

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ МОДИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА МУТАЦИИ В ЗАДАЧЕ КОММИВОЯЖЕРА

К.И. Доманов

domanovkon@mail.ru

SPIN-код: 6518-4193

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Исследовано влияние многоточечной мутации на результат работы генетического алгоритма при решении задачи коммивояжера. В данной работе применена «жадная» стратегия оператора кроссовера и операторы мутации двух видов: точечной и многоточечной. Точечная мутация представляет собой тип мутации, при котором осуществляется выбор случайной вершины и вставка ее в случайное место последовательности. Суть многоточечной мутации заключается в динамическом изменении количества вершин, подверженных операции мутации, в зависимости от количества вершин рассматриваемой задачи и порядкового номера текущей популяции. Разработано программное обеспечение, реализующее данный алгоритм. Проведенные исследования показали, что на задачах малой размерности алгоритмы с различными типами мутаций работают примерно одинаково. Однако при увеличении количества вершин и числа поколений предложенный механизм многоточечной мутации показал большую эффективность.

### Ключевые слова

Задача коммивояжера, генетический алгоритм, граф, многоточечная мутация, поколение, экстремум, вершины, эффективность алгоритма, Python

Поступила в редакцию 24.12.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

**Введение.** Задача коммивояжера — это классическая задача оптимизации из теории графов [1]. Данная задача является классической  $NP$ -полной задачей о поиске гамильтонова цикла или пути в графе. Задача коммивояжера удивительно просто формулируется: коммивояжер, выходящий из какого-нибудь города, желает посетить  $N - 1$  других городов [2], причем коммивояжер должен побывать в каждом городе не более одного раза с минимальной стоимостью путешествия.

Представим города в виде  $N$  связанных вершин графа, причем ребра этого графа взвешены стоимостью. Необходимо найти путь с наименьшей стоимостью, проходящей через все вершины. Пример постановки задачи коммивояжера для пяти городов с заданными стоимостями путей представлен в виде графа (рис. 1).

Поскольку коммивояжер в каждом городе встает перед выбором следующего города из тех, что он еще не посетил, существует  $(N - 1)!$  различных маршрутов. Таким образом, пространство поиска экспоненциально зависит от количества

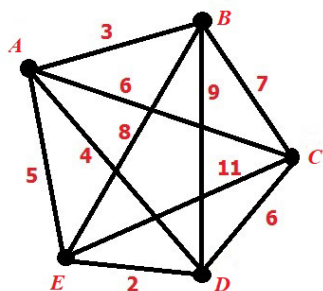


Рис. 1. Пример постановки задачи коммивояжера

городов и достигает больших размерностей. Поэтому для решения задачи коммивояжера эффективнее использовать не точные, а эволюционные методы [3]. В большинстве таких методов находится не самый эффективный маршрут, а приближенное решение. К основным преимуществам эволюционных методов можно отнести решение задач большой размерности, имеющих несколько локальных экстремумов [4].

**Метод решения.** Нахождение точного решения задачи возможно только для задачи с малой размерностью, например методом полного пере-

бора. При увеличении размерности задачи время нахождения оптимального пути стремительно увеличивается.

В конце 1960-х годов американский исследователь Джон Холланд в качестве принципов комбинаторного перебора вариантов решения оптимизационных задач предложил использовать методы и модели механизма развития органического мира на Земле. Поскольку основные законы эволюции живых организмов были исследованы генетикой, предложенный механизм получил название «генетические алгоритмы» [5].

Генетический алгоритм — это адаптивный метод поиска, который в последнее время применяют для решения задач оптимизации. В данном алгоритме используется как аналог механизма генетического наследования, так и аналог естественного отбора. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде и основные понятия линейной алгебры [6]. К основным механизмам генетического алгоритма можно отнести скрещивание и мутацию. Суть механизма скрещивания состоит в выборе случайным образом кодировки двух родителей из начальной популяции и генерация с помощью оператора кроссовера одной или нескольких кодировок потомков, которые наследуют генетические свойства родителей [7]. Механизм мутации заключается в случайной смене гена в закодированном решении. Помимо этого для каждой популяции осуществляется оценивание для выявления лучших особей.

Общая процедура одной итерации генетического алгоритма состоит из следующих шагов:

- 1) генерация популяции: популяция — набор особей, каждая из которых представляет возможное решение;
- 2) оценка особи: каждая особь может быть оценена целевой функцией;
- 3) отбор наиболее сильных решений и передача их гена следующему поколению особей;
- 4) операция кроссинговера и мутации: кроссинговер выбирает случайную точку в хромосоме одной из родительских особей. Хромосомы обеих особей обмениваются частями, полученными после разделения по этой точке. Мутация

в произвольном порядке выбирает хромосому и меняет ее либо выбирает пару хромосом и переставляет их;

5) проверка условий остановки генетического алгоритма.

Общая схема работы генетического алгоритма представлена на рис. 2.



Рис. 2. Общая схема работы генетического алгоритма

К критериям остановки генетического алгоритма можно отнести достижение определенного числа поколений, истечение времени, отпущенного на эволюцию и схождение популяции [8, 9].

**Реализация алгоритма.** Для проведения исследований была создана программа на языке программирования Python, реализующая генетический алгоритм для решения задачи коммивояжера.

В данной работе используется «жадная» стратегия оператора кроссинговера, которая делает на каждом шаге локально-оптимальный выбор. Алгоритм данной стратегии имеет следующий вид:

- 1) случайным образом выбирают стартовую вершину в первом родителе. Текущим родителем является первый родитель;
- 2) устанавливают, какая из соседних вершин (из вершин, находящихся в хромосоме слева и справа от рассматриваемой) ближе к текущей;
- 3) ближайшую из них, не вошедшую в путь, назначают новой текущей вершиной;
- 4) если только одна из этих вершин еще не вошла в путь, ее выбирают текущей;
- 5) если обе соседние вершины являются посещенными, выбирают ближайшую из числа нерассмотренных;
- 6) в качестве текущего родителя выбирают другого родителя;
- 7) повторяют цикл оператора до тех пор, пока все вершины не будут посещены.

В большинстве случаев применения одного лишь кроссовера недостаточно, поскольку в результате скрещивания потомок не может получить признак, которого нет у родителей [10]. Поэтому в данной работе применены следующие виды мутаций:

1) точечная мутация, представляющая собой выбор случайной вершины и вставку ее в случайное место последовательности;

2) многоточечная мутация, суть которой состоит в динамическом изменении количества вершин, подверженных операции мутации. Количество вершин, которое будет подвержено мутации, рассчитывают по формуле

$$K = \frac{T}{t \cdot 2},$$

где  $N$  — число вершин в исходной задаче;  $t$  — номер текущей эпохи.

Например, для первой эпохи ( $t = 1$ ) число вершин, подверженных мутации, будет равно  $N/2$ , для второй —  $N/4$ , для третьей —  $N/6$  и т. д. При достижении значения  $K \leq 1$  число вершин, подверженных мутации, будет равно единице.

Данное предположение по расчету числа мутаций обусловлено возможным обходом алгоритма ситуаций с локальным минимумом. Помимо этого в реализованной программе используется стратегия отбора, состоящая из оценки приспособленности каждой особи и нахождения средней приспособленности популяции как среднего арифметического значения приспособленности всех особей текущей эпохи. После этого рассчитывается отношение приспособленности каждой особи к среднему значению приспособленности всей популяции. Если это отношение больше либо равно единице, то особь считается хорошо приспособленной и допускается к кроссоверу. Формула отбора представлена ниже:

$$\frac{f_i}{f_{sr}} \geq 1,$$

где  $f_i$  — приспособленность  $i$ -й особи;  $f_{sr}$  — среднее арифметическое значений приспособленности всех особей текущей эпохи.

Данная стратегия отбора позволяет отбирать наиболее сильных особей и передавать их гены следующему поколению особей.

В ходе работы была спроектирована IDEF0-диаграмма, описывающая генетический алгоритм (рис. 3).

Для наглядности результатов в программе была реализована функция отображения графика зависимости наименьшего расстояния от количества итераций (рис. 4).

**Результаты.** Аналитически нельзя сделать вывод об эффективности алгоритмов, использующих один из выше представленных методов мутации. Поэтому был поставлен вычислительный эксперимент, который проводили на

трех графах различной размерности: 10, 50 и 100 вершин. В качестве условия останова во всех экспериментах было принято достижение определенного числа поколений: 5 000, 100 000 и 1 000 000. Механизмы мутации: точечная, многоточечная. Вероятность кроссинговера: 100 %. Вероятность мутации: 100 %. Количество запусков: 30. Результаты вычислительного эксперимента с различными параметрами представлены в таблице.

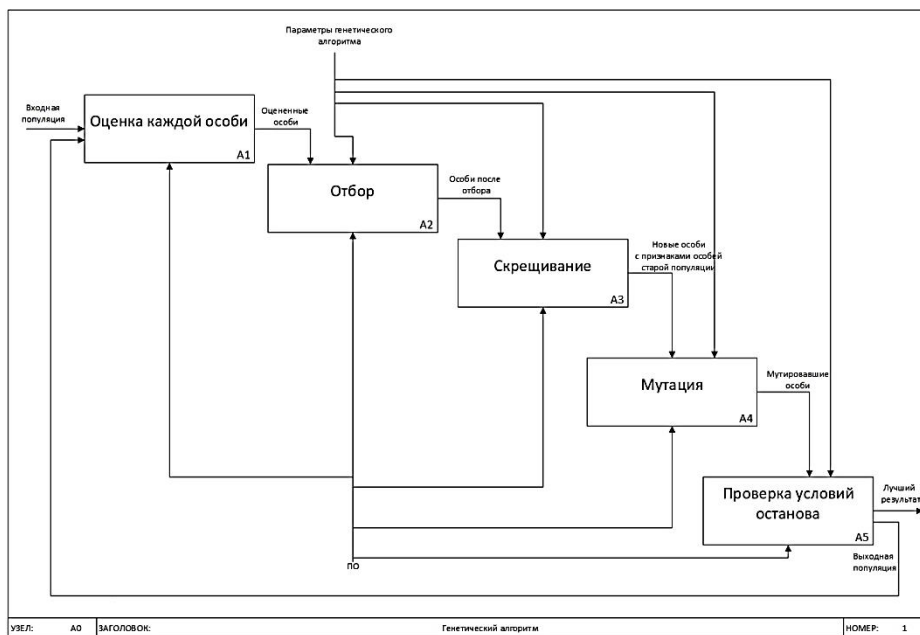


Рис. 3. Диаграмма IDEF0

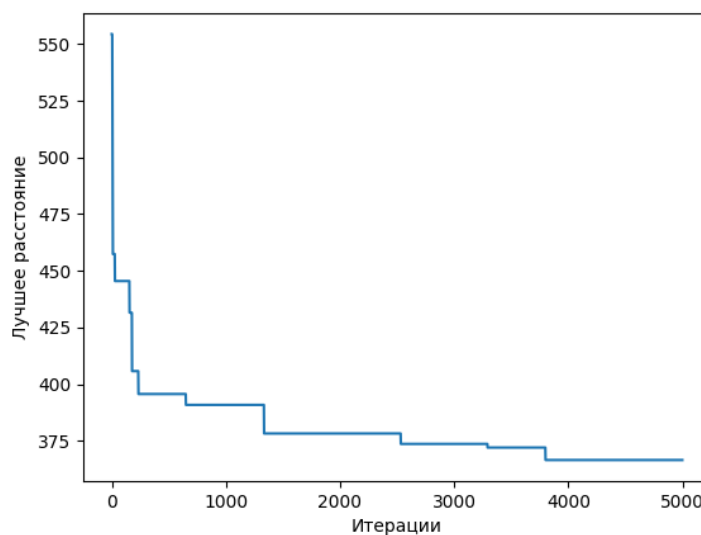


Рис. 4. График зависимости расстояния от количества итераций

### Результаты вычислительного эксперимента

Число поколений	Длина лучшего пути при точечной мутации		Длина лучшего пути при многоточечной мутации	
	Наименьшая	Средняя	Наименьшая	Средняя
	$N = 10$			
5000	23,92	25,92	23,92	26,44
100000	23,92	23,92	23,92	23,92
1000000	23,92	23,92	23,92	23,92
	$N = 50$			
5000	171,04	182,98	174,24	178,30
100000	170,89	173,42	165,50	175,02
1000000	159,89	167,16	156,02	165,37
	$N = 100$			
5000	416,30	423,71	395,99	419,03
100000	390,62	402,43	384,60	400,43
1000000	382,73	393,22	376,55	387,27

**Заключение.** В ходе выполнения данной работы с помощью программной реализации генетического алгоритма проведено исследование влияния точечной и многоточечной мутации на результаты решения задачи коммивояжера. Анализ результатов вычислительного эксперимента демонстрирует, что в задачах с малым количеством вершин алгоритмы с точечной и многоточечной мутациями имеют примерно одинаковую эффективность и вне зависимости от числа рассматриваемых поколений позволяют находить глобальное решение. При решении задачи с 50 вершинами точечная мутация показала лучший результат при количестве итераций 5 000. Однако при большем числе итераций (100 000 и 1 000 000) многоточечная мутация позволяла находить более оптимальное решение наименьшего лучшего пути, опережая точечную мутацию примерно на 2,88 %. В задаче со 100 вершинами показано, что применение модифицированной многоточечной мутации во всех экспериментах приводит к наиболее оптимальному решению, чем точечной. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при увеличении количества вершин и числа поколений предложенный механизм многоточечной мутации показал большую эффективность.

### Литература

- [1] Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., ИПИ РАН, 2011.
- [2] Мудров В.И. Задача о коммивояжере. М., Знание, 1969.
- [3] Кобак В.Г., Рудова И.Ш. Исследование влияния сильных мутаций при решении задачи коммивояжера модифицированной моделью Голдберга. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2017, № 3, с. 140–148.

- [4] Why we are transposing or reversing the directions of all arcs (edges) in the Kosaraju two pass algorithm? *quora.com: веб-сайт*. URL: <https://www.quora.com/Why-we-are-transposing-or-reversing-the-directions-of-all-arcs-edges-in-the-Kosaraju-two-pass-algorithm> (дата обращения: 13.11.2021).
- [5] Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. М., Физматлит, 2006.
- [6] Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Астрахань, Астраханский университет, 2007.
- [7] Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Нижний Новгород, ННГУ, 2007.
- [8] Вороновский Г.К., Махотило К.В. Петрашев С.Н. и др. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Харьков, Основа, 1997.
- [9] Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М., ДМК Пресс, 2004.
- [10] Протодьяконов А.В., Фомин А.Н. Швец С.Е. и др. Влияние параметров генетического алгоритма на результаты решения задачи коммивояжера. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2009, с. 105–111.

**Доманов Константин Ильич** — студент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Доманов К.И. Сравнительный анализ эффективности работы генетического алгоритма при модификации оператора мутации в задаче коммивояжера. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-760>

---

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY  
OF THE GENETIC ALGORITHM WHEN MODIFYING THE MUTATION  
OPERATOR IN THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM**

K.I. Domanov

domanovkon@mail.ru

SPIN-code: 6518-4193

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The author studied the influence of multipoint mutation on the result of the work of the genetic algorithm in solving the traveling salesman problem. In this work, the "greedy" strategy of the crossover operator and two types of mutation operators are applied, point and multipoint. A point mutation is a type of mutation in which a random vertex is selected and inserted at a random location in the sequence. The essence of multipoint mutation is to dynamically change the number of vertices subject to the mutation operation, depending on the number of vertices in the problem under consideration and the ordinal number of the current population. The software that implements this algorithm has been developed. The conducted studies have shown that algorithms with different types of mutations work approximately the same on problems of small dimension. However, with an increase in the number of vertices and the number of generations, the proposed multipoint mutation mechanism showed greater efficiency.*

**Keywords**

*Traveling salesman problem, genetic algorithm, graph, multipoint mutation, generation, extremum, vertices, algorithm efficiency, Python*

Received 24.12.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

**References**

- [1] Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V. et al. Reshenie slozhnykh zadach kommi-voyazhera metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem [Solving complex travelling salesman problem using methods of functional hybrid intelligent systems]. Moscow, IPI RAN Publ., 2011 (in Russ.).
- [2] Mudrov V.I. Zadacha o kommivoyazhere [Travelling salesman problem]. Moscow, Znanie Publ., 1969 (in Russ.).
- [3] Kobak V.G., Rudova I.Sh. Investigation of the influence of strong mutations in the solution of the traveling salesman problem by the modified Goldberg model. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, no. 3, pp. 140–148 (in Russ.).
- [4] Why we are transposing or reversing the directions of all arcs (edges) in the Kosaraju two pass algorithm? *quora.com: website*. URL: <https://www.quora.com/Why-we-are-transposing-or-reversing-the-directions-of-all-arcs-edges-in-the-Kosaraju-two-pass-algorithm> (accessed: 13.11.2021).
- [5] Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006 (in Russ.).



- [6] Panchenko T.V. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Astrakhan', Astrakhan-skiy universitet Publ., 2007 (in Russ.).
- [7] Batishchev D.I., Neymark E.A., Starostin N.V. Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadach diskretnoy optimizatsii [Application of genetic algorithms for solving problems of discrete optimization]. Nizhniy Novgorod, NNGU Publ., 2007 (in Russ.).
- [8] Voronovskiy G.K., Makhotilo K.V. Petrashev S.N. et al. Geneticheskie algoritmy, iskusstvennye neyronnye seti i problemy virtual'noy real'nosti [Genetic algorithms, artificial neural networks and virtual reality problems]. Khar'kov, Osnova Publ., 1997 (in Russ.).
- [9] Jones M.T. AI application programming. Charles River Media, 2005. (Russ. ed.: Programirovanie iskusstvennogo intellekta v prilozheniyakh. Moscow, DMK Press Publ., 2004.)
- [10] Protod'yakonov A.V., Fomin A.N. Shvets S.E. et al. Influence of genetic algorithm parameters on traveling salesman problem solving. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2009, pp. 105–111 (in Russ.).

**Domanov K.I.** — Student, Department of Computer Software and Information Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Domanov K.I. Research prototype of an electronic educational translation dictionary for students of non-linguistic specialties. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-760.html> (in Russ.).