

**Имитационные модули энкодеров и электрических двигателей при проектировании мобильных роботов**

**Куприн М.С. (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)**

**Научный руководитель – кандидат технических наук, Ключиков А.В.**

**(ФГБОУ ВО Вавиловский университет)**

**Введение.** Процесс разработки новых конфигураций мобильных роботов – трудоемкий процесс, связанный с рядом издержек производства: временные (проведение исследований), финансовые (закупка оборудования), материальные (эксплуатация при экспериментах). Наличие сдерживающих факторов затормаживает развитие робототехники в нашей стране, которая отстает от ведущих Кореи, Германии, Японии. Однако существуют математические аппараты с использованием цифровых технологий позволяющие избежать траты ресурсов. Одним из таких научных подходов является имитационное моделирование. Исходя из трудов [1-3] исследователи используют специализированное программное обеспечение, в том числе: matlab; matcad; Universal mechanism – для оценки степени достижения цели применения робота. В таких решениях агентом является робот, а вводимые ограничения и исследуемые характеристики описываются для каждой задачи индивидуально.

В связи с этим предлагается уникальный инструмент [4], позволяющий из готовых имитационных блоков [5-6], с заложенными в них параметрами и математической моделью, создать робототехнический комплекс или мехатронный узел для проведения исследований. Решение представлено в формате программного пакета RSMA<sup>1</sup> и имеет более 19 модулей с возможностью отслеживать и изменять характеристики объекта, а также оказывать внешнее влияние среды, моделировать физические законы. Программное решение является открытым и свободным для изменений, регулярно расширяя свой функционал.

**Основная часть.** С использованием средств Unity разработаны программные модули имитации инкрементальных и абсолютных энкодеров и шаговых электродвигателей.

Инкрементальный энкодер при вращении формирует электрические сигналы, количество которых соответствует повороту вала на определенный угол. Используя компонент Transform возможно определить поворот вала относительно корпуса датчика угла и сформировать импульсы в соответствии со скоростью вращения. Для определения положения вала абсолютного энкодера необходимо вычесть из текущего вращения вала вращение корпуса.

С применением C# и UIToolkit разработан интерфейс для модуля имитации энкодера. Модуль выполняет автоматическую настройку соединения вала двигателя и энкодера. Поле «тип энкодера» позволяет изменить логику обработки положения вала и формат выходных величин. Для инкрементального датчика вращения указывается разрешение, частота импульсов рассчитывается по формуле. Для абсолютного – с заданной частотой выдается величина отклонения вала от корпуса, поле «разрешение» – не активно.

Модуль имеет три режима выходных данных: один выход – скорость вращения вала в °/сек; два выхода – добавляется направление вращения; три выхода – добавляется угол поворота вала относительно корпуса. Данные с выходов собираются в структуру и отправляются через шину передачи данных.

Шаговые электродвигатели – синхронные бесщеточные электродвигатели с несколькими обмотками. Особенность такого типа двигателей – возможность фиксации ротора через подачу тока в обмотку. При последовательной активации обмоток двигатель выполняет дискретные угловые вращения, называемые шагами.

В программном пакете типы двигателей реализованы через компонент HingeJoint с

---

<sup>1</sup> Реализовано в рамках договора №853ГССС15-L/81893 от 12.12.2022 с фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «Студенческий старт»

использованием параметра *Motor*, прикладываемого вращающий момент для достижения установленной угловой скорости. Использование *Motor* не позволяет контролировать приложенный момент в зависимости от положения вала, что необходимо при моделировании шагового двигателя. Предложено использовать параметр *Spring*, прикладываемый момент к телу для достижения заданного угла поворота.

Разработан модуль *RSMAStepperMotor*, выполняющий автоматическую настройку компонента *HingeJoint* и *JointSpring* для упрощения моделирования шагового электродвигателя. В интерфейс модуля входят поля с параметрами управления: временная задержка между шагами; направление вращения; автоматическое выравнивание вала двигателя и присоединенного к нему объекта. Добавлена возможность выбора типа двигателя, от чего зависит количество шагов на один оборот и описание принципа действия. Дополнительно к интерфейсу разработаны визуальные отображения параметров двигателя в окне редактора. Управляется двигатель через встроенный в компонент драйвер, подключением к шине передачи данных микроконтроллера.

**Выводы.** Выявлена необходимость внедрения имитационного моделирования при проектировании мобильных роботов. Определены методы имитационного моделирования энкодеров и шаговых электродвигателей. Проведены испытания, подтверждена работоспособность выявленных методов.

Разработаны и интегрированы в программный пакет модули имитации энкодеров и шаговых электродвигателей.

#### **Список использованных источников:**

1. Курочкин, С. Ю. Параметрический синтез системы управления групповым движением роботов с использованием статистического имитационного моделирования / С. Ю. Курочкин, А. А. Тачков, Е. И. Борисенков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 1(231). – С. 146-154. – DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-146-154. – EDN SGKHPH.
2. Горелов, В. А. Исследование подвижности мобильных рототехнических комплексов методом имитационного моделирования / В. А. Горелов, И. В. Рубцов, А. А. Стадухин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 1(211). – С. 144-155. – DOI 10.18522/2311-3103-2020-1-144-155. – EDN ZJFPHA.
3. Тачков, А. А. Концептуальное проектирование мобильных робототехнических систем на основе статистического имитационного моделирования / А. А. Тачков // Экстремальная робототехника. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 66-71. – EDN XERWFN.
4. Simulation Modeling of Mobile Robotic Complexes Tool Analysis According to Physical Laws (a Review) / M. S. Kuprin, I. A. Osipov, A. V. Klyuchikov, N. E. Samokhin // Mechatronics, Automation, Control. – 2023. – Vol. 24, No. 3. – P. 152-157. – DOI 10.17587/mau.24.152-157. – EDN XMNMID.
5. Имитационное моделирование сельскохозяйственной техники / М. С. Куприн, И. А. Осипов, Н. Е. Самохин, А. В. Ключиков // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVI Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 17–18 мая 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 169-175.
6. Куприн, М. С. Разработка программных модулей имитации колес Илона и омниколес в мобильных роботах / М. С. Куприн, А. В. Ключиков // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 4. – С. 77-80. – DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2023\_4\_77. – EDN ZBYGAL.