

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ВЕЩЕСТВЕННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЬЮ САМОЛЕТА

Бужинский И. П., Ульянов В. И., Царев Ф. Н.

Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается задача построения по обучающим примерам, или тестам, системы управления моделью беспилотного самолета (для работы с моделью самолета мы используем авиасимулятор *FlightGear*). Входные и выходные воздействия системы задаются вещественными числами. Большинству существующих решений задачи требуется описание управляемой системы в виде набора дифференциальных уравнений, либо они ориентированы в слишком конкретные задачи. В настоящей работе используются управляющие конечные автоматы [1], достоинства которых являются потенциальная наглядность и возможность их верификации методом *Model Checking*. В работе [2] был предложен метод автоматизированного построения таких автоматов. Этот метод, тем не менее, обладал рядом недостатков. Так, автоматы, построенные с помощью метода [2], использовали лишь дискретный «срез» входных воздействий в виде значений предикатов, что ограничивало класс реализуемых автоматами законов управления. Кроме того, установление «смысла» отдельных состояний автоматов было затруднительно.

Цель настоящей работы заключается в разработке метода построения автоматов для управления моделью самолета, лишенного указанных недостатков. Являясь развитием подхода, предложенного в [2], разработанный метод должен позволить строить автоматы, лучше соответствующие обучающим примерам, а также должен обладать более широкими границами применимости.

Ключевым среди предлагаемых подходов является использование автоматом для выработки выходных воздействий вещественных переменных – произвольных функций от входных воздействий. Вещественные переменные могут представлять собой как значения самих входных воздействий (например, скорости или высоты полета), так и их степени, скорости их изменения и т. д. Значения переменных, как и значения предикатов, являющихся их булевыми аналогами, пересчитываются на каждом такте работы автомата. Состояния рассматриваемых автоматов представляют собой наборы линейных регуляторов (по одному для каждого управляющего параметра): на каждом такте работы автомата выходные воздействия вырабатываются в виде линейных комбинаций вещественных переменных. В каждом состоянии автоматов также заданы маски значимости предикатов и вещественных переменных – то есть, используется метод сокращенных таблиц [3]. Предикаты и вещественные переменные, не являющиеся значимыми в состоянии, не влияют на изменение состояния автомата или его выходные воздействия.

Построение автоматов осуществляется при помощи поисковой оптимизации. В работе рассмотрено использование муравьиного алгоритма, предложенного в [4]. Этот алгоритм не требует реализации оператора кроссовера, в отличие от генетического алгоритма [5], и показывает несколько лучшую производительность на рассматриваемой задаче. Коэффициенты линейных комбинаций при переменных не являются частью особи алгоритма поисковой оптимизации и подбираются автоматически для каждой особи, чтобы функция приспособленности на ней достигла максимума. Благодаря этому пространство поиска является дискретным. Используемая функция приспособленности отражает близость поведения автомата к поведению,

показанному в тестах.

Для экспериментальной проверки предложенных подходов и их сравнения с первоначальным методом [2] были вручную записаны три набора тестов, описывающих выполнение моделью самолета «мертвой петли», «бочки» и разворота в горизонтальной плоскости на 180° . На этих наборах тестов строились автоматы, число состояний которых варьировалось от трех до пяти. Использование предложенного способа представления автоматов в большинстве случаев позволило построить автоматы с большим значением функции приспособленности. Автоматы также запускались в авиасимуляторе при условиях, аналогичным условиям записи тестов. Использовались два параметра оценки автоматов, равные средним отклонениям углов крена и тангажа от записанных в тестах. Полученные значения критериев качества показали оправданность предложенных подходов. Кроме того, построить автомат, выполняющий разворот, удалось только с помощью предложенного метода.

Итак, результатом проведенного исследования явилась разработка метода построения автоматов, который превзошел метод [2] по качеству, по границам применимости, а также по наглядности создаваемых автоматов. Предложенный метод позволяет более точно учитывать особенности обучающих примеров, чем это было возможно ранее. Наглядность создаваемых методом автоматов упрощает их анализ и ручную коррекцию, необходимость которой возникает в некоторых случаях.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Поликарпова Н.И., Шальто А.А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2011. – 176 с.

[2] Александров А.В., Казаков С.В., Сергушичев А.А., Царев Ф.Н., Шальто А.А. Применение эволюционного программирования на основе обучающих примеров для генерации конечных автоматов, управляющих объектами со сложным поведением // Известия РАН. Теория и системы управления. 2013. № 3, С. 85–100.

[3] Поликарпова Н.И., Точилин В.Н., Шальто А.А. Метод сокращенных таблиц для генерации автоматов с большим числом входных переменных на основе генетического программирования // Известия РАН. Теория и системы управления, 2010. № 2. С. 100–117.

[4] Chivilikhin D., Ulyantsev V. Learning Finite-State Machines with Ant Colony Optimization // Lecture Notes in Computer Science, 2012. V. 7461/2012. P. 268–275.

[5] Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы // Известия РАН. Теория и системы управления. 1999. № 1. С. 144–160.