

УДК 004.4'24, 004.75

**СИНТЕЗ КОНЕЧНО-АВТОМАТНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ  
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СИМУЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**

**Суворов Д.М. (Университет ИТМО)**

**Научный руководитель – к.т.н., Чивилихин Д.С.  
(Университет ИТМО)**

В данном исследовании предлагается метод для решения задачи синтеза набора распределенных конечно-автоматных алгоритмов управления на основе примеров поведения. Предлагаемые методы и подходы основаны на сведениях к задачам выполнимости булевой формулы (SAT), а также на верификации с помощью метода проверки моделей. Результаты исследования могут быть применены в разработке промышленных систем управления.

**Введение.** Программируемые логические контроллеры (ПЛК) были основным элементом систем промышленной автоматизации на протяжении десятилетий. Зачастую программы управления, работающие в устаревших ПЛК, трудны для понимания, поскольку они были разработаны без учета подходов и языков программирования, известных современным разработчикам. Иногда исходный код и/или документация программ ПЛК оказываются вообще недоступны. Опасения индустрии оказаться неспособными интегрировать устаревшие ПЛК в современные системы автоматизации, часто называемые киберфизическими системами (КФС), препятствует быстрому распространению перехода к новому уровню автоматизации производства – так называемой Индустрии 4.0.

Для замены устаревших ПЛК современными устройствами может потребоваться полная переработка и повторное тестирование их программного обеспечения, что обычно влечет серьезные капиталовложения. В настоящем проекте предлагается алгоритмический подход к автоматизированному переносу логики работы устаревших ПЛК путем ее синтеза в более удобочитаемой форме конечных автоматов с последующей реализацией в функциональных блоках современного стандарта распределенных КФС IEC 61499. Предлагаемый подход помогает воспроизвести функциональность ПЛК на новой технологической основе, наблюдая за их поведением, собирая соответствующие данные и автоматически генерируя эквивалентный распределенный контроллер в виде набора конечных автоматов. Таким образом, синтезированный контроллер может напрямую использоваться в системах распределенной автоматизации, соответствующих стандартам Индустрии 4.0.

**Основная часть.** На начальном этапе исследования предложен алгоритм сбора примеров поведения с симуляционной модели распределенной КФС. Данные примеры поведения содержат информацию о том, между какими событиями есть синхронизация, а также отвечают основному свойству распределенных систем: отсутствие глобального времени.

Для решения задачи синтеза разработан метод на основе парадигмы итеративного запрещения контрпримеров (counterexample-guided inductive synthesis, CEGIS), на которой основано большинство современных подходов к синтезу программ и программных моделей. В процессе участвуют примеры поведения, генератор, верификатор и спецификация. Генератор синтезирует программу на основе примеров поведения, верификатор проверяет ее на соответствие спецификации; если обнаружено несоответствие, то верификатор выдает контрпример, который учитывается генератором на следующей итерации. При решении поставленной в настоящем проекте задачи в качестве генератора выступает описанный алгоритм на основе сведения к SAT. В качестве верификатора на данном этапе предлагается

использовать тестирование на симуляционной модели. Практика разработки симуляционной модели широко распространена в области КФС, поскольку позволяет сократить время разработки и отладки КФС. При данном подходе к SEGIS синтезированный на основе примеров поведения реальной КФС распределенный контроллер будет загружен в симуляционную модель и протестирован на новом наборе примеров поведения, отличном от обучающего набора. При обнаружении некорректного поведения новые примеры поведения будут добавлены в обучающий набор и распределенный контроллер будет синтезирован заново.

**Выводы.** Основным результатом работы можно считать метод автоматического синтеза набора распределенных конечных автоматов на основе примеров поведения. Мотивация к выполнению проекта исходит от запросов промышленности, и результаты могут быть применены как для переноса существующих управляющих алгоритмов на новые стандарты автоматизации, так и для разработки новых алгоритмов. При этом, автоматический синтез позволяет избавиться от ошибок, связанных с человеческим фактором. Помимо описанных способов применения, предлагаемые к решению задачи синтеза распределенных конечно-автоматных алгоритмов управления носят фундаментальный характер.

Суворов Д.М. (автор)

Чивилихин Д.С. (научный руководитель)