

Синтез конечно-автоматных алгоритмов управления для программируемых логических контроллеров в распределенных киберфизических системах

Чухарев К.И., Университет ИТМО

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

В работе предлагается метод для построения конечно-автоматных алгоритмов управления для программируемых логических контроллеров по примерам поведения, основанный на применении SAT-решателей. Разработанный метод учитывает специфику исходных данных, а именно, отсутствие информации об изменении внутреннего состояния конечных автоматов, входящих в состав распределенной системы, в ходе их работы.

Введение. Конечно-автоматные модели широко используются в программной инженерии, особенно при разработке, проектировании и отладке киберфизических систем (КФС). Создание модульных и распределенных алгоритмов для КФС – сложная задача, обычно выполняемая инженерами вручную. Альтернативой является *автоматизированный синтез* управляющих алгоритмов по примерам поведения и/или формальной спецификации с помощью методов машинного обучения. Наиболее мощным подходом к автоматическому синтезу является применение методов программирования в ограничениях, а именно, сведение исходной задачи синтеза к задаче булевой выполнимости (Boolean satisfiability – SAT), для непосредственного решения которой применяются специальные программные средства (SAT-решатели). Выбранный подход является наиболее эффективным среди аналогов, гарантирует точное соответствие заданной спецификации, а также минимальность получаемого решения – конечно-автоматной модели.

Основная часть. Разработанный ранее автором настоящей работы метод синтеза конечно-автоматных моделей логических контроллеров, основанный на сведении к задаче SAT, позволяет синтезировать модель по заданным трассировкам – последовательностям входов и выходов системы управления. Однако, предыдущая работа проводилась в контексте использования международного стандарта систем управления и автоматизации IEC 61499, где система управления представляется с помощью функциональных блоков, а модель исполнения является событийной, то есть каждый вход и выход системы представляет из себя некоторое событие с ассоциированными значениями переменных. На каждое входное воздействие функциональный блок может отреагировать либо активно (изменить свое внутреннее состояние и продуцировать выходное событие), либо пассивно (проигнорировать вход без изменения внутреннего состояния). Каждая такая активная/пассивная реакция системы явным образом отражена в трассировках. Это позволяет заранее знать, что даже если наблюдаемые значения выходов системы оставались неизменны, реакция системы на входное воздействие тем не менее была активной.

В данной работе рассматривается постановка задачи синтеза по примерам поведения, получаемых в ходе работы промышленных программируемых логических контроллеров, без привязки к стандарту IEC 61499, а точнее, событийной модели исполнения. Такую постановку можно рассматривать как упрощение с целью обобщения разработанного метода синтеза. Однако, без событийной модели исполнения возникают сложности при определении изменений внутреннего состояния системы в ходе ее работы – неизменность выхода системы может соответствовать как пассивной реакции контроллера (игнорирование входного воздействия без изменения внутреннего состояния), так и «активной» (изменение внутреннего состояния, но в данном случае без видимого изменения значений выходов).

Результаты и выводы. Для решения вышеобозначенной проблемы сведение к задаче SAT было модифицировано таким образом, чтобы динамически определять активность и пассивность элементов трассировок прямо во время синтеза. В итоге был получен метод, позволяющий синтезировать модульные и распределенные контроллеры по примерам поведения, в которых отсутствует (или является нерелевантной) информация об активности и пассивности их элементов.

Программная реализация разработанного метода выполнена на языке Kotlin как расширение программного средства fbSAT. Исходный код доступен онлайн: <https://github.com/ctlab/fbSAT>.

Для апробации разработанного подхода на примере реальной лабораторной распределенной КФС, в Университете ИТМО была создана модельная лабораторная КФС. Для системы были реализованы алгоритмы управления, решающие различные задачи управления. Были собраны примеры поведения, которые впоследствии были использованы для автоматического синтеза конечно-автоматных моделей контроллеров с применением разработанных методов.

Автор

Чухарев К.И.

Научный руководитель

Чивилихин Д.С.
