

и естественность синтезированной речи, а также делают их доступными для людей с ограниченными физическими возможностями, т. е. с дефектами слуха, зрения. Разрабатываемая бимодальная система синтеза речи может быть эффективно использована для образовательных задач, в развлекательных приложениях и системах виртуальной реальности, в информационно-справочных системах и автоматах самообслуживания, аудиовизуальных инсталляциях и на телевидении.

Данное исследование поддержано Грантом Президента РФ (проект МК-64898.2010.8); Министерством образования и науки РФ в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракты П2579 и П2360); фондами РФФИ и БРФФИ в рамках совместного проекта № 08-07-90002/№ Ф08Р-016а; КНВШ Администрации Санкт-Петербурга (проект 26-05/130); Министерством Образования, Молодежи и Спорта Чешской Республики (проект DIMAS-CZ № ME08106).

Список литературы

1. **Železný M., Krňoul Z., Čísař P., Matoušek J.** Design, implementation and evaluation of the Czech realistic audio-visual speech synthesis // Signal Processing. 2006. Т. 86. № 12. С. 3657—3673.
2. **Lobanov B., Tsirulnik L.** Development of multi-voice and multi-language TTS synthesizer (languages: Belarussian, Polish, Russian) // Труды 11-й Международной конференции "Речь и Компьютер" SPECOM'2006, Санкт-Петербург, 2006. Р. 274—283.
3. **Govokhina O., Bailly G., Breton G.** Learning optimal audiovisual phasing for a HMM-based control model for facial animation // Proc. of ISCA Speech Synthesis Workshop, Bonn, Germany, 2007, CD.
4. **Sekiyama K.** Differences in auditory-visual speech perception between Japanese and America: McGurk effect as a function of incompatibility // Journal of the Acoustical Society of Japan. 1994. Т. 15. С. 143—158.
5. **Karpov A., Tsirulnik L., Zelezny M., Krnoul Z., Ronzhin A., Lobanov B.** Study of Audio-Visual Asynchrony of Russian Speech for Improvement of Talking Head Naturalness // Труды 13-й Международной конференции SPECOM'2009, Санкт-Петербург, 2009. С. 130—135.
6. **Conrey B., Pisoni D.** Audiovisual asynchrony detection for speech and nonspeech signals // Audio-Visual Speech Processing AVSP'2003, St. Jorioz, France, 2003. С. 25—30.
7. **McGurk H., MacDonald J.** Hearing Lips and Seeing Voices // Nature. 1976. Т. 264, № 5588. С. 746—748.

УДК 004.8

С. И. Попов, студент,

Ю. И. Попов, студент,

А. А. Шалыто, д-р техн. наук, проф., зав. каф.,

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

e-mail: yugropov@rambler.ru

Задача о муравьеде и муравьях

Рассматривается расширение "Задачи об умном муравье-3", названное авторами "Задача о муравьеде и муравьях". В задаче используется двумерный тор произвольного размера с расположенными на нем муравьедом, муравьями (пища для муравьеда) и яблоками (пища для муравьев). Муравьедом и муравьями управляют автоматы Мили.

Цель работы — построить с помощью генетического алгоритма автоматы, управляющие муравьедом и муравьями, которые позволят эффективно решить поставленную задачу. Для построения генетического алгоритма необходимо разработать способы представления автоматов, выбрать функции приспособленности, операторы скрещивания, мутации и отбора.

Авторами разработано инструментальное средство для решения "Задачи о муравьеде и муравьях" при различных значениях используемых параметров.

Ключевые слова: задача об умном муравье, искусственный интеллект, коэволюция, генетический алгоритм, автомат Мили

Известна классическая "Задача об умном муравье" [1, 2], в которой с помощью генетического алгоритма должен быть сгенерирован автомат, управляющий одним муравьем с простым полем обзора. Муравей за фиксированное число шагов съедает максимальное число яблок, расположенных определенным образом на двумерном торе. В работах [3, 4] рассмотрена более сложная "Задача об умном муравье-3", в которой муравей имеет большее поле обзора, а число яблок при их случайном расположении на торе не фиксировано.

Однако для практики представляют интерес задачи, в которых особи взаимодействуют. Такие задачи принадлежат классу "коэволюций" [2, 5, 6]. Однако среди задач этого класса неизвестны задачи, решением которых были бы автоматы, сгенерированные генетическими алгоритмами.

Для устранения этого пробела авторами была предложена "Задача о муравьеде и муравьях". Настоящая работа посвящена описанию и решению этой задачи.

1. Постановка задачи

Задано поле — двумерный тор произвольного размера с координатной сеткой, которая делит его поверхность на клетки. На поле расположены муравьед, муравьи (еда для муравьеда) и яблоки (еда для муравьев). Яблоки и муравьи располагаются случайным образом. На одной из клеток находится муравьед (рис. 1).

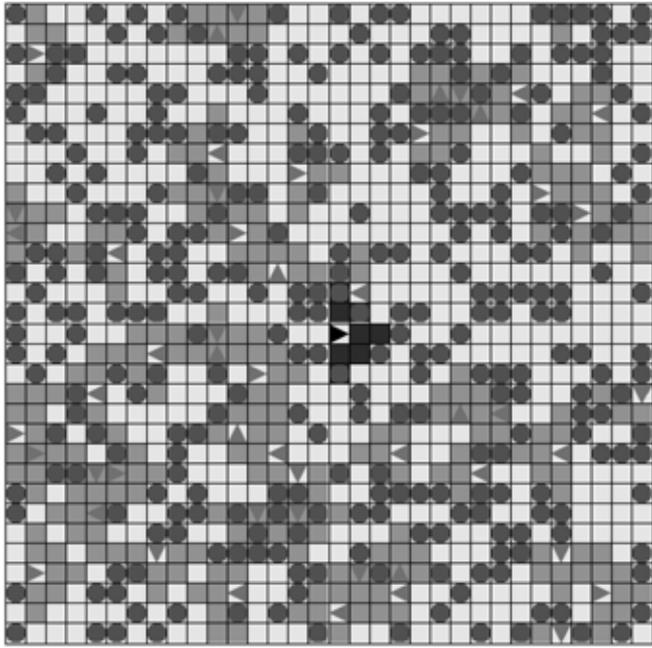


Рис. 1. Тор с муравьедом, муравьями и яблоками. Черный треугольник изображает муравьеда, черные клетки — это те клетки, которые он видит; серые треугольники — муравьи, серые клетки — та часть поверхности, которую видят муравьи; темно-серые кружочки обозначают места расположения яблок

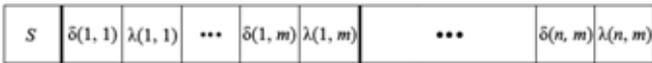


Рис. 2. Представление автомата Мили

Цель каждого муравья — за заданное число шагов съесть как можно больше яблок и "не попасться" муравьеде. Цель муравьеда — помешать им сделать это, съев за заданное число шагов максимальное число муравьев. Муравьи не должны "наступать" на других муравьев и муравьеда, так как они при этом погибают.

Будем предполагать, что муравьедом и муравьями управляют автоматы Мили [1].

Яблоки лежат на поле неподвижно, а муравьед и муравьи на каждом шаге могут совершить одно из трех действий (выходные воздействия соответствующих автоматов):

- повернуть налево;
- повернуть направо;
- пойти на одну клетку вперед, и, если там есть еда (муравей для муравьеда или яблоко для муравья), то съесть ее.

Муравьед и муравьи видят перед собой по восемь клеток: две слева, две справа, две спереди и по одной спереди по диагонали.

Задача, решаемая в настоящей работе: построить генетический алгоритм [2, 5–7], позволяющий сгенерировать автоматы Мили, управляющие муравьедом и муравьями, которые обеспечат достижение целей, указанных выше.

Для построения генетического алгоритма необходимо разработать способы представления автоматов, выбрать функции приспособленности, операторы скрещивания, мутации и отбора.

2. Представление автоматов

Для представления автомата Мили в работе используется массив байтов, в котором первый элемент содержит номер начального состояния автомата S . Затем следуют n секторов (n — число состояний автомата), каждый из которых содержит m пар чисел (m — число входных воздействий), каждая из которых состоит из следующего состояния δ и выходного воздействия λ (рис. 2).

В рассматриваемой задаче автоматы могут принимать большое число входных воздействий, так как каждая клетка поля может содержать муравьеда, муравья, яблоко или не содержать их.

Муравьед не различает яблоки и пустые клетки, и поэтому его автомат может принять $2^8 = 256$ входных воздействий (на клетке есть муравей либо его нет).

Муравей различает клетки с яблоками и пустые клетки. К тому же он может видеть (если они находятся в поле его зрения) других муравьев (для того, чтобы не наткнуться на них) и муравьеда (для того, чтобы вовремя убежать от него). Таким образом, автомат муравья может принять $3^8 + 8 \cdot 3^7 = 6561 + 8 \cdot 2187 = 24057$ входных воздействий.

3. Функции приспособленности

Функция приспособленности автомата, управляющего муравьем, равна сумме числа съеденных последним яблок и дроби, числителем которой является число этих яблок, а знаменателем — номер шага, на котором было съедено последнее яблоко. Функция приспособленности автомата, управляющего муравьедом, вычисляется аналогично, но при этом вместо яблок используются муравьи.

При решении задачи эти функции приспособленности вычисляются следующим образом: по очереди из текущего поколения выбирается один автомат, управляющий муравьедом, и для него случайным образом из текущего поколения автоматов, управляющих муравьями, выбирается заданное в эксперименте число различных автоматов k .

На поле размещают муравьеда и k муравьев, управляемых этими автоматами. При этом для яблок и муравьев генерируются случайные начальные координаты, а для каждого муравья также случайно указывается начальное направление движения. Все участвующие в эксперименте особи (муравьед и муравьи) совершают заданное число шагов.

Выбранные муравьед и муравьи имеют заданное число попыток для случайного размещения

на поле муравьев и яблок. При этом для каждой особи в отдельности значения функции приспособленности автомата на всех полях суммируются, а в конце эксперимента сумма делится на число совершенных попыток. Если число попыток у особей разное, то последние попытки не учитываются у тех особей, для которых было задано меньшее число попыток. В результате для каждой особи получается среднее (за несколько попыток) число съеденных ею единиц еды. Если несколько муравьев хотят пойти на одну и ту же клетку, то приоритет имеет тот муравей, чей автомат имеет наибольшее значение функции приспособленности (учитываются и предыдущие попытки). При этом автоматы, управляющие муравьями, которые не смогли сделать шаг, остаются в предыдущих состояниях.

После вычисления значений функций приспособленности всех автоматов муравьедов, если остаются автоматы муравьев, которые не участвовали в эксперименте, то для каждого из них выбирают автомат муравьеда и необходимое число автоматов муравьев и вычисляют значения их функций приспособленности. При этом функции приспособленности автоматов, вычисленные ранее, имеют после эксперимента предыдущие значения.

В заключение раздела отметим, что в ходе коэволюции в общем случае автоматы муравьев, даже при одинаковом числе состояний, отличаются друг от друга.

4. Оператор скрещивания

Авторами был выбран один и тот же оператор скрещивания для автоматов муравьедов и муравьев. Он обеспечивает компромисс между временем работы и скоростью улучшения автоматов. Оператор скрещивания сначала копирует автомат первого предка в одного потомка, а автомат второго предка — в другого потомка. Затем он случайно устанавливает потомкам различные начальные состояния от предков. После этого 30 раз для каждого из потомков выбирается фрагмент другого предка (чьей копией потомок до этого не был) длиной в 1 % от общей длины (напомним, что автоматы хранятся в виде байтовой строки), и этот фрагмент устанавливается на те же позиции потомка, на которых он был у предка.

5. Оператор мутации

В операторе мутации для муравьеда и муравья с заданной вероятностью изменяется начальное состояние автомата. Затем выполняется проход по всем состояниям (в каждом из них, в свою очередь, выполняется проход по всем входным воздействиям) и с той же вероятностью на случайные

изменяются номера состояний для переходов и выходные воздействия.

6. Оператор отбора автоматов в следующее поколение

Каждое поколение в генетическом алгоритме делится на элиту (автоматы с наибольшими значениями функций приспособленности) и остальные автоматы. Сначала в следующее поколение переходят автоматы из элиты. Далее для отбора автоматов используется метод рулетки [2, 5, 7]. К автоматам, которые были отобраны методом рулетки, применяется оператор скрещивания, а к их потомкам — оператор мутации. После этого они добавляются в следующее поколение к элите.

7. Инструментальное средство

Для решения поставленной задачи разработано инструментальное средство, поддерживающее описанные особенности рассмотренного генетического алгоритма. Это средство позволяет проследить процесс "выращивания" автоматов, а также визуализировать поведение особей, управляемых этими автоматами, на случайном поле с муравьями и яблоками.

Инструментальное средство позволяет задать значения параметров эксперимента (рис. 3): ширины поля, высоты поля, заполненности поля яблоками, заполненности поля муравьями, на-

Рис. 3. Выбор параметров эксперимента и особей

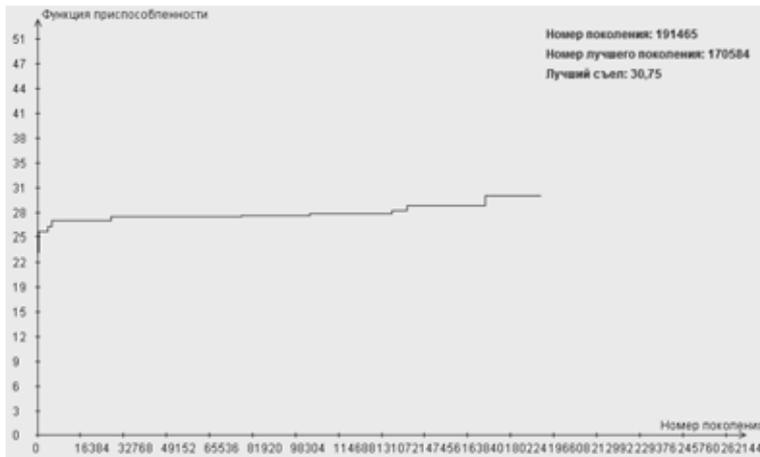


Рис. 4. График зависимости числа съеденных муравьев от номера поколения муравьеда

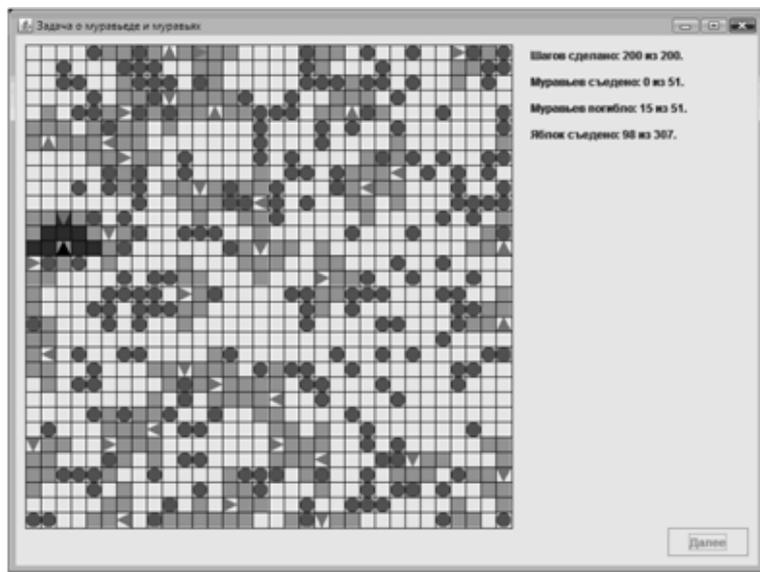


Рис. 5. Вид поля в начале генерации поколений после 200 шагов. Муравьед никого не съел, муравьи съели меньше половины яблок

чальных координат муравьеда, начального направления движения муравьеда, число шагов в эксперименте.

Для автоматов муравьеда и муравьев (все автоматы муравьев имеют одинаковые параметры) отдельно можно задать следующие параметры: размер поколения, число состояний в автомате, вероятность мутации, долю элиты в поколении, число попыток в эксперименте (число случайных полей, на которых особь пытается добиться своей цели и улучшить значение функции приспособленности своего автомата).

Инструментальное средство занимает около 200 Мбайт оперативной памяти. Для вычисления следующего поколения требуется примерно 2,5 с при использовании процессора *Intel Pentium 4* с частотой 3,2 ГГц.

8. Результаты экспериментов

Для быстрого обучения автоматов, управляющих муравьедом, необходимо иметь большое число муравьев на поле. Аналогично для автоматов муравьев: если на поле больше яблок, то муравьи учатся есть быстрее. Авторы решили рассмотреть задачу "Задачу о муравьеде и муравьях" при следующих параметрах:

Параметр	Значение
Ширина поля	32
Высота поля	32
Заполненность поля яблоками	0,3
Заполненность поля муравьями.	0,05
Координата X начальной позиции муравьеда	16
Координата Y начальной позиции муравьеда	16
Начальное направление движения муравьеда	Восток
Число шагов в эксперименте.	200

Для автоматов муравьедов и муравьев были выбраны одинаковые значения параметров, указанные ниже:

Параметр	Значение
Размер поколения.	200
Число состояний в автомате	5
Вероятность мутации	0,1
Доля элиты в поколении.	0,1
Число попыток в эксперименте.	5

Из графика на рис. 4 видно, что особь постепенно учится съесть все большее число муравьев (исходно на поле был размещен 51 муравей). При этом, если вначале муравьед передвигается случайным образом и чаще всего вращается на месте (рис. 5), то, как показали эксперименты, уже к 50-му поколению прослеживается его стремление догнать жертву, хотя иногда в нужный момент он сворачивает не туда.

Чем больше номер поколения, тем меньше подобных ошибок. Ближе к 2000-му поколению муравьед уже уверенно преследует муравьев, несмотря на то, что они пытаются от него убежать (муравьи отличают муравьеда от себе подобных и яблок и постепенно учатся к нему не приближаться) (рис. 6).

При дальнейшем увеличении числа поколений муравьед поедает больше муравьев. Так, в 170584-м поколении значение функции приспособленности автомата муравьеда равно 30,75 (см. рис. 4).

На втором графике (рис. 7) виден процесс роста числа съеденных яблок у муравьев от поколения к поколению (сравните рис. 5 и 6). На результат (значение функции приспособленности равно 15,87 в 127473-м поколении) повлияло то, что му-

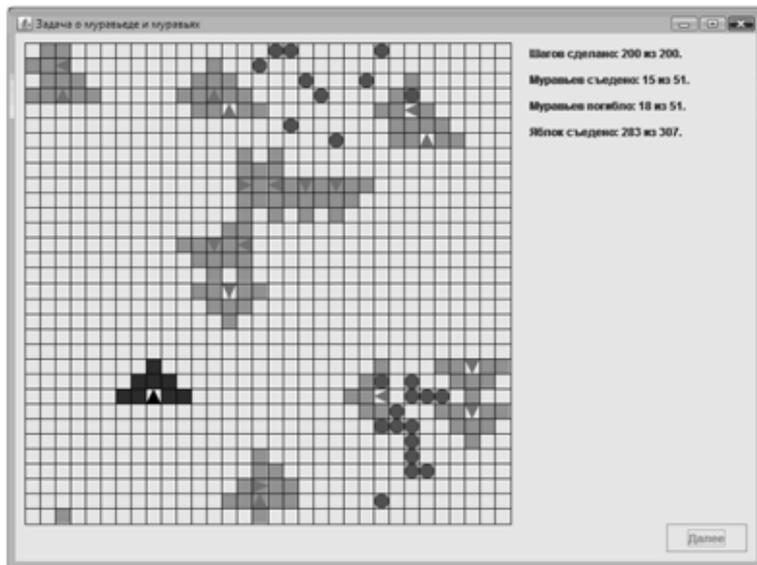


Рис. 6. Вид поля в процессе генерации поколений после 200 шагов. Муравьед съел 15 муравьев, муравьи съели большинство яблок

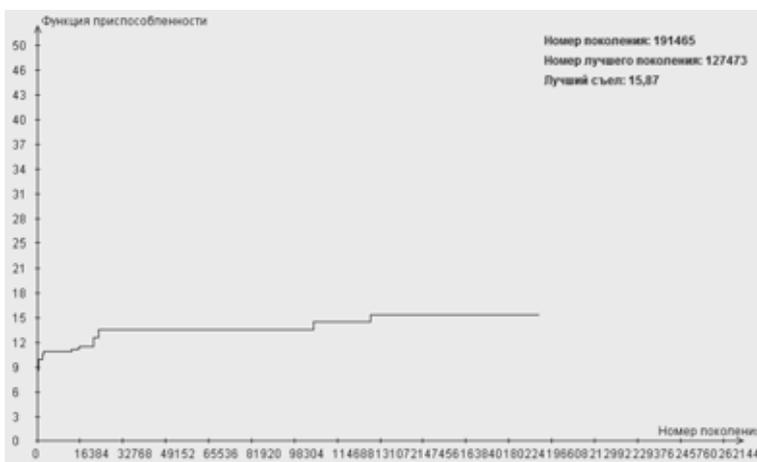


Рис. 7. График зависимости числа съеденных яблок от номера поколения муравьев

равьи фактически соревнуются между собой за яблоки, число которых на поле исходно равнялось 307.

Заключение

Авторы сформулировали новую коэволюционную задачу и для ее решения разработали инструментальное средство (все графики и рисунки к статье получены с помощью этого средства).

Результаты, приведенные выше, свидетельствуют о том, что генетические алгоритмы "справляются" с этой задачей не хуже, чем со значительно более простой "Задачей об умном муравье-3". При этом отметим, что в рассматриваемой задаче генерируется большее число поколений по сравнению с "Задачей об умном муравье-3" для того, чтобы муравьед съел более половины муравьев. Это связано с тем, что если в известной задаче расположение еды муравья фиксировано, то в рассматриваемой задаче еда от муравьеда может "убегать".

Список литературы

1. Полицарова Н. И., Шальто А. А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2009. URL: http://is.ifmo.ru/books/_book.pdf
2. Koza J. Genetic programming. On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. MA: The MIT Press, 1998.
3. Бедный Ю. Д., Шальто А. А. Применение генетических алгоритмов для построения автоматов в задаче "Умный муравей". СПбГУ: ИТМО, 2007. URL: <http://is.ifmo.ru/works/ant>.
4. Давыдов А. А., Соколов Д. О., Царев Ф. Н., Шальто А. А. Виртуальная лаборатория обучения генетическому программированию для генерации управляющих конечных автоматов // Сборник докладов III Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии и ИТ-образование". ВМК МГУ. М.: МАКС Пресс. 2008. С. 179—183. URL: http://is.ifmo.ru/works/_2_93_davidov_sokolov.pdf
5. Mitchell M. An Introduction to Genetic Algorithms. MA: The MIT Press, 1999.
6. Джонс М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК Пресс, 2006.
7. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М.: Физматлит, 2006.



МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
**ИНФОРМАЦИЯ:
 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ**
 5-8 ОКТЯБРЯ 2010, Санкт-Петербург, Ленэкспо

По вопросам участия в выставке/конференции, пожалуйста, обращайтесь:

Семенова Анна, Зориков Константин

Тел.: +7 (812) 380 6009,

E-mail: sfitex@primexpo.ru

<http://iscs-expo.primexpo.ru/>