

Программная реализация метода инвазивных сорняков для поиска экстремума мультимодальных целевых функций

Т.И. Мысливчик, В.В. Долгов

Донской Государственный Технический Университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассматривается поиск глобального экстремума методом инвазивных сорняков. Предлагается создание программного средства, осуществляющего реализацию биоинспирированного метода глобальной оптимизации, относящегося к группе метаэвристических методов – метода инвазивных сорняков, производящую поиск глобального экстремума.

Ключевые слова: глобальный экстремум, биоинспирированный метод, метаэвристический метод, метод инвазивных сорняков, эволюционный метод, программное средство.

Введение

Сорняки – это растения, представляющие угрозу для культурных растений за счет энергичных инвазивных привычек роста.

Обычно, эволюционным преимуществом сорных растений является устойчивость к внешней среде, достаточно быстрая адаптация к изменениям в ней и активный (а иногда и агрессивный) захват территории, пригодной для их произрастания. Соответственно, использование этих инвазивных свойств может дать в итоге мощный алгоритм оптимизации [1].

В работах [2] и [3] говорится о том, что эволюционный алгоритм оптимизации – это итеративный метод, который применяет стохастические операторы к группе индивидуумов (популяции) для поиска решения близкого к оптимальному. При этом обычно, значение целевой функции определяет степень приспособленности популяционной особи к условной «среде» в которой происходит оптимизация [4]. За счет способности таких алгоритмов находить близкое к оптимальному решение за приемлемое время, их часто применяют для решения задач, относящихся к классу NP-полных, алгоритмы точного решения которых хоть и существуют, но имеют неприменимые на практике временные характеристики [5, 6].

Алгоритм численной оптимизации, построенный на принципах распространения и адаптации сорных растений в природе очевидно принадлежит к группе эволюционных алгоритмов и имеет название Invasive Weed Optimization (IWO) [7]. Он имитирует устойчивость, адаптацию и случайность колонизации сорных растений.

Цель работы

Цель работы заключается в разработке программного средства поиска глобального экстремума методом инвазивных сорняков для повышения эффективности решения практических задач оптимизации мультимодальных функций с большим числом переменных. Разрабатываемое программное средство предполагается использовать как для осуществления расчетов при выполнении внебюджетных научно-исследовательских работ, так и при проведении лабораторных занятий по учебным курсам, связанным с решением сложных оптимизационных задач, сокращения времени закрепления полученных знаний, оперативного анализа допущенных ошибок и их исправления, а также для легкого и быстрого возвращения к предыдущим практическим заданиям.

Описание принципов организации программного средства

Информационный базис модели программного средства поиска глобального экстремума методом инвазивных сорняков описывается параметрами, перечисленными в Таблице 1.

Таблица № 1

Параметры метода инвазивных сорняков

№ п/п	Параметр	Описание
1	min_popul	минимальный размер популяции;
2	max_popul	максимальный размер популяции;
3	popul	популяция растений;
4	minPos_x,	ограничения распространения новых семян в

	maxPos_x, minPos_y, maxPos_y	пространстве поиска;
5	position	положение растения;
6	valFunc	значение целевой функции в конкретном положении;
7	positionBest	лучшая позиция растения в популяции;
8	bestValueFunc	лучшее значение целевой функции;
9	iter	количество итераций;
10	s_min	минимальное количество рассеиваемых семян;
11	s_max	максимальное количество рассеиваемых семян;
12	sigma_begin	начальное среднее квадратичное отклонение;
13	sigma_end	конечное среднее квадратичное отклонение;
14	sigma	стандартное среднее квадратичное отклонение;
15	sowingCoefficient	коэффициент рассеивания семян;
16	seedsNumber	количество рассеиваемых семян одним растением;
17	rndStdNormal	нормальное распределение.

Конструирование программного средства

На рис. 1 представлена описанная выше концептуально-функциональная модель задачи.

Функции, используемые в программном средстве:

1. initialize – инициализирует начальную популяцию в указанных пределах положения растений;
2. best – находит лучшую позицию, в которой функция принимает максимальное значение;
3. show – выводит на экран начальную популяцию;
4. objectiveFunc – исходя из выбора определенной целевой функции, рассчитывает ее значение в положении, указанном в параметре;
5. randomNormalDistribution – рассчитывает нормальное распределение семян;

6. iwo – запускает поиск максимума целевой функции методом инвазивных сорняков и выводит пошаговый результат поиска на экран;
7. cbFunction_SelectedIndexChanged – изменяет оптимизируемую функцию в зависимости от выбора пользователя.

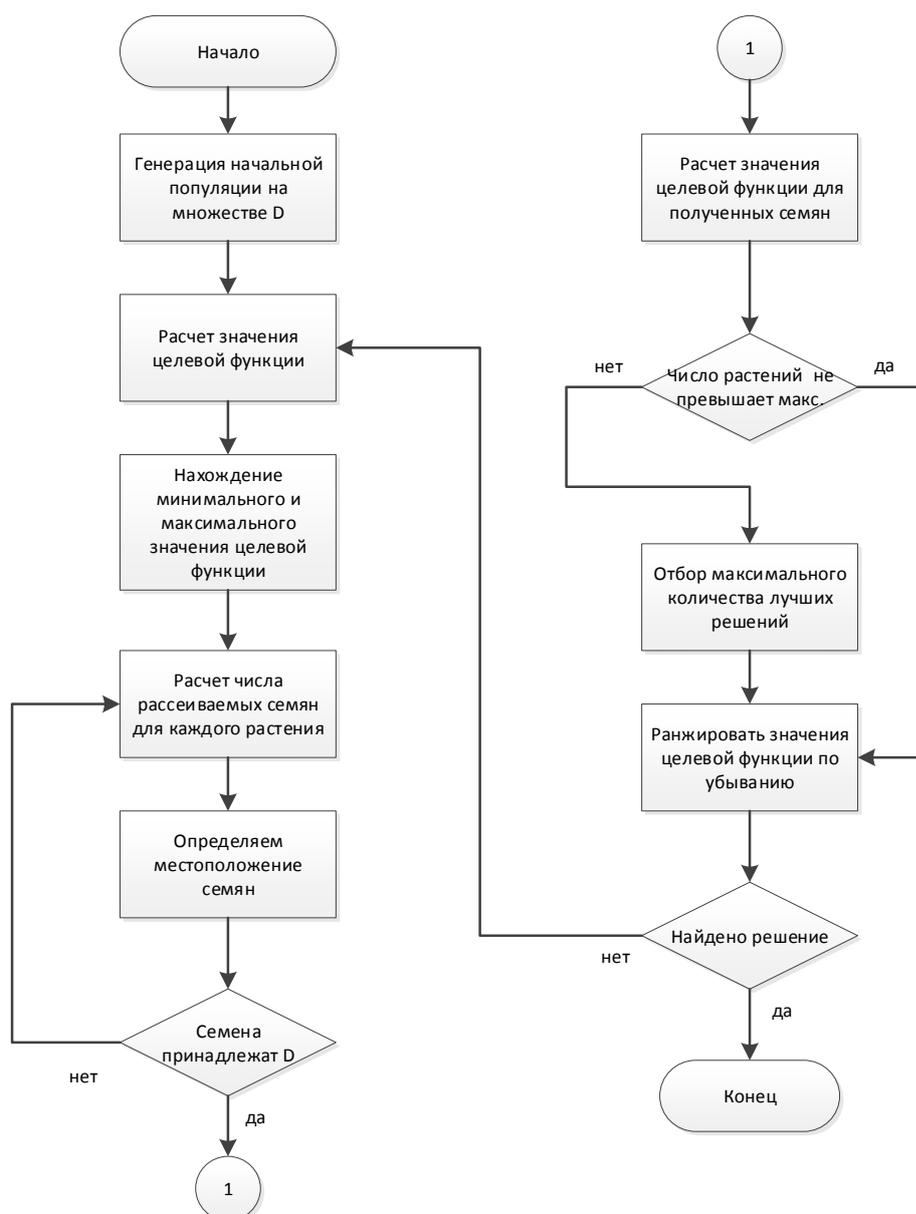


Рис. 1. – Концептуально-функциональная модель задачи

На рис. 2 представлена блок схема работы алгоритма оптимизации методом инвазивных сорняков.

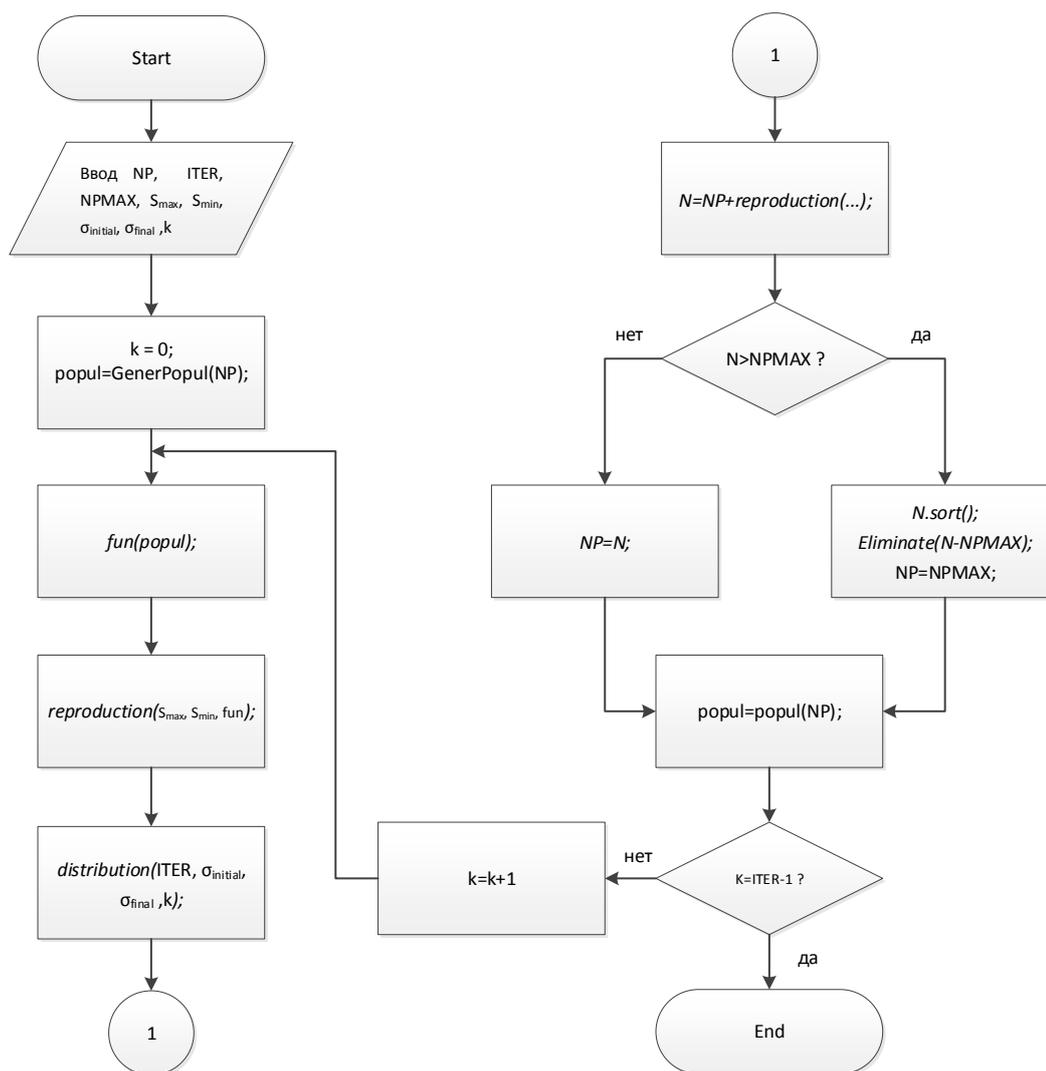


Рис. 2. – Блок схема алгоритма оптимизации методом инвазивных сорняков

В результате работы разработано программное средство для нахождения глобального экстремума многоэкстремальных целевых функций с большим числом переменных методом инвазивных сорняков. Количество итераций, минимальный и максимальный размер популяции, минимальное и максимальное количество разбрасываемых семян, а также начальное и конечное стандартное отклонение задается пользователем в начале работы программы. На рис. 3 представлен интерфейс разработанного программного средства.

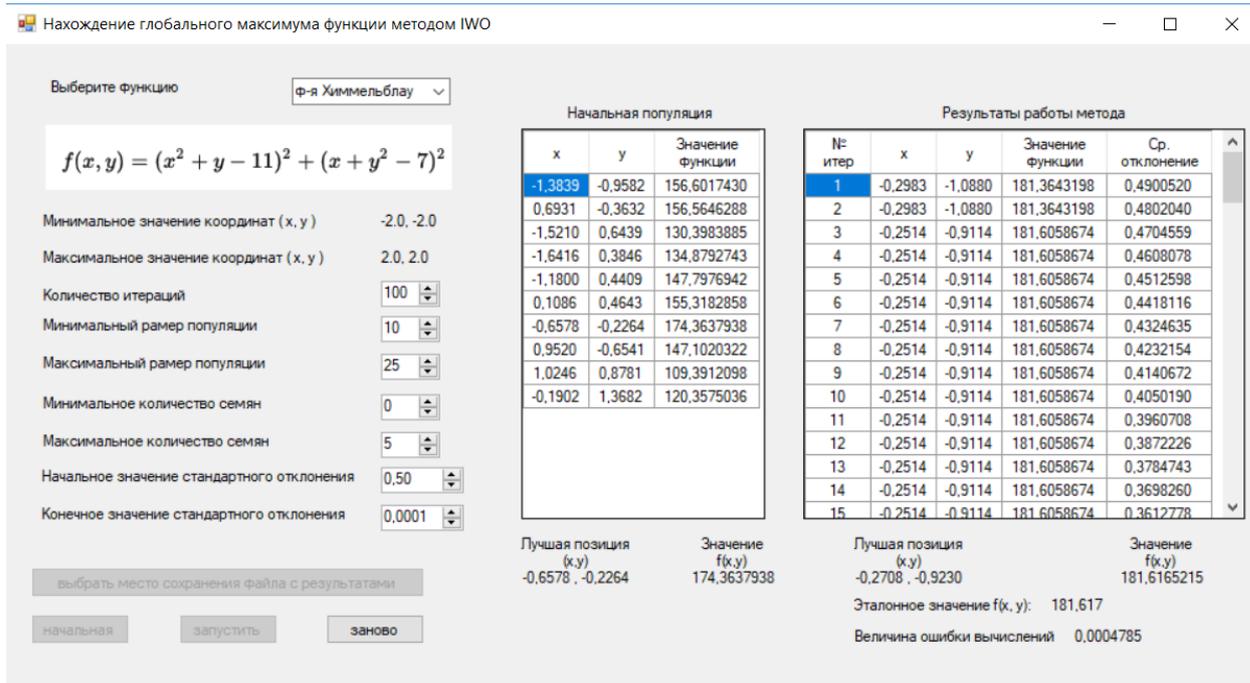


Рис. 3. – Интерфейс программного средства

Вычислительные эксперименты.

Для упрощения и ускорения численных экспериментов будем проводить оптимизацию для двумерных функций Химмельблау и Розенброка.

Функция Химмельблау (1) – мультимодальная функция двух переменных, используемая для проверки эффективности алгоритмов оптимизации [8], названная в честь Дэвида Мотнера Химмельблау.

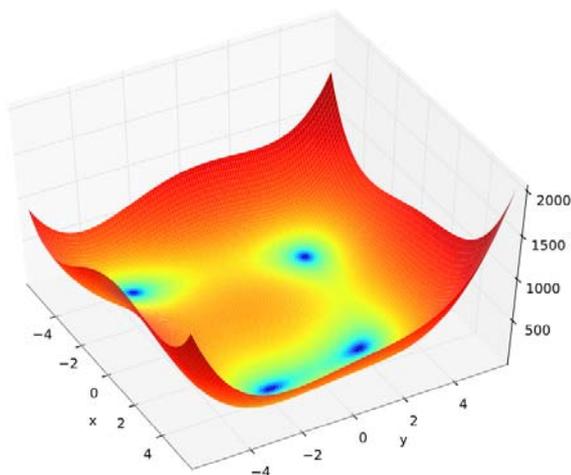


Рис. 4. – Функция Химмельблау

$$f(x, y) = (x^2 + y - 11)^2 + (x + y^2 - 7)^2 \quad (1)$$

Функция Химмельблау, представленная на рис. 3 имеет локальный максимум $f(x, y) \approx 181,617$ при $x \approx -0.270845$, $y \approx -0,923039$.

Проведено по 10 экспериментальных запусков программного средства для вычисления локального максимума функции Химмельблау при 100, 500 и 1000 итерациях.

Среднее значение локального максимума при 100 итерациях составило 181,6165215201, стандартное отклонение $20,9 \cdot 10^{-10}$.

Ошибка вычислений локального максимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 181,617 - 181,6165215201 \approx 4784799 \cdot 10^{-10}$$

Среднее значение локального максимума при 500 итерациях составило 181,6165215221, стандартное отклонение $4,04 \cdot 10^{-10}$.

Ошибка вычислений локального максимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 181,617 - 181,6165215221 \approx 4784779 \cdot 10^{-10}$$

Среднее значение локального максимума при 1000 итерациях составило 181,6165215223, стандартное отклонение $2,2 \cdot 10^{-10}$.

Ошибка вычислений локального максимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 181,617 - 181,6165215223 \approx 4784777 \cdot 10^{-10}$$

Функция Розенброка (2) – невыпуклая функция, используемая для оценки производительности алгоритмов оптимизации, предложенная Ховардом Розенброком в 1960 году [9].

Функция Розенброка для двух переменных представлена на рис. 5.

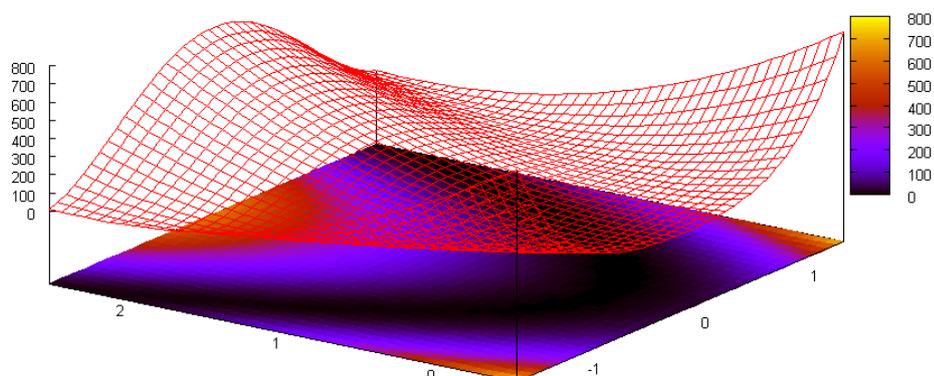


Рис. 5. – Функция Розенброка

$$f(x, y) = -a \cdot (y - x^2)^2 - (1 - x^2)^2 \quad (2)$$

Функция Розенброка имеет глобальный минимум $f(x, y) = 0$ при $x = 1$, $y = 1$.

Проведено по 10 экспериментальных запусков программного средства для вычисления локального минимума функции Розенброка при 100, 500 и 1000 итерациях (коэффициент a принят равным 100).

Среднее значение локального минимума при 100 итерациях составило -0,0024873961, стандартное отклонение равно 0,00746.

Ошибка вычислений локального минимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 0 - (-0,0024873961) \approx 0,0024873961$$

Среднее значение локального минимума при 500 итерациях составило -0,0000000011, стандартное отклонение равно $12 \cdot 10^{-10}$.

Ошибка вычислений локального минимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 0 - (-0,0000000011) \approx 11 \cdot 10^{-10}$$

Среднее значение локального минимума при 1000 итерациях составило $-0,00000000006$, стандартное отклонение равно $4,47 \cdot 10^{-10}$.

Ошибка вычислений локального минимума данным методом составляет:

$$\Delta \approx 0 - (-0,00000000006) \approx 6 \cdot 10^{-10}$$

Заключение

На основе метода инвазивной оптимизации сорняков в среде Visual Studio 2019 на языке программирования C# [10] было разработано программное обеспечение для решения практических задач оптимизации мультимодальных функций с большим числом переменных. Разработанное программное обеспечение протестировано на функциях Химмельблау и Розенброка. Максимальная погрешность вычислений составила $0,5 \cdot 10^{-3}$ для функции Химмельблау и $0,12 \cdot 10^{-12}$ для функции Розенброка.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-00357.

Литература

1. Гладков Л.А. и др. Биоинспирированные методы в оптимизации. М.: Физмалит, 2009. 384 с.
2. Goldberg D. Genetic Algorithms In Search, Optimization, and Machine Learning. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989. pp. 28-33.
3. Алешина Е. А., Метлицкая Д. В., Пантелеев А. В. Методы глобальной оптимизации. Метаэвристические стратегии и алгоритмы. М.: Вузовская книга, 2013. 244 с.
4. Back T., Fogel D.B., Michalewicz Z. Handbook of Evolutionary Computation / Oxford University Press, 1997. 988 p.

5. Венцов Н.Н. Эволюционный подход к моделированию распределительных процессов // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1886.

6. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Пшеничный И.С. Эволюционный алгоритм поиска множества альтернативных маршрутов в условиях возможных воздействий // Инженерный вестник Дона, 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5511.

7. Mehrabian A.R., Lucas C.A. Novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. Ecological Informatics, 2006. С. 355–366.

8. Himmelblau D.M., McGraw-Hill Applied nonlinear programming. 1, 1972. 498 с.

9. Rosenbrock, H. H. An automatic method for finding the greatest or least value of a function // The Computer Journal. 1960. №Т. 3. С. 175-184.

10. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа.NET. М.: Вильямс, 2011. 1312 с.

References

1. Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizacii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fismalite, 2009. 384 p.

2. Goldberg D. Genetic Algorithms In Search, Optimization, and Machine Learning. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989. pp. 28-33.

3. Aleshina E. A., Metlitskaya D. V., Pantelev A. V. Metody global'noy optimizatsii. Metaevristicheskie strategii i algoritmy [Global optimization methods. Metaheuristic Strategies and Algorithms]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2013. 244 p.

4. Back T., Fogel D.B., Michalewicz Z. Handbook of Evolutionary Computation, Oxford University Press, 1997. 988 p.



5. Ventsov N.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1886.
6. Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Pshenichny I.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5511.
7. Mehrabian A.R., Lucas C.A. Novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. Ecological Informatics, 2006. pp. 355–366.
8. Himmelblau D.M. Applied nonlinear programming. McGraw-Hill, 1972. 498 p.
9. Rosenbrock, H. H. The Computer Journal. 1960. №Т. 3. PP. 175-184.
10. Troelsen E. Yazyk programmirovaniya C# 5.0 i platforma .NET [C # 5.0 programming language and .NET platform]. Moscow: Vil'yams, 2011. 1312 p.