

Международная научно-техническая мультиконференция “Проблемы информационно-компьютерных технологий и мехатроники”. Материалы международной научно-технической конференции “Многopроцессорные вычислительные и управляющие системы ” (МВУС-2007). Т. 2, с. 51–56.

И.С. Гунич, А.В. Иринеv, А.А. Шальто

АВТОМАТНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭВОЛЮЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия,
goonich@rain.ifmo.ru, irinev@rain.ifmo.ru, shalyto@mail.ifmo.ru*

Ключевую роль в эволюционной теории играет естественный отбор. Его суть состоит в том, что наиболее приспособленные особи лучше выживают и приносят больше потомства, а благодаря генетическому наследованию [1] часть потомков не только сохранит высокую приспособленность родителей, но будет иметь и новые свойства. Если эти свойства оказываются полезными, то с большой вероятностью они перейдут в следующее поколение. Таким образом, происходит накопление полезных качеств и постепенное повышение приспособленности биологического вида в целом.

Цель данного проекта – моделирование абстрактного микромира, населенного жизненными формами с простейшими правилами поведения, эволюция которых достигается использованием генетического алгоритма и автоматного подхода [2]. Идея самого алгоритма взята из оригинальной статьи А.К. Дьюдни [3].

В данном проекте биологической системой является колония микроорганизмов, размещенных на поле размером 50x50. Каждая бактерия имеет набор характерных параметров: хромосома, состоящая из восьми генов, количество энергии, число сделанных к данному моменту шагов и координаты на двумерном поле.

Опишем подробнее каждый из перечисленных параметров.

Набор генов. Каждый микроорганизм имеет набор из восьми генов, отвечающих за направления его движения (вверх, вверх-вправо, вправо, вниз-вправо, вниз, вниз-влево, влево, вверх-влево). Чем больше значение гена для данного направления у конкретной бактерии, тем больше вероятность того, что она будет двигаться в этом направлении. Вероятностная модель распределения генов подобрана таким образом, что сумма значений генов у каждой бактерии равна двадцати четырем. Другими словами, максимально возможное значение какого-либо гена

равно этой величине. При этом бактерия может двигаться только в направлении, соответствующему данному гену. Состояние, в котором бактерия с равной вероятностью выберет любое из восьми направлений движения, отвечает набору генов, каждый из которых равен трем. Бактерии питаются органической едой, которая непрерывно оседает на поле, подчиняясь некоторой закономерности, примеры которой приведены ниже. Бактерия за каждую съеденную единицу еды получает восемь единиц энергии. Поэтому характер движения играет главную роль в поставленной задаче, так как от этого зависит сколько проживет бактерия, и сможет ли она дожить до момента размножения, а, следовательно, произвести потомство.

Энергия и количество сделанных шагов. Данные параметры используются для определения возможности деления. Бактерия может делиться только в том случае, когда каждый из этих параметров достигает своего порога (в рассматриваемой задаче значение порога энергии принято равным восьмидесяти единицам, а количество сделанных шагов – двадцати). Последний порог используется для того, чтобы бактерия имела некий период созревания. Это исключает возможность деления только что появившейся бактерии. При делении каждый из двух потомков получает половину энергии родителя. Если значение энергии для данной особи опускается до нуля, то бактерия погибает. Если значение энергии достигает порога, при котором возможно деление, но бактерия еще не может делиться, так как не достигнут «период созревания», то счетчик энергии будет увеличиваться только до определенного предела (значение энергии принято равным ста единицам). Данное ограничение введено для того, чтобы не было слишком «энергичных» микроорганизмов, потомство которых уже сразу после деления родителя имеет достаточное для деления количество энергии.

Координаты. Координаты представляют собой два целочисленных значения, соответствующих расположению бактерии на двумерном поле. Также на этом поле находится еда, расположение которой можно изменять настройкой конфигурационных параметров. Еда, например, может располагаться, так что одна четверть поля полностью заполнена едой или так что она размещена в виде продольная полоски, проходящая через центр поля. Границы поля будем считать склеенными. Например, если бактерия выходит за верхнюю границу поля, то она появляется снизу.

Проектирование и реализация поведения бактерий. Для моделирования поведения микроорганизмов используется автоматный подход. Эта технология поддерживается инструментальным средством

UniMod [4, 5]. Технология автоматного программирования называется также *SWITCH*-технологией [6].

SWITCH-технология определяет для каждого автомата два типа диаграмм (схему связей и граф переходов) и их операционную семантику. При наличии нескольких автоматов также строится схема их взаимодействия. *SWITCH*-технология задает свою нотацию диаграмм.

В инструментальном средстве *UniMod* сохранен автоматный подход, но для построения диаграмм используется *UML*-нотация. Применяя нотацию диаграмм классов языка *UML*, строятся схемы связей автоматов, каждая из которых определяет интерфейс этих автоматов. При этом графы переходов, описывающие поведение автоматов, строятся с помощью нотации диаграммы состояний *UML*. Схема связей может объединяться со схемой связей.

Предлагаемый процесс моделирования системы состоит в следующем:

- на основе анализа предметной области разрабатывается концептуальная модель системы, определяющая сущности и отношения между ними;
- в отличие от традиционных для объектно-ориентированного программирования подходов, из числа сущностей выделяются источники событий, объекты управления и автоматы. Источники событий активны – они по собственной инициативе воздействуют на автоматы. Объекты управления пассивны – они выполняют действия по команде от автоматов. Объекты управления также формируют значения входных переменных для автоматов. Каждый автомат активизируется источниками событий и на основании значений входных переменных и текущего состояния воздействует на объекты управления, переходя в новое состояние;
- используя нотацию диаграмм классов, строится схема связей автомата, задающая его интерфейс. На этой схеме, как в теории автоматического управления, слева отображаются источники событий, в центре — автоматы, а справа — объекты управления. Источники событий с помощью *UML*-ассоциаций связываются с автоматами, события которых они поставляют. Автоматы, в свою очередь, связываются с объектами, которыми они управляют;
- каждый объект управления содержит два типа методов, реализующих входные переменные и выходные воздействия;
- для каждого автомата с помощью нотации диаграммы состояний строится граф переходов, в котором дуги могут быть помечены событием, булевой формулой из входных переменных и формируемыми на переходах выходными воздействиями. В

вершинах могут указываться выходные воздействия и имена вложенных автоматов;

- события, входные переменные и выходные воздействия являются методами соответствующего объекта управления, которые реализуются вручную на целевом языке программирования. Для реализации этих методов могут использоваться вспомогательные классы, не указанные на схемах связей;
- упрощение понимания смысла символических обозначений обеспечивается за счет всплывающих подсказок, появляющихся при наведении курсора на соответствующий символ на графе переходов.

Несложная автоматная модель, используемая в нашем проекте, позволяет легко описывать достаточно сложное поведение системы. Инструментальное средство *UniMod*, в свою очередь, позволяет наиболее эффективно реализовать данную автоматную модель.

На рис. 1 приведена схема связей автомата.



Рис. 1. Схема связей

На рис. 2 приведена диаграмма состояний автомата, моделирующего поведение бактерии.

Генетический алгоритм как выходное воздействие автомата.

Рассмотрим процесс деления подробнее (на диаграмме он представлен состоянием *Division*). Когда бактерия имеет достаточное количество энергии, и совершила необходимое для достижения зрелого возраста число шагов, происходит её деление. При этом в текущей клетке появляются две новые бактерии (старая при этом исчезает), каждая из которых наследует набор генов своего родителя с небольшими мутациями (один из генов родительского набора уменьшается на единицу, а другой увеличивается на ту же величину).

Известно два основных пути решения задач оптимизации – метод перебора и градиентный метод.

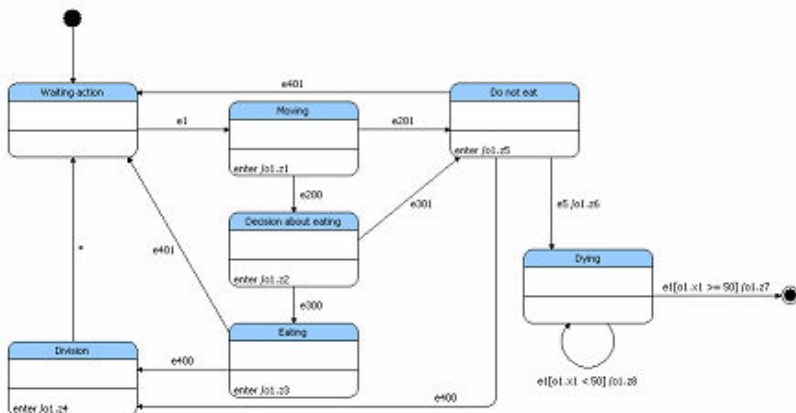


Рис. 2. Диаграмма состояний

Переборный метод не представляет особого интереса, так как для поиска оптимального решения (максимума целевой функции) необходимо последовательно вычислить значения функции во всех точках.

В работе используется метод градиентного спуска. При этом сначала выбираются случайные значения параметров, далее значения постепенно изменяются, достигая наибольшей скорости роста целевой функции. Градиентные методы быстрые, но не гарантируют оптимального решения, поскольку целевая функция обычно имеет несколько максимумов. В рассматриваемой задаче для того чтобы не «застрять» в одном из таких локальных максимумов, при делении с небольшой вероятностью появляется «полный мутант». Эта вероятность принята равной 0.05. Данная особь не наследует генов своего родителя, а получает случайный набор.

В процессе работы программы можно визуально наблюдать изменение поведения микроорганизмов. Это обусловлено тем, что бактерии подстраиваются под окружающую среду. При этом поведение микроорганизмов изменяется в зависимости от расположения еды на поле. Данная программа совместно с документацией будет опубликована на сайте <http://is.ifmo.ru> в разделе «Генетические алгоритмы».

Литература

1. *Spears W. M.* Evolutionary Algorithms. The Role of Mutation and Recombination. Berlin: Springer. 2000.
2. *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

3. Дьюдни А. К. Моделирование эволюции: «букашки» учатся охоте на бактерий // В мире науки. 1989. № 7.
4. Гуров В., Мазин М., Нарвский А., Шалыто А. UML. SWITCH-технология. Eclipse // Информационно-управляющие системы. 2004. № 6. <http://is.ifmo.ru/works/uml-switch-eclipse>
5. UniMod project. <http://unimod.sourceforge.net>
6. Шалыто А. А. SWITCH-технологии. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб.: Наука, 1998. <http://is.ifmo.ru/books/switch/1>