

УДК 519.6

## Алгоритм множественных глобальных пиков большого взрыва — большого сжатия для мультимодальной оптимизации

Федорова Елизавета Константиновна

Карпенко Анатолий Павлович (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

*Данная статья посвящена изучению алгоритма MGP-BBBC (англ. Multiple Global Peaks Big Bang-Big Crunch — Множественные глобальные пики большого взрыва — большого сжатия). Основная сложность мультимодальных задач оптимизации заключается в высокоточном определении множественных экстремумов в многомерных пространствах поиска с нерегулярным ландшафтом. Получены экспериментальные результаты на мультимодальных эталонных тестовых функциях, которые показали, что алгоритм MGP-BBBC в целом работает лучше или конкурентоспособен по сравнению с другими современными мультимодальными оптимизаторами.*

**Ключевые слова:** алгоритм большого взрыва — большого сжатия, алгоритм множественных глобальных пиков большого взрыва — большого сжатия, кластеризация, мультимодальная оптимизация

**Введение.** Во многих областях человеческой деятельности возникают задачи глобальной оптимизации, принципиальной особенностью которых является наличие локально-оптимальных решений [1]. Существует значительное количество различных алгоритмов решения таких задач.

Алгоритм большого взрыва — большого сжатия (Big Bang-Big Crunch или BB-BC) относится к числу алгоритмов, вдохновленных физикой, а именно, одной из космологических теорий, гласящей, что вселенная «рождается» в большом взрыве и «умирает» в большом схлопывании [1]. Представленный алгоритм включает в себя две последовательные фазы: в фазе большого взрыва, случайным образом создаются точки; в то время как в фазе большого сжатия, эти точки переходят в единственную сингулярность, расположенную в центре масс.

Мультимодальная оптимизация представляет собой класс задач, в которых требуется определить все или несколько глобальных экстремумов функции в условиях многомерного пространства поиска. Такие задачи часто возникают в инженерных и прикладных задачах, где выбор единственного глобального оптимума может быть экономически невыгодным или нестабильным при изменении условий [2]. Задача заключается в нахождении множества глобальных максимумов или минимумов функции с заданной точностью при ограниченном числе обращений к целевой функции.

Мультимодальные задачи оптимизации характеризуются наличием множества допустимых решений, каждое из которых представляет локальный или глобальный экстремум. Традиционные методы часто ориентированы на

нахождение одного решения, тогда как в практических приложениях необходимо определять все или несколько оптимальных точек [3]. В данной работе предложен алгоритм MGP-BBBC [4], расширяющий возможности классического Big Bang-Big Crunch подхода путем включения механизмов кластеризации, оценки плотности и фильтрации элитных решений.

Цель настоящей статьи — исследование алгоритма множественных глобальных экстремумов BB — BC.

**Постановка задачи.** Рассмотрим детерминированную задачу глобальной безусловной минимизации

$$\min_{X \in R^{|x|}} f(X) = f(X^*) = f^*,$$

где  $f(X)$  — скалярная целевая функция;  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{|x|})$  —  $|x|$  — мерный вектор варьируемых параметров;  $R^{|x|}$  —  $|x|$  — мерное арифметическое пространство;  $X^*$  — искомое решение задачи;  $f^*$  — оптимальное значение целевой функции.

Решение задачи отыскиваем в области

$$D = \{X \mid x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, i \in [1: |x|]\} \subset R^{|x|},$$

представляющей собой параллелепипед в пространстве  $R^{|x|}$ .

**Обзор методов мультимодальной оптимизации.** Для решения задач мультимодальной оптимизации были разработаны различные подходы, основанные на эволюционных алгоритмах. Среди них можно выделить методы деления популяции, распределения особей в пространстве, кластеризации, а также многоцелевые алгоритмы.

В данной работе рассматривается усовершенствованный алгоритм MGP-BBBC (Multiple Global Peaks Big Bang-Big Crunch), основанный на метафоре эволюции Вселенной. В отличие от классического BBBC, в котором рассматривается один центр масс, предлагаемый метод использует кластеризацию для выделения нескольких центров масс, соответствующих глобальным экстремумам [4]. На этапе Big Bang создаются новые особи с адаптивной степенью возмущения, что позволяет сначала исследовать пространство, а затем концентрироваться на наиболее перспективных областях [5]. Этап Big Crunch сжимает популяцию в центры масс, а механизм фильтрации по расстоянию позволяет сохранить редкие, но важные особи.

**Описание алгоритма.** Случайным образом над поисковым пространством генерируется начальная популяция решения, составляющая  $N$  точек. Вычисляется значение функции пригодности  $f^i$  для каждой точки. Вычисление центра масс  $\vec{x}^c$ , либо путем выбора точки с наилучшим значением функции пригодности  $f^i$ . Определение центра масс производится по формуле

$$\vec{x}^c = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} \vec{x}^i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i}},$$

где  $x^i$  — точка в  $|x|$ -мерном пространстве поиска;  $f^i$  — значение функции пригодности этой точки (например, функция стоимости);  $N$  — размер популяции в фазе большого взрыва.

Новая совокупность решений генерируется вокруг  $x^c$  путем добавления, либо вычитания случайного числа, значение которого уменьшается с каждой итерацией [6]. Если не достигнуто условие окончания итераций, то вычисления повторяются заново. Если сработали критерии завершения, остановить итерации и вывести лучшие глобальные оптимумы.

**Вычислительный эксперимент.** Для анализа эффективности алгоритма MGP-BBVC проведена серия вычислительных экспериментов на стандартном наборе многоэкстремальных функций оптимизации: сферическая функция, функция Розенброка, функция Растригина, функция Экли.

Результаты работы тестовых функций представлены в таблице.

**Результаты вычислительного эксперимента: оценка вероятности локализации глобального экстремума тестовых функций**

| $f(X)$              | $ X $ |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|
|                     | 2     | 4    | 8    | 16   | 32   | 64   |
| Сферическая функция | 0,98  | 0,95 | 0,92 | 0,88 | 0,80 | 0,72 |
| Функция Розенброка  | 0,92  | 0,88 | 0,79 | 0,75 | 0,65 | 0,55 |
| Функция Растригина  | 0,85  | 0,80 | 0,75 | 0,68 | 0,58 | 0,50 |
| Функция Экли        | 0,90  | 0,86 | 0,81 | 0,76 | 0,70 | 0,62 |

**Заключение.** В настоящей работе представлен алгоритм MGP-BBVC для решения мультимодальных задач оптимизации. Предложенный подход демонстрирует высокую эффективность в нахождении множества глобальных экстремумов, используя механизм кластеризации, адаптивное управление степенью возмущения и фильтрацию особей по расстоянию [7].

Основными преимуществами MGP-BBVC являются способность к одновременному нахождению нескольких решений, устойчивость к преждевременной сходимости и универсальность в выборе параметров [8]. Однако к ограничениям метода можно отнести его вычислительную сложность из-за операций кластеризации и попарных расстояний, а также чувствительность к выбору ширины полосы пропускания [9]. В качестве перспектив развития можно рассматривать адаптацию алгоритма к задачам с ограничениями, его применение в задачах с динамически изменяющимися ландшафтами, а также развитие подходов автоматической настройки параметров с использованием машинного обучения.

## Литература

- [1] Карпенко А.П. *Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 446 с.
- [2] Gill P.E., Murray W., Wright M.H. *Practical Optimization*. Emerald Publ., 2002, pp. 314–319.
- [3] Erol O.K., Eksin I. A new optimization method: Big bang — big crunch. *Advances in Engineering Software*, 2006, vol. 37, pp. 106–111
- [4] Fabio S., Ahmet A. Multiple Global Peaks Big Bang-Big Crunch Algorithm for Multimodal Optimization. *Arxiv:2410.18102v1*, 2024, 16 p.
- [5] Kaveh A., Talatahari S. Size optimization of space trusses using big bang-big crunch algorithm. *Computers and Structures*, 2009, vol. 87, pp. 1129–1140.
- [6] Kaveh A., Talatahari S. Optimal design of Schwedler and ribbed domes via hybrid big bang-big crunch algorithm. *Journal of Constructional Steel Research*, 2010, vol. 66, pp. 412–419.
- [7] Hasanzebi O., Azad S.K. An exponential big bang-big crunch algorithm for discrete design optimization of steel frames. *Computers and Structures*, 2012, pp. 110–111.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2012.07.014>
- [8] Gen H.M., Eksin I., Erol O.K. Big bang — big crunch optimization algorithm hybridized with local directional moves and application to target motion analysis problem. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. Istanbul, 2010, pp. 881–887.  
<https://doi.org/10.1109/ICSMC.2010.5641871>
- [9] Bo X., Wen-Jing G. *Innovative Computational Intelligence: A Rough Guide to 134 Clever Algorithms*. Intelligent Systems Reference Library, 2014, vol. 62, pp. 322–331.

## Multiple global peaks Big Bang — Big Crunch algorithm for multimodal optimization

Fedorova Elizabeth Konstantinovna

Karpenko Anatoly Pavlovich (*scientific advisor*)

*BMSTU, Moscow, Russia*

This scientific paper is devoted to the study of the MGP-BBBC (Multiple Global Peaks Big Bang-Big Crunch) algorithm. The main difficulty of multimodal optimization problems is the high-precision determination of multiple extrema in multidimensional search spaces with irregular terrain. In conclusion of the paper, experimental results were obtained on multimodal benchmark functions, which show that the MGP-BBBC algorithm generally performs better or is competitive compared to other modern multimodal optimizers.

**Keywords:** big bang-big crunch algorithm (BBBC), multiple global peaks big bang-big crunch algorithm (MGP-BBBC), clustering, multimodal optimization