



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Rezolvarea problemelor cu mai multe criterii  
pentru găsirea rutei optime**

**Solution of multicriteria problems of finding the  
optimal route**

**Решение многокритериальных задач поиска  
оптимального маршрута**

**Student:**

**Zvercova Xenia**

**Conducător:**

**Scorohodova Tatiana  
lect. univ.**

**Chișinău, 2020**

## ADNOTARE

Tema acestui proiect de teză este rezolvarea problemelor cu mai multe criterii pentru găsirea rutei optime. Scopul acestei lucrări este de a studia algoritmi pentru rezolvarea problemelor cu mai multe criterii pentru găsirea rutei optime cu posibilitatea de a le folosi pentru transport personal. Una dintre sarcinile principale ale proiectului este implementarea aplicației, care se bazează pe un algoritm selectat pe baza datelor comparative, care oferă utilizatorului ruta optima pe baza mai multor criterii pentru transportul personal cu o demonstrație pe hartă.

Primul capitol al tezei povestește despre problemele multicriteriale, și anume istoria, semnificația și tipurile lor. Sunt descriși doi algoritmi, și anume algoritmul lui Martin și algoritmul NAMOA\*, care vor fi luați în considerare în continuare în lucrare. Analogii aplicației dezvoltate, principalele abordări pentru modelarea informațiilor despre orarul ca o problemă a găsirii celei mai scurte rute sunt cercetate, iar conceptul de optimitate Pareto este, de asemenea, dezvăluit.

În cel de-al doilea capitol al tezei, este dată definiția unei probleme multicriteriale, sunt luate în considerare tipurile de criterii și sunt evidențiate criterii specifice care vor fi aplicate în problemă. Este dat un exemplu de soluție pentru algoritmul Martin și algoritmul NAMOA\*, după care se face o comparație pe baza implementării lor în ceea ce privește memoria petrecută și timpul petrecut în raport cu numărul de noduri și criterii. Ca rezultat, algoritmul NAMOA\* depășește algoritmul lui Martin în bine și este ales pentru a implementa aplicația.

În cel de-al treilea capitol al tezei, o aplicație este proiectată folosind diagrame UML, sunt descrise tehnologii, dintre care principalele sunt biblioteca de interfață cu utilizatorul React, Java-framework Spring, baza de date a grafurilor Neo4j, biblioteca Mapbox GL JS pentru hărți interactive, serviciul de hărți OpenStreetMap, care oferă modelul de date cu taguri necesare, de asemenea, vorbește despre etapele de dezvoltare a aplicației și descrierea funcționalității.

Ca rezultat, se obține o aplicație web care permite utilizatorului să traseze și să afișeze rută optimă conform anumitor criterii, ale căror valori sunt obținute datorită tagurilor OpenStreetMap și timpul pe care îl va lua ruta rezultată, folosind adresele de început și de final selectate.

**Cuvinte cheie:** probleme multicriteriale, optimitate Pareto, algoritmul lui Martin, algoritm NAMOA\*, OpenStreetMap.

## **ABSTRACT**

The topic of this thesis project is the solution of multicriteria problems of finding the optimal route. The aim of this work is to study algorithms for solving multicriteria problems of finding the optimal route with the possibility of using them by personal transport. One of the main tasks of the project is the implementation of the application, which is based on an algorithm selected on the basis of comparative data, which provides the user with the optimal route based on several criteria for personal transport with a demonstration on the map.

The first chapter of the thesis tells about multicriteria problems, namely their history, meaning and types. Two algorithms are described, namely Martin's algorithm and NAMOA\* algorithm, which will be further considered in the work. The analogs of the developed application, the main approaches to modeling information about the schedule as a problem of finding the shortest path are investigated, and the concept of Pareto optimality is also revealed.

In the second chapter of the thesis, the definition of a multicriteria problem is given, the types of criteria are considered, and specific criteria are highlighted that will be applied in the problem. An example of a solution for the Martin algorithm and the NAMOA\* algorithm is given, after which a comparison is made based on their implementation in terms of memory spent and time spent relative to the number of nodes and criteria. As a result, the NAMOA\* algorithm outperforms Martin's algorithm for the better and is chosen to implement the application.

In the third chapter of the thesis, an application is designed using UML diagrams, technologies are described, the main of which are the React user interface library, the Spring Java framework, the Neo4j graph database, the Mapbox GL JS library for interactive maps, the OpenStreetMap map service, which provides the model data with the necessary tags, it also describes the stages of application development and description of the functionality.

As a result, a web application is obtained that allows the user to plot and show the optimal route according to certain criteria, the values of which are obtained thanks to the OpenStreetMap tags, and the time that the resulting route will take, using the selected start and end addresses.

**Keywords:** multicriteria problems, Pareto optimality, Martin's algorithm, NAMOA\* algorithm, OpenStreetMap.

## АННОТАЦИЯ

Темой данной дипломной работы является решение многокритериальных задач поиска оптимального маршрута. Целью данной работы ставится изучение алгоритмов решения многокритериальных задач поиска оптимального маршрута с возможностью их применения для использования личным транспортом. Одной из главных задач проекта является реализация приложения, в основе которого лежит алгоритм, выбранный на базе сравнительных данных, предоставляющее пользователю оптимальный маршрут на основе нескольких критериев для личного транспорта с демонстрацией на карте.

В первой главе дипломной работы рассказывается о многокритериальных задачах, а именно их истории, смысле и типах. Описываются два алгоритма, а именно алгоритм Мартина и алгоритм NAMOA\*, которые далее будут рассматриваться в работе. Исследуются аналоги разрабатываемого приложения, основные подходы к моделированию информации о расписании как задачи поиска кратчайшего пути, а также раскрывается понятие оптимальности по Парето.

Во второй главе дипломной работы приводится определение многокритериальной задачи, рассматриваются типы критериев и выделяются конкретные критерии, которые будут применяться в задаче. Приводится пример решения для алгоритма Мартина и алгоритма NAMOA\*, после чего производится сравнение на основе их имплементации по затрачиваемой памяти и затрачиваемому времени относительно количества узлов и критериев. В результате алгоритм NAMOA\* превосходит по показателям в лучшую сторону алгоритм Мартина и выбирается для реализации приложения.

В третьей главе дипломной работы при помощи UML-диаграмм проектируется приложение, описываются технологии, главными из которых являются библиотека пользовательского интерфейса React, Java-фреймворк Spring, графовая база данных Neo4j, библиотека для интерактивных карт Mapbox GL JS, характеризуется картографический сервис OpenStreetMap, предоставляющий модель данных с необходимыми тегами, также рассказывается об этапах разработки приложения и описании функционала.

В результате получено веб-приложение, позволяющее пользователю по выбранным начальному и конечному адресу прокладывать и показывать оптимальный маршрут по определённым критериям, значения которых получены благодаря тегам OpenStreetMap, и время, которое полученный маршрут займёт.

**Ключевые слова:** многокритериальные задачи, оптимальность по Парето, алгоритм Мартина, алгоритм NAMOA\*, OpenStreetMap.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	9
<b>1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ</b> .....	10
1.1 Многокритериальные задачи .....	10
1.2 Постановка задач .....	13
1.3 Аналоги разрабатываемого приложения .....	16
1.4 Модели графов .....	20
1.5 Оптимальность по Парето .....	22
<b>2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ</b> .....	24
2.1 Определение многокритериальной задачи .....	24
2.2 Алгоритм Мартина .....	26
2.3 Алгоритм NAMOA* .....	30
2.3 Сравнение алгоритмов .....	35
<b>3 РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	40
3.1 Проектирование приложения .....	40
3.2 Используемые инструменты .....	42
3.3 Веб-картографический проект OpenStreetMap .....	48
3.4 Этапы разработки и описание приложения .....	54
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	63
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	64

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема поиска оптимального маршрута из одного узла в другой узел традиционно рассматривалась в рамках одного критерия, а именно целью ставилось определение пути, для которого либо общее время в пути, либо общее расстояние сведены к минимуму. В реальных же условиях чаще всего недостаточно применить один критерий для поиска наилучшего маршрута. В таком случае на помощь приходят многокритериальные задачи. В данной работе проводятся исследование и анализ алгоритмов решения многокритериальных задач для нахождения оптимального маршрута.

В век, в котором господствуют информационные технологии, самым важным ресурсом всё же остаётся время. Регулярно сообщается о научно-технических достижениях, о внедрении новых и совершенствовании старых программных продуктов, - всё это призвано упростить жизнь человека, сделать её комфортной, предоставить возможность выполнить необходимые задачи быстрее, тем самым сэкономить время. К этому относится и задача поиска оптимального маршрута, с которой человек сталкивается практически каждый день.

Каждый год наблюдается рост загрузки транспортных сетей, что обусловлено неподготовленностью дорожной инфраструктуры к нынешним потокам транспортных средств, вызванных их всё большим приумножением. Таким образом, решение навигационных задач является актуальной темой, а именно относящихся к задачам выбора оптимального маршрута на личном транспорте, что создаст условия быстрого и удобного ориентирования на местности.

В данной работе рассматриваются примеры навигационных приложений, анализируются их положительные и отрицательные стороны, исследуются алгоритмы решения многокритериальных задач для нахождения оптимального маршрута, которые можно применить для использования личного транспорта, производится сравнение этих алгоритмов на основе их практической реализации, изучаются основные подходы моделирования информации о расписании общественного транспорта как задачи поиска кратчайшего пути. Результатом работы является приложение, в основе которого лежит выбранный алгоритм нахождения оптимального маршрута из одной точки в другую для личного транспорта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. КНОА, V. D., PHAM T.V., NGUYEN H.T., HOAI T.V. Multi-criteria Route Planning in Bus Network [Электронный ресурс]. Vietnam, Ho Chi Minh City: 13th IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM), 2014 [цитирован 10.09.2020]. Режим доступа: <https://hal.inria.fr/hal-01405639/document>
2. GOOGLE MAPS [software]. [цитирован 15.09.2020]. Режим доступа: <https://www.google.com/maps>
3. ЯНДЕКС КАРТЫ [software]. [цитирован 15.09.2020]. Режим доступа: <https://yandex.com/maps>
4. SCHULZ, Frank. Timetable Information and Shortest Paths [Электронный ресурс]. [цитирован 12.09.2020]. Режим доступа: <https://d-nb.info/1001586921/34>
5. ЖЕЛЕЗОВ, Роман. Разработка и исследование информационно-справочной системы поиска оптимальных путей проезда на пассажирском транспорте [Электронный ресурс]. [цитирован 15.09.2020]. Режим доступа: [https://static.freereferats.ru/\\_avtoreferats/01004271811.pdf](https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01004271811.pdf).
6. GANDIBLEUX, X., BEUGNIES, F., RANDRIAMASY, S. Martins' algorithm revisited for multi-objective shortest path problems with a MaxMin cost function [Электронный ресурс]. [цитирован 17.09.2020]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/220340106\\_Martins'\\_algorithm\\_revisited\\_for\\_multi-objective\\_shortest\\_path\\_problems\\_with\\_a\\_MaxMin\\_cost\\_function](https://www.researchgate.net/publication/220340106_Martins'_algorithm_revisited_for_multi-objective_shortest_path_problems_with_a_MaxMin_cost_function)
7. PULIDO, Francisco-Javier. New Techniques and Algorithms for Multiobjective and Lexicographic Goal-Based Shortest Path Problems [Электронный ресурс]. GRIN Verlag, 2015. ISBN: 978-3-668-13249-8 [цитирован 19.09.2020]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/291790729\\_New\\_Techniques\\_and\\_Algorithms\\_for\\_Multiobjective\\_and\\_Lexicographic\\_Goal-Based\\_Shortest\\_Path\\_Problems](https://www.researchgate.net/publication/291790729_New_Techniques_and_Algorithms_for_Multiobjective_and_Lexicographic_Goal-Based_Shortest_Path_Problems)
8. MANDOW, Lawrence, PEREZ DE LA CRUZ, Jose-Luis. A note on the complexity of some multiobjective A\* search algorithms [Электронный ресурс]. [цитирован 23.09.2020]. Режим доступа: <http://www.lcc.uma.es/~perez/ntidapa/ecai2010.pdf>
9. DEMEYER, S., GOEDGEBEUR, J, AUDENAERT, P., PICKAVET, M., DEMEESTER, P., Speeding up Martins' algorithm for multiple objective shortest path problems [Электронный ресурс]. [цитирован 23.09.2020]. Режим доступа: <https://biblio.ugent.be/publication/4410352/file/4410359.pdf>

10. MANDOW, Lawrence, PEREZ DE LA CRUZ, Jose-Luis. A New Approach to Multiobjective A\* Search [Электронный ресурс]. [цитирован 24.09.2020]. Режим доступа: <https://www.ijcai.org/Proceedings/05/Papers/0867.pdf>
11. HANSEN, Pierre. Bicriterion path problems [Электронный ресурс]. [цитирован 25.09.2020]. Режим доступа: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-48782-8\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-48782-8_9)
12. MARTINS, Queiros Vieira. On a multicriteria shortest path problem. European Journal of Operational Research [Электронный ресурс]. 1984, стр. 236-245 [цитирован 23.09.2020]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221784900778>
13. STEWART, Bradley, WHITE, Chelsea. Multiobjective A\*. Journal of the ACM [Электронный ресурс]. 1991, стр. 775–814 [цитирован 25.09.2020]. Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/115234.115368>
14. CODERLESSONS: Neo4j — Краткое руководство. Информационная платформа, ©2020 [цитирован 09.11.2020]. Режим доступа: <https://coderlessons.com/tutorials/bazy-dannykh/uznaite-neo4j/neo4j-kratkoe-rukovodstvo>
15. BENNET, Jonathan. OpenStreetMap. [Электронный ресурс]. Packt Publishing, 2010. ISBN: 978-1-84719-750-4 [цитирован 21.11.2020]. Режим доступа: <https://www.scribd.com/book/272070088/OpenStreetMap>