

БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ИНЕРЦИОННОГО АГЕНТА

А. Б. БУШУЕВ¹, В. А. ПЕТРОВ¹, Ю. В. ЛИТВИНОВ¹, О. К. МАНСУРОВА²

¹Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: bushuev@inbox.ru

²Санкт-Петербургский горный университет,
199106, Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается интеллектуальный агент, решающий задачу поиска максимума функции запаха в трехмерном пространстве. Направление движения агента зависит от инерционности принятия решений. Получена модель поиска с учетом инерционности процесса выработки тенденций и сопротивления ему. Проводится моделирование поисковых движений инерционного агента.

Ключевые слова: биологические алгоритмы управления, случайный поиск, интеллектуальный агент, инерция

Введение. Поведенческие или биологические алгоритмы применяются в сложных мультиагентных системах, таких как рой летающих робототехнических устройств (роботов) [1]. Основная задача системы — обнаружение источника загрязнения окружающей среды. В работе [2] описывается применение LT-карты, основанной на принципах биологической навигации и предназначенной для высокой масштабируемости и динамичной адаптации [3, 4]. Алгоритм LT-карты использует модель снимков [5, 6].

Известны модели [7—9] движения интеллектуального агента в пространстве, осуществляющего поиск максимума некоторого поля запахов подобно летающему насекомому. Поле задается расположением в нем аттрактантов и репеллентов, т.е. притягивающих и отталкивающих множеств. Агент рассматривается как точка, движущаяся по поисковой траектории под действием биологических алгоритмов управления. Например, модель развития популяций Лотки — Вольтерры [10] генерирует тенденции к поворотам в пространстве: особи мужского рода формируют тенденцию к повороту влево, особи женского рода — тенденцию к повороту вправо. Превалирующая тенденция реализуется как механическое движение агента. Если процесс механического движения агента в модели совпадает с реальным процессом движения биологического объекта (насекомого), тогда и интеллектуальные процессы формирования тенденций у агента и насекомого совпадают. Цель работы — получить модель интеллектуального процесса выработки тенденций с возможностью использования ее для управления движением летающих роботов.

Поиск в трехмерном пространстве. Поле запаха, в котором движется агент, обозначим функцией $S(x, y, z)$, представленной в работе [7] в виде

$$S(x, y, z) = \exp(-x^2 - y^2 - z^2), \quad (1)$$

где x, y, z — координаты положения агента в трехмерном пространстве.

В работе [9] предложена модель поискового поведения интеллектуального агента в трехмерном пространстве:

$$\left. \begin{aligned} R(i+1) &= \lambda_R(i)R(i)[1-R(i)], \\ L(i+1) &= \lambda_L(i)L(i)[1-L(i)], \\ U(i+1) &= \lambda_U(i)U(i)[1-U(i)], \\ D(i+1) &= \lambda_D(i)D(i)[1-D(i)], \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где R и L — тенденции к повороту вправо и влево соответственно, U и D — тенденции к повороту вверх и вниз соответственно, i — номер итерации.

Для устойчивости системы (2) вводятся ограничения $\lambda \in [0,1]$, а параметры λ определяются как

$$\left. \begin{aligned} \lambda_R(i) &= \mu + \sigma \xi_R(i) - L(i) + KdS(i), \\ \lambda_L(i) &= \mu + \sigma \xi_L(i) - R(i) + KdS(i), \\ \lambda_U(i) &= \mu + \sigma \xi_U(i) - D(i) + KdS(i), \\ \lambda_D(i) &= \mu + \sigma \xi_D(i) - U(i) + KdS(i), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где μ — константа; $\xi_R, \xi_L, \xi_U, \xi_D$ — белые шумы, ранжированные в области $[-1,1]$; σ — амплитуда шума; K — коэффициент влияния приращения функции запаха; $dS(i)$ — относительное приращение функции запаха на последующей итерации:

$$dS(i) = \frac{S(i) - S(i-1)}{S(i)}. \quad (4)$$

Величина KdS является управляющим воздействием, т.е. изменение KdS приводит к изменению поведения агента.

Модели (2) и (3) описывают тенденции к повороту агента при осуществлении поиска. На основании тенденций формируются результирующие углы поворотов агента в вертикальной θ и горизонтальной φ плоскостях [9]:

$$\left. \begin{aligned} \theta(i+1) &= \theta(i) + [U(i) - D(i)], \\ \varphi(i+1) &= \varphi(i) + [L(i) - R(i)], \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Система (2), каждое уравнение которой имеет первый порядок, описывает так называемые градиентные динамические системы [11], поскольку управление скоростями процессов выработки тенденций формируется из антиградиента целевой функции запаха $S(x, y, z)$. Механическим эквивалентом такого процесса выработки тенденций является движение в среде вязкого трения [12], влияние которого учитывается коэффициентом вязкого трения. В интеллектуальном процессе эквивалентным коэффициентом является коэффициент сопротивления существующих прежних тенденций выработке новых тенденций.

Кроме сопротивления внешней среды, существует и внутренний фактор, противодействующий повороту или движению агента в пространстве. Это инерция, возникающая при движении агента, или инерционность процесса выработки тенденций. Алгоритмы, представленные выше, не учитывают инерционность процесса выработки тенденций, следовательно, модели поиска необходимо дополнить.

Инерционность агента. Инерционность проявляется как свойство агента, который продолжает поворачивать влево, согласно прежней тенденции, несмотря на то, что уже следует поворачивать вправо в соответствии с новой тенденцией. Причина возникновения инерционности — противоречия между сохранением личной жизнеспособности агента и жизнеспособности популяции в целом. Движение по инерции выгодно, так как требует меньших затрат энергии. В то же время переход на новую тенденцию требует торможения, а следовательно, для преодоления инерции прежних тенденций необходимо затратить энергию. Эволюция тенденций к поворотам подчинена общему закону S-образного развития [13] популяций; на первом и третьем этапах развития инерция является вредной, на втором этапе бурного роста новых тенденций инерция полезна.

Для учета свойства инерционности модель поисковых движений расширим до ньютоновой модели, в которой сигнал управления, вырабатываемый из градиента функции запаха, действует не на скорость изменения тенденций к поворотам, а на их ускорение.

Применительно к механическому эквиваленту расширение модели предполагает включение в нее момента инерции агента.

При поворотах в вертикальной и горизонтальной плоскостях согласно второму закону Ньютона можно записать

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} \theta &= \frac{-k_{\text{тр}} \frac{d}{dt} \theta + M}{J}, \\ \frac{d^2}{dt^2} \varphi &= \frac{-k_{\text{тр}} \frac{d}{dt} \varphi + M}{J}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где M — внешний момент; J — момент инерции; $k_{\text{тр}}$ — коэффициент трения (противодействия).

Коэффициент $k_{\text{тр}}$ — это, с одной стороны, коэффициент трения, а с другой — коэффициент сопротивления выработке тенденций к повороту агента.

Выполним преобразования дифференциальных уравнений в разностные:

$$\left. \begin{aligned} \theta(i+2) &= \frac{(-k_{\text{тр}} \Delta t (\theta(i+1) - \theta(i))) + M \Delta t^2}{J} + 2\theta(i+1) - \theta(i), \\ \varphi(i+2) &= \frac{(-k_{\text{тр}} \Delta t (\varphi(i+1) - \varphi(i))) + M \Delta t^2}{J} + 2\varphi(i+1) - \varphi(i), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где Δt — период дискретизации.

Объединив уравнения (7) и (5), получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \theta(i+1) &= \theta(i) + [U(i) - D(i)], \\ \varphi(i+1) &= \varphi(i) + [L(i) - R(i)], \\ \theta(i+2) &= \frac{(-k_{\text{тр}} \Delta t (\theta(i+1) - \theta(i))) + M \Delta t^2}{J} + 2\theta(i+1) - \theta(i), \\ \varphi(i+2) &= \frac{(-k_{\text{тр}} \Delta t (\varphi(i+1) - \varphi(i))) + M \Delta t^2}{J} + 2\varphi(i+1) - \varphi(i), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

или в векторно-матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \theta(i+2) \\ \theta(i+1) \\ \varphi(i+2) \\ \varphi(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-k_{\text{тр}} \Delta t}{J} + 2 & \frac{k_{\text{тр}} \Delta t}{J} - 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-k_{\text{тр}} \Delta t}{J} + 2 & \frac{k_{\text{тр}} \Delta t}{J} - 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta(i+1) \\ \theta(i) \\ \varphi(i+1) \\ \varphi(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{M \Delta t^2}{J} \\ U(i) - D(i) \\ \frac{M \Delta t^2}{J} \\ L(i) - R(i) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Уравнения (8) и (9) обладают двойственностью: с одной стороны, в уравнениях учитывается инерционное механическое движение, а с другой — инерционность выработки тенденций к повороту.

Координаты x , y и z положения агента в трехмерном пространстве определяются из уравнений направляющих косинусов [9]:

$$\left. \begin{aligned} x(i) &= \Delta r \sin \theta(i) \cos \varphi(i), \\ y(i) &= \Delta r \sin \theta(i) \sin \varphi(i), \\ z(i) &= \Delta r \cos \theta(i), \end{aligned} \right\}$$

где Δr — длина шага агента при итерации.

Моделирование. Моделирование проводилось при следующих значениях: $M = 10^{-6}$; $J = 5,88 \cdot 10^{-9}$; $\Delta t = 5 \cdot 10^{-2}$; $\Delta r = 5 \cdot 10^{-3}$; $\mu = 1,5$; $\sigma = 2,8$; $K = 20$. Начальное положение агента: $(x_0, y_0, z_0) = (10, 10, 5)$. Максимум функции запаха из уравнения (1) находится в начале координат, т.е. координаты точки, в которую перемещается агент: $(x, y, z) = (0, 0, 0)$.

В ходе моделирования были исследованы перемещения агента при различных значениях коэффициента k_{tr} , что демонстрируют диаграммы, приведенные на рис. 1: *a* — при $k_{tr} = 5 \cdot 10^{-4}$, *б* — при $k_{tr} = 5 \cdot 10^{-7}$.

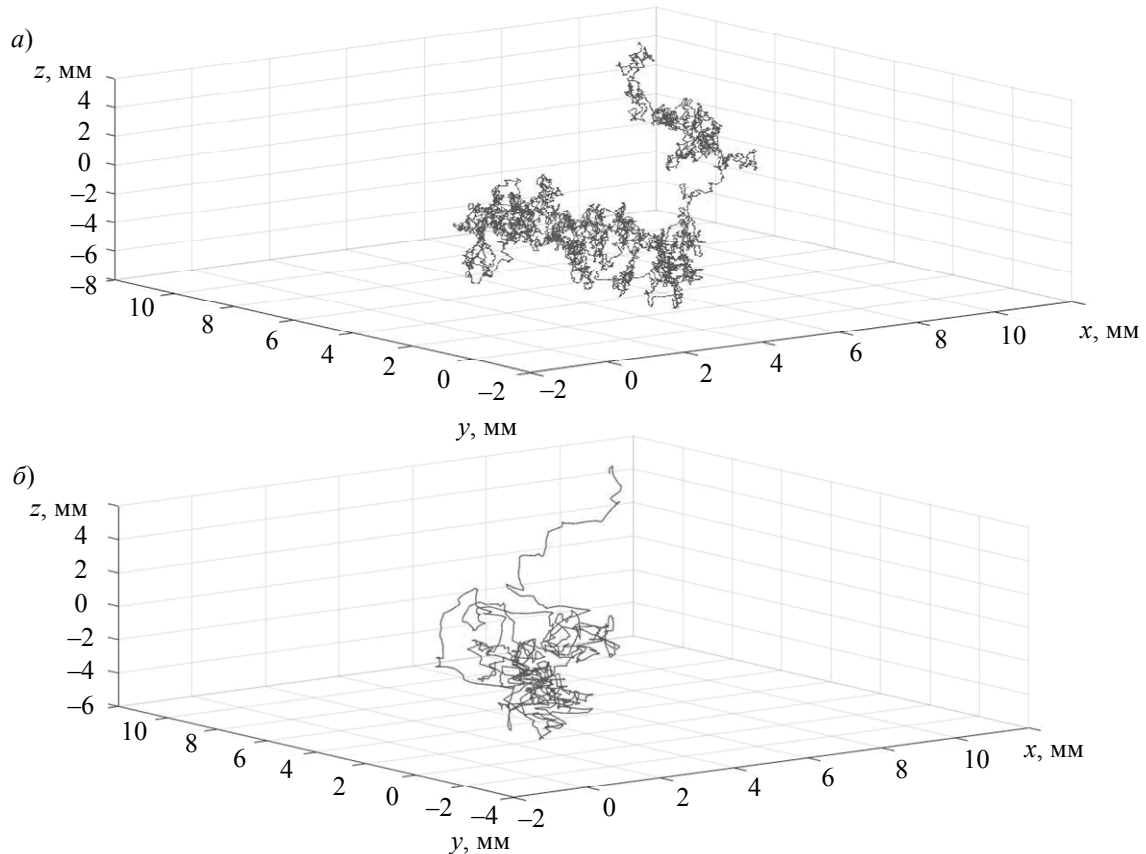


Рис. 1

Как видно на диаграммах, при изменении k_{tr} меняется характер поиска, а агент перемещается в разные точки пространства.

Координаты положения агента в пространстве при $k_{tr} = 5 \cdot 10^{-4}$ представлены на рис. 2.

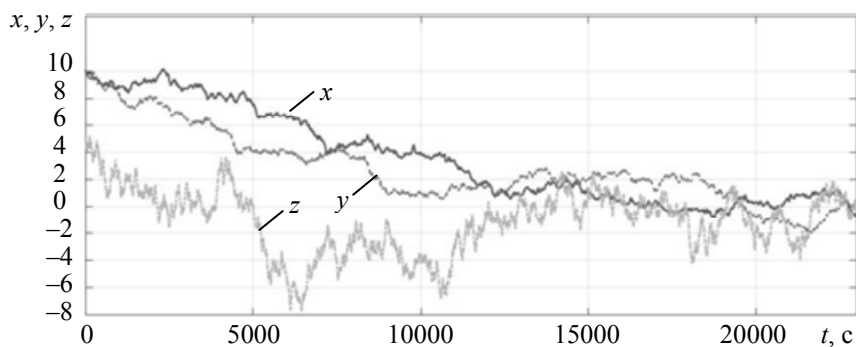


Рис. 2

Заключение. В работе рассмотрены вопросы применения биологических алгоритмов управления в технических системах, влияние инерции на динамику поведения поискового

агента. Получена модель интеллектуального процесса выработки тенденций. Результаты моделирования продемонстрировали влияние инерции на поведение агента, перемещение агента напоминает полет насекомого. Поскольку инерционный агент достигает целевой точки в пространстве, модель может быть использована при управлении движением летающих роботов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oyekan J., Huosheng Hu. Biologically-inspired behaviour based robotics for making invisible pollution visible: a survey // *Advanced Robotics*. 2014. Vol. 28, N 5. P. 271—288. DOI:10.1080/01691864.2013.871578.
2. Mair E., Augustine M., Jäger B., Stelzer A., Brand Ch., Burschka D., Suppa M. A biologically inspired navigation concept based on the Landmark-Tree map for efficient long-distance robot navigation // *Advanced Robotics*. 2014. Vol. 28, N 5. P. 289—302. DOI: 10.1080/01691864.2013.871770.
3. Augustine M., Mair E., Stelzer A., Ortmeier F., Burschka D., Suppa M. Landmark-tree map: a biologically inspired topological map for long-distance robot navigation // *IEEE Intern. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*; Guangzhou, China. 2012.
4. Jäger B., Mair E., Brand C., Stürzl W., Suppa M. Efficient navigation based on the landmark-tree map and the zinf algorithm using an omnidirectional camera // *IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*; Tokyo, Japan. 2013.
5. Cartwright B. A. Landmark learning in bees: experiments and models // *J. Comp. Physiol.* 1983. Vol. 151. P. 521—543.
6. Cartwright B. A., Collett T. S. Landmark maps for honeybees // *Biol. Cybern.* 1987. Vol. 57. P. 85—93.
7. Бушувев А. Б., Воробьев В. С., Непомнящих В. А., Сергеев А. И. Алгоритмы управления совместным поведением интеллектуальных агентов в пространстве // *Материалы 9-й Рос. конф. „Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016)“*. СПб: ЦНИИ „Электроприбор“, 2016. С. 311—316.
8. Непомнящих В. А. Модели автономного поискового поведения // *От моделей поведения к искусственному интеллекту: Монография / Под общ. ред. В. Г. Редько*. М.: Изд-во URSS, 2006. С. 200—242.
9. Бушувев А. Б., Воробьев В. С., Томашевич С. П., Мансурова О. К., Кульчицкий А. А. Поведение агента, заданное логистическим отображением // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2015. Т. 58, № 8. С. 600—605.
10. Murray J. D. *Mathematical Biology I: An Introduction*. Springer: 2002. 584 p.
11. Гилмор Р. *Прикладная теория катастроф: Пер. с англ.* М.: Мир, 1984. Кн. 1. 350 с.
12. Бушувев А. Б. *Математическое моделирование процессов технического творчества*. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 181 с.
13. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. *Краткий курс общей экологии. Ч. I. Экология видов и популяций: Учебник*. Уфа: Изд-во БГПУ, 2011. 206 с.

Сведения об авторах

- Александр Борисович Бушувев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: bushuev@inbox.ru
- Вадим Аркадьевич Петров** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: petrov_vadim_a@mail.ru
- Юрий Володарович Литвинов** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: yurl13@yandex.ru
- Ольга Карибековна Мансурова** — канд. техн. наук, доцент; СПбГУ, кафедра автоматизации технологических процессов и производств

Рекомендована кафедрой
систем управления и информатики
НИУ ИТМО

Поступила в редакцию
21.03.17 г.

Ссылка для цитирования: Бушувев А. Б., Петров В. А., Литвинов Ю. В., Мансурова О. К. Биологический алгоритм управления поисковыми движениями инерционного агента // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2017. Т. 60, № 9. С. 912—917.

BIOLOGICAL CONTROL ALGORITHM FOR SEARCHING MOVEMENTS OF INERTIAL AGENT

A. B. Bushuev¹, V. A. Petrov¹, Yu. V. Litvinov¹, O. K. Mansurova²¹ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: bushuev@inbox.ru²Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Russia

An intellectual agent that solves the task of finding the maximum of the smell function of in three-dimensional space is considered. The direction of movement of the agent depends on the inertia of decision-making. A model of the search with the account for inertia of the trend generation process and resistance is developed. Experimental data and simulated results obtained with the use of the model of inertial agent of search are presented.

Keywords: biological algorithms of control, random search, intellectual agent, inertia

Data on authors

- | | | |
|-----------------------------|---|--|
| Alexander B. Bushuev | — | PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: bushuev@inbox.ru |
| Vadim A. Petrov | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: petrov_vadim_a@mail.ru |
| Yuriy V. Litvinov | — | PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: yurl13@yandex.ru |
| Olga K. Mansurova | — | PhD, Associate Professor; Saint Petersburg Mining University, Department of Technological Process Automation and Production; E-mail: erke7@mail.ru |

For citation: Bushuev A. B., Petrov V. A., Litvinov Yu. V., Mansurova O. K. Biological control algorithm for searching movements of inertial agent. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 9. P. 912—917 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-9-912-917