаторов динамической памяти с использованием метода ограниченной проверки моделей.

Необходимо было решить следующие задачи:

- сравнение подходов к верификации;
- исследование работы аллокаторов памяти;
- исследование атак на динамическую память;
- изучение фреймворка Angr [1] для проведения символьного выполнения;
- применение Angr для верификации аллокаторов.

Методы исследования. В методе проверки моделей используется рассмотрение полного пространства состояний заданной программы с целью поиска состояний, нарушающих те или иные свойства корректности. Ограниченная проверка моделей позволяет сократить используемые ресурсы за счет обхода модели на определенную глубину, называемую границей (Bound).

Для обхода состояний модели был применен алгоритм символьного выполнения (Symbolic Execution). Техника символьного выполнения позволяет проводить моделирование выполнения программы, при котором часть входных переменных представляется в символьном виде. Символьная переменная обозначает множество значений входной переменной программы из области ее определения. Основным понятием символьного выполнения является символьное состояние (Symbolic State), которое включает множество символьных значений переменных программы, условие

реализуемости пути – Path Condition и счетчик операторов программы. Символическое выполнение программы разделяется на два независимых параллельных маршрута.

$$IF (condition) THEN path1 ELSE path2$$
$$THEN pc \leftarrow pc \wedge q(B)$$
$$ELSE pc \leftarrow pc \wedge \overline{q(B)}.$$

Path Condition аккумулирует ограничения на входные переменные, которые определяют уникальный путь выполнения программы. Таким образом, получается символическое описание путей выполнения программы в виде логического выражения над входными символьными переменными. Логическое выражение передается на вход программного модуля Constraint Solver.

Подходы к верификации программного обеспечения. Верификация – это проверка соответствия результатов отдельных этапов разработки программной системы требованиям и ограничениям, сформулированным для них на предыдущих этапах. Верификация программного обеспечения – это процесс обеспечения правильной реализации программного обеспечения, которое соответствует спецификациям, выполняется на протяжении всего жизненного цикла. Верификация дает ответ на вопрос, правильно ли создана система. Существуют следующие разновидности верификации:

- формальная верификация;
- на основе теории зависимых типов (специальные языки программирования, такие как Agda, Coq);
- статический и динамический анализы кода;
- проверка моделей.

Формальная верификация предполагает наличие средств для составления спецификаций и правил вывода. Пользуясь этими правилами вывода, можно математически доказать, что программа соответствует спецификации. Однако это достаточно сложная и трудоемкая задача, и поэтому формальная верификация мало распространена.

Метод верификации на основе теории зависимых типов основан на том, что в специальных языках программирования (таких как, Coq и Agda) можно одновременно и писать программы, и доказывать теоремы. В этой связи теорема о том, что программа корректна и доказательство этой теоремы являются составными частями таких программ. Часто для формальной верификации программ и систем применяется логика разделения (Separation Logic).

Анализ кода делится на статический и динамический. Динамический анализ – это анализ, выполняемый во время исполнения программы. В ходе него не проверяются все возможные пути исполнения программы. Также динамический анализ замедляет исследуемую программу (так как выполняется в ходе ее выполнения). Статический анализ – это анализ кода без его выполнения. Методами статического анализа можно найти только некоторые классы ошибок.

Еще одним методом верификации является проверка моделей (Model Checking). Данный метод состоит в том, что для проверяемой программы или алгоритма строится модель (обычно это модель Крипке), а спецификация к программе записывается на языке темпоральной логики. Затем специальные алгоритмы автоматически проверяют, соответствует ли модель спецификации. Полученные в области верификации фундаментальные результаты удивительным образом оказались востребованы в огромном числе приложений, в которых идея Model Checking применяется для решения самых разнообразных задач, таких как:

- анализ бизнес-процессов;
- проблема планирования;
- логические головоломки;
- верификация криптографических протоколов.

Устройство кучи в библиотеке Glibc. Куча описывается структурой типа `heap_info`. Каждая арена отслеживает специальный топ-чанк, который обычно является самым большим доступным чанком. Это чанк, который находится на верхней границе памяти, запрошенной у операционной системы. Заголовок арены описывается структурой `malloc_info`. Память для хранения полей самой структуры обычно берется из начальной кучи для этой арены. В библиотеке Glibc реализованы алгоритмы для эффективной работы с памятью. Свободные чанки хранятся в двусвязных циклических списках – бинах. Бины разделяются по размеру, выделяют `Fastbin`, `Smallbin`, `Largebin` и `Unsorted Bin`.

Бины `fastbin` хранят чанки размером от 32 до 160 Б. Список `fastbin` работает по принципу LIFO (Last Input First Output). При освобождении чанка и занесении его в `fastbin` устанавливается бит `PREV_INUSE`, что предотвращает консолидацию чанков между собой.

Бины `smallbin` хранят чанки размером меньше 1024 Б. В каждый бин попадают чанки соответствующего размера. Бин `smallbin` устроен по принципу FIFO (First Input First Output).

Бины `largebin` хранят чанки размером больше 1024 Б. Чанки в `largebin` упорядочены по убыванию размера.

В бин `unsorted bin` попадают все освобожденные чанки. При вызове `Malloc` чанки из `Unsorted Bin` переносятся в соответствующие бины, либо возвращаются пользователю. Все бины хранятся в структуре `malloc_state`. При вызове процедуры дефрагментации `malloc_consolidate` чанки из всех `fastbin` переносятся в `Unsorted Bin`.

Атаки на динамическую память. Были рассмотрены техники эксплуатации переполнения кучи, взятые из журнала `Phrack` [2, 3] и репозитория `how2heap` [4]. Результаты представлены в таблице. Техники различаются в зависимости:

- от возможностей атакующего по перезаписи: перезапись топ-чанка, перезапись полей `prev_size`, `size`, `fd`, `bk`;
- возможности создать специальный «подложный» чанк на стеке или куче;
- от наличия уязвимости `Double Free`;
- от возможности освободить указатель по произвольному адресу (`Arbitrary free`).

Таблица. Сравнительная характеристика атак

Техника	Область перезаписи						Требует фейкового чанка		Требует Double Free	Требует Arbitrary Free
	Топ-чанк	<code>prev_size</code>	<code>PREV_INUSE</code> (1 Б)	<code>size</code>	<code>fd</code>	<code>bk</code>	На стеке	На куче		
Poisoned null-byte			+							
Overlapped chunks				+						
Fastbin Attack					+				+	
Unsafe Unlink		+	+					+		

Техника	Область перезаписи						Требует фейкового чанка		Требует Double Free	Требует Arbitrary Free
	Тор- чанк	prev_size	PREV_INUSE (1 Б)	size	fd	bk	На стеке	На куче		
House of Einherjar		+	+	+						
House of Force	+									
House of Spirit							+			+
House of Lore						+	+			
Unsorted bin Attack		+	+	+		+				

Фреймворк для анализа исполняемых файлов. Для анализа исполняемых файлов и символьного выполнения существует фреймворк Angr, написанный на языке Python, который является эмулятором. Основными подсистемами Angr являются: Claripy, Cle, Puvex, Archinfo.

- Claripy – решатель условий достижимости;
- Puvex – осуществляет перевод машинных инструкций в абстрактное представление;
- Cle – выполняет бинарный код;
- Archinfo – содержит информацию, относящуюся к архитектуре.

На каждом шаге выполнения программы создается объект класса SimState, в котором хранятся состояния регистров и памяти программы в данный момент. Регистры и память могут иметь конкретное либо символическое значение. Каждая символическая переменная представляется в виде класса BitVectorSymbol. Также существует возможность вручную пометить необходимые входные данные как символические. Это может быть символическая память, представляемая в виде класса SimSymbolicMemory, или символический файл, представляемый классом SimFile.

При достижении инструкции условного перехода добавляется ограничение на символическую переменную. При вызове оператора Malloc с символическим параметром размера выделяемой памяти, создается чанк памяти с символическими метаданными. На каждом шаге в классе SimState сохраняется состояние кучи.

Применение Angr для верификации аллокаторов. Для каждой техники были составлены тестовые примеры, которые затем описаны с помощью транзакций: M – Malloc, F – Free, O – Overflow, UAF – Use-After-Free, DF – Double Free, FF – Fake Free. Транзакция определяется как операция, которая изменяет состояние кучи программы. Каждая транзакция представлена как заглушка кода, выполняющая желаемые действия. Комбинация этих заглушек кода затем создает исходный код тестовых примеров.

Были заданы свойства модели, описывающие отрицательные характеристики аллокатора: NHA (Non Heap Allocation) – возвращается адрес за пределами кучи; OA (Overlapped Allocation) – перекрытие выделенных чанков памяти; AW (Arbitrary Write) – запись по произвольному адресу памяти. Каждое свойство задается в виде пропозициональной формулы.

Различия во внутреннем устройстве аллокаторов памяти, а также в программном коде разных версий аллокаторов приводят к тому, что необходимы некоторые изменения в тестовых примерах. Так как необходимо сделать универсальный

инструментарий для верификации, то параметры в тестовых примерах, меняющиеся в зависимости от внутреннего устройства и версий аллокаторов, необходимо задать в символьном виде.

Таким образом, входные параметры для функции Malloc заменяются символьным представлением так же, как и данные из стандартного потока ввода (Stdin). Производится символьное выполнение всех тестовых примеров с помощью фреймворка Angr и дальнейшая проверка выполнимости свойств модели, которая будет являться условием наличия ошибки в коде аллокатора. Далее все символьные переменные в тестовых примерах заменяются посчитанными конкретными значениями.

В дальнейшем данный подход будет применен для верификации аллокаторов памяти, таких как Ptmalloc, Dlmalloc, Tcmalloc, Jemalloc, Musl различных версий. Располагая полученной статистикой можно сделать вывод о наличии уязвимостей, связанных с различными типами ошибок: NHA, OA, AW.

Литература

1. A powerful and user-friendly binary analysis platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/angr/angr> (дата обращения: 25.03.2019).
2. Yet another free() exploitation technique [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://phrack.org/issues/66/6.html> (дата обращения: 25.03.2019).
3. Malloc Des-Maleficarum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.phrack.org/issues/66/10.html> (дата обращения: 25.03.2019).
4. A repository for learning various heap exploitation techniques [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/shellphish/how2heap> (дата обращения: 25.03.2019).

Сивинский Станислав Андреевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: stanislav_sivin@mail.ru

Шуклин Дмитрий Анатольевич

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.педагог.н., доцент

e-mail: dmshuklin@niuitmo.ru

УДК 378.00

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ**Сивинский С.А.****Научный руководитель – к.педагог.н., доцент Шуклин Д.А.**

В работе рассмотрены основные понятия электронного, смешанного и адаптивного обучения. Рассмотрены основные подходы к построению моделей адаптивного обучения, а также подходы к классификации моделей обучения.

Ключевые слова: адаптивное обучение, моделирование адаптивного обучения, дистанционное обучение, ИКТ, СДО, система дистанционного обучения.

Развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их последующее внедрение в российскую систему образования оказало существенное влияние на появление новых моделей обучения.

В контексте развития на рубеже веков IT-индустрии и внедрение в образовательный процесс способствовало видоизменению классических представлений о доминировании традиционной системы обучения, и, как следствие, изменению роли преподавателя, как единственного источника знаний на роль наставника и помощника обучающихся, в процессе освоения содержания образования [1, 2].

Благодаря внедрению ИКТ и развитию глобальной сети Интернет стало возможным создание новой системы организации образовательного процесса – электронного обучения (ЭО), в англоязычной научной литературе больше распространен термин E-Learning.

Существует несколько форм организации электронного обучения.

Дистанционное обучение – это формат обучения, основанный на асинхронном (выполнение активностей курса в системе дистанционного обучения (СДО) или синхронном (вебинары, чаты) взаимодействии обучающегося и преподавателя на расстоянии при помощи ИКТ).

Смешанное обучение включает в себя возможности организации очного обучения совместно с дистанционным обучением.

Применение смешанной модели обучения во многом обусловлено проблемой оценки результатов дистанционного обучения, среди которых можно выделить следующие: проблема идентификации обучающихся; возможность списывания при отсутствии визуального контроля со стороны преподавателя; возможность сдачи рубежных и экзаменационных контролей другим лицом.

Таким образом, благодаря очному взаимодействию с обучающимися преподаватель может контролировать результат обучения.

В рамках организации как смешанного, так и дистанционного обучений приобретает актуальность применение адаптивного обучения. Под адаптивным обучением следует понимать совокупность психологических, педагогических и

дидактических методов с целью построения индивидуальной траектории слушателя на протяжении всего процесса обучения.

Существует несколько подходов к организации адаптивного обучения.

В работах [3, 4] предлагается следующая классификация систем адаптивного обучения:

- стохастические – основанные на вероятностном подходе к оценке знаний обучающегося. В рамках данной модели рассматривается состояние слушателя на некотором этапе обучения, которое удобно описать вектором вероятностей незнания элементов обучающей информации. В системах адаптивного обучения стохастическая модель обучения строится на основе итеративного обучения [3];
- навигационные – состоят из последовательности классов узлов (где находится содержание), которое отображается обучающимся. Все узлы обладают навигационными правилами, а также строгим определением номера и класса узла. Метод предполагает технологию сокрытия узлов исходя из навигационных правил;
- гибридные.

В работе [5] предлагаются высокоуровневые модели описания адаптивного обучения.

1. Модель KFS (Knowledge Flow Structure) – модель управления потоком знаний. Модель представляет собой ориентированный граф, вершинами которого является набор учебных I-блоков, где по завершении изучения у студента формируется некоторый набор знаний В. Дугами графа выступают связи по передачи знаний между I-блоками. Граф должен быть связным, а также не иметь циклов. Последнее требование исходит из того, что под графом подразумевается структура курса, а вершинами графа выступают активности курса. Каждый I-блок завершается проверкой знаний, по результату которой организуется процесс ветвления. Установлено два типа условий ветвления. Условие выходного контроля R – организация повторного обучения. Условия входного контроля U – условия, которые не позволяют перейти на следующий этап обучения пока не будет достигнут нужный уровень знаний. В соответствии с рис. 1 представлен пример модели KFS.

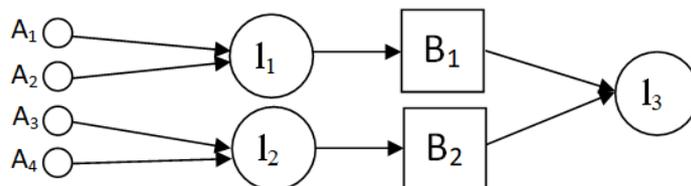


Рис. 1. Пример модели KFS

2. Модель DCM (Dynamic Content Model) – основана на карте понятий (Concept Map). Карта понятий – это ациклический граф, где вершинами служат понятия, а дугами – связи между ними. Недостатком карты понятий является отсутствие возможности отобразить динамику процесса обучения.

Модель DCM позволяет решить данную проблему. Все знания в DCM представляются в виде учебных модулей, которые состоят из двух компонент: образовательный ресурс, контрольное мероприятие. Образовательными ресурсами служат учебники, интернет-ресурсы, видеолекции и др. В качестве контрольных мероприятий используются задания и тесты.

Из учебных модулей создаются три типа карт: карта знаний (содержит все модули из некоторой предметной области, а также отображает дугами порядок изучения учебного материала), карта обучения (служит основой для построения образовательного курса), карта студента (выполняет задачу отслеживания процесса

обучения отдельного обучающегося с предоставлением механизмов оценки и обратной связи).

В соответствии с рис. 2, а, представлен пример изображения карты знаний.

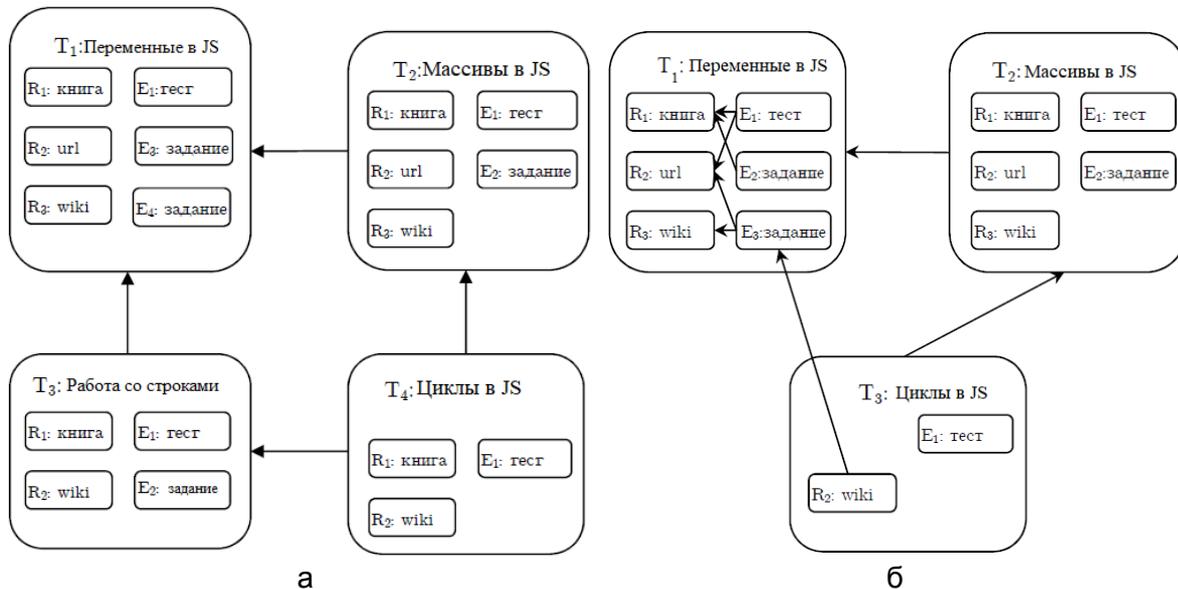


Рис. 2. Пример представления карты знаний (а) и обучения (б)

Пример изображения карты обучения представлен в соответствии с рис. 2, б. На рис. 3 изображена карта студента.

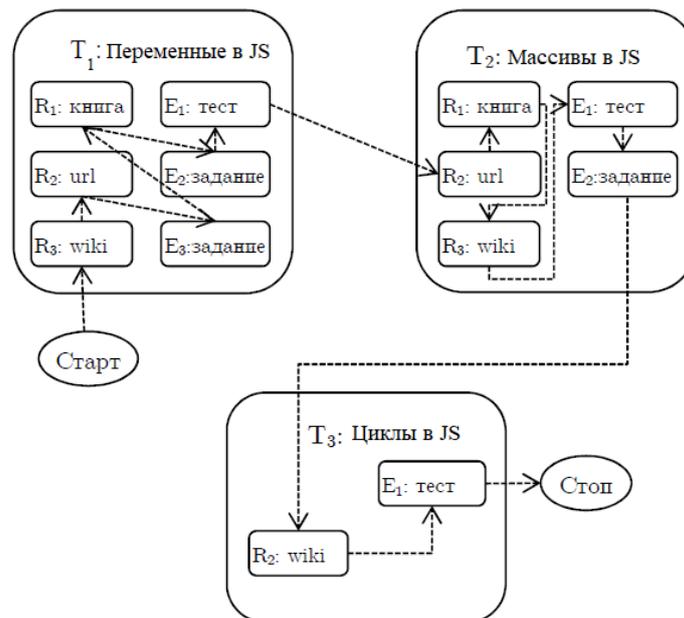


Рис. 3. Пример представления карты студента

3. Модель Соловова – состоит из трех компонент: учебного элемента (УЭ); графа содержания (ГС) и спецификации учебных элементов. В модели Соловова учебный материал дисциплины (курса) разбивается на составляющие – УЭ. Под УЭ необходимо понимать набор определений и терминов, объектов, явлений, а также совокупность методологических средств. УЭ составляют ориентированное дерево ГС, где вершинами дерева выступают учебные элементы, а ребрами взаимосвязь между элементами. Структуру связи между вершинами ориентированного дерева можно выразить через построение матрицы смежности. В соответствии с рис. 4 представлена матрица смежности ГС.

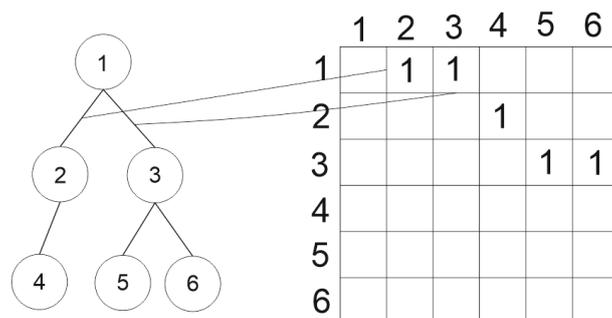


Рис. 4. Матрица смежности ГС

После построения ГС учебного курса, необходимо сформулировать требования: уровня усвоения (А), уровня представления (В) и уровня осознанности (У). Полученные требования оформляют в виде таблицы спецификации УЭ. Возможно модифицированное представление таблицы спецификации УЭ, когда каждую колонку (А, В и У) разбивают на два раздела: уровень до обучения (начальный); требуемый уровень после обучения (финишный). В соответствии с таблицей представлен пример составления спецификации УЭ.

Таблица. Спецификация УЭ

№ п/п	Наименование УЭ	А	В	У
1	Переменные в JS (JavaScript)	2	3	2
2	Массивы JS	2	3	2
3	Строковые данные JS	1	3	2
4	Одномерные и двумерные массивы	2	3	2
5	Тип данных char	2	3	2
6	Тип данных string	1	3	2

4. Модель CDCGM (Competency-Driven Content Generation Model) – данная модель состоит из образовательных объектов Learning Object (LO). Образовательные объекты связаны с банком компетенций. Образовательный объект включает учебный материал различного рода и описывает в совокупности отдельные понятия. Под компетенцией необходимо понимать спецификацию набора знаний, умений и навыков (ЗУН), которыми должен обладать обучающийся по завершению изучения образовательных объектов. Модель CDCGM включает входные компетенции (ЗУН, которыми обладает обучающийся до начала изучения электронного курса), выходные компетенции (цели обучения и ЗУН, которыми должен обладать обучающийся по завершению изучения электронного курса). Модель по заданным входным и выходным наборам компетенций позволяет автоматически формировать набор образовательных объектов и организовать их в виде дерева.

Представленные выше модели адаптивного обучения можно применять для всестороннего описания образовательного процесса и построения адаптивной траектории обучения слушателя.

Литература

1. Готская И.Б., Сивинский С.А. Проблемы и перспективы развития массовых открытых онлайн курсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emissia.org/offline/2017/2550.htm> (дата обращения: 22.03.2019).
2. Готская И.Б., Сивинский С.А. К проблеме оценки компетенций при реализации дополнительных профессиональных программ с использованием СДО Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emissia.org/offline/2018/2627.htm> (дата обращения: 22.03.2019).

3. Бригаднов С.И. Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Электронное обучение в непрерывном образовании. – 2016. – № 1(3). – С. 165–169.
4. Топчиев А.В., Чулюков В.А. Модели адаптивного обучения в компьютерных системах // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 5. – С. 62–68.
5. Силкина Н.С., Соколинский Л.Б. Обзор адаптивных моделей электронного обучения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика». – 2016. – Т. 5. – № 4. – С. 61–76.

Соколова Валерия Сергеевна

Год рождения: 1997

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
институт инженерных и цифровых технологий, кафедра информационно-
телекоммуникационных систем и технологий, студент группы № 12001511

Направление подготовки: 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы
связи

e-mail: sokolova_v@bsu.edu.ru

Щекочихина Любовь Олеговна

Год рождения: 1996

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
институт инженерных и цифровых технологий, кафедра информационно-
телекоммуникационных систем и технологий, студент группы № 12001511

Направление подготовки: 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы
связи

e-mail: 1149180@bsu.edu.ru

Прохоренко Екатерина Ивановна

Год рождения: 1971

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
институт инженерных и цифровых технологий,
кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий, к.т.н., доцент

e-mail: prokhorenko@bsu.edu.ru

УДК 004.934.2**ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ЭМОЦИОНАЛЬНО ОКРАШЕННОЙ
РЕЧИ****Соколова В.С., Щекочихина Л.О.**

(Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Прохоренко Е.И.

(Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Основной целью разрабатываемых программно-алгоритмических решений явилось автоматическое определение эмоционального состояния человека на основе анализа звукозаписи его речи. Проведенный анализ звукозаписей русской речи выявил акустические (частотно-временные признаки), зависящие от эмоционального состояния говорящего.

Ключевые слова: речевой сигнал, анализ сигнала, характеристики, частотно-временные признаки, эмоции.

Речевой сигнал передает не только передачу смысла сообщения, но и неречевую информацию. Изучение различных видов неречевой информации, в частности, ее эмоционального содержания, имеет научную ценность для автоматического осознания сообщения. Эмоциональная информация, характеризующая внутреннее состояние человека в процессе общения, является одной из важнейших. Проблема взаимосвязи акустических характеристик с эмоциональным содержанием речи представляет интерес как в теоретическом плане, так и для решения различных прикладных задач, в том числе определения объективного состояния человека по звучанию его голоса в различных сферах деятельности, в частности, в психологии, в маркетинговом бизнесе, в криминалистике, в медицине [1].

В результате социологических исследований было установлено, что эмоциональное состояние существенно влияет на прибыль организации. Следовательно, его автоматическое определение позволит оптимизировать работу и

повысить прибыль. Например, исследования группы компаний Центра речевых технологий (ЦРТ) показали, что использование ПАО Ростелекомом технологии определения эмоционального состояния на основе нейронных сетей привело к росту продаж в телемаркетинге на 22%, также подобная технология увеличила эффективность продаж в контактном центре ВТБ24 на 29%.

Определение эмоционального состояния является задачей классификации, в наиболее простой постановке – разделение на два класса: наличие или отсутствие эмоции.

Задачу классификации исследовало большое количество ученых: И. Алдошина, В.П. Морозов и другие [2–4]. На данный момент задача определения эмоций полностью не решена.

Чтобы оценить вероятность ошибки распознавания эмоций человеком, был проведен опрос в социальной сети ВКонтакте. В опросе предлагалось оценить эмоциональное состояние человека по произнесенному слову «Звёзды», выделенному из фразы: «На ночном небе сияли звёзды».

В результате прослушивания менее 57% опрошенных верно определили оба эмоциональных состояния, при этом многие из опрошенных были знакомы с человеком, произносившим фразу. Стоит отметить, что незнакомые с произносившим ошиблись полностью, и их более 13%. Более 10% приняли нейтральное состояние за эмоциональное, около 19% приняли положительную эмоцию за нейтральную.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что человеку недостаточно прослушивания только одного слова для получения информации об эмоциональном состоянии, следовательно, в случае, когда доступна только звукозапись одного слова для определения эмоционального состояния, необходимо использовать автоматизированную систему.

В данной работе предложен новый метод автоматической классификации по звукозаписи на два эмоциональных состояния.

Извлечение и взвешивание признаков на основе частотной концентрации основано на математическом аппарате субполосных матриц.

Этот подход выбран в связи с тем, что позволяет адаптироваться под звуковой сигнал. В качестве признака, определяющего эмоциональное состояние, предлагалось использовать:

1. отрезки, имеющие частотную концентрацию, близкую к средней относительно фрагмента – «эмоции нет»;
2. отрезки, имеющие высокую частотную концентрацию по сравнению со средней – «присутствует эмоция».

Результаты поисковых экспериментов на ограниченной выборке, состоящей из звукозаписей длительностью 3 мин, записанные в программе Adobe Audition с параметрами: частота 48 кГц, разрядность 16 бит, моноканал, диктор – женщина, возраст 21 год, мужчины возраст 21 и 22 года. В качестве словосочетания воспроизводилась фраза «На ночном небе сияли звёзды». Первая звукозапись производилась во время эмоционального подъема, вторая звукозапись соответствует нейтральной эмоции. Звукозаписи осуществлялись в разное время, но на одном устройстве.

На рис. 1 видно, что звукозаписи во временной области отличаются друг от друга, например, по амплитуде в гласных буквах (штриховкой выделено наибольшее различие между записями, которое соответствует ударному гласному звуку «ё»). Субполосный признак, определяющий концентрацию энергии [5], предлагается использовать для решения задачи классификации.

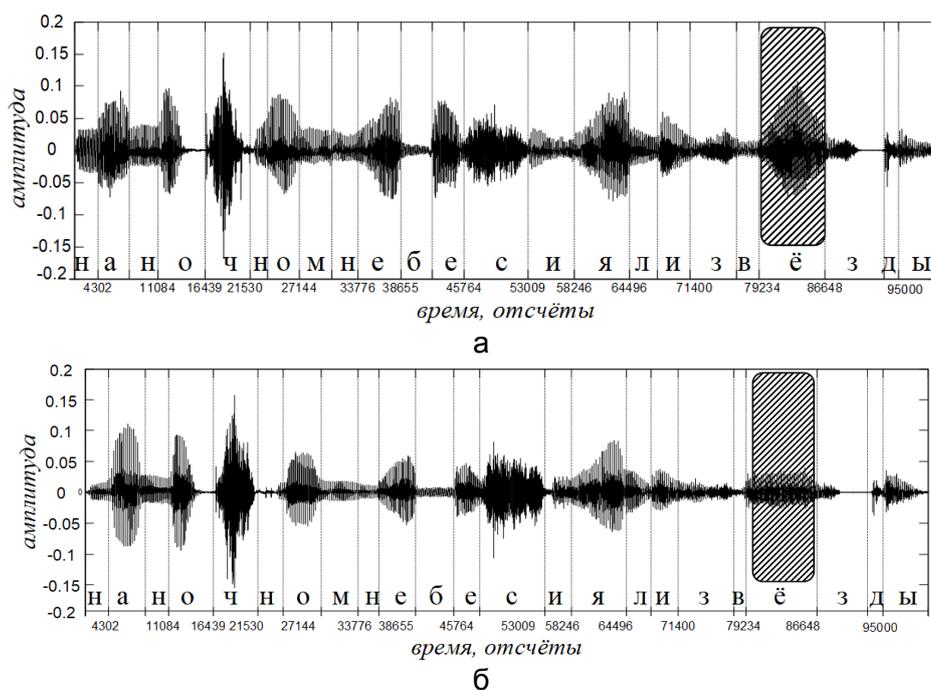


Рис. 1. Речевой сигнал: с положительной эмоцией (а); с нейтральной эмоцией (б)

Результаты вычислений показали работоспособность предложенного подхода (рис. 2).

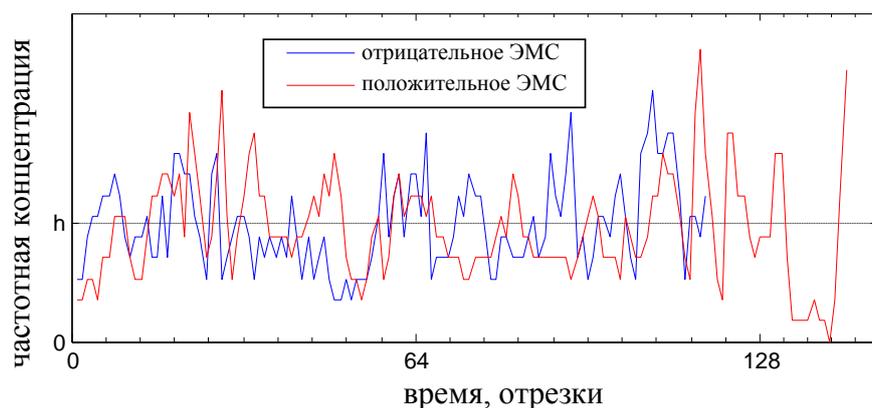


Рис. 2. Частотная концентрация в эмоциональных состояниях

При проведении поисковых экспериментов и их объективном анализе было установлено, что для автоматической идентификации эмоций по звуковым записям, содержащим эмоционально окрашенную речь, лучше использовать слова, содержащие гласные ударные звуки.

Литература

1. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека // Успехи физиологических наук. – 2014. – Т. 45. – № 1. – С. 57–95.
2. Алдошина И.А. Связь акустических параметров с эмоциональной выразительностью речи и пения // Звукорежиссер. – 2003. – № 2.
3. Морозов В.П., Морозов П.В. Искренность-неискренность говорящего и «психологический детектор лжи» // Психологический журнал. – 2010. – Т. 31. – № 5. – С. 54–67.

4. Хроматиди А.Ф. Исследование психофизиологического состояния человека на основе эмоциональных признаков речи: дис. ...канд. тех. наук. – Таганрог, 2005. – 155 с.
5. Жилияков Е.Г., Белов С.П., Медведева А.А., Курлов А.В., Лихолоб П.Г. Об одном алгоритме определения информационных частотных интервалов // Наука. Инновации. Технологии. – 2016. – № 3. – С. 23–30.

Тищук Богдана Юрьевна

Год рождения: 1998

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3301

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: tishuk52@gmail.com

Горшков Константин Сергеевич

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент

e-mail: k.gorshkov@list.ru

УДК 621.3.011.73

**СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА СХЕМНЫХ ОПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ****Тищук Б.Ю.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Горшков К.С.**

Рассмотрен метод структурного синтеза линейных и линеаризованных электрических цепей. Данный метод основывается на методе схемных определителей и позволяет синтезировать активные и пассивные линеаризованные электрические цепи непосредственно по схемной функции, не используя промежуточные математические модели.

Ключевые слова: синтез электрических цепей, метод схемных определителей, нуллов, полиномиальная схемная функция.

Введение. Задача синтеза электрических цепей изучается длительный период, однако на данный момент не существует общего метода синтеза электрических цепей, и процесс создания схем, удовлетворяющих заданным характеристикам, не формализован. Классические методы либо позволяют разрабатывать только определенный класс цепей, как методы Кауэра или Фостера, позволяющие синтезировать пассивные двухполюсники, либо основываются на опыте разработчика, когда по заданным характеристикам эксперт может оценить структуру цепи и, решив задачу параметрического синтеза, разработать схему. Такой подход особенно распространен при синтезе активных цепей. Другим немаловажным аспектом является сложность программной реализации некоторых методов, что существенно затрудняет синтез линеаризованных электрических цепей (ЛЭЦ) с большим числом компонентов. В качестве примера можно привести метод Бруне, позволяющий синтезировать цепи с комплексными нулями и полюсами, однако является труднореализуемым алгоритмически. Еще одной проблемой является то, что классические методы синтеза ЛЭЦ не подразумевают синтез полного множества схем, что автоматически исключает выбор оптимального решения и полученного множества [1–3].

Одним из алгоритмов, позволяющим синтезировать полное множество активных и пассивных электрических цепей является метод структурного синтеза, основанного на схемном подходе В. Фойснера.

Описание метода. Невырожденную электрическую цепь можно представить в виде полиномиальной схемной функции (ПСФ) $F(p)$, где p – комплексная частота, а $F(p)$ представлена отношением определителя цепи с источниками к определителю цепи с нейтральзованными источниками. Метод схемных определителей (МСО) для анализа цепей состоит в рекурсивном выделении параметров и нахождении определителя цепи, переходя непосредственно от схемы к ПСФ (рис. 1).

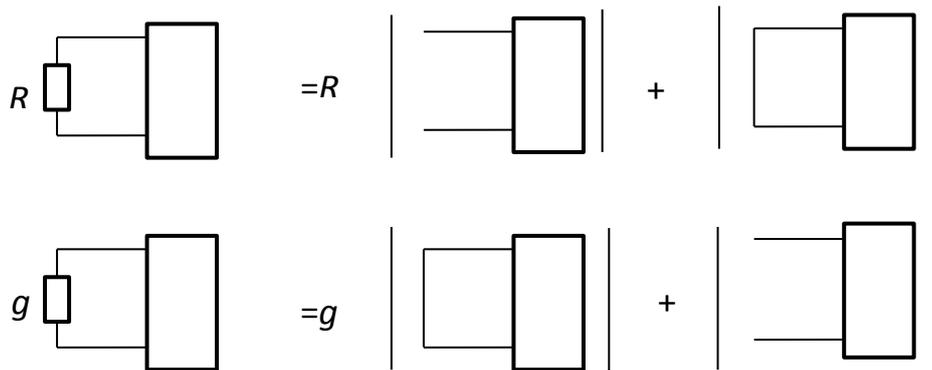


Рис. 1. Описание метода

$$\Delta = x\Delta(x \rightarrow \infty) + \Delta(x = 0), \text{ где } x \in \{R, g, K, H, G, B\}.$$

Таким образом, возможно решение обратной задачи – структурного синтеза цепи, по заданной ПСФ. При решении задачи структурного синтеза определяется набор компонентов, из которых будет состоять схема с учетом требований к типу элементов и ограничений по количеству, и структура соединений между ними. Определение параметров элементов решается на этапе параметрического синтеза и выходит за рамки данной работы.

Алгоритм заключается в разделении знаменателя ПСФ на подвыражения, синтеза цепи (или нескольких цепей, в случае выбора оптимальной структуры в дальнейшем), соответствующей подвыражению и проверке синтезированной участка цепи на соответствие подвыражению. Затем подключить нулор в синтезированную схему таким образом, чтобы определитель стал равен числителю ПСФ.

Пусть задана ПСФ схемы

$$F(p) = \frac{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_0} = \frac{N}{D}.$$

– Знаменатель ПСФ разбивается на подвыражение, число которых равно числу слагаемых в знаменателе

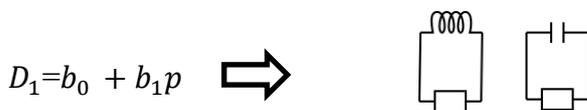
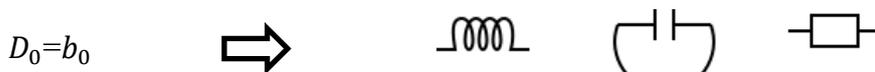
1. $D_0 = b_0$

2. $D_1 = b_0 + b_1 p$

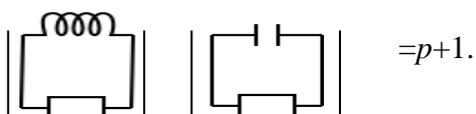
...

$n.D = b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_0.$

– Итеративно синтезируются участки цепей, соответствующих подвыражениям



– Проверка синтезированной цепи на соответствие подвыражению



Данные этапы повторяются, пока не будет синтезирована цепь, соответствующая знаменателю ПСФ. На этапе структурного синтеза электрической цепи не важны значения коэффициентов многочлена, имеет значение лишь то, что они являются ненулевыми.

Данный пример наглядно иллюстрирует алгоритм структурного синтеза ЛЭЦ с активными компонентами. Идеальный операционный усилитель (ОУ) можно представить нуллором, где входная цепь ОУ является нуллатором, а выходная нуратором.

Рассмотрим интегрирующую ARC-цепь.

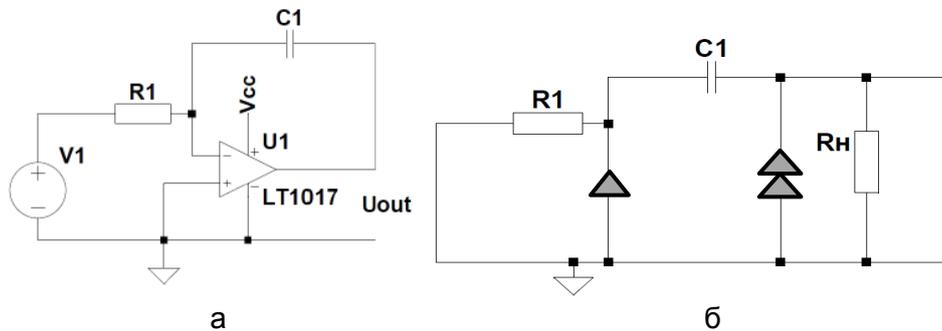


Рис. 2. Интегрирующая ARC-цепь: общий случай (а) и цепь с нейтрализованными источниками (б)

В общем случае (рис. 2, а) данная схема содержит идеальные элементы: активное сопротивление, емкость, операционный усилитель и источник сигнала. Коэффициент передачи представляет собой нижеследующее уравнение:

$$K(p) = -\frac{1}{pRC} = -\frac{1}{p\tau} = \frac{N}{D},$$

где p – комплексная частота.

При применении метода структурного синтеза цепь с нейтрализованными источниками показана на рис. 2, б. Нуллором представлен идеальный ОУ.

Определитель данной цепи представлен следующим выражением:

$$D = pR_1C_1R_H.$$

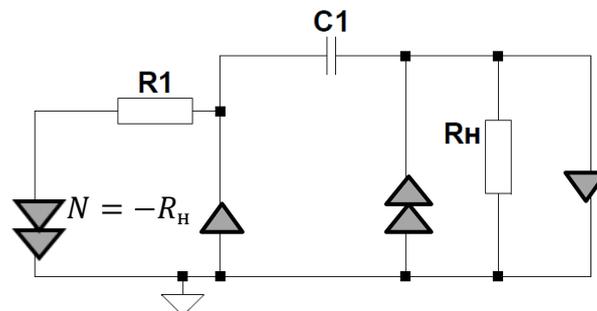


Рис. 3. Цепь проверки соответствия степеней полинома

Далее в цепь подключаются источники, и проверяется соответствие степеней полинома определителя синтезированной схемы степеням полинома N . В данном случае как видно,

$$\frac{N}{D} = -\frac{1}{pR_1C_1} = -\frac{1}{p\tau},$$

что является коэффициентом передачи интегрирующей RC-цепи.

В таблице представлены описания основных критериев методов синтеза ЛЭЦ.

Из данной таблицы следует список преимуществ и недостатков структурного синтеза на основе МСО, а именно:

1. преимущества данного подхода к структурному синтезу:

- универсальность для линейных и линеаризованных цепей;
- синтез полного множества цепей, удовлетворяющих заданной ПСФ;
- отсутствие ограничений метода на используемые компоненты, если они не заданы в условии технического задания (ТЗ) в явном виде;

- простота символьных вычислений на ЭВМ;
 - малая избыточность;
2. недостатки данного подхода к структурному синтезу:
- возможен изоморфизм полученных структур;
 - получение структур, не ведущих к синтезу схемы, удовлетворяющей заданной ПСФ на определенном этапе.

Таблица. Описания основных критериев методов синтеза ЛЭЦ

	Метод Кауэра	Метод Фостера	Метод Бруне	Метод структурного синтеза
Синтезируемые цепи	Только пассивные двухполюсники, не имеющие комплексных полюсов и нулей	Только пассивные двухполюсники, не имеющие комплексных полюсов и нулей	Только пассивные двухполюсники	Линейные и линеаризованные цепи
Простота	Прост при ручных расчетах и программной реализации алгоритма, сразу находятся параметры компонентов	Прост при ручном расчете. При реализации на программном уровне требуется решение уравнений в комплексных числах, сразу рассчитываются параметры компонентов	Сложен. Однако сразу рассчитываются параметры компонентов	Прост при ручном расчете и программной реализации, однако сложнее, чем метод Кауэра, параметры компонентов находятся на этапе параметрического синтеза
Избыточность	Возможна	Наибольшая из предложенных методов	Минимальна	Минимальна, если синтезировать единичными элементами
Множество схем	Частное множество (лестничные схемы)	Частное множество, построенное на наборе двухполюсников	Частное множество, комбинация метода Кауэра и Фостера	Позволяет синтезировать полное множество схем
Частные недостатки	Невозможность представить схему с комплексными нулями или полюсами непрерывной дробью, ограничение на компоненты	Невозможность синтеза при комплексных нулях и полюсах	Необходимо включение в схему идеального трансформатора	Возможный изоморфизм. Появление промежуточных решений, из которых невозможен синтез схемы, удовлетворяющей ТЗ

Заключение. Метод структурного синтеза позволяет синтезировать линейные и линеаризованные электрические цепи, является малоизбыточным решением задачи синтеза в области ЛЭЦ. Также возможность программной реализации алгоритма и интеграции с другими средствами разработки электротехнических и электронных устройств повышает перспективы развития и распространения подхода В. Фойснера к анализу и синтезу цепей.

Литература

1. Горшков К.С., Токарев Ю.В., Филаретов В.В. Анализ и структурный синтез электрических цепей методом схемных определителей. Учебное пособие. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. – 246 с.
2. Горшков К.С. Структурный синтез электрических цепей на основе полиномиальных схемных функций методом схемных определителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intersyn.narod.ru/klin/sad2009.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
3. Балабанян Н. Синтез электрических цепей. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 416 с.

Трезубов Кирилл Аркадьевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № P41102

Направление подготовки: 09.04.04 – Информационно вычислительные системы

e-mail: kirilltrezubov@yandex.ru

Анохина Инна Андреевна

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, центр изучения иностранных языков, ст. преподаватель

e-mail: iaanokhina@itmo.ru

UDK 575.112**ALGORITHMS FOR MATCHING ATOMS IN BIOCHEMICAL REACTIONS:
COMPARISON, ANALYSIS, PROSPECTS****Anokhina I.A., Trezubov K.A.****Scientific director – Anokhina I.A.**

The study reviewed the article «Comparative evaluation of atom mapping algorithms for balanced metabolic reactions: application to Recon 3D». The relevance of the data obtained in the article were checked by using RDT algorithm, they did the comparative analysis of all six algorithms. In addition, the authors considered new approaches to develop an algorithm for finding auto mapping in biochemical reactions.

Keywords: AAM Tool, MATLAB, RDT, Python, atoms matching, biochemical mechanism.

Currently, there are many algorithms to predict matching of atoms in metabolic reactions, RDT, DREAM, AutoMapper, CLCA, MWED, ICMAP being the most popular.

Our study is based on the results represented in the article [1]. In the article German A. Preciat Gonzalez et al used 4000 metabolic reactions of Recon 3D library and 512 curated reactions, which are manual matching of atoms.

The experiment revealed that 5 of the 6 algorithms accurately predicted for more than 90% of the reactions which were catalyzed by oxidoreductases, with RDT giving the most accurate results. However, the accuracy of all six algorithms was very low for reactions which were catalyzed by ligases. The results of the research were published in 2017. Since then the algorithms have improved and, therefore, the number of metabolic reactions to predict has increased.

Our research aims to check the relevance of the data obtained in the article mentioned using one of the algorithms and to develop a base for new methods to find matchings in a biochemical reaction.

We have chosen RDT algorithm, as it is the most accurate, easy to install and has a console application for running by using commands. RDT also includes «AAM Tool», which is jar archive (ReactionDecoder.jar) and allows to run commands through the console. To use this tool, we needed a special command: «java -jar ReactionDecoder.jar -Q RXN -q reaction_file.rxn -g -j AAM -f BOTH». «reaction_file.rxn» is a definitely metabolic reaction in RXN format. The algorithm gives access to the .png image, which represents the algorithm in action in detail, and as well as to files with ECBLAST classes and extensions. rxn, .txt and .xml.

Moreover, there was a task to launch «AAM Tool» on reactions from Recon3D library (modern Virtual Metabolic Human). To do this, we wrote Python 3 script that could run «AAM Tool» on all available reactions. Only 6.47% reactions showed the wrong result. The result obtained proved the data from the article was actual.

We decided to run the algorithm on curated reactions. The results were quite interesting. The percentage of wrong reactions of was 12.34%.

In the article scientists proved that 90% is average percentage of accuracy for algorithms in general. To check this statement, we decided to run both RDT version on curated reactions: RDT v.2.1.0 and RDT v.1.4.2. Scientists from the article worked with RDT v.1.4.2. Comparative analysis for 2.1.0 version showed that 53 reactions were wrong (for 426 reactions). It means that 87,559% reactions were right. Version 1.4.2 showed almost the same results. The percentage of right reactions was 87.661%, 48 reactions were wrong (for 389 reactions).

Table 1. Comparative analysis of different RDT algorithm versions

Reactions	Algorithm	Reactions' number	Unmapped reactions	Incorrect reactions, %
Recon3D	RDT v.2.1.0	3652	237	6.47%
Curated	RDT v.2.1.0	426	53	12.441%
Curated	RDT v.1.4.2	389	48	12.339%

Eventually, due to RDT algorithm operation (tabl. 1), we obtained the results, which confirmed the results of the 2017 study. We also tested the algorithm on 10% of reactions for which all 6 algorithms, including the RDT, showed errors in matching in the article 2017 (fig. 1, a). Therefore, we can conclude the algorithm has improved since then.

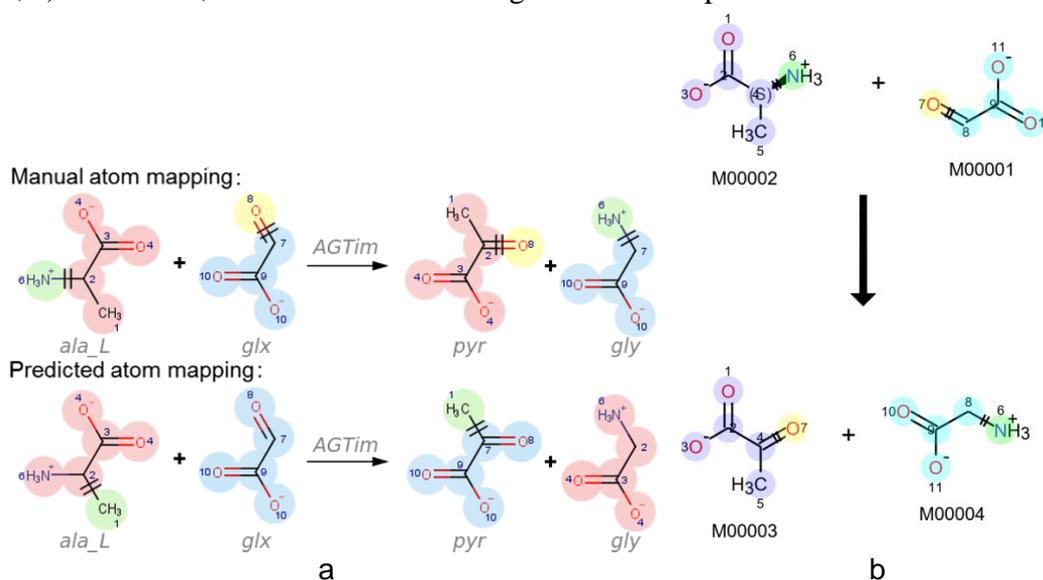


Fig. 1. Manual atom mapping and predicted atom mapping in the article 2017 (a); predicted atom mapping by the latest version of RDT algorithm (b)

As an example of these results, we decided to take AGTim reaction from curated reactions to run the latest version of RDT on it (fig. 1, b). For the alanine glyoxylate transaminase reaction (AGTim), which catalyzes chemical transformation of L-alanine (ala_L) and glyoxylate (glx) into pyruvate (pyr) and glycine (gly), RDT algorithm found the correct matches and predicted the correct reaction path, which proceeds with cleavage amine of the group in L – alanine and oxygen in glyoxylate. The results in the article 2017 indicated that five algorithms, with the exception of MWED, predicted that the C – C (σ – bond) gap in L – alanine to be more energetically favorable.

However, there are still separate groups of reactions on which RDT works with errors. To solve this problem we have decided to run all six algorithms. After all, we compared each algorithm result and we watched that, each algorithm works with the definite group of reactions better than other algorithms. For example, RDT works with transaminase and mutase reactions better than AutoMapper algorithm does, since it usually gives errors with these reactions. On the other hand, AutoMapper gives no errors in matching atoms for

phosphotransferase and sulfatase reactions. Therefore, we can conclude that sometimes it is worth using more than one algorithm to achieve very good synergy effect.

Table 2. Comparison of algorithms

Algorithm	Ferments
RDT	Transaminase, monooxygenase, aminotransferase, mutase, gluconolactonase
AutoMapper	Phosphotransferase, aminotransferase, monooxygenase, sulfatase, gluconolactonase
CLCA	Aminotransferase, mutase
DREAM	Synthase, mutase, phosphotransferase, acyltransferase, monooxygenase, sulfatase, acetyltransferase
ICMAP	Phosphotransferase, acyltransferase, myristoyltransferase, acetyltransferase, sulfatase, synthase
MWED	Synthase, transaminase, myristoyltransferase, acetyltransferase, mutase, acyltransferase, synthase

After running all algorithms and confirming the relevance of the data obtained in the article 2017, we can set the new following task. It involves developing a method, which is an algorithm for finding matches of atoms for reactions based on our experimental data and results from the article by using the best combination of algorithms (tabl. 2).

As a base of the new method, we can use RDT algorithm, which is the most accurate with other algorithms. It is also possible to use the Gibbs free energy. To obtain data on the Gibbs energy, we can use MOPAC program.

In order to track sequentially how atoms are transferred from a substrate to a reagent and how new C – C (σ – bonds) are created, we can use a new approach. The approach should be based on the trajectory of the transition of atoms from one state to another. In order to employ this approach we can also use MOPAC program.

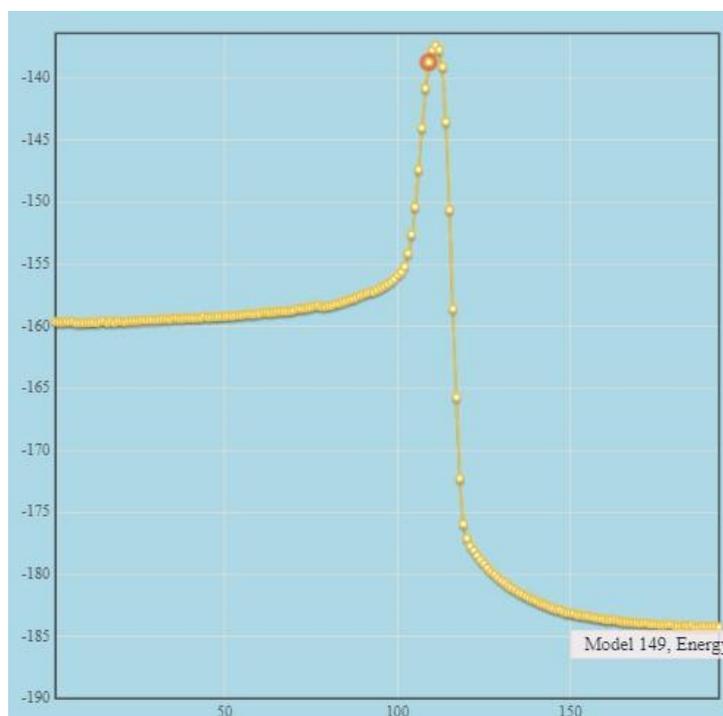


Fig. 2. The trajectory of the transition of atoms according to MOPAC program

When the transition state reaches its maximum as seen in fig. 2, the atom transforms from one molecule to another. Further elaboration of this approach and the search for new methods for matching atoms remain a priority for the authors [2–4].

References

1. Comparative evaluation of atom mapping algorithms for balanced metabolic reactions: application to Recon 3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jcheminf.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13321-017-0223-1> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Shimizu Y., Hattori M., Goto S., Kanehisa M. Generalized reaction patterns for prediction of unknown enzymatic reactions // Genome informatics. international conference on genome informatics. – 2008. – V. 20. – P. 149–158.
3. Rahman S.A., Cuesta S.M., Furnham N., Holliday G.L., Thornton J.M. EC-BLAST: a tool to automatically search and compare enzyme reactions. – 2014. – P. 171–174.
4. Caspi R., Altman T., Dreher K., Fulcher C.A., Subhraveti P., Keseler I.M., Kothari A., Krummenacker M., Latendresse M., Mueller L.A., Ong Q., Paley S., Pujar A., Shearer A.G., Travers M., Weerasinghe D., Zhang P., Karp P.D. The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases // Nucleic Acids Res 40(Database issue). – 2012. – P. 742–753.

Тумайкина Елизавета Андреевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3401

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: amable14@yandex.ru

Алиев Тауфик Измайлович

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: aliev@cs.ifmo.ru

УДК 004.72**УМЕНЬШЕНИЕ СТОИМОСТИ ПОСТРОЕНИЯ SDN-СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ
OPEN SOURCE РЕШЕНИЙ****Тумайкина Е.А.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

Software-defined Networking или программно-конфигурируемые сети как новый подход к построению и управлению сетью передачи данных способен устранить многие существующие проблемы традиционных сетей. Крупные производители оборудования, такие как Cisco, IBM и Huawei, предлагают собственные готовые SDN-решения. Минусом этих решений является их высокая цена. Комбинирование SDN-подхода и open source реализаций позволит значительно снизить стоимость построения сети, за счет открыто распространяющегося программного обеспечения и использования недорогого аппаратного обеспечения, функционирующего лишь на уровне передачи данных. В работе проведен сравнительный анализ существующих SDN-контроллеров, а также построена SDN-сеть на базе open source решений.

Ключевые слова: SDN, программно-конфигурируемые сети, SDN-контроллер, протокол OpenFlow, поток, таблица потоков.

Причины возникновения нового подхода

1. Активное развитие облачных сервисов. В наше время каждый второй пользователь или ИТ-компания пользуются облачными технологиями. Столь стремительное развитие данных технологий вызвано необходимостью доступа к ресурсам максимально быстро и детализировано.
2. Изменение трафика и увеличение объема данных. В современном мире повсеместно применяются дата-центры или центры хранения и обработки данных. Со временем трафик, проходящий через данные центры, изменяется – объемы данных увеличиваются, набирает популярность видеосвязь. Современный пользователь уже не просто отправляет текстовые сообщения или скачивает изображения. Именно это и влияет на новые требования к сети, осуществление которые невозможно в традиционных сетях из-за недостаточных способностей к масштабированию.
3. Использование мобильных устройств. Практически каждый работник на своем месте имеет персональный компьютер, ноутбук или планшет. При входе в сеть необходимо разграничивать доступ для защиты корпоративных данных и интеллектуальной собственности. Именно из-за этого возникает требование к гибкой конфигурации сети.

Все эти факторы приводят к смене подходов к ее построению, потому что существующие архитектурные принципы не удовлетворяют новые потребности. В итоге, современные или традиционные сетевые архитектуры испытывают сложности с оперативной поддержкой постоянно возникающих и изменяющихся требований, недостаточно масштабируемы и сложны в настройке и обслуживании, зависимы от особенностей решений производителя.

Программно-конфигурируемые сети. Программно-конфигурируемые сети (Software-defined Networking, SDN) – это новый подход к архитектуре сети, который был разработан университетами Стэнфорда и Беркли в 2005 году. В парадигме SDN-уровни управления и пересылки данных отделены друг от друга (рис. 1). За счет этого у администраторов сетей появляется возможность программировать сеть не на низшем уровне, а используя достаточно высокий уровень абстракции.

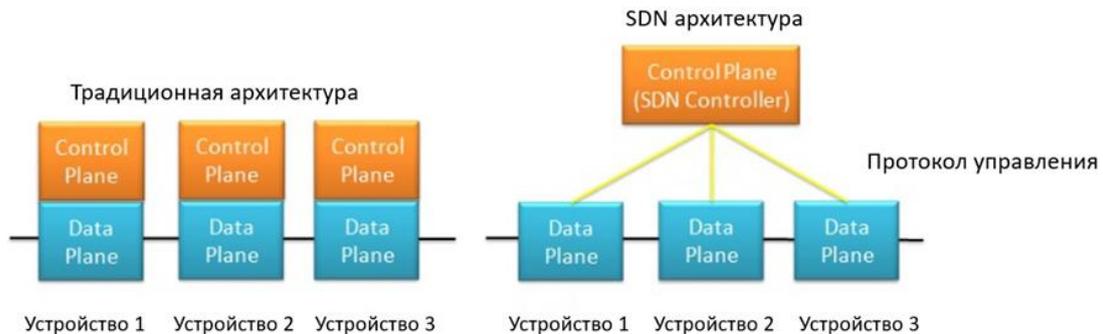


Рис. 1. Сравнения традиционной и SDN-архитектур

На плоскости управления (Control Plane) осуществляется администрирование сети, а именно настройка правил обработки пакетов, а как следствие – создание всей политики коммутации сети [1]. Плоскость данных (Data Plane) отвечает за фактическую обработку пакетов.

Протокол OpenFlow. На сегодняшний день самым популярным и стандартизированным протоколом управления процессом обмена данными между сетевыми устройствами в программно-конфигурируемых сетях является протокол OpenFlow [2]. Для корректного функционирования сети и контроллер, и все сетевые устройства должны его поддерживать. Данный протокол строит маршруты, основываясь на концепции так называемых потоков. Эта концепция содержит в своей основе заранее определенные контроллером статические или динамические правила.

Ключевым элементом протокола OpenFlow является таблица потоков (рис. 2). Часть таблицы, так называемый заголовок, объединяет в себя столбцы, где указаны характеристики потоков. Входящие пакеты проверяются на соответствие указанным в таблице параметрам. Если соответствие выявлено, к пакетам применяется действие, которое указано в следующем столбце таблицы. Типичным действием является пересылка пакета на выходной порт. Статистика по проходящему трафику – число пакетов, байтов и пр. – помещается в соответствующие поля. Эти данные с помощью протокола OpenFlow контроллер записывает в таблицу коммутатора.

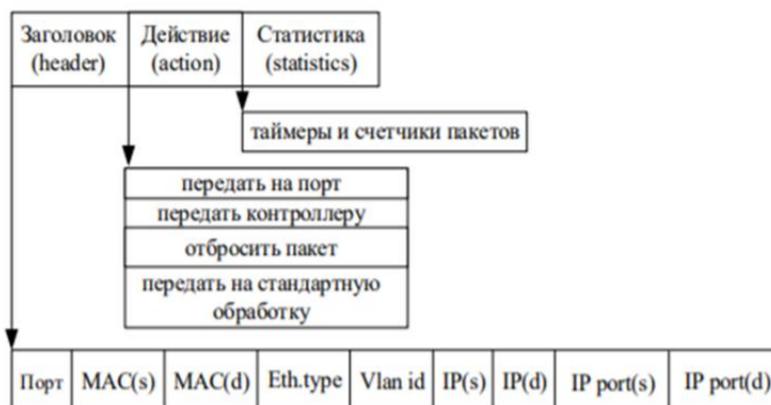


Рис. 2. Таблица потоков

Сравнительный анализ существующих SDN-контроллеров. При построении сети очень важно выбрать подходящий контроллер, так как он является ключевым элементом в SDN-сети [3]. Помимо того, что контроллер является централизованной точкой управления всей сетью, он является и единой точкой отказа (в случае не распределенной реализации).

В данной работе для выбора необходимого контроллера проводилось сравнение некоторых существующих реализаций (табл. 1), таких как FloodLight, Trema, Ryu, Big Network Controller (BNC) (платный), Onix (платный), OpenMul, OpenDayLight (ODL).

Таблица 1. Сравнение SDN-контроллеров

	FloodLight	Trema	Ryu	BNC	Onix	OpenMul	ODL
Открытость	+	+	+	–	–	+	+
Наличие открытого API	+	+	+	+	+	+	+
Поддержка многопоточности	+	+	+	+	+	+	+
Динамическая загрузка сетевых приложений	+	–	–	+	+	+	+
Расширяемость	+	+	+	–	–	+	+
Централизованность	+	–	+	–	–	–	–
Версия OpenFlow	1.3, 1.4	1.3	1.0,1.2, 1.3,1.5	1.3	1.3	1.4	1.3
Язык программирования	Java	C, Ruby	Python	Java	C++, Python, Java	C	Java
Активная разработка	+	+	+	+	+	+	+
Наличие подробной документации	+	+	+	+	+	+	+

Рассмотрим немного подробнее результаты по различным критериям сравнения. Пять из семи представленных контроллеров являются свободно распространяемыми, т.е. реализациями с открытым исходным кодом, что значительно снижает стоимость построения сети. Все контроллеры из данного списка включают в себя открытое API, что позволяет создавать сетевые приложения для SDN. Все представленные контроллеры поддерживают многопоточность, а значит, с их использованием можно реализовывать многопоточные параллельные сетевые приложения. Контроллеры Trema и Ryu не поддерживают динамическую загрузку сетевых приложений, что исключает возможность запуска сетевых приложений без остановки контроллера. Оставшиеся пять реализуют данную функциональность. Платные контроллеры BNC и Onix являются нерасширяемыми, именно за счет проприетарности кода, на котором они написаны, и, как следствие, не предоставляют возможности по замене компонентов контроллера или добавлению новых. Только два контроллера FloodLight и Ryu являются централизованными, и значит, не поддерживают несколько экземпляров контроллера, за счет чего можно было бы значительно повысить отказоустойчивость сети. Контроллеры поддерживают различные версии протокола OpenFlow, некоторые даже несколько версий. OpenFlow 1.3 – наиболее широко распространенная версия данного протокола. Все представленные контроллеры поддерживают версию не ниже 1.3. Сравнимые контроллеры написаны на различных языках программирования, что следует учитывать при выборе. Язык программирования влияет на сильные и слабые стороны контроллера в различных сферах информационных технологий,

поэтому данный критерий рассматривается в контексте целей, преследуемых при построении SDN-сети. Все представленные контроллеры активно разрабатываются, развиваясь в течение последних нескольких лет. Подробная документация имеется в наличии для каждого контроллера.

Для использования в данной работе был выбран контроллер Ryu за счет своей простоты использования, открытости, активного развития, высокой читаемости языка Python и наличия подробной документации, что значительно ускоряет изучение.

Построение сети. Сеть строится с использованием гипервизора Oracle VirtualBox. На виртуальных машинах установлена операционная система Ubuntu Server 14.04.5.

1. На второй виртуальной машине устанавливается Ryu контроллер. После чего запускается firewall, прослушивающий IP-адрес, принадлежащий контроллеру [4]:

```
vm2
```

```
ryu-manager -verbose -ofp-listen-host 192.168.1.186 ryu.app.rest_firewall
```

2. На первой виртуальной машине устанавливается Mininet. Для создания собственной топологии пишется скрипт на языке Python с именем topo.py:

3. На этой же машине строится сеть с использованием созданной топологии с подключением к удаленному контроллеру. Ключи команды указаны в табл. 2.

```
vm1
```

```
mn --custom topo.py --topo mytopo --mac --switch=ovsk,protocols=OpenFlow13 --controller=remote, ip=192.168.1.186
```

Таблица 2. Описание ключей команды для создания сети

--custom topo.py	использовать собственные классы или параметры файла topo.py
--topo myTopo	использовать собственную топологию
--mac	автоматически назначать хостам MAC-адрес
--switch=ovsk	использование в качестве коммутаторов OpenVSwitch коммутаторы
protocols=OpenFlow13	использование протокола OpenFlow версии 1.3
--controller=remote, ip=192.168.1.186	использование удаленного контроллера, расположенного по указанному IP-адресу

4. Сеть, представленная на рис. 3, готова к использованию.

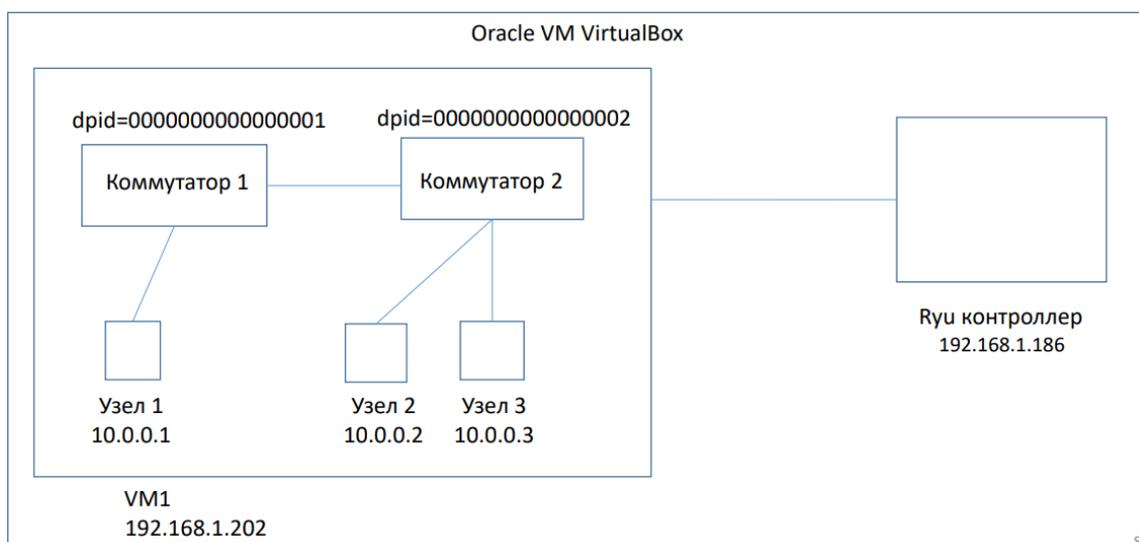


Рис. 3. Построенная сеть

Заключение. В данной работе проведено сравнение современных OpenFlow контроллеров, показаны сильные и слабые стороны рассмотренных проектов. По итогам сравнения можно сделать вывод, что выбор контроллера зависит от целей, преследуемых при разработке и построении сети. С помощью утилиты Mininet была создана и построена собственная топология сети. В процессе построения было настроено взаимодействие коммутаторов с удаленным контроллером. Была проведена проверка сети на корректную работу путем добавления правил для пересылки пакетов в таблицы потоков коммутаторов.

Литература

1. Ефимушкин В.А., Ледовских Т.В., Корабельников Д.М., Языков Д.Н. Обзор решений SDN/NFV зарубежных производителей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – № 8. – С. 5–13.
2. Braun W., Menth M. Software-defined networking using OpenFlow: Protocols, applications and architectural design choices // Future Internet. – 2014. – V. 6. – № 2. – P. 302–336.
3. Salman O. et al. SDN controllers: A comparative study // Electrotechnical Conference (MELECON). – 2016. – P. 1–6.
4. RYU SDN Framework Using OpenFlow 1.3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://osrg.github.io/ryu-book/en/Ryubook.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

Фомин Александр Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3401

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: fsasha_1997@mail.ru

Алиев Тауфик Измайлович

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: aliev@cs.ifmo.ru

УДК 004.94**РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ MPLS В NS-3****Фомин А.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

В работе рассмотрен процесс добавления реализации подсистемы коммутации пакетов MPLS в систему имитационного моделирования телекоммуникационных сетей NS-3 для предоставления возможности моделирования технологии MPLS. Необходимость в этом обоснована развитием технологии и потребностью к моделированию сетей на ее основе в связи с рядом преимуществ над IP-маршрутизацией.

Ключевые слова: коммутация пакетов, MPLS, FTN, NHLFE, моделирование компьютерных сетей, NS-3.

Постановка проблемы. Ни один проект крупной компьютерной сети со сложной топологией не обходится без моделирования. Создание модели компьютерной сети значительно быстрее и дешевле, чем создание реальной сети, для которой требуется приобретение дорогостоящего оборудования, поэтому, моделирование компьютерных сетей так востребовано. Одним из средств моделирования компьютерных сетей является система имитационного моделирования NS-3. Она поддерживает большой стек протоколов и позволяет моделировать компьютерные сети с различными топологиями. Одним из недостатков данной системы моделирования является отсутствие реализации технологии MPLS (MultiProtocol Label Switching), которая имеет ряд преимуществ над IP-маршрутизацией, среди которых:

- более высокая скорость продвижения IP-пакетов по сети за счет сокращения времени обработки маршрутной информации;
- полное обособление друг от друга виртуальных корпоративных сетей за счет создания для каждой из них туннелей.

Цель работы – расширение библиотеки протоколов системы имитационного моделирования компьютерных сетей NS-3 для возможности моделирования коммутации пакетов MPLS.

Базовые положения исследования. Технология MPLS – механизм, осуществляющий передачу данных от одного узла сети к другому с помощью меток [1]. В сети, основанной на MPLS, пакетам данных присваиваются метки. Решение о дальнейшей передаче пакета данным другому узлу сети осуществляется только на основании значения присвоенной метки без необходимости изучения самого пакета данных. Преимущество над стандартной IP-маршрутизацией в том, что не требуется определять максимальный префикс для определения следующего узла. Коммутация происходит только на основании значения присвоенной метки [2].

Для добавления возможности коммутации пакетов MPLS необходимо было сначала исследовать существующий механизм маршрутизации трафика в системе. Схема механизма представлена на рис. 1.

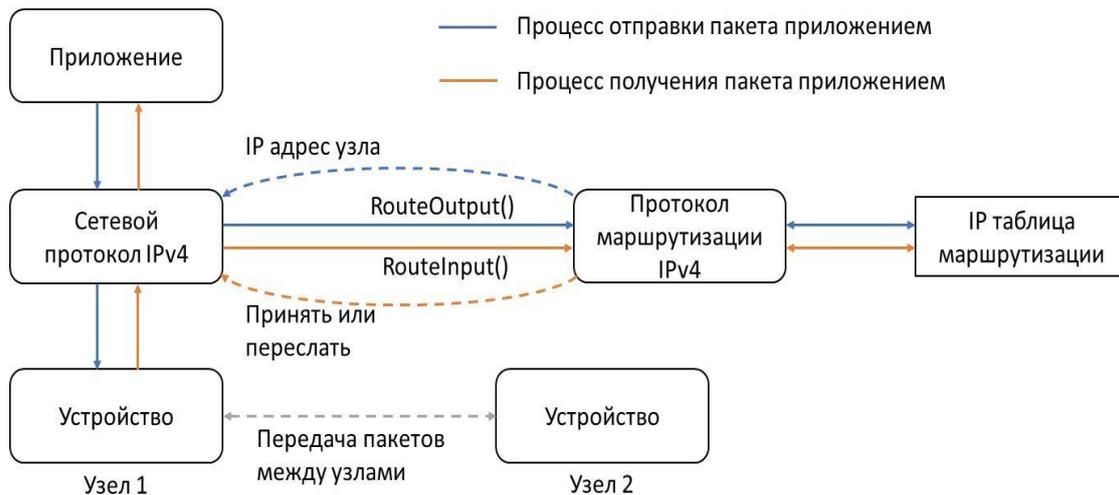


Рис. 1. Структурная схема механизма маршрутизации в системе NS-3

Когда приложение отправляет пакет данных, он спускается вниз по стеку протоколов, доходя до сетевого уровня. На уровне сетевого протокола происходит обращение к маршрутизирующему протоколу посредством вызова метода RouteOutput. Маршрутизирующий протокол, используя информацию, хранящуюся в таблице маршрутизации, определяет IP-адрес узла, на который необходимо переслать пакет и передает его сетевому протоколу [3]. Далее пакет спускается по стеку протоколов и пересылается на устройство с полученным адресом.

При получении устройством пакета, вызывается обработчик, который обращается к соответствующему сетевому протоколу. Сетевой протокол, в свою очередь, используя метод RouteInput, обращается к протоколу маршрутизации, который определяет, предназначен ли пакет данному узлу или его необходимо передать дальше.

Реализация системы коммутации пакетов MPLS в системе NS-3. Архитектура подсистемы коммутации MPLS-пакетов проектировалась таким образом, чтобы максимально совпадать с существующей системой маршрутизации. Таким образом, для решения поставленной задачи был разработан протокол сетевого уровня MPLS, маршрутизирующий протокол и таблицы коммутации. Схема разработанной архитектуры приведена на рис. 2. Для сетевого протокола был реализован метод для регистрации его в качестве обработчика пакетов. В маршрутизирующем протоколе был реализован метод RouteInput, который производит операцию по добавлению, замене или удалению метки из заголовка пакета. Для коммутации исходящих пакетов был реализован метод RouteOutput, возвращающий адрес узла для следующей пересылки пакета.

Для функционирования системы коммутации были реализованы таблицы сопоставления IP-префикса с MPLS-меткой и сопоставления входящей метки с выходящей меткой и интерфейсом. Схемы созданных таблиц изображены на рис. 3.

Для настройки созданных таблиц коммутации MPLS-пакетов, был разработан API, позволяющий добавлять записи, получать их, а также выводить таблицы для удобства отладки.

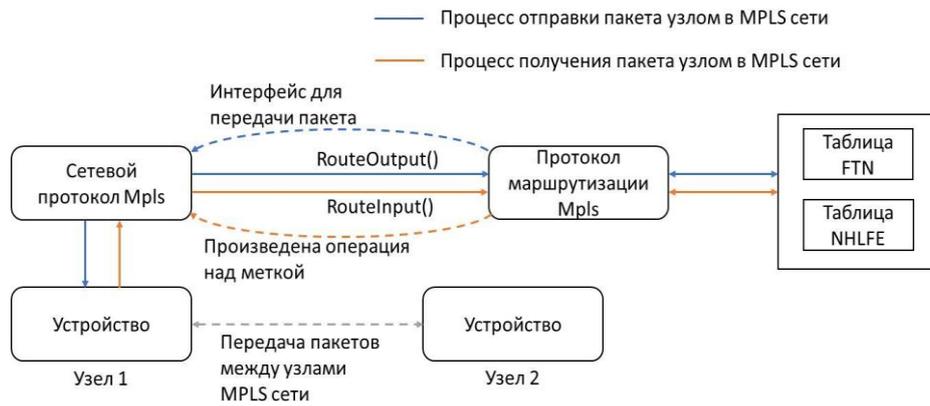


Рис. 2. Взаимодействие протокола LDP с подсистемой коммутации меток в NS-3

Таблица сопоставления IP префикса с MPLS меткой		Таблица сопоставления входящей метки с интерфейсом и выходящей меткой		
Prefix	Ptr<NHLFE>	In_label	Out_label	Out_interface
xxx.xxx.xxx.xxx/m	NHLFE[1]	1	2	#0
yyy.yyy.yyy.yyy/m	NHLFE[2]	3	6	#1

Рис. 3. Таблицы коммутации

Для проверки корректности работы полученной системы, в графическом симуляторе Gns3 была запущена реализация MPLS от Cisco, после чего с интерфейсов были сняты дампы. Аналогичная процедура была проделана для реализованной в данной работе системы. Полученные дампы были проанализированы с помощью программы wireshark, которая позволяет отобразить заголовки пакета в читаемом виде (рис. 4). Было проверено, что при входе IP-пакета в сеть MPLS, на пакет навешивается метка, и номер протокола в Ethernet заголовке меняется на соответствующий протоколу MPLS. Размер пакета увеличивается на размер MPLS-заголовка (4 Б).

При передвижении пакета по MPLS-сети метка в заголовке меняется на каждом шаге в соответствии с таблицами коммутации. При выходе пакета из MPLS-сети заголовков MPLS удаляется, а номер протокола в Ethernet заголовке меняется на IP. Таким образом, на выходе из MPLS-сети получен IP-пакет исходного размера [4, 5].

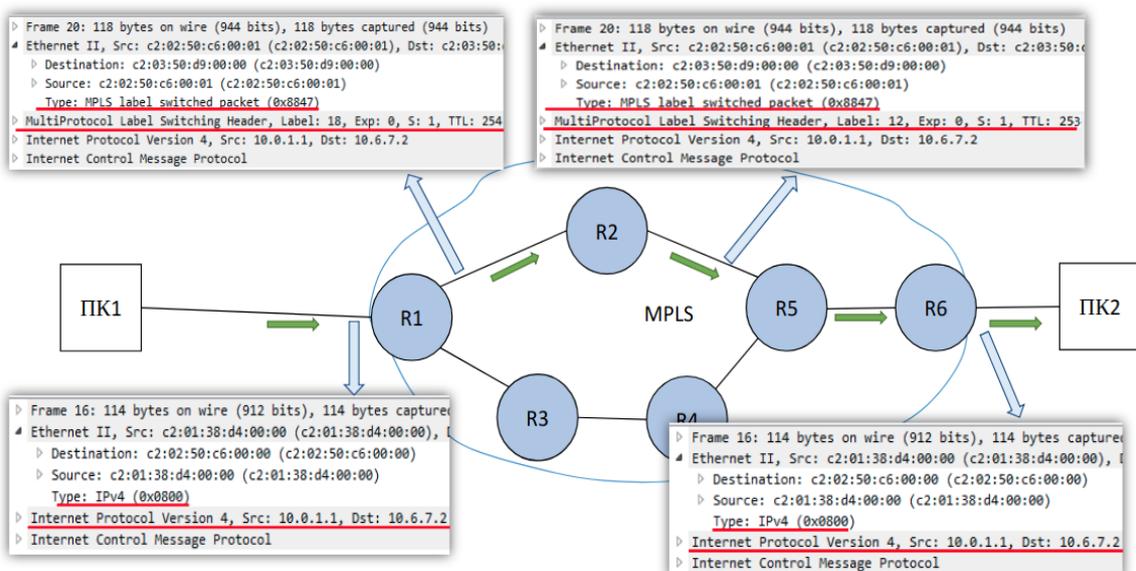


Рис. 4. Содержание заголовков пакета при передвижении от ПК1 до ПК2

Результаты. Была разработана подсистема коммутации пакетов в MPLS-сети. Предоставленный API предназначен для использования протоколом распределения меток и позволяет полноценно настроить полученную систему для корректной работы.

Литература

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2014. – 304 с.
2. Синди Ф. TCP/IP. Архитектура, протоколы, реализация: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Лори, 2015. – 412 с.
3. NS-3 Model Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/models/ns-3-model-library> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Riley G.F., Henderson T.R. The ns-3 Network Simulator // Modeling and Tools for Network Simulation. – 2010. – P. 15–34.
5. NS-3 Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/manual/ns-3-manual.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

Фомин Роман Владимирович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р3401

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: rofominucvt@mail.ru

Алиев Тауфик Измайлович

Год рождения: 1945

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: aliev@cs.ifmo.ru

УДК 004.94**ДОБАВЛЕНИЕ ПРОТОКОЛА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ MPLS-МЕТОК В СИСТЕМУ NS-3****Фомин Р.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

В работе рассмотрено добавление отсутствующего в системе имитационного моделирования компьютерных сетей NS-3 протокола распространения MPLS-меток, осуществляющего настройку MPLS-сети, обоснованное необходимостью производить моделирование таких сетей, связанное с развитием технологии MPLS, имеющей ряд преимуществ над традиционной IP-маршрутизацией.

Ключевые слова: протокол распространения меток, LDP, MPLS, моделирование компьютерных сетей, NS-3.

Постановка проблемы. Система NS-3, являющаяся одним из самых современных средств для решения задач компьютерного моделирования телекоммуникационных сетей в настоящее время, использует только IP (маршрутизируемый протокол стека TCP/IP) в качестве протокола сетевого уровня. Текущая реализация NS-3 не позволяет использовать многопротокольную коммутацию по меткам (MPLS), которая имеет ряд преимуществ над обычной IP-маршрутизацией. В связи с развитием технологии MPLS (MultiProtocol Label Switching) и ее широким применением в телекоммуникационных сетях для уменьшения задержек на узлах при передаче данных и создания виртуальных каналов, необходима возможность проводить моделирование таких сетей.

Цель работы – добавить реализацию протокола распределения MPLS-меток в систему имитационного моделирования NS-3.

Базовые положения исследования. Технология MPLS – способ коммутации, повышающий производительность сети, при котором передача данных осуществляется при помощи специальных меток [1]. Для организации MPLS-сети в первую очередь необходим протокол распределения меток, осуществляющий ее настройку. Существует несколько типов протоколов распространения меток и создания маршрутов в сети. Одни предназначены для распространения транспортных меток, используемых для передачи трафика по сети MPLS, другие – для распространения сервисных меток, которые служат для разделения различных сервисов в сети. Третьи – строят полную карту сети на каждом узле, пересылая информацию о соседях, и отслеживают состояния канала, такие протоколы относятся к классу Link State [2]. В качестве протокола для реализации был выбран LDP (Label Distribution Protocol), как наиболее простой для внедрения в систему NS-3 и не требующий реализации дополнительных

модулей в отличие от протоколов класса Link State, для которых необходимо реализовать структуры данных для хранения информации о сети и алгоритм поиска кратчайшего маршрута на каждом узле.

Алгоритм работы протокола LDP состоит из двух частей. Первая – обнаружение соседей путем мультикастовой рассылки UDP-дейтаграмм. Вторая – последовательное назначение метки доступной сети и передача информации об этой метке и префиксе найденным узлам, как изображено на рис. 1 [3].

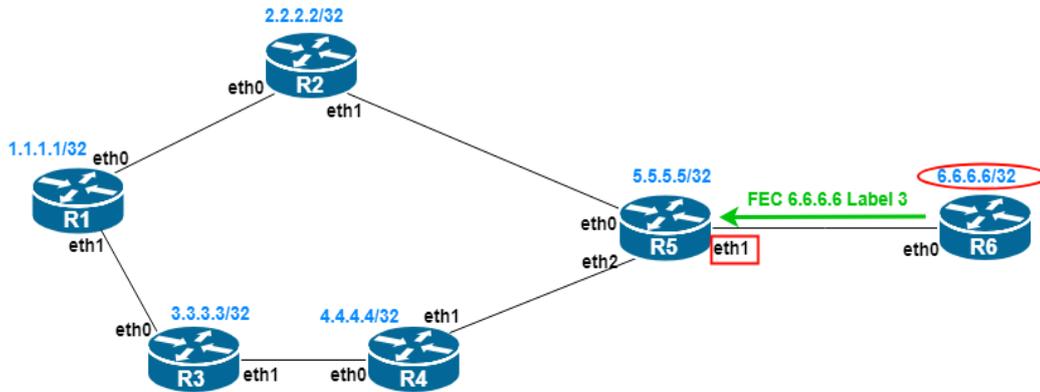


Рис. 1. Пересылка LDP сообщения с R6 на R5

При получении сообщения от соседнего маршрутизатора MPLS-сети (LSR), соответствие полученной метки и префикса (FEC) записывается в локальную FTN (FidoNet Technology Network) таблицу, изображенную на рис. 2, выделяется новая метка, и процесс с пересылкой повторяется до тех пор, пока все возможные пути не будут построены.

LSR	Входная метка	FEC	Выходная метка	Интерфейс
R5		6.6.6.6/32	3	eth1
R6	3	6.6.6.6/32		

Рис. 2. Записи в FTN-таблицах для LSR R5 и R6

Реализация протокола LDP в системе NS-3. Список упрощений и допущений, используемых при добавлении протокола:

- в реализуемом протоколе будут использоваться два вида передаваемых сообщений: одно сообщение для обнаружения соседних узлов, второе – для передачи соответствия назначенной метки и FEC;
- обязательным условием работы протокола LDP является базовая настройка IP-связности;
- распространение меток начинается без запроса от вышестоящих LSR;
- метки для одного LSP будут назначаться и распространяться последовательно от выходного LSR к входному;
- все пришедшие на LSR метки будут сохраняться.

На рис. 3 изображена архитектура взаимодействия добавляемого протокола распределения меток и существующих в системе модулей коммутации и маршрутизации. Модуль LDP в системе NS-3 взаимодействует с протоколом IP-маршрутизации, чтобы получить все известные IP-маршруты и назначить им MPLS-метки на текущем LSR, которые впоследствии отправляются соседним узлам. При получении LDP-сообщения происходит запись метки и информации об интерфейсе в таблицу FTN при помощи API-протокола MPLS-коммутации. Таким образом, Control Plane настраивает Data Plane.

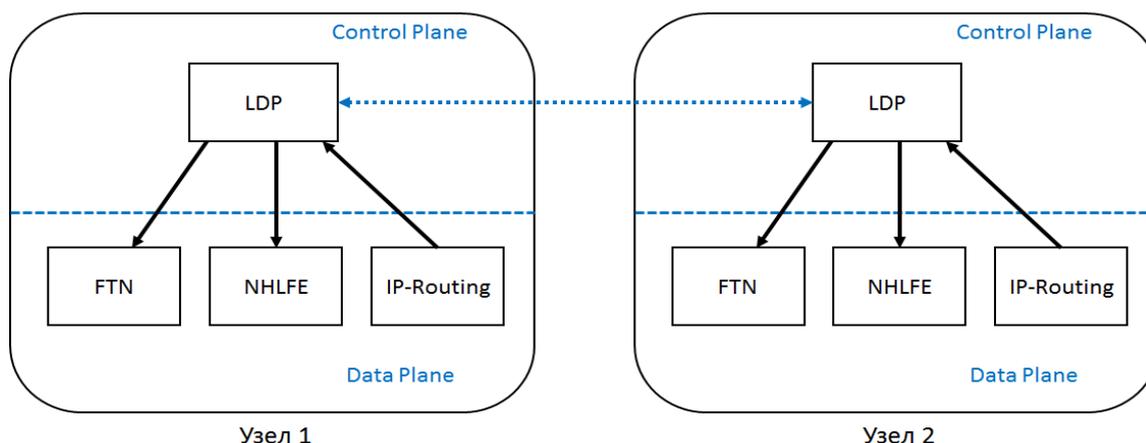


Рис. 3. Взаимодействие протокола LDP с подсистемой коммутации меток в NS-3

В системе NS-3 протокол LDP был реализован в виде приложения – набора функций, который может быть установлен и запущен на узлах сети в модели. Также для удобства использования протокола был реализован класс-помощник `LdpHelper`, который предназначен для установки приложения LDP на узел или на группу узлов одновременно и его запуска.

После вызова метода `Install` класса `LdpHelper` создается новый экземпляр `LdpApplication`, в него записывается адрес и порт, на котором он будет работать, и помещается в список приложений на узле, на который производится установка. Так как протокол LDP работает поверх IP-маршрутизации, то первое действие после создания экземпляра `LdpApplication` на узле – это поиск протоколов маршрутизации. LDP запрашивает протокол `Ipv4L3Protocol` (протокол сетевого уровня), который должен быть установлен на узле. У найденного протокола запрашивается список доступных модулей коммутации, так как в системе NS-3 существует несколько реализаций модуля IP-коммутации, например статическая маршрутизация (`Ipv4StaticRoutingProtocol`) и глобальная маршрутизация (`Ipv4GlobalRoutingProtocol`). Из списка выбирается необходимый протокол, учитывая приоритеты, установленные `Ipv4L3` протоколом.

Аналогичным образом происходит поиск протокола MPLS-маршрутизации (`MplsProtocol`) и модуля коммутации MPLS меток (`MplsGlobalRouting`). Если хотя бы один из перечисленных протоколов не найден, работа LDP-протокола прекращается с ошибкой.

Создается UDP-сокеты, по которому будут отправляться Hello-пакеты. Сокет связывается с адресом, на котором запущен `LdpApplication`, после чего сокету назначается обработчик приема сообщений и разрешаются широковещательные сообщения.

Периодически рассылаются Hello-сообщения. При получении ответа на такое сообщение создается TCP-сокеты, который устанавливает соединение с узлом, приславшим ответ. Дальнейшее взаимодействие с узлом будет происходить по этому сокету.

Из полученного протокола IP-маршрутизации последовательно запрашиваются записи из таблицы IP-маршрутизации, которая представляет собой класс (`Ipv4RoutingTableEntry`). Поле «gateway» в данном случае является FEC, которому необходимо выделить метку.

Процесс выделения новой метки выполняется путем инкрементирования локального значения (label), хранящегося в приложении.

При помощи API-протокола коммутации MPLS-меток производится проверка наличия текущего FEC в таблице MPLS-коммутации на узле. В случае отсутствия

записи о данном FEC, соответствие FEC-метки записывается в таблицу, поля «выходная метка» и «выходной интерфейс» не заполняются.

Формируется LDP-сообщение, реализованное для протокола LDP, в список с посещенными узлами добавляется адрес отправителя, после чего сообщение отправляется всем известным на данный момент соседям.

При получении сообщения по TCP-сокету вызывается обработчик, назначенный при создании сокета. Обработчик проверяет тип сообщения и отсутствие адреса текущего узла в списке посещенных адресов из принятого сообщения. При помощи API-протокола коммутации MPLS-меток производится проверка наличия текущего FEC в таблице MPLS-коммутации на узле. В случае отсутствия записи о данном FEC, выделяется MPLS-метка, и соответствие записывается в таблицу. На этот раз в поле «выходная метка» будет записано значение метки, полученной в LDP-сообщении, а в поле «выходной интерфейс» – номер интерфейса, на который пришло это сообщение.

Сообщение с новой выделенной меткой пересылается «соседям».

Если адрес текущего узла был найден в списке посещенных адресов из полученного сообщения, то процесс пересылки данного сообщения прекращается, так как такой случай означает появления цикла (петли) в ходе работы протокола.

Действия повторяются на всех узлах до тех пор, пока все пути (LSP) не будут построены [4, 5].

Результаты. В систему NS-3 был добавлен протокол распределения меток LDP, использующий API-модуля MPLS-коммутации для заполнения FTN-таблиц и осуществляющий настройку сети. Планируется добавить полученную реализацию в основную кодовую базу системы NS-3.

Литература

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2014. – 304 с.
2. Синди Ф. TCP/IP. Архитектура, протоколы, реализация: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Лори, 2015. – 412 с.
3. Riley G.F., Henderson T.R. The ns-3 Network Simulator // Modeling and Tools for Network Simulation. – 2010. – P. 15–34
4. NS-3 Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/manual/ns-3-manual.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).
5. NS-3 Model Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/models/ns-3-model-library> (дата обращения: 06.03.2019).

Челокьян Лусинэ Арутюновна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, студент группы № Р4261

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: lusinechelokian@gmail.com

Шалобаев Евгений Васильевич

Год рождения: 1947

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, к.т.н., доцент

e-mail: shalobaev47@mail.ru

УДК 004.5**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ ДЕСКТОПНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ И СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ВЕРСИЙ ИНТЕРФЕЙСОВ****Челокьян Л.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Шалобаев Е.В.**

В работе рассмотрены основные особенности мобильных версий интерфейсов, приведены примеры размещения контента в мобильной версии. Также описаны основные методы адаптации десктопных интерфейсов под мобильные устройства на примерах различных веб-страниц.

Ключевые слова: интерфейс, пользователь, адаптация, мобильное устройство, текст.

В 2016 году более 28% населения мира использовали смартфон. Статистика прогнозирует, что число пользователей смартфонов в мире достигнет 6,1 млрд к 2020 году. Согласно опросу, 7 из 10 человек говорят, что отображение контента приложения должно быть идеальным и точным на всех устройствах. Почти 39% людей перестают взаимодействовать с веб-сайтом, если изображения не загружаются или занимают слишком много времени, а также, если интерфейс отображается некорректно. Также, примерно 52% пользователей заявили, что плохой мобильный интерфейс приводит к отказу от взаимодействия с компанией, которой принадлежит этот интерфейс. Эти данные обуславливают необходимость конструирования интерфейсов, которые совместимы с различными устройствами. Apple iOS и Google Android разработали гайдлайны (наборы инструкций) для создания мобильных интерфейсов [1–3].

Пользовательский интерфейс (User Interface, UI) – интерфейс, который обеспечивает передачу информации между человеком (пользователем) и программно-аппаратными компонентами компьютерной системы. Десктопный (desktop – поверхность стола) интерфейс – версия интерфейса, представленная на экране компьютера. Мобильный интерфейс – версия интерфейса, представленная на экране мобильного устройства. Основная причина создания адаптивных и мобильных интерфейсов заключается в том, что количество трафика, реализуемого через различные мобильные устройства, возрастает с каждым днем [4].

Основопологающим принципом дизайна мобильных телефонов является включение только необходимой информации. Телефон – это удобный способ получать информацию на ходу. Пользователь, который применяет десктопный интерфейс, концентрируется на взаимодействии с ним и имеет возможность изучать различные задачи, находящиеся в одном окне. При взаимодействии с интерфейсом через мобильное устройство пользователь, как правило, не фокусирует все свое внимание на нем, поэтому в одном окне должна быть представлена одна задача.

Для мобильных устройств обычно используется упрощенная навигация, более сфокусированный контент, списки или строки вместо колонок. Например, адаптация такого функционального элемента интерфейса, как шапка, в зависимости от ширины экрана (рис. 1).

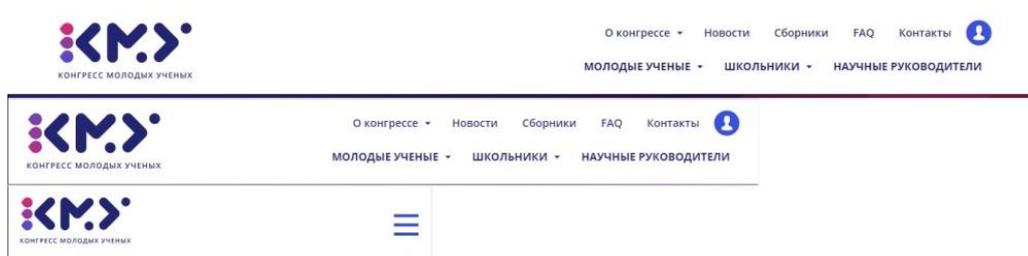


Рис. 1. Пример адаптации шапки сайта [5]

Помимо адаптации функциональных элементов, необходима адаптация контента для различных типов устройств. Например, на широком экране все четыре блока размещены в одном ряду. На более узком экране по два блока размещены в двух рядах, в мобильной версии сайта в каждом из четырех рядов размещен только один блок (рис. 2) [6].

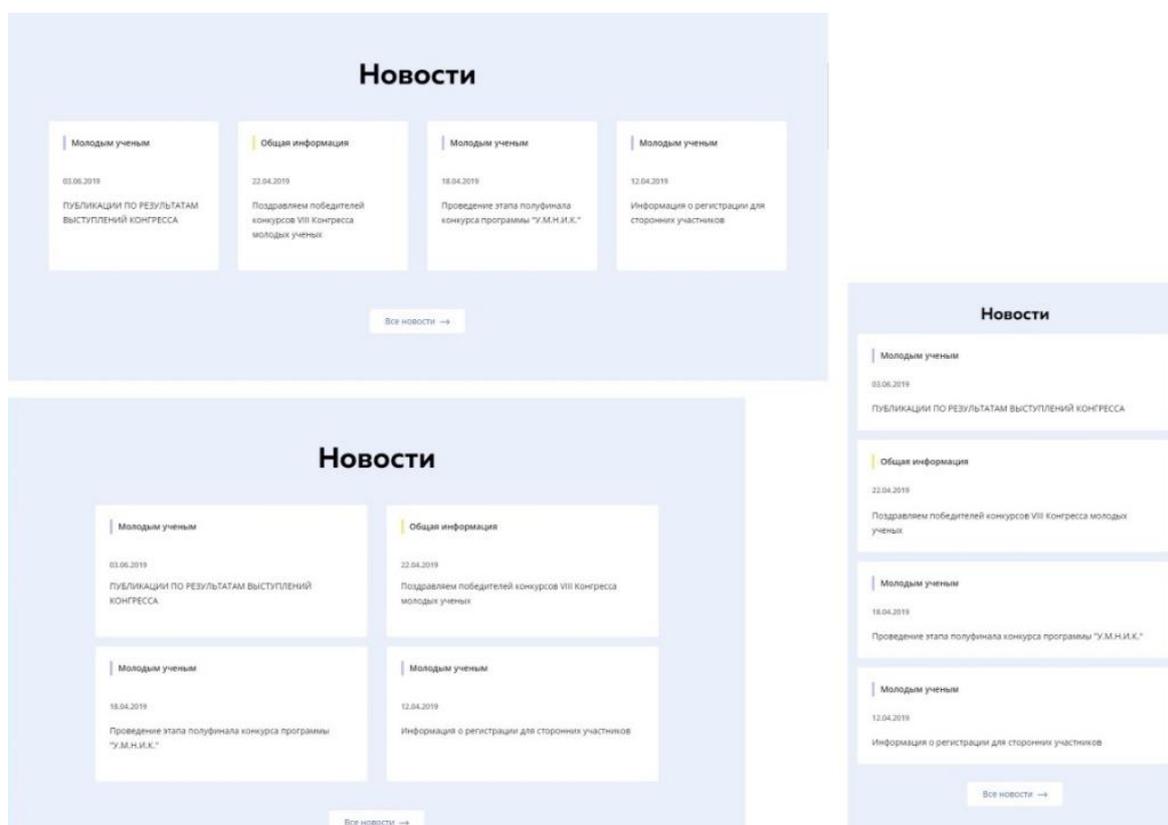


Рис. 2. Пример размещения блоков на экранах различных размеров [5]

Приоритизация контента. Так как человек сохраняет свое внимание очень короткий промежуток времени, чрезвычайно важно привлечь внимание пользователя в течение первых нескольких секунд взаимодействия с продуктом. Элементы интерфейса стоит свести к минимуму, рекомендуется отображать только необходимый контент и функции, необходимые пользователю. Ограниченное пространство, доступное на маленьком экране, делает каждый дополнительный элемент подавляющим для пользователей. Дополнительный контент должен быть доступен через меню. Списки меню, короткие или длинные, должны иметь прогрессивное раскрытие и простую

терминологию, чтобы не запутать пользователей, использование значков вместо текста, где это возможно.

Пользователи должны интуитивно иметь возможность взаимодействовать с интерфейсом через четкие и логичные пути и выполнять все основные задачи без каких-либо объяснений. При навигации пользователь всегда должен знать, где он находится, навигация должна быть удобной для пользователя. Информация должна быть такой, чтобы для ее получения требовалось минимальное количество шагов.

Одним из основных аспектов, которые делают навигацию удобной, являются переходы между экранами. Свайп (специальный жест, когда пользователь кладет палец на сенсорный экран и ведет его в нужном направлении) является основным способом перехода для просмотра нового экрана, который находится рядом с уже открытым экраном. Также обычно имеется кнопка «Назад», чтобы пользователь мог открыть последний просмотренный экран.

Так как мобильные устройства могут использоваться как в помещениях, так и на открытом воздухе, где может быть очень яркий свет, должен быть достаточный контраст между содержанием и фоном, чтобы он был разборчивым в любой обстановке.

Пользователи взаимодействуют с сенсорными экранами, управляя непосредственно элементами интерфейса, поэтому они должны быть достаточного размера, чтобы на них было легко «попасть». Важен не только размер элементов, но и расстояние между ними, особенно между элементами с противоположным действием. Большинство людей выполняют основные действия посредством взаимодействия с элементами интерфейса при помощи большого пальца руки. Общие элементы следует располагать так, чтобы это легко было можно осуществить.

Когда от пользователя требуется ввод какой-либо информации, необходимо предложить ему несколько вариантов клавиатуры в зависимости от требуемых данных, например, для телефонных номеров требуется цифровая клавиатура для более быстрого ввода. Также важно использовать шрифты, максимально близкие к системным. Для заголовков можно применять фирменные шрифты компании, которой принадлежит интерфейс, а для текстового контента, и текста в элементах управления – системные шрифты.

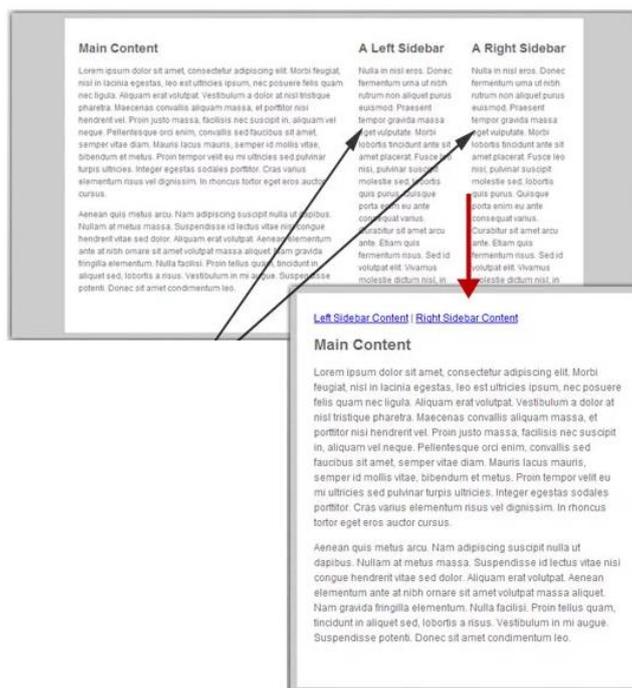


Рис. 3. Пример размещения контента на экранах различных размеров

Как уже упоминалось выше, размер экрана мобильных устройств накладывает определенные ограничения на размещаемый контент (рис. 3). Стратегия оптимальной мобильной типографики – это баланс между удобочитаемостью и сохранением пространства. Как правило, все, что меньше 16 пикселей, становится сложным для чтения на любом экране. Также излишне большой размер шрифта приводит к неудобным переносам, которые занимают больше времени для чтения. Переполнение небольшого пространства слишком большим количеством контента затрудняет пользователей. Грамотное решение – использовать 30–40 символов в строке для мобильных устройств [3, 7].

С каждым днем растет число пользователей, которые предпочитают посетить ту или иную веб-страницу с мобильного устройства, что приводит разработчиков к необходимости конструирования десктопной и мобильной версии интерфейса или разработки адаптивного интерфейса. Область просмотра и взаимодействия становится меньше, но при этом необходимо сохранить необходимый контент, удобство поиска нужной информации и дизайн десктопной версии. При использовании десктопной версии и смартфона пользователь преследует разные цели. Как правило, с компьютера пользователь долго и внимательно изучает контент, а мобильное устройство использует для ознакомления или быстрого совершения целевого действия. На основании вышеизложенного, следует отметить, что необходимо учитывать то, с помощью какого устройства пользователь взаимодействует с интерфейсом при его проектировании. В данной работе описаны основные особенности адаптации десктопных, а также особенности создания мобильных интерфейсов.

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openxcell.com/top-dos-and-donts-guidelines-of-mobile-app-ux-design-in-2019> (дата обращения: 06.03.2019).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/blueprint-by-intuit/native-mobile-app-design-overall-principles-and-common-patterns-26edee8ced10> (дата обращения: 06.03.2019).
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uxbert.com/10-mobile-ux-design-principles/#.XOGfjtzDIV> (дата обращения: 06.03.2019).
4. Cooper A. The Essentials of Interaction Design. – LA, 2010. – 688 p.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru> (дата обращения: 06.03.2019).
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.toptal.com/designers/ux/mobile-ux-design-best-practices> (дата обращения: 06.03.2019).
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/mobile-ux-design> (дата обращения: 06.03.2019).

Чудин Евгений Витальевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: chudinev@ya.ru

Платунов Алексей Евгеньевич

Год рождения: 1957

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор

e-mail: platonov@lmt.ifmo.ru

УДК 004.031.6**ПОСТРОЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРНОЙ СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫМ
ОБОРУДОВАНИЕМ****Чудин Е.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Платунов А.Е.**

В работе рассмотрено решение по построению единой среды управления оборудованием в распределенной контроллерной сети в процессе автоматизации предприятия. Представлены общее описание решения, логика и принцип его работы, а также краткий обзор ближайших аналогов.

Ключевые слова: контроллерные сети, управление оборудованием, древовидная сеть, протоколы, интерфейсы.

Введение. Процесс автоматизации предприятий зачастую бывает сопряжен с некоторыми сложностями. Наиболее часто встречающимися проблемами является то, что никто не заинтересован заменять уже функционирующее оборудование и коммуникации. При этом может наблюдаться ситуация, когда на производстве одновременно используется оборудование разных производителей, имеющее разное предназначение, разные физические интерфейсы и протоколы управления, что не позволяет объединить их в единую сеть в штатном режиме [1]. Объединить устройства в одну сеть можно несколькими способами. Самый простой – подключить все устройства к серверу через соответствующий интерфейс. Данный способ также называют подключением по схеме звезда. Однако у такого варианта имеется несколько недостатков. Во-первых, устройства становятся зависимыми от сервера. Становится невозможно сменить, например, операционную систему, так как может не существовать подходящего драйвера. Во-вторых, становится затруднительна замена конечных устройств на аналоги от других производителей, так как логика управления новыми устройствами может отличаться и придется вносить изменение в программное обеспечение сервера. Из этого вытекает следующий пункт: при добавлении поддержки альтернативного оборудования усложняется логика работы на стороне центрального сервера. В качестве альтернативы можно рассмотреть использование платформы LonWorks. В основе данной технологии лежит концепция реализации систем управления при помощи «распределенного интеллекта» – управляющей сети, которая имеет минимальное количество уровней иерархии, и в которой нет явно выраженного центрального решающего устройства. Процессы управления распределяются среди узлов сети, между которыми осуществляется коммуникационные взаимодействия. Главными достоинствами технологии являются: открытость, совместимость, разнообразные структуры и шлюзы к различным сетям. Данные плюсы, в целом, позволяют решить проблемы, поднимаемые в статье, но, к сожалению, у этой платформы есть несколько недостатков: чрезвычайно большая стоимость и почти полное отсутствие поддержки данного стандарта дилерскими центрами в России [2].

Предлагаемое решение. После изучения вопроса, было предложено спроектировать древовидную, разнородную (по типу соединения) сеть контроллеров управления устройствами (рисунок). Будем называть их узлами. Узел – это интеллектуальное устройство, которое с одной стороны управляет набором устройств, а с другой стороны, реализует алгоритмы, необходимые для функционирования сети.

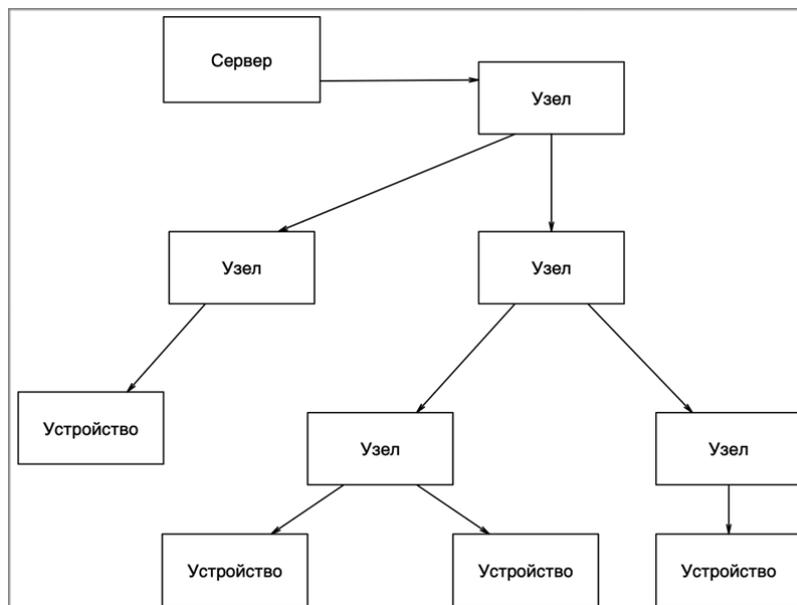


Рисунок. Древовидная сеть контроллеров управления устройствами

Таким образом, решается ряд проблем, описанных в качестве недостатков топологии звезда. Теперь устройства и сервер не зависят друг от друга, между ними есть «прослойка» – узлы. С одной стороны, для среды управления устройствами, узел исполняет роль конечного устройства независимо от реально применяемого оборудования. С другой стороны, появляется независимость от конкретного оборудования. Ведь стоит реализовать прошивку узла для устройства, аналогичного уже применяемому, как тут же можно использовать его на предприятии, не меняя общей логики работы автоматизированной системы управления. Далее подробнее рассмотрена логика работы узлов и схемы в целом.

Функции узлов. Существует два типа узлов: управляемые и управляющие. Кроме того, управляемые узлы сами могут быть управляющими для других узлов.

Управляемый узел должен реагировать на команды управления, сообщать свое состояние и генерировать события при изменении состояния.

Управляющий узел должен хранить состояние всех узлов, которыми он управляет, и посылать им команды управления. Максимальное время синхронизации состояния узлов ограничено. Управление производится в соответствии с состоянием управляемых узлов и при внешнем воздействии на управляющий узел. Внешнее воздействие может возникнуть в случае, когда управляющий узел сам является управляемым по отношению к другому узлу, либо если этот узел является корневым узлом среды.

Корневой узел – это узел, связывающий среду управления с другими системами.

Узел, он же контроллер управления, логически представляет собой конечный автомат и для сервера является цифровым двойником устройства, к которому он подключен. Прошивка узла обеспечивает преобразование конечного автомата состояний реального устройства к единому автомату для каждого типа устройств. В дальнейшем именно узел отвечает за преобразование управляющих команд, приходящих извне, в команды, понятные конечному устройству. Таким образом, в

системе могут использоваться однотипные устройства в разных исполнениях, так как логика работы сервера, взаимодействующего с цифровым двойником, остается неизменной. Этот же факт заметно упрощает реализацию и последующую эксплуатацию системы за счет переноса нюансов управления устройствами на более низкий уровень.

Входной и выходной физические интерфейсы узлов могут отличаться, т.е. узел дополнительно играет роль не только логического преобразования сигналов, но и физического. Благодаря этому получаем полную свободу в использовании уже проложенных коммуникаций.

Узел может иметь несколько источников управляющих сигналов. Состояние узла может измениться как под воздействием среды управления, так и под воздействием внешних сигналов. Каждое изменение состояния сопровождается событием. Управляющий узел может получить информацию о состоянии управляемых узлов либо при помощи запроса, либо на основании событий.

При запуске узлу известно свое состояние (сохраненное в предыдущем сеансе, либо определенное «начальное» состояние), но не известно состояние управляемых узлов. Поэтому необходима фаза инициализации (регистрации узлов). Во время этой фазы управляющий узел должен опросить все управляемые узлы и получить от них следующую информацию:

- тип узла, функциональные возможности узла (топология сети может отличаться от той, что была в предыдущем сеансе);
- версию (версия может определять специфику управления узлом);
- текущее состояние.

Интерфейсы. Среда не должна быть ограничена какими-либо определенными типами узлов. При появлении новых узлов они должны легко интегрироваться в среду.

Разные узлы могут выполнять похожие задачи (т.е. часть функций разных узлов могут совпадать). Имеет смысл разделить всю систему команд на подсистемы, специфичные для конкретного типа устройств. Будем называть такой набор команд вместе с программным кодом, его реализующим – интерфейсом. Можно сказать, что узел обладает набором интерфейсов, который определяет его функциональные возможности.

Есть задачи, которые должны уметь выполнять все узлы. Эти задачи можно объединить в один интерфейс, общий для всех.

Каждое сообщение содержит, помимо адреса, идентификатор интерфейса. Тогда, при получении сообщения узел доставит его соответствующему интерфейсу. Если такого интерфейса у узла нет, сообщение будет отброшено.

Примеры интерфейсов:

1. менеджер узла (Device Manager) – интерфейс, позволяющий получить информацию о функциональных возможностях узла, о наборе интерфейсов, которыми он обладает, изменить конфигурацию узла, произвести его перезагрузку и т.д.;
2. аналог программируемого логического контроллера (ПЛК) – транслирует состояние дискретных входов одного узла на выходы другого узла в соответствии с какой-либо логикой;
3. управление специфическим оборудованием по протоколу этого оборудования. При этом для среды не имеет значения конкретный тип этого оборудования, потому что в пределах среды, управление осуществляется по ее правилам.

Сам механизм передачи данных ничего не знает о командах интерфейса и не умеет их обрабатывать.

Интерфейс после обработки сообщения может поместить в очередь сообщений узла ответ. Этот ответ, наряду с ответами других интерфейсов, будет отправлен

адресату. Обработка сообщения интерфейсом должна осуществляться мгновенно (при обработке сообщения интерфейс не должен ожидать наступления каких-либо событий).

Сообщения. Все сообщения делятся на «информационные сообщения» и «запросы».

Информационные сообщения отправляются тогда, когда отправителю не важно, дойдет сообщение до адресата или нет.

Если узлу необходима реакция на сообщение, он отправляет запрос. Запрос всегда требует ответа – сообщения, подтверждающего выполнение какого-либо действия или просто подтверждения доставки. При этом сам ответ является информационным сообщением. Если ответ на запрос не получен, запрос должен быть послан снова.

При этом возможна ситуация, когда запрос был успешно доставлен получателю, а ответ не дошел. Поэтому в логике управления должны быть реализованы механизмы, защищающие систему от дублирования команд. Например, можно разделить информационные запросы и исполнительные, либо использовать идентификаторы запросов.

Последовательность запросов. Обычно для реализации логики управления недостаточно отправки одного запроса. Например, может потребоваться передать узлу набор параметров, а затем, убедившись, что эти параметры доставлены, отправить ему исполнительную команду на запуск процесса. Либо может понадобиться отправить запросы сразу нескольким узлам. Для подобных сценариев был реализован механизм «последовательностей».

Последовательность – это набор запросов с описанием действий, которые нужно сделать при получении ответа, и действий, которые нужно выполнить при ошибках (при получении неверных ответов или при их отсутствии). При этом действия при ошибках должны обеспечить отмену всей последовательности.

Последовательность может содержать логику повторной отправки запроса при отсутствии ответа и логику изменения самой последовательности при получении определенных ответов.

Механизм последовательностей позволяет отделить модуль управления средой передачи данных от прикладных программ (интерфейсов), использующих эту среду. В противном случае каждому интерфейсу пришлось бы самому определять правила отправки сообщений и получения ответов на них. При использовании механизма последовательностей интерфейс просто создает последовательность и ждет уведомления о результате ее выполнения. Для него последовательность является одной транзакцией.

Заключение. Метод построения единой среды управления оборудованием в распределенной контроллерной сети в процессе автоматизации предприятия, рассмотренный в данной работе позволяет решить затрагиваемые проблемы. С помощью данного решения станет возможно объединять оборудование с различным интерфейсом в единую сеть. Данный метод может применяться почти в любой сфере автоматизации. Но для этого необходимо наладить разработку программного обеспечения узлов для каждого устройства, которое необходимо подключить к сети.

Литература

1. Борисов М. Проблемы реализации промышленных приложений Интернета вещей // Открытые системы. СУБД. – 2017. – № 3. – С. 16–19.
2. Коёкин В.А. Управляющие сети технологии LonWorks. – СПб.: Лань, 2007. – 79 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Направление «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ»	4
Алексеева М.М. (Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова), Вихрова И.А. (Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова). Особенности численного моделирования высокоскоростного потока и определение оптимального метода теплозащиты	5
Бурков Н.Ю. Особенности архитектуры приложения при разработке веб-САПР печатных плат	11
Васильев В.А. (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»). Сравнительный анализ двух алгоритмов нелинейного оценивания, основанных на методе Монте-Карло, в задаче навигации по геофизическим полям	14
Вахвиянова П.Д., Иващенко А.А., Ключников В.В., Корепанов П.Ю. К вопросу об оптимизации сборочного производства	20
Вахвиянова П.Д., Волков А.В. Применение робототехнических систем при организации производства	25
Воронов А.С. (Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), Кондрашкин Г.Е. (Университет ИТМО). Использование современных композиционных материалов для стенда калибровки чувствительного элемента.....	29
Гаврилов С.А., Кыздарбекова А. С. Разработка прототипа программно-аппаратного комплекса для регистрации мышечной активности.....	35
Галкина Д.А. Управление группой роботизированных объектов в условиях повышенной подвижности	39
Зайцева Ю.С. Предотвращение нелинейных колебаний беспилотным летательным аппаратом при управлении с наземной станции	41
Зименко К.В. Интерполяция криволинейных траекторий движения исполнительного устройства оборудования с числовым программным управлением.....	44
Ильина Т.С., Моторин А.С. Моделирование растяжения материала с эффектом памяти формы в системе MSC Patran-Nastran.....	49
Карпенко Е.А. Анализ системы управления температурой в химико-аналитической лаборатории.....	53
Козачёк О.А. Среда графического программирования LabView в задаче управления двигателем постоянного тока	57
Козлов Г.К. Биомехатронное устройство – электромеханическая рука.....	61
Колесников М.В. Исследование и разработка интеллектуальных контроллеров для промышленного интернета вещей	66
Косарева Е.А., Зенкин А.М., Пачковский К.А., Жидков А.А. Система управления квадрокоптером при движении по траектории, заданной контрольными точками.....	72
Лахменев А.С. (Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова). Конфигурации развертывания мобильной робототехнической платформы, имеющей гибридный способ передвижения	78
Нгуен Х.Х. Разработка метода управления мобильным роботом по заданной траектории с использованием технического зрения	81
Нефедова А.Р. (Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»). Определение параметров спирали Архимеда методом градиентного спуска	85
Северин А.Р., Козлов А.А. Проектирование преобразователя напряжения на основе микросхемы SPV1050	91
Тикалов А.В. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) Алгоритмы новых методов оценки износостойкости материалов	95

Ушаков А.В. Разработка системы управления мобильного робототехнического комплекса для решения задач производственной логистики	100
Хоанг Д.Т. Адаптивная идентификация модели движения мобильного робота	104
Хоменко А.П. Исследование системы цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом.....	107
Направление «БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ».....111	
Адигамов Д.Р. Разработка системы шифрования с применением квантовой криптографии в деятельности государственных органов.....	112
Багно В.С. Применение алгоритма градиентного бустинга в задаче идентификации программ по побайтовым сигнатурам	115
Варюхин В.А., Мостовой Р.А. Анализ атак по сторонним каналам на фитнес-трекеры для домашних животных	120
Гневашев Ю.В., Коновалов Г.А., Махиня Д.А., Менжицкий Г.И. Разработка контроллера для перемещения в виртуальной реальности	126
Игнатовская Д.Д. Перспективы процедуры Due Diligence в России	131
Комарова А.В. Протокол аутентификации с использованием постквантовой криптографии.....	135
Ляховенко Ю.А. Моделирование поведения человека в случае чрезвычайной ситуации ..	139
Плющ К.Г. Построение графов-сигнатур на основе байтового кода программы для ее идентификации	144
Ряскин Г.А., Таранов С.В., Мухамеджанов Д.Д. Приложение надежного кодирования на основе бент-функций и вейвлет-разложений в системах связи	148
Садикова А.А. Анализ моделей информационного противоборства в терминах теории игр.....	153
Столяров А.И., Донецкая Ю.В. Организация работ по внедрению метода проектирования комплекса на предприятии	160
Худяков Н.И. Применение аддитивных критериев в задаче идентификации программного обеспечения	164
Чан Зуи Хань Разработка механизма аутентификации агентов в группировке беспилотных летательных аппаратов	171
Направление «ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА»..... 175	
Abramova E.A., Bratchikov S.A Identification of factors affecting the base value of the companies during the mergers and acquisitions	176
Бонковски П., Коржук В.М., Шматков В.Н., Шилин И.А. Разработка алгоритма идентификации по голосу	182
Голендухин Д.В., Шматков В.Н. Взаимодействие с окружением интернета вещей на основе распознавания жестов при использовании умных часов	187
Дергун К.И., Доронин О.В. Фаззинг-тестирование fine-grained алгоритмов	192
Ивашенко А.А., Вахвиянова П.Д. Методы и средства анализа и планирования производственных ресурсов	197
Калёнова О.В., Перл И.А. Подходы к визуализации сложных структур мультимодальных данных	201
Ключников В.В., Вахвиянова П.Д. Задача отображения временных промежутков на рабочий календарь.....	205
Корепанов П.Ю., Ивашенко А.А., Волков А.В. Разработка алгоритмов оперативного планирования для сборочных производств.....	209
Коротких А.Е. Процедурная генерация модульных объектов на основе заданного контура.....	214

Кузьмин К.С. Метод обеспечения безопасности передачи данных для обеспечения целостности программного обеспечения мобильных устройств	218
Куликова Д.Д. Сравнение различных способов реализации сетевой инфраструктуры в виртуализированной среде	221
Лавская Л.В., Постникова П.И. Обоснование и выбор критериев для сравнительного анализа UI/UX-технологий моделирования приложений для мобильных устройств.....	226
Постникова П.И., Лавская Л.В. Коммуникации в компании на примере корпоративных платформ Bitrix24 и DaOffice	230
Логинов П.В. Оценка точности методов трехмерной реконструкции помещений с применением трассировки лучей	234
Мазунин К.Ю., Мамедова Э.Н. Разработка фреймворка для автоматизации E2E тестирования микросервисов	238
Мариничев Н.А., Меженин А.В. Захват движения системами Kinect и оценка качества получаемой анимации	243
Маркитантов М.В. (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН; Университет ИТМО). Аналитический обзор систем автоматического распознавания возраста диктора по голосу.....	246
Мартюшов М.В. Перспективы развития парадигмы социального интернета вещей	252
Машина Е.А. Особенности создания пациенто-ориентированных телемедицинских систем	256
Машина Е.А., Баркалов М.М. Возможности использования методов машинного обучения для анализа массивов фактографических данных, генерируемых при использовании пациенто-ориентированных телемедицинских систем	260
Машина Е.А., Бейлин М.М. Анализ нормативов, описывающих оказание первичной доврачебной помощи для определения потребностей муниципальных медицинских волонтеров, работающих с применением систем информационной поддержки	264
Машина Е.А. (Университет ИТМО), Нелепко Л.Н. (Санкт-Петербургский государственный университет). Структура и источники специализированных данных системы информационной поддержки муниципальных волонтеров, оказывающих доврачебную медицинскую помощь	267
Машина Е.А. Особенности правового регулирования процессов использования и защиты персональных данных пациентов в телемедицине	271
Медведев Д.С., Шматков В.Н. Применение МСМС-сэмплирования при решении задач логического вывода в русскоязычной вопросно-ответной системе на основе графа знаний	276
Милешин А.А. Язык запросов к семантической сети	280
Муратова У.Д., Балакшин П.В. Формирование требований для создания чат-ботов	285
Ночевой Д.С. Автоматизированное извлечение семантических отношений из текста с помощью Word2vec	290
Орлов И.М. Теоретико-игровой подход к модернизации Wi-Fi-сети.....	294
Осипов Д.А. (Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»). Повышение производительности работы оператора контактного интерферометра	299
Панарина Д.Н. Программное средство исследования взаимосвязи типа мышления и черт лица человека	305
Полякова Д.А. Использование решетчатых структур для снижения веса деталей в программе Autodesk Netfabb	310
Рогазинский А.А. Прототип системы устранения неисправностей сети	314
Романов О.А. Алгоритмы распознавания пользователей по биометрическим данным	319
Садырин Д.С., Дергачев А.М. Формальная верификация аллокаторов памяти с применением символьного выполнения.....	324
Сивинский С.А. К вопросу построения моделей адаптивного обучения	329

Соколова В.С. (Белгородский государственный национальный исследовательский университет), Щекочихина Л.О. (Белгородский государственный национальный исследовательский университет). Частотно-временные признаки эмоционально окрашенной речи	334
Тищук Б.Ю. Структурный синтез линейных электрических цепей на основе метода схемных определителей	338
Anokhina I.A., Trezubov K.A. Algorithms for matching atoms in biochemical reactions: comparison, analysis, prospects	343
Тумайкина Е.А. Уменьшение стоимости построения SDN-сети при помощи open source решений.....	347
Фомин А.В. Реализация системы коммутации пакетов MPLS В NS-3	352
Фомин Р.В. Добавление протокола распределения MPLS-меток в систему NS-3	356
Челокьян Л.А. Исследование особенностей адаптации десктопных интерфейсов и создания мобильных версий интерфейсов	360
Чудин Е.В. Построение контроллерной сети управления гетерогенным оборудованием....	364

**СБОРНИК ТРУДОВ VIII КОНГРЕССА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
Том 3**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 06.12.19

Заказ № 4351

Тираж 100 экз.