

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭВОЛЮЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МУТАЦИЯМИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

И. Б. БОНДАРЕНКО, С. Н. ШИМАНЧУК, В. В. НАЗАРОВА

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: igorlitmo@rambler.ru

Представлен метод управления мутациями генетического алгоритма с помощью коэффициента, изменяющего свое значение в процессе поиска экстремума многопараметрической функции по зависимости, близкой по форме к эволюционному закону. Приведены результаты экспериментов, демонстрирующие возможность увеличения скорости сходимости генетического алгоритма за счет коррекции вероятности мутации при поиске оптимума тестовой функции.

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, эволюция, вероятность мутации, оптимизация, хромосома, сходимость, управление отбором

Методы эволюционного проектирования сложных технических систем применяются для задач, возникающих на ранних этапах разработки, которые характеризуются неполнотой информации, многоэкстремальностью и многокритериальностью целевых функций, часто имеющих многосвязную иерархическую структуру. В этом случае количество решений резко возрастает, а задача превращается в NP-трудную, усложненную наличием межуровневых связей. Основой эволюционных методов является генерация множества начальных решений (по заданию пользователя или случайным образом), а затем их постепенное улучшение до значения экстремума с требуемой точностью [1, 2]. Основная проблема при принятии оптимальных проектных решений — низкая скорость сходимости.

Среди множества численных методов эволюционный механизм наиболее ярко реализуется в генетических алгоритмах, главным достоинством которых является отсутствие требований к типу функции.

В генетическом алгоритме хромосомы начальной популяции с помощью процедур отбора, скрещивания и мутации после  $N$  итераций должны эволюционировать и достичь окрестности глобального оптимума. Разработке модели управления мутациями генетического алгоритма при оптимизации многопараметрической функции и посвящена настоящая статья.

При оптимизации функций с несколькими параметрами:

$$Q_{\text{opt}} = \text{extr}(Q(X)), \quad Q(X) = Q(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

количество поколений  $N$  в алгоритме определяется зависимостью

$$N = F\left(Q(X), \{S_{\text{отб}}, S_{\text{скр}}, S_{\text{м}}\}, p_{\text{м}}, e, N_{\text{хр}}\right), \quad (1)$$

где  $Q(X)$  — вид (сложность) исследуемой функции;  $\{\dots\}$  — кортеж, содержащий типы операторов отбора ( $S_{\text{отб}}$ ), скрещивания ( $S_{\text{скр}}$ ) и мутации ( $S_{\text{м}}$ );  $p_{\text{м}}$  — вероятность мутации;  $e$  — точность определения экстремума;  $N_{\text{хр}}$  — количество хромосом в популяции.

Зависимость  $N = f(N_{\text{хр}})$  была исследована в работе [3], где показано, что между размером популяции и количеством поколений существует отрицательная корреляция.

По мнению большинства исследователей, значение  $p_{\text{м}}$  выбирается из диапазона 0,5—1 %. Точное значение этого параметра определить невозможно, так как при небольших значениях  $p_{\text{м}} < 0,5 \%$  сходимость генетического алгоритма будет слишком медленной, а при  $p_{\text{м}} > 1 \%$  движение к оптимуму происходит скачкообразно, что также замедляет сходимость.

Остальные параметры в соотношении (1) в процессе работы генетического алгоритма не изменяются.

По результатам экспериментов установлено, что эволюция наилучшей хромосомы при исследовании функции типа

$$Q(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - A \sin(\omega t))^2, \quad (2)$$

где  $n = 9$ ;  $e = 0,1$ ;  $N < 50\,000$ ;  $A$ ,  $\omega$ ,  $t$  — константы, имеет ступенчатый характер, при этом использовалось вещественное кодирование хромосом и пропорциональный их отбор на отрезке поиска при размере популяции  $N_{xp}$ , равном 5, 10, 20 (рис. 1, а) и 50, 100, 150, 200 (рис. 1, б).

Аналогичные зависимости получены и в работе [4].

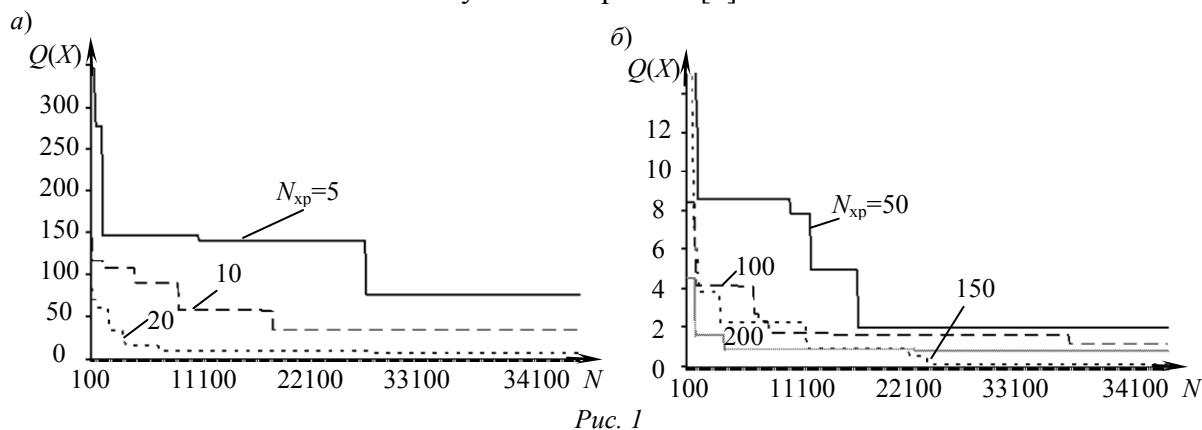


Рис. 1

Как видно из рис. 1, при  $N = 50\,000$  оптимум с требуемой точностью не достигается из-за „зависаний“ алгоритма и ступенчатого характера сходимости исследуемого генетического алгоритма, причем количество ступеней зависит от размера популяции. Такие же результаты получаются при управлении начальной популяцией и использовании метамоделей для оптимизируемых функций [5]. Поэтому цель исследований, описываемых в настоящей статье, — ускорение сходимости при

$$N_{xp} \rightarrow \min, \quad N \rightarrow \min. \quad (3)$$

Среди исследователей законов эволюции выделяют две группы. Представители первой — Ч. Дарвин, О. Конт, Г. Спенсер, Л. Морган, Э. Дюркгейм, Л. Уорд, Р. Курцвейл, Н. Бостром и др. — предлагают линейную и линейно-прогрессивную модели по аналогии с развитием биологического организма. По их мнению, процесс эволюции должен идти с одинаковой скоростью (зависимости 1 и 2 на рис. 2), так как процесс мутации случаен и имеет хаотичную направленность. Представители второй группы — С. Гоулд, Н. Эдридж и др. — основываются на теории прерывистого равновесия и предполагают S-образный или скачкообразный путь прогресса по аналогии с этапами развития общества, при котором длительная стабильность сменяется фазой революции или кризиса, а затем вновь наступает стабильность на другой основе (кривая 3 на рис. 2).

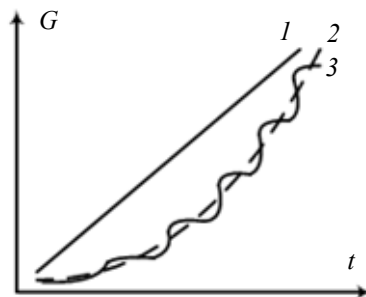


Рис. 2

Характер прогресса определяется законом [6—8]

$$G = G_0 \exp(\alpha t), \quad (4)$$

где  $G_0$  — состояние эволюции в начальный момент времени;  $\alpha$  — коэффициент, определяющий скорость и характер развития прогресса; при  $\alpha$ , содержащем и действительную, и мнимую части, зависимость  $G(t)$  принимает вид, отображенной кривой 3 на рис. 2.

Несмотря на предложенные исследователями многочисленные подходы — использование штрафов, введение в генетический алгоритм дополнительных операторов мутации, гибридизация алгоритма (добавление в популяцию хромосомы, работающей по особым, например, „жадному“ и элитарному алгоритмам с сохранением наилучших хромосом и их переходом в следующее поколение без изменений), уменьшение вероятности мутации при успешном движении к оптимуму [9] и другие — управление генетическим алгоритмом усложняется, а выигрыш в сходимости достигается незначительный и лишь при определенных размерах популяции.

Для выполнения условий (3) представляется интересным разработка и исследование процедур коррекции переменной  $p_m$  и интенсивного отбора наилучших хромосом при „замирании“ сходимости алгоритма, а также сравнение эффективности этих процедур.

Управление мутациями возможно двумя путями.

Во-первых (как предложено в работе [10]), управление мутацией на  $(r+1)$ -м шаге  $j$ -го гена  $l$ -й хромосомы по следующему правилу:

$$x_{jl}^{r+1} = x_{jl}^r \pm \beta \gamma, \quad (5)$$

где знак определяется с равной вероятностью, а коэффициенты  $\beta$  и  $\gamma$  вычисляются как

$$\beta = 0,5(b_l - a_l), \quad \gamma = \prod_{l=1}^m \frac{c_l}{2^l}, \quad (6)$$

где  $c_l$  — двоичный параметр, равный 1 с вероятностью  $1/m$ , в противном случае равный нулю.

При  $e = 0,1$  из выражения (6) получим  $\beta = 0,5(30 - 0) = 15$  с ограничением точности сверху:

$$e \leq 2^{-10} \beta \cong 0,0146 \text{ при } m = 4,$$

что достаточно для рассматриваемой задачи.

Как показали компьютерные эксперименты, таким способом сложно добиться устойчивого движения генетического алгоритма к оптимуму, что объясняется дополнительными случайными изменениями в популяции, приводящими к замедлению процесса поиска.

Второй путь — воздействие на коэффициент приспособленности, который в исследуемом алгоритме является эквивалентом вероятности попадания ( $p_l$ ) хромосом в следующее поколение. Предлагается соотношение:

$$p_l = \frac{f(H_l)}{\sum_{l=1}^{N_{xp}} f(H_l)} + q,$$

где  $f(H_l)$  — пригодность  $l$ -й хромосомы;  $q$  — показатель изменения вероятности, причем исследования относительно показателя  $q$  не проводились.

Для имитационных экспериментов, с сохранением закона изменения развития эволюции, модель (4) была заменена на выражение

$$q = kN^{\pm 0,2245},$$

где  $k$  — варьируемый коэффициент, а показатель степени выбран экспериментально для приближения к форме экспоненты.

Экспериментально сразу было установлено, что рост вероятности мутации не позволяет находить экстремум функции (2) за приемлемое число поколений (100 тыс.) с числом хромо-

сом 5...1000. Поэтому другие эксперименты проводились при отрицательном показателе степени при  $N$ . При этом все результаты сравнивались с данными, полученными при оптимизации исследуемой функции без учета параметра  $q$ . Число хромосом выбиралось из ряда значений {5,10,20,50,100,150,200,250,300,350,400, 450,500,600,700,1000,1200,1500,2000} при одинаковой точности 0,1.

В результате при  $50 > k > 0,1$  и  $0,01 < k < 0,05$  наблюдалось ухудшение результатов поиска (поиск был безуспешным при достижении  $N=100\,000$  практически при всех значениях из ряда), что демонстрирует график на рис. 3 для некоторых значений из указанных диапазонов  $k$  (0,1 и 0,2). При этих условиях поиска параметр  $q$  изменялся в широких пределах: 0,075...17,8. Наилучших результатов удалось достичь при  $k$ , равном 0,055, 0,08 и 0,085 (эксперименты проводились с шагом 0,005). При этом параметр  $q$  изменялся в диапазоне  $(6,4...19,5) \cdot 10^{-2}$ .

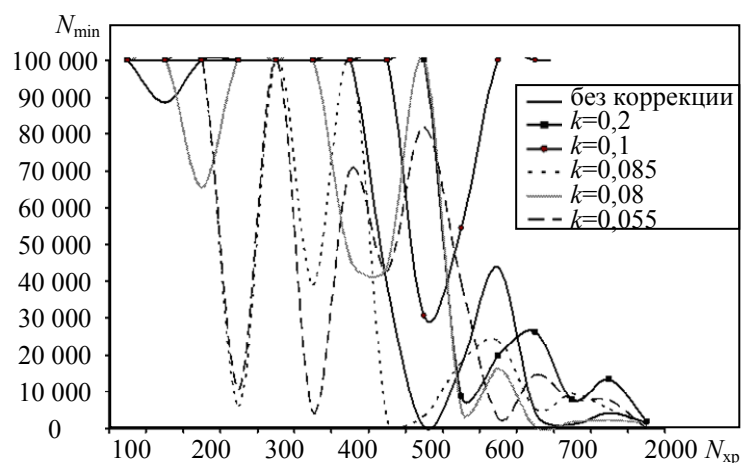


Рис. 3

Таким образом, по результатам экспериментов можно сделать вывод: несмотря на то, что генетический алгоритм относится к методам случайного поиска, управление им возможно путем коррекции вероятности мутаций по модели эволюционного развития. При подборе параметров такой модели удастся сократить время поиска оптимальных решений и уменьшить ступенчатость графика сходимости за счет уменьшения числа хромосом и поколений. Это позволяет использовать генетические алгоритмы при поиске решений в многомерных и мультимодальных пространствах допустимых решений, а также открывает новые направления исследований в области методов эволюционного проектирования сложных технических систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудилев В. В. Эволюционное проектирование аппаратных средств // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2011. № 5 (7). С. 11—34.
2. Курейчик В. В., Родзин С. И. О правилах представления решений в эволюционных алгоритмах // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2010. № 7. С. 13—21.
3. Бондаренко И. Б., Каляева Е. А., Кокшаров Д. Н. Адаптация параметров генетического алгоритма для оптимизации сложных функций // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 9. С. 5—9.
4. Гатчин Ю. А., Бондаренко И. Б., Дукельский К. В. Технология изготовления специальных типов оптических волокон: Монография. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 155 с.
5. Кошев А. Н., Салмин В. В., Генералова А. А., Бычков Д. С. Разработка генетического алгоритма с адаптивными мутациями для определения глобального экстремума функции  $n$ -переменных // Интернет-журнал „Науковедение“. 2016. Т. 8, № 6 [Электронный ресурс]: <<http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN616.pdf>>.
6. Schwefel H. P. Numerical Optimization of Computer Models. John Wiley&Sons, 1981.

7. Снитюк В. Е. Аспекты эволюционного моделирования в задачах оптимизации // Искусственный интеллект. 2005. № 4. С. 284—291.
8. Pagel M., Venditti C., Meade A. Large punctuational contribution of speciation to evolutionary divergence at the molecular level // Science. 2006. Vol. 314. P. 119—121.
9. Буланова Н. С., Бuzдалова А. С., Шалыто А. А. Метод адаптивного выбора операторов мутации искусственных иммунных систем и локального поиска // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17, № 6. С. 1100—1106.
10. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы. Астрахань: Изд. дом „Астраханский университет“, 2007. 87 с.

#### Сведения об авторах

- Игорь Борисович Бондаренко** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: igorlitmo@rambler.ru
- Сергей Николаевич Шиманчук** — студент; Университет ИТМО, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: shimanchuk.s@gmail.com
- Виктория Владимировна Назарова** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, кафедра теплофизики и теоретических основ тепло- и хладотехники; ст. преподаватель; E-mail: vvnazarova@yandex.ru

Поступила в редакцию  
04.04.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Бондаренко И. Б., Шиманчук С. Н., Назарова В. В. Использование моделей эволюции для управления мутациями генетического алгоритма при оптимизации многопараметрической функции // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 660—665.

#### USING MODELS OF EVOLUTION FOR MANAGING MUTATIONS OF THE GENETIC ALGORITHM IN OPTIMIZATION OF MULTIPARAMETRIC FUNCTION

I. B. Bondarenko, S. N. Shimanchuk, V. V. Nazarova

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: igorlitmo@rambler.ru

A method of management of the genetic algorithm mutation procedure is developed. The method uses a coefficient that changes its value in the process of searching for an extremum of a multiple parameter function with respect to a dependence that is close in form to the evolutionary law. Results of experiments are presented to demonstrate the possibility of increasing the rate of convergence of the genetic algorithm due to correction of a mutation probability when searching for the test function optimum.

**Keywords:** genetic algorithm, evolution, probability of a mutation, optimization, chromosome, convergence, management of selection

#### REFERENCES

1. Gudilov V.V. *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoye obrazovaniye*, 2011, no. 5(7), pp. 11–34. (in Russ.)
2. Kureychik V.V., Rodzin S.I. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2010, no. 7, pp. 13–21. (in Russ.)
3. Bondarenko I.B., Kalyayeva E.A., Koksharov D.N. *Journal of Instrument Engineering*, 2011, no. 9(54), pp. 5–9. (in Russ.)
4. Gatchin Yu.A., Bondarenko I.B., Dukel'skiy K.V. *Tekhnologiya izgotovleniya spetsial'nykh tipov opticheskikh volokon* (Manufacturing Techniques of Special Types of Optical Fibers), St. Petersburg, 2015, 155 p. (in Russ.)
5. <http://naukovedenie.ru/PDF/32TVN616.pdf>. (in Russ.)
6. Schwefel H.P. *Numerical Optimization of Computer Models*, John Wiley & Sons, 1981.
7. Snityuk V.E. *Artificial intelligence*, 2005, no. 4, pp. 284–291. (in Russ.)
8. Pagel M., Venditti Ch., Meade A. *Science*, 2006, vol. 314, pp. 119–121.
9. Bulanova N.S., Buzdalova A.S., Shalyto A.A. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, no. 6(17), pp. 1100–1106. (in Russ.)
10. Panchenko T.V. *Geneticheskiye algoritmy* (Genetic Algorithms), Astrakhan', 2007, 87 p. (in Russ.)

**Data on authors**

- |                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| <b>Igor B. Bondarenko</b>   | — | PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Computer System Design and Security; E-mail: igorlitmo@rambler.ru             |
| <b>Sergey N. Shimanchuk</b> | — | Student; ITMO University, Department of , Computer System Design and Security; E-mail: shimanchuk.s@gmail.com                          |
| <b>Victoria V. Nazarova</b> | — | PhD; ITMO University, Department of Thermophysics and Basics of Heat-Cooling Technology; Senior Lecturer; E-mail: vvnazarova@yandex.ru |

**For citation:** Bondarenko I. B., Shimanchuk S. N., Nazarova V. V. Using models of evolution for managing mutations of the genetic algorithm in optimization of multiparametric function. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 660—665 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-660-665