

ОБ АЛГОРИТМЕ УПЛОЩЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ АВТОМАТОВ

Попков Георгий Александрович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: gpopkov@yandex.ru

Научный руководитель — Подымов Владислав Васильевич

Работа систем реального времени (СРВ) зависит не только от порядка изменения состояний, но и от времени, за которое происходит изменение этих состояний. Чтобы решить задачу формальной верификации (строго проверить правильность поведения) СРВ, широко используются [1,2] автоматные модели с реальным временем в комбинации с логикой ветвящегося реального времени (ТСТЛ), на языке которой формализуются требования к функционированию этих моделей, и сама верификация задается как проверка выполнимости ТСТЛ-формулы на модели.

Верификацию автоматных моделей, реализующих системы из реальной жизни, невероятно сложно осуществить вручную — приходится обрабатывать большое число отличимых друг от друга состояний, в которых может находиться система. Чтобы избежать возможных ошибок, свойственных проводимым вручную вычислениям, а также существенно снизить затраты времени, разработаны и пользуются большой популярностью у математиков специальные программы-верификаторы. Для верификации СРВ часто применяется средство Urraal [3], способное проверять свойства, заданные формулами логики ТСТЛ, на модели сети временных автоматов, которая является выразительной и простой для понимания.

Среди недостатков модели сети можно назвать отсутствие средств описания иерархии компонентов СРВ, а потому построить сеть по заданной СРВ получается не всегда интуитивно легко. В таких случаях можно, например, моделировать заданную систему иерархическим временным автоматом (ИВА), в котором одни автоматы могут содержаться в других в качестве состояний.

Один из способов проверки требований на ИВА выглядит так: по ИВА определённым образом строится сеть автоматов, сохраняющая ключевые особенности поведения и некоторые свойства (такое построение называется уплотнением); с помощью программных средств требования проверяются на сети автоматов — результате уплотнения.

В ходе ранее проведённых работ мною была предложена модель

ИВА, описание которой включало в себя известные определения, синтаксис содержал наиболее популярные в практической реализации детали, а семантика была связана с системой переходов с часами [4]. Всё это позволило считать определение вводимой модели удобным и наиболее полным среди всех известных моделей ИВА.

Уплотнение такого автомата проводилось разработанным трёхшаговым алгоритмом: на первом шаге ключевая информация (инварианты) имеющего древесную структуру ИВА концентрируется в состояниях–листьях; затем по ИВА строится тривиальным образом сеть автоматов s , быть может, дополнительными служебными состояниями; наконец, для достижения схожего с начальным ИВА поведения синтаксис сети автоматов претерпевает некоторые изменения.

Один из способов показать, что поведение двух различных моделей одинаково, заключается в проверке равновыполнимости логических формул на этих моделях. Бисимуляцией [1] обычно называется бинарное отношение между состояниями систем, которое связывает системы, ведущие себя одинаково в том смысле, что одна система пошагово имитирует другую и наоборот. В [4] установлено, что для бисимуляционно эквивалентных моделей формулы TCTL равновыполнимы. Таким образом, для обоснования равновыполнимости формул на ИВА и на сети, построенной в результате уплотнения ИВА, достаточно доказать бисимуляционную эквивалентность этих моделей. Полученное соответствующее доказательство подтверждает корректность алгоритма уплотнения.

Литература

1. Baier C., Katoen J.-P. Principles of Model Checking // Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2008.
2. Podymov V. V. A Flattening Algorithm for Hierarchical Timed Automata // Computational Mathematics and Modeling (2019) 30, N.2, P. 99–106.
3. Behrmann G., David A., Larsen K. G. A Tutorial on Uppaal // Formal Methods for the Design of Real-Time Systems: 4th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication, and Software Systems, SFM-RT 2004 In series: LNCS. 2004 V. 3185 P. 200–236.
4. Попков Г. А., Подымов В. В. Бисимуляционная эквивалентность систем переходов с реальным временем // Научная конференция (Москва, Россия, 26–31 октября 2020) : Тезисы докладов. 2020. Т. 1, С. 42–42.