

Синтез конечно-автоматных моделей модульных логических контроллеров по примерам поведения с помощью SAT-решателей

Чухарев К.И., Университет ИТМО

Научный руководитель – Чивилихин Д.С., кандидат технических наук, научный сотрудник факультета информационных технологий и программирования Университета ИТМО

Введение и постановка задачи

Конечно-автоматные модели широко используются в программной инженерии, особенно при разработке, проектировании и отладке киберфизических систем (КФС). Киберфизическая система состоит из физических компонент реального мира, объекта управления с непрерывной динамикой управления и логического контроллера, взаимодействующего с объектом управления посредством датчиков и управляющих команд. Большинство промышленных КФС, например, линия сборки на производстве, автопилот самолета или автомобиля, индустриальная система управления, являются по своей природе модульными и распределенными. Создание модульных и распределенных алгоритмов – сложная задача, которая в большинстве случаев выполняется инженерами вручную, что требует существенных ресурсов. Альтернативой является автоматизированный синтез управляющего алгоритма контроллера с помощью методов машинного обучения. Алгоритм управления, задаваемый конечным автоматом, может быть синтезирован автоматически по заданной спецификации, которая может включать как примеры поведения (сценарии выполнения существующей системы), так и формально верифицируемые свойства, выраженные на языках темпоральной логики.

Наиболее мощным подходом [1] к обучению контроллеров киберфизических систем является применение методов на основе программирования в ограничениях или пропозиционального кодирования – например, задачу синтеза сводится к задаче булевой выполнимости (*Boolean satisfiability* – SAT), для решения которой применяются соответствующие мощные программные средства (SAT-решатели). Данный подход обладает тем преимуществом, что позволяет быстро строить автоматные модели минимального размера [2,3].

В данной работе модульные логические контроллеры представлены композитными функциональными блоками из международного стандарта распределенных систем управления и автоматизации IEC 61499 [4], нацеленного на упрощение разработки распределенных систем.

Целью настоящей работы является разработка метода синтеза минимальных конечно-автоматных моделей композитных функциональных блоков по примерам поведения с применением SAT-решателей.

Описание предлагаемого подхода

Предлагаемый метод основан на сведении задачи синтеза конечно-автоматной модели к задаче выполнимости булевой формулы (*Boolean Satisfiability* – SAT) и использовании современных программных средств – SAT-решателей.

Композитные функциональные блоки стандарта IEC 61499 являются совокупностью соединенных между собой *модулей* – базовых функциональных блоков, которые в свою очередь содержат алгоритмы управления в виде конечных автоматов. При этом возможны следующие способы соединения: (1) параллельная, (2) последовательная и (3) произвольная композиции модулей.

При параллельной композиции модули располагаются параллельно – каждый модуль реагирует на все входные события, зависит от всех входных переменных композитного блока и управляет некоторым подмножеством выходных переменных. При этом возможны несколько способов объединения выходных событий модулей – синхронное rendezvous, асинхронное rendezvous и гибридный способ.

При последовательной композиции модули располагаются последовательно – на входные события реагирует только первый модуль, а выходные переменные обновляются с учетом их значений в предыдущих модулях.

Произвольная композиция является наиболее общей и полной моделью модульного логического контроллера. Единственное ограничение, которое, однако, не уменьшает вычислительной способности системы, является требование ацикличности графа соединений модулей, из-за чего в работе используются следующие допущения: все модули пронумерованы натуральными числами, а их входные контакты могут быть соединены только с выходными контактами предыдущих модулей. Данное допущение позволяет корректно вычислять значения выходных переменных и событий, так как известен порядок их вычисления.

Результаты

Был реализован предлагаемый метод синтеза конечно-автоматных моделей модульных логических контроллеров, представленных в виде композитных функциональных блоков с (1) параллельной, (2) последовательной и (3) произвольной композицией модулей, по примерам поведения с применением SAT-решателей. Разработанный метод реализован на языке Kotlin в виде программного средства fbSAT, доступного онлайн [5].

Список использованных источников

- [1] V. Ulyantsev, I. Buzhinsky, and A. Shalyto. Exact finite-state machine identification from scenarios and temporal properties // Int. Journ. Softw. Tools Techn. Transf., pp. 1–21, 2016.
- [2] Heule, Exact DFA Identification Using SAT Solvers // ICGI, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-15488-1_7, 2010.
- [3] Ulyantsev V., Zakirzyanov I., Shalyto A. BFS-Based Symmetry Breaking Predicates for DFA Identification / Lecture Notes in Computer Science, 2015, Vol. 8977, pp. 611-622.
- [4] Buzhinsky I., Vyatkin V. Modular plant model synthesis from behavior traces and temporal properties // 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). — 09.2017. — С. 1—7.
- [5] Lipen/fbSAT [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/Lipen/fbSAT> (дата обращения: 20.02.2019).

Автор

Чухарев К.И.

Научный руководитель

Чивилихин Д.С.