НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

Сравнение методов генетического и вариационного генетического программирования на примере задачи синтеза управления для модели "Хищник-жертва"

05, май 2014

DOI: 10.7463/0514.0709252

Дивеев А. И.[1], **Ибадулла С. И.**[2]

УДК 519.6 62.50

[1]Россия, ФГБУН Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН

[2]ФГБОУ ВПО Российский университет дружбы народов

aidiveev@mail.ru

sabit_sss@mail.ru

Введение

Современные методы символьной регрессии, метод генетического программирования, грамматического программирования, сетевого оператора позволяют на основе эволюционных алгоритмов создавать численные методы для синтеза системы управления [1-5, 7-9]. Наиболее успешно решает задачу синтеза системы управления метод сетевого оператора [1,2], поскольку он использует принцип вариаций базисного решения. Данный подход позволяет сократить пространство поиска решения и сократить время работы алгоритма.

В работе [6] приведено описание метода вариационного генетического программирования. В отличие от классического метода генетического программирования [8] метод вариационного генетического программирования использует идею метода сетевого оператора [1,2] поиск решения на множестве вариаций базисного решения, которое задает исследователь по результатам анализа рассматриваемой задачи.

Очевидно, что всегда в вариационном генетическом программировании можно выбрать базисное решение близкое к оптимальному решению, поэтому метод вариационного генетического программирования всегда выигрывает, поскольку предусматривает возможность вмешательства исследователя в процесс поиска. Вторым преимуществом вариационного генетического программирования является возможность повторного использования алгоритма поиска с новым, найденным в предыдущем поиске решением. В генетическом программировании также можно включить найденное наилучшее решение в начальное множество возможных решений, но это никак не повлияет на изменение области

поиска. Даже если найденное решение почти удовлетворяет требованиям исследователя, в генетическом программировании, чтобы улучшить это решения необходимо его скрестить с другими решениями, возможно кардинально отличающимися от найденного решения. Малые изменения хорошего найденного возможного решения в генетическом программировании не предусмотрены.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального сравнения методов на примере решения задачи синтеза управления для модели объекта «хищник - жертва».

Оба метода вместе со структурой математического выражения ищут оптимальные значения параметров. Множества используемых функций в обоих методах одинаковы. Параметры генетического алгоритма одинаковы. Для справедливого сравнения в методе вариационного генетического программирования используется тривиальное базисное решение.

Качественное сравнение методов

Проведем сравнительный анализ методов генетического программирования и вариационного генетического программирования. Пусть оба метода мы используем для решения одной задачи синтеза системы управления. Для описания одного возможного решения в методе генетического программирования используем код из K двухкомпонентных целочисленных векторов. Пусть искомое математическое выражение предназначено для описания функциональной зависимости вектора управления размерности m. Для описания одной компоненты управления мы используем L двухкомпонентных целочисленных векторов, тогда

$$K = Lm. \tag{1}$$

При описании H возможных решений имеем $2HLm$ целых чисел.

Для описания одного возможного решения в методе вариационного генетического программирования необходимо иметь базисное решение из $K = Lm$ двухкомпонентных целочисленных векторов и r трехкомпонентных целочисленных векторов для описания вариаций базисного решения.

При описании H возможных решений имеем $r(H-1)$ трехкомпонентных целочисленных векторов для описания вариаций одного возможного базисного решения и одну пустую вариацию самого базисного решения, поэтому всего имеем $2LM + 3rH$ целых чисел. Для описания базисного решения используем двухкомпонентный целочисленный вектор, а для описания вариаций – трехкомпонентные целочисленные векторы.

В практических случаях длина набора вариаций существенно меньше длины кода для описания одного математического выражения

$$r < L. \tag{2}$$

При записи одного возможного решения в методе вариационного генетического программирования мы используем меньше целых чисел, чем в записи метода генетического программирования на величину

$$\Delta = 2Lm - 3r. \tag{3}$$

Для всего множества возможных решений имеем экономию памяти компьютера на величину $\Delta(H-1)$ целых чисел.

В работе [6] использовали максимальную длину кода $L = 32$. В задаче было $m = 2$ компоненты управления. Пусть мощность начального множества возможных решений $H = 1024$, $r = 8$. В результате метод вариационного генетического программирования сэкономил память на величину

$$\Delta(H-1) = (1024-1)(2\cdot 32\cdot 2 - 3\cdot 8) = 106392$$

целых числа по сравнению с методом генетического программирования.

Вычислительный эксперимент

Проведем численный эксперимент для сравнения методов генетического программирования и вариационного генетического программирования в задачи синтеза системы управления.

Рассмотрим следующую задачу синтеза управления [10].

Модель объекта управления

$$\dot{x}_1 = x_1 - x_1 x_2 - a x_1 u,$$
$$\dot{x}_2 = x_2 + x_1 x_2 - b x_2 u,$$
$$\dot{x}_3 = (x_1 - 1)^2 + (x_2 - 1)^2.$$

Множество начальных значений

$$\mathrm{X}_0 = \left\{ x_1(0) \in \left[x_1^-, x_1^+\right], x_2(0) \in \left[x_2^-, x_2^+\right], x_3(0) = 0 \right\}.$$

Ограничение на управление

$$u^- \le u \le u^+.$$

Критерий качества

$$J = x_3(t_f) \to \min,$$

где t_f - заданная положительная величина.

Необходимо найти управление в виде функции

$$u = h(x_1, x_2, x_3).$$

Заменяем множество начальных значений множеством точек начальных значений

$$\mathrm{X}_0 = \left\{ x_i(0) \in \left(x_i^- + j\Delta x_i : j = \overline{0, k_i}\right), i = 1,2, x_3(0) = 0 \right\},$$

где $k_i + 1$ - заданное число точек начальных значений переменной $x_i(0)$,

$$\Delta x_i = \frac{x_i^+ - x_i^-}{k_i}, \; i = 1,2,$$

Заменяем критерий качества суммой критериев, вычисленных для каждого начального значения

$$\bar{J} = \sum_{i=0}^{k_1} \sum_{j=0}^{k_2} \left(x_3(t_f)\right)_{x_{1,i}, x_{2,j}} \to \min,$$

где $x_{1,i} = x_1^- + i\Delta x_1$, $i = \overline{0, k_1}$, $x_{2,j} = x_2^- + j\Delta x_2$, $j = \overline{0, k_2}$.

Задачу решаем методами генетического программирования и вариационного генетического программирования.

Для метода вариационного генетического программирования задаем базисное решение в форме тривиального соотношения

$$u = q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3,$$

где $q_1 = 1$, $q_2 = 1$, $q_3 = 1$.

Во время вычислительного эксперимента параметры модели имели следующие значения: $a = 0{,}4$, $b = 0{,}2$, $t_f = 12$ с, $x_1^- = 0{,}5$, $x_1^+ = 0{,}6$, $x_2^- = 0{,}7$, $x_2^+ = 0{,}8$, $k_1 = 2$, $k_2 = 2$. Шаг интегрирования составлял $0{,}005$с.

Для обоих методов были заданы одинаковые параметры генетического алгоритма: число возможных решений в начальном множестве 256, число поколений 128, число возможных скрещиваний в одном поколении 128, вероятность мутации 0,7, длина записи составляла 32 двухкомпонентных вектора. Для метода вариационного генетического программирования при получении каждого решения использовалось восемь вариаций базисного решения.

При синтезе полученные управления ограничивались согласно соотношению

$$u = \begin{cases} 0, \text{ если } \tilde{u} < 0, \\ 1, \text{ если } \tilde{u} > 1, \\ \tilde{u} - \text{иначе.} \end{cases}$$

Метод генетического программирования получил решение

$$\tilde{u} = \begin{cases} Aq_2 x_2 - \cos(x_1), \text{ если } |\cos(x_1) - Aq_2 x_2| < |\cos(x_1) - x_3|, \\ x_3 - \cos(x_1), \text{ иначе,} \end{cases}$$

где

$$A = \begin{cases} q_3, \text{ если } \sqrt[3]{B} < q_2 + q_3 - q_2 q_3, \\ -q_3 - \text{иначе;} \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} x_2 - \min\{q_3, x_2\}, \text{ если } |\min\{q_3, x_2\} - x_2| < |\min\{q_3, x_2\} - x_1|, \\ x_1 - \min\{q_3, x_2\}, \text{ иначе;} \end{cases}$$

$q_1 = 7{,}11670$, $q_2 = 10{,}39893$, $q_3 = 1{,}75122$.

Метод вариационного генетического программирования получил решение

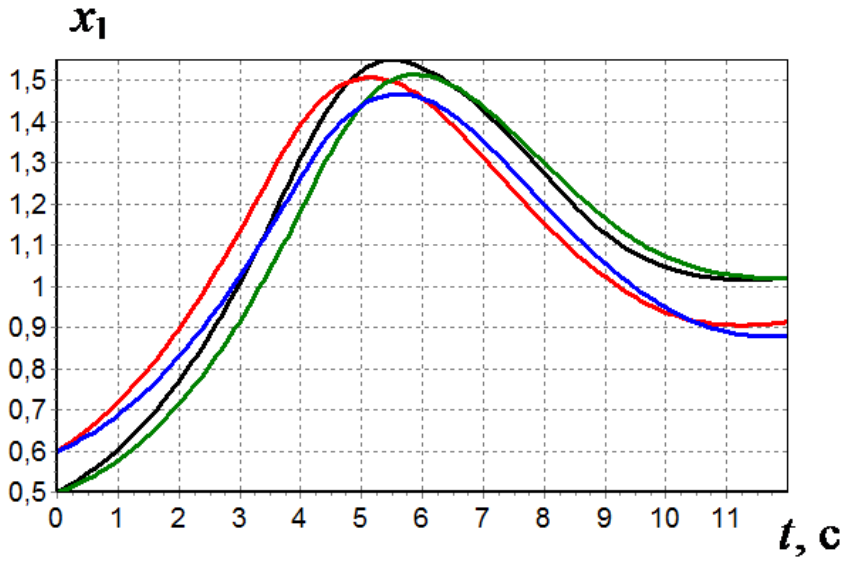
$$\tilde{u} = \operatorname{sgn}\left(\arctan\left(x_1^2 + \sin\left(\ln\left|\arctan(x_2)\right|\right)q\right)^2\right) \times$$

$$\times \arctan\left(x_1^2 + \sin\left(\ln\left|\arctan(x_2)\right|\right)q\right)^2 \left(x_3 + x_2^2\right) x_1,$$

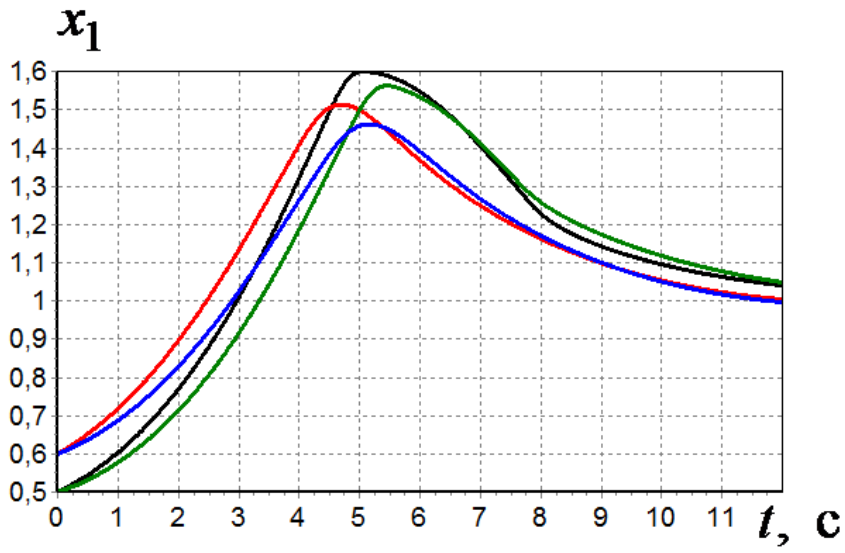
где $q = 3,23022$.

Вычисления выполнялись на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i7-2640M CPU @ 2.80GHz 2.80 GHz. Процесс поиска для методов вариационного генетического программирования составил 5 мин. Поиск решения методом генетического программирования составил более 35 мин.

На рис. 1-4 приведены графики результатов моделирования полученных систем управления при различных начальных условиях: $\mathbf{x}(0) = [0{,}5\ 0{,}7\ 0]^T$, $\mathbf{x}(0) = [0{,}6\ 0{,}7\ 0]^T$, $\mathbf{x}(0) = [0{,}5\ 0{,}8\ 0]^T$, $\mathbf{x}(0) = [0{,}6\ 0{,}8\ 0]^T$.

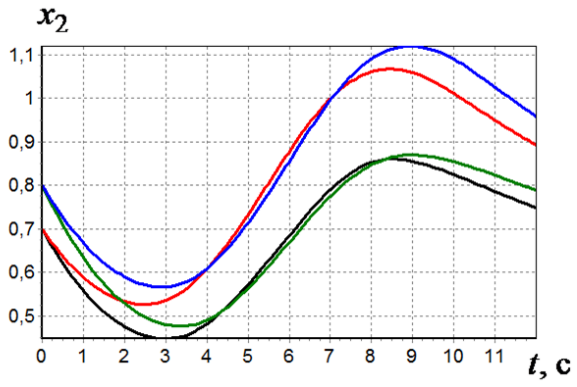


а

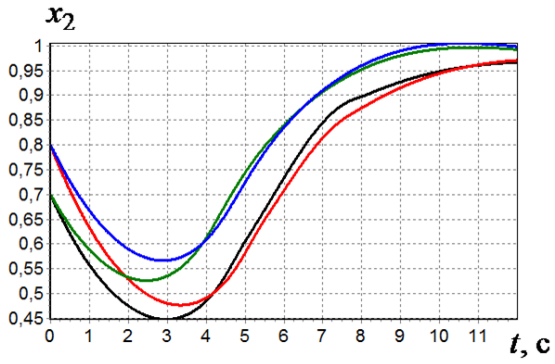


б

Рис. 1. Функция $x_1(t)$: а – метод генетического программирования, б – метод вариационного генетического программирования

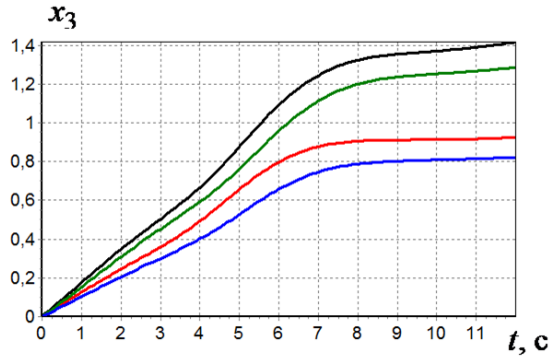


а

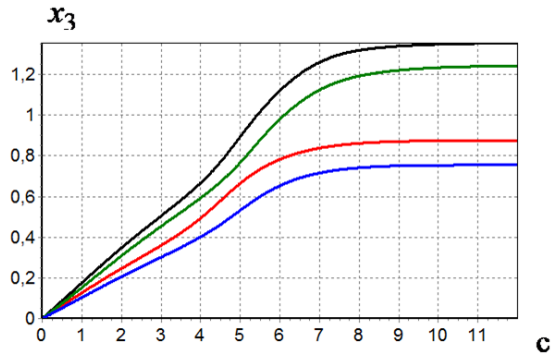


б

Рис. 2. Функция $x_2(t)$: а – метод генетического программирования, б – метод вариационного генетического программирования

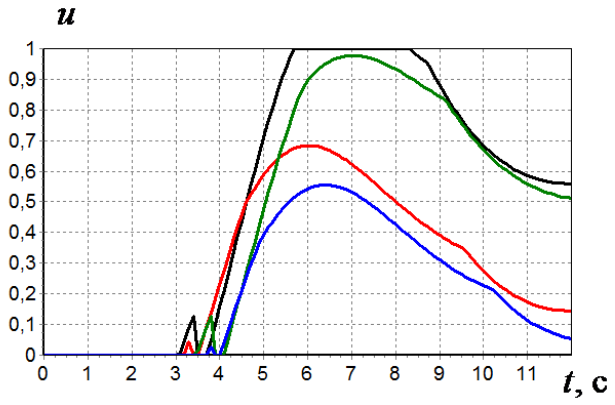


а

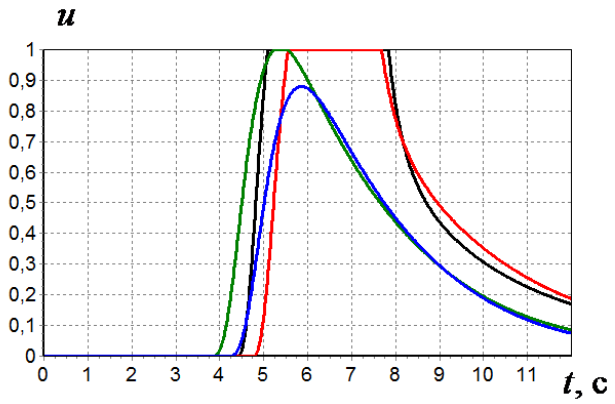


б

Рис. 3. Функция $x_3(t)$: а – метод генетического программирования, б – метод вариационного генетического программирования



а



б

Рис. 4. Функция $u(t)$: а – метод генетического программирования, б – метод вариационного генетического программирования

Заключение

Результаты исследования показывают, что графики управлений, полученных методами генетического и вариационного генетического программирования, существенно не отличаются. Критерий качества $x_3(t_f)$ при всех начальных значениях в системе управления, полученной методом вариационного генетического программирования, имеет меньшее значение, чем критерий для системы управления, полученной методом генетического программирования.

Таким образом, можно утверждать, что метод вариационного генетического программирования работает при тех же параметрах генетического алгоритма значительно быстрее, чем метод генетического программирования, и дает результаты лучше по критериям качества управления даже при выборе базисного решения в виде тривиального соотношения.

Список литературы

1. Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН, 2012. 182 с.

2. Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 63-78.
3. Дивеев А.И., Казарян Д.Э. Методы грамматической эволюции и сетевого оператора для синтеза системы управления динамическим объектом // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. Режим доступа: http://www.science-education.ru/110-9546 (дата обращения 01.04.2014).
4. Рогачев Г.Н., Егоров В.А. Генетическое программирование в задачах поиска системотехнических решений // 7-й Международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (INTELS'2006) (Краснодар, 26-30 июня 2006 г.): тр. М.: РУСАКИ, 2006. С. 69-72.
5. Рогачев Г.Н. Генетическое программирование в задачах поиска системотехнических решений // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2006. № 40. С. 37-42.
6. Ибадулла С.И., Дивеев А.И., Софронова Е.А. Решение задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. Режим доступа: http://www.science-education.ru/113-11697 (дата обращения 01.04.2014) .
7. Bourmistrova A., Khantsis S. Control System Design Optimization via Genetic Programming // Proceedings of CEC 2007. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007. P. 1993-2000. DOI: 10.1109/CEC.2007.4424718
8. Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press. 1992. 819 p.
9. Koza J.R., Keane M.A., Streeter M.J., Mydlowec W., Yu J., Lanza G. Genetic Programming IV. Routine Human-Competitive Machine Intelligence / J.R. Koza (ed.). Springer US, 2003. 606 p. DOI: 10.1007/b137549
10. Sager S. A Benchmark Library of Mixed-Integer Optimal Control Problems // In: Mixed Integer Nonlinear Programming / J. Lee, S. Leyffer (eds.). Springer New York, 2012. P. 631-670. DOI: 10.1007/978-1-4614-1927-3_22

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU

SCIENCE and EDUCATION

EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408

electronic scientific and technical journal

The comparison of methods for genetic and variational genetic programming using a control synthesis problem for the model "Predator-victim" as an example

05, May 2014

DOI: 10.7463/0514.0709252

A.I. Diveev[1], S.I. Ibadulla[2]

[1]Institution of Russian Academy of Science Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Moscow, Russia 119333

[2]Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, 117198

aidiveev@mail.ru

sabit_sss@mail.ru

This paper studies numerical methods to solve the problem of control system synthesis.

Two symbolical regression methods are compared such as a genetic programming method and a new variational genetic programming method. First, the paper provides the qualitative comparative analysis of methods and gives the numerical estimations of resources to be used by the methods. Then the methods are applied to solve a control system synthesis problem. The non-linear model of the "predator-prey" system is considered. To obtain the reliable results an identical values were assigned to the initial parameters of the search algorithms for both methods. A trivial basic solution is chosen for the variational genetic programming method, though the main advantage of this method is the possibility to reduce time of calculations owing to experienced developer's choice of the basic solution that is close to an optimal one.

We performed a computational experiment to show that the variational genetic programming method finds a many times faster solution and spends less resources, and a received result provides better values of the goal functions, than the genetic programming method. In the future it is necessary to compare these methods using a complex challenging control system synthesis problem where it can be proven that the method of variational genetic programming has an advantage arising from the choice of the specific basic solution. It is also necessary to compare the method of variational genetic programming with other symbolic regression methods, such as analytical programming, grammatical evolution and network operator methods.

Publications with keywords: synthesis of control system, the method of variations of the basis solutions, variational genetic programming
Publications with words: synthesis of control system, the method of variations of the basis solutions, variational genetic programming

References

1. Diveev A.I., Sofronova E.A. Metod setevogo operatora i ego primenenie v zadachakh upravleniya [Method of network operator and its application in problems of control]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia Publ., 2012. 182 p. (in Russian).
2. Diveev A.I. [A numerical method for network operator for synthesis of a control system with uncertain initial values]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2012, no. 2, pp. 63-78. (English translation: *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2012, vol. 51, iss. 2, pp. 228-243. DOI: 10.1134/S1064230712010066).
3. Diveev A.I., Kazaryan D.E. [Grammatical evolution and network operator methods for synthesis of the control system for a dynamic object]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya - Modern problems of science and education*, 2013, no. 4. Available at: http://www.science-education.ru/110-9546 , accessed 01.04.2014. (in Russian).
4. Rogachev G.N., Egorov V.A. [Genetic programming in search problems of systems engineering solutions]. *7-y Mezhdunarodnyy simpozium "Intellektual'nye sistemy" (INTELS'2006): tr.* [Proc. of the 7th International Symposium "Intelligent Systems" (INTELS'2006)]. Krasnodar, 26-30 June 2006. Moscow, RUSAKI Publ., 2006, pp. 69-72. (in Russian).
5. Rogachev G.N. [Genetic programming in search problems of systems engineering solutions]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki*, 2006, no. 40, pp. 37-42. (in Russian).
6. Ibadulla S.I., Diveev A.I., Sofronova E.A. [Control system problem solution by variational genetic programming method]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya - Modern problems of science and education*, 2013, no. 6. Available at: http://www.science-education.ru/113-11697 , accessed 01.04.2014. (in Russian).
7. Bourmistrova A., Khantsis S. Control System Design Optimization via Genetic Programming. *Proceedings of CEC 2007. IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2007, pp. 1993-2000. DOI: 10.1109/CEC.2007.4424718
8. Koza J.R. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, Massachusetts, London, MA, MIT Press. 1992. 819 p.

9. Koza J.R., Keane M.A., Streeter M.J., Mydlowec W., Yu J., Lanza G. *Genetic Programming IV. Routine Human-Competitive Machine Intelligence*. Springer US, 2003. 606 p. DOI: 10.1007/b137549
10. Sager S. A Benchmark Library of Mixed-Integer Optimal Control Problems. In: Lee J., Leyffer S., eds. *Mixed Integer Nonlinear Programming*. Springer New York, 2012, pp. 631-670. DOI: 10.1007/978-1-4614-1927-3_22