

Опубликовано в материалах 2-й межвузовской научной конференции по проблемам информатики СПИСОК-2011, с. 330-332.

**А. В. Александров, С. В. Казаков,  
А. А. Сергушичев, Ф. Н. Царев,  
А. А. Шалыто**

*Санкт-Петербургский государственный университет  
информационных технологий, механики и оптики*

## **Применение генетических алгоритмов на основе обучающих примеров для построения конечных автоматов для управления моделью беспилотного самолета**

В последнее время для программирования систем со сложным поведением все шире применяется автоматное программирование, в рамках которого поведение программ описывается с помощью конечных детерминированных автоматов (в дальнейшем – автоматов) [1].

В автоматном программировании программы предлагается строить в виде набора автоматизированных объектов управления. Каждый такой объект состоит из объекта управления и системы управления (системы управляющих автоматов). Система автоматов получает на вход события из внешней среды и от объекта управления. На основании этих данных система управления вырабатывает выходные воздействия для объекта управления.

Для многих задач управляющие автоматы удается строить эвристически, но существуют задачи, для которых такое построение невозможно или затруднительно. К этому классу относятся, например, задача «Умный

муравей» [2 – 4], задача «Умный муравей-3» [5] и задача об управлении моделью беспилотного летательного аппарата [6].

Существует несколько подходов к решению последней задачи. Один из них состоит в выделении «идеальной» траектории из нескольких полетов, выполненных человеком, и последующем следовании ей. Такой подход описан в работе [7].

Другой подход – использование автоматов для управления беспилотным летательным аппаратом и построение таких автоматов с помощью генетических алгоритмов, описанных в работах [8 – 12].

В работе [13] для генерации конечного автомата верхнего уровня, управляющего моделью беспилотного самолета, применяется алгоритм генетического программирования, основанный на использовании метода сокращенных таблиц для представления конечных автоматов. При этом вычисление функции приспособленности базируется на моделировании поведения самолета во внешней среде, которое занимает около 5 минут для одного автомата на одном ядре современного процессора.

*Цель настоящей работы* – разработка лишенного указанного недостатка метода. Для этого предлагается строить автоматы управления объектами отдельно для каждого из их режимов работы с помощью генетического программирования, *используя обучающие примеры*, создаваемые для каждого режима. Задавая большое число обучающих примеров, можно, как и в работе [7], избавиться от неточностей, допускаемых человеком при управлении. Такой подход является развитием идей, предложенных в работе [14], в которой рассматривались только объекты, управляемые дискретными воздействиями.

В настоящей работе указанный подход обобщается на объекты, которые управляются с помощью не только дискретных, но и непрерывных воздействий. При этом в качестве примера объекта со сложным поведением рассмотрена модель беспилотного самолета, а в качестве режимов работы – разгон самолета и «мертвая петля».

Для объединения автоматов, управляющих режимами, с помощью метода сокращенных таблиц [13] или эвристического метода строится головной автомат, каждое из состояний которого соответствует одному из режимов. В результате формируется иерархическая система взаимодействующих автоматов. Вопрос о построении головного автомата в данной работе не рассматривается.

Для моделирования беспилотного самолета применяется свободный авиасимулятор *FlightGear* (<http://www.flightgear.org>), который позволяет осуществлять программное управление самолетом, а также сохранение параметров полета (скорость, направление полета и т.д.) и состояния самолета (положение руля, элеронов, состояние стартера и т.п.).

В результате проверки эффективности разработанного метода были получены автоматы, управляющие самолетом, который выполняет трюк «мертвая петля». Для этой задачи вычисление функции приспособленности для одного автомата занимало 0.2 секунды на одном ядре процессора *Intel Core 2 Duo T7250* с тактовой частотой 2 ГГц.

Приведем ссылки на некоторые видеозаписи полетов под управлением человека:

- успешное выполнение «мертвой петли» (этот полет вошел в обучающий набор) – <http://www.youtube.com/watch?v=G5Kcx0ohpNo>;

- неудачное выполнение — <http://www.youtube.com/watch?v=OGVTch-a97A>.

Ниже приведены ссылки на видеозаписи трех вариантов реализации «мертвой петли» под управлением «лучшего» (по мнению авторов) из полученных автоматов:

- Выполнение «мертвой петли», близкое к «идеальному» (<http://www.youtube.com/watch?v=TzrLoJjjVTA>);
- Выполнение «мертвой петли» с заваливанием на левый борт с последующим выравниванием (<http://www.youtube.com/watch?v=C6WV7x2bqE8>);
- Последовательное выполнение двух «мертвых петель» (<http://www.youtube.com/watch?v=yFiG4yz67Ks>).

## Литература

1. *Поликарпова Н. И., Шальто А. А.* Автоматное программирование. СПб: Питер, 2010. [http://is.ifmo.ru/books/\\_book.pdf](http://is.ifmo.ru/books/_book.pdf)
2. *Angeline P., Pollack J.* Evolutionary Module Acquisition / Proceedings of the Second Annual Conference on Evolutionary Programming. Cambridge: MIT Press. 1993. P.154-163. <http://www.demo.cs.brandeis.edu/papers/ep93.pdf>
3. *Jefferson D., Collins R., Cooper C., Dyer M., Flowers M., Korf R., Taylor C., Wang A.* The Genesys System: Evolution as a Theme in Artificial Life / Proceedings of Second Conference on Artificial Life. MA: Addison-Wesley. 1992. P. 549–578. [www.cs.ucla.edu/~dyer/Papers/AlifeTracker/Alife91Jefferson.html](http://www.cs.ucla.edu/~dyer/Papers/AlifeTracker/Alife91Jefferson.html)
4. *Царев Ф. Н., Шальто А. А.* Применение генетического программирования для генерации автомата в задаче об «Умном муравье» / Сборник

- трудов IV-ой Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Том 2. М.: Физматлит. 2007. С. 590-597. [http://is.ifmo.ru/genalg/\\_ant\\_ga.pdf](http://is.ifmo.ru/genalg/_ant_ga.pdf)
5. *Бедный Ю. Д., Шалыто А. А.* Применение генетических алгоритмов для построения автоматов в задаче «Умный муравей». <http://is.ifmo.ru/works/ant>
  6. *Паращенко Д. А., Царев Ф. Н., Шалыто А. А.* Технология моделирования одного класса мультиагентных систем на основе автоматного программирования на примере игры «Соревнование летающих тарелок». Проектная документация. СПбГУ ИТМО. 2006. <http://is.ifmo.ru/unimod-projects/plates/>
  7. *Coates A., Abbeel P., Ng A. Y.* Learning for Control from Multiple Demonstrations / Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning. Helsinki: 2008. P.144 – 151.
  8. *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы. М.: Физматлит, 2006.
  9. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2006.
  10. *Koza J. R.* Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection. MIT Press, 1992.
  11. *Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы // Известия РАН. Теория и системы управления. 1999. № 1. С. 144 – 160.
  12. *Курейчик В. М., Родзин С. И.* Эволюционные алгоритмы: генетическое программирование // Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. № 1. С. 127–137.

13. *Поликарпова Н. И., Точилин В. Н., Шалыто 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.
14. *Царев Ф. Н.* Метод построения управляющих конечных автоматов на основе тестовых примеров с помощью генетического программирования // Информационно-управляющие системы. 2010. № 5, с. 31–36.