

Материал опубликован в сборнике докладов XI международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2008). СПб.: СПбГЭТУ. 2008, с. 266–270 (Соколов).

ПРИМЕНЕНИЕ ОСТРОВНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТОВ МУРА И СИСТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АВТОМАТОВ МИЛИ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ОБ «УМНОМ МУРАВЬЕ»

А. А. Давыдов, Д. О. Соколов, Ф. Н. Царев, А. А. Шалыто

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Abstract—a genetic algorithm for construction of Moore finite state machines is described in the paper. This algorithm can be also applied to construct systems of interacting Mealy finite state machines. An example of application of these algorithms for “Artificial ant” problem is also described.

Введение

В последнее время все чаще применяется автоматное программирование [1], в рамках которого поведение программ описывается с помощью конечных детерминированных автоматов.

В ряде задач невозможно построить автомат эвристическими методами. Поэтому для построения автоматов целесообразно применять генетические генетическое программирование [2–9].

Все известные авторам работы в этой области [10] посвящены построению одного автомата Мили. Целью настоящей работы является построение пары вложенных автоматов Мили и автомата Мура с помощью генетического программирования [7] для задачи об «Умном муравье» [2].

Постановка задачи

Игра происходит на поверхности тора размером 32 на 32 клетки (рис. 1). Черным цветом помечены клетки, в которых находится еда. Муравей начинает движение из клетки, помеченной меткой *Start*.

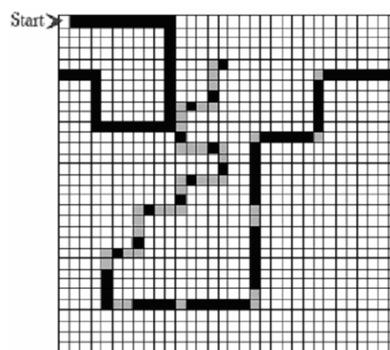


Рис. 1. Игровое поле

За ход муравей может выполнить следующие действия:

- повернуть налево;
- повернуть направо;
- сделать шаг вперед, и если в новой клетке есть еда, то съесть ее;
- ничего не делать.

Игра длится 200 шагов. Цель игры – создать муравья «с минимальным числом состояний», который за минимальное число шагов съест как можно больше яблок.

Ранее эта задача была решена в работе [3] при помощи одного автомата Мили с восемью состояниями. В работе [8] эта задача была решена с помощью автомата того же типа с семью состояниями.

В настоящей работе рассматриваемая задача решается, сначала с помощью системы из двух автоматов Мили, взаимодействующих за счет вложенности, а затем – с помощью автомата Мура.

Использование островного генетического алгоритма

Для генерации пары вложенных автоматов Мили и автомата Мура предлагается использовать один и тот же *островной генетический алгоритм* [5, 9], но с различными структурами особей, фитнес-функциями, операторами мутации и скрещивания.

В первом случае особь представляет собой пару вложенных автоматов Мили, один из которых будем называть внешним, а другой – внутренним. Описание каждого автомата состоит из номера начального состояния и описания каждого состояния.

Описание состояния содержит описание двух переходов – перед муравьем есть еда, и ее нет. Для внешнего автомата любой из этих переходов может быть не определен. В такой ситуации переход совершается во вложенном автомате, у которого, в свою очередь, определены все переходы.

Описание перехода состоит из номера состояния, в которое он ведет, и действия, выполняемого при выборе этого перехода.

Во втором случае особь представляет собой автомат Мура, который состоит из номера начального состояния и описания каждого состояния. Описание состояния содержит действие, выполняемое при переходе в состояние, и описание двух переходов – перед муравьем есть еда, и ее нет.

Описание перехода состоит из номера состояния, в которое он ведет.

Особь представляет собой объект на языке *Java*, вида:

```
class Automaton {
    int initialState;
    Transition[][] transition;
    char[] stateAction[]; //
только для автоматов Мура
    Automaton nestedAutomaton;
}
```

Островной алгоритм традиционно состоит из следующих этапов:

- создание начального поколения;
- мутация и скрещивание;
- обмен особями между островами;

- отбор особей для формирования следующего поколения.

Создание начального поколения

Все острова заполняются случайно сгенерированными автоматами. Все автоматы имеют заранее заданное число состояний.

Мутация (малая или мутация особи)

Оператор мутации аналогичен описанному в работе [8].

Для пары вложенных автоматов Мили особенность в том, что внутренний автомат мутирует с заданной вероятностью, а для автоматов Мура – изменение действия в случайном состоянии.

Мутация (большая или мутация острова)

Через заранее заданное число поколений фиксированная доля островов заменяется островами со случайными особями.

Скрещивание

Операторы скрещивания аналогичны описанным в работе [8]. Вложенные автоматы равновероятно либо скрещиваются, либо один ребенок наследует вложенный автомат одного родителя, а другой – другого.

Для автоматов Мура существует особенность. Обозначим родительские особи – $P1$ и $P2$, а детей – $S1$ и $S2$.

Обозначим действие в k -ом состоянии автомата A , как $A.a[k]$. Тогда для любого k будет верно одно из следующих утверждений:

- $S1.a[k] = P1.a[k], S2.a[k] = P2.a[k];$
- $S1.a[k] = P2.a[k], S2.a[k] = P1.a[k].$

Оба этих варианта равновероятны.

Вычисление функции приспособленности

В настоящей работе для генерации автоматов Мура применяется функция приспособленности вида:

$$F - \frac{T}{200},$$

где F – количество съеденной еды, T – номер последнего хода, на котором муравей съел еду.

Данная функция не подходит для генерации пары взаимодействующих автоматов Мили, так как генерируются слабо определенные внешние автоматы, функциональность которых, состоит в передаче управления вложенному автомату. Поэтому для пары вложенных автоматов Мили применялась функция приспособленности вида:

$$F - \frac{T}{200} + C \cdot Z, \text{ где } F - \text{ количество}$$

съеденной еды, T – номер последнего хода, на котором муравей съел еду, Z – число посещенных состояний у внешнего автомата, C – некоторый коэффициент.

Формирование следующего поколения

В качестве основной стратегии формирования следующего поколения используется элитизм [11]. При рассмотрении текущего поколения отбрасываются все особи, кроме некоторой доли наиболее приспособленных – элиты. Эти особи переходят в следующее поколение. После этого оно дополняется в определенной пропорции случайными особями, особями из текущего поколения, которые мутировали, и результатами скрещивания особей из текущего поколения. Особи, дающие потомство, определяются «в поединке»: выбираются две случайные пары особей, и более приспособленная особь в каждой из них становится одним из родителей. Эта эволюция происходит независимо на каждом из островов.

Через фиксированное число поколений каждый остров меняется с другим случайным числом случайно выбранных элитных особей.

Также через некоторое число поколений происходит *большая мутация*.

Автомат Мура

С помощью разработанного алгоритма построен автомат Мура с 10 состояниями, который позволяет муравью съесть всю еду за 198 шагов (рис. 2).

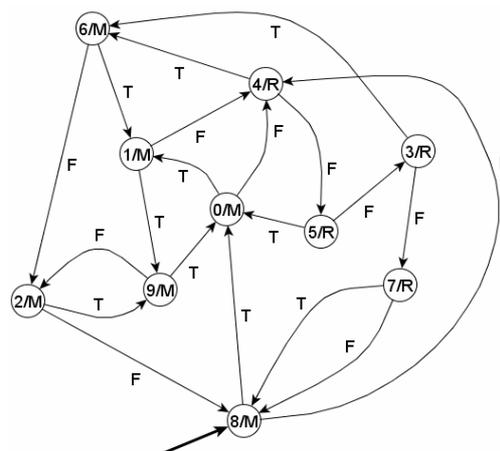


Рис. 2. Автомат, позволяющий муравью съесть всю еду за 198 шагов

Поясним условные обозначения на этом рисунке. Стартовое состояние отмечено внешней стрелкой. *Пометки вершин* имеют вид: *номер/действие*. Действия обозначаются следующим образом:

- R – поворот направо;
- M – сделать шаг, и если в новой клетке есть еда, то съесть ее.

Условия на переходах обозначаются следующим образом:

- T – перед муравьем есть еда;
- F – перед муравьем нет еды.

Обратим внимание на то, что этот муравей *никогда не поворачивает налево*.

При использовании рассматриваемого подхода и *деяти состояниях* в автомате Мура муравей за 198 ходов съедает только 86 единиц еды.

Система из двух вложенных автоматов Мили

Известен автомат Мили с семью состояниями, который решающий рассматриваемую задачу [8]. Поэтому авторы считают, что имеет смысл генерировать только такие системы из двух вложенных автоматов Мили, каждый из которых содержит не более шести состояний.

Авторам удалось сгенерировать систему автоматов (4, 6) (четыре состояния во внешнем автомате и шесть – во внутреннем), которая позволяет съесть муравью только 87 единиц еды за 185 ходов

(рис. 3). Данный результат был получен при значении параметра C равного 0.01.

В этой системе внутренний автомат вложен в каждое состояние внешнего автомата и выполняется, если переход во внешнем автомате не определен. Отметим, что в этих автоматах, как в рассмотренном выше автомате Мура, муравей налево не ходит!

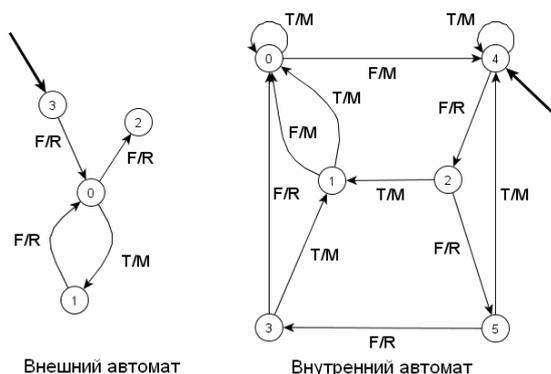


Рис. 3. Пример системы взаимодействующих автоматов Мили

Поясним условные обозначения на рис. 3. Пометки на вершинах имеют вид: номер, а на переходах – условие/действие.

Перебор

Также авторами был реализован алгоритм перебора автоматов Мура, аналогичный описанному в работе [8]. За 22 часа был получен автомат на 7 состояний, который позволяет муравью съесть 85 единиц еды, аналогичный результат достигается генетическим алгоритмом за 15-20 минут. Получение автоматов Мура на 8 или 9 состояний при помощи перебора требует очень больших временных затрат, и на сегодняшний день данные автоматы не получены.

Выводы

В работе для решения задачи об «Умном муравье» предложен островной генетический алгоритм, осуществляющий построение одиночных автоматов Мура и систем из двух автоматов, взаимодействующих за счет вложенности автоматов Мили. Эти алгоритмы

применены для задачи об «Умном муравье», и построен решающий эту задачу автомат Мура с десятью состояниями.

Литература

1. Шалыто А.А. Технология автоматного программирования /Труды первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». М.: МГУ. 2003. http://is.ifmo.ru/works/tech_aut_prog/
2. Jefferson D., Collins R., Cooper C., Dyer M., Flowers M., Korf R., Taylor C., Wang A. The Genesys System. 1992. www.cs.ucla.edu/~dyer/Papers/AlifeTracker/Alife91Jefferson.html
3. Angeline P., Pollack J. Evolutionary Module Acquisition / Proceedings of the Second Annual Conference on Evolutionary Programming. 1993. <http://www.demo.cs.brandeis.edu/papers/ep93.pdf>
4. Chambers L. Practical Handbook of Genetic Algorithms. Complex Coding Systems. Volume III. CRC Press, 1999.
5. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М.: Физматлит, 2006.
6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2006.
7. Koza J. R. Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection. MA: MIT Press, 1992.
8. Царев Ф. Н., Шалыто А. А. О построении автоматов с минимальным числом состояний для задачи об «умном муравье» /Сборник докладов X международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Т.2, 2007, с. 88–91. http://is.ifmo.ru/download/ant_ga_min_number_of_state.pdf
9. Яминов Б. Генетические алгоритмы <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/genetic-2005>
10. Поликарпова Н.И., Точилин В.Н., Шалыто А.А. Применение генетического программирования для реализации систем

ПРИМЕНЕНИЕ ОСТРОВНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТОВ МУРА И СИСТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АВТОМАТОВ МИЛИ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ОБ «УМНОМ МУРАВЬЕ»

со сложным поведением /Научно-технический вестник. Исследования в области информационных технологий. СПбГУ ИТМО. 2007. Вып. 39, с. 276–293.

http://vestnik.ifmo.ru/ntv/39/ntv_39.3.3.pdf

11. De Jong K. An analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems. PhD thesis. Univ Michigan. Ann Arbor, 1975.