

А. А. Коротышева, студент магистратуры, ania.korotishewa@yandex.ru,
С. Н. Жуков, доц. канд. физ.-мат. наук, jsn@rf.unn.ru,
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Реализация алгоритмов дополненной реальности в навигации автомобильного транспорта с использованием открытых сервисов

Предложен алгоритм визуализации навигационной информации для управления автомобилем в виде объектов дополненной реальности (augmented reality, AR). Работа алгоритма реализуется с использованием открытых сервисов OpenStreetMap и OSRM. На основе полученных от сервисов данных формируется карта, выполняется построение и оптимизация маршрута. Предоставление водителю навигационной информации в виде объектов AR на лобовом стекле автомобиля, интегрированных в дорожную обстановку, обеспечивает ее контекстное восприятие и повышает удобство использования навигационной системы.

Ключевые слова: информационные технологии, дополненная реальность, AR, алгоритмы визуализации, геоинформационные данные, геоинформационные системы, GIS, построение маршрута, HUD

Введение

В современном мире для построения маршрутов движения водители автомобильного транспорта вместо обычных бумажных карт используют навигаторы, предоставляющие информацию о местоположении транспортного средства, основанную на данных геоинформационных систем (ГИС) [1]. При этом частое переключение внимания водителя на навигатор отвлекает его от дорожной обстановки и порождает проблему безопасности движения.

Одним из перспективных направлений применения информационных систем в этой сфере является применение технологии дополненной реальности (augmented reality, AR) [2] в виде проекции информации на лобовое стекло автомобиля либо на полупрозрачный экран перед лобовым стеклом. Такой способ вывода информации называется технологией HUD (*head-up display*, проекционный дисплей) [3]. Навигационная информация, предоставляемая непосредственно на уровне направления взгляда на дорогу, легко воспринимается водителем, не отвлекая его внимания от дорожной ситуации.

Таким образом, разработка и применение алгоритмов дополненной реальности в системах навигации автомобильного транспорта является актуальной задачей, позволяющей решать проблему повышения безопасности дорожного движения.

В настоящее время в мире широко проводятся исследования по совершенствованию технологии HUD и ее внедрению в системы автомобильной навигации, однако существующие навигационные системы с HUD обладают высокой стоимостью и доступны

только для премиального сегмента автомобильной промышленности.

В целях создания недорогих вариантов эффективных работающих навигационных систем в данной работе предложен программно реализованный алгоритм визуализации объектов с динамическими параметрами, функционально зависящими от геоинформационных данных, использующий открытые сервисы формирования карты и построения маршрута.

Применение дополненной реальности в автомобиле

Дополненная реальность представляет собой технологию интеграции виртуальных объектов в реальную обстановку. В применении к автомобильной навигации этот процесс заключается во встраивании (наложении) виртуальных объектов, например, стрелок — указателей направления с прозрачным окружением в дорожную обстановку за лобовым стеклом путем их проецирования непосредственно на стекло (рис. 1).

Отличительными особенностями предложенного алгоритма для навигационной системы автомобиля являются:

- формирование карты и построения маршрута с использованием открытых сервисов OSRM (Open Street Routing Machine) и OpenStreetMap [4, 5];
- система геопространственных слоев, позволяющая объединять и рекомбинировать данные из различных веб-сервисов в единую карту;
- обработка в режиме реального времени геоинформационных данных, построение и оптимизация

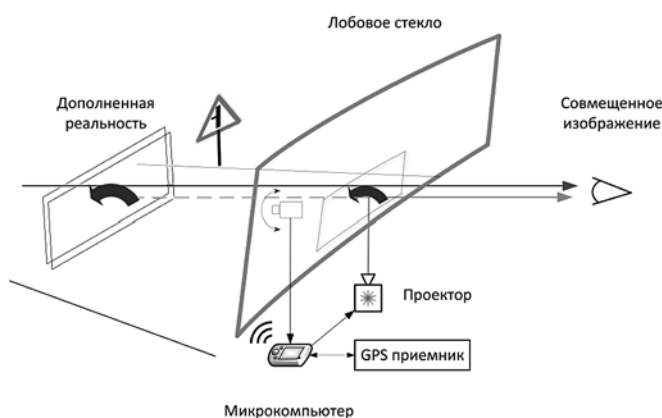


Рис. 1. Навигационная система автомобиля с HUD

маршрута с последующей визуализацией навигационной информации;

— интерактивный интерфейс представления водителю навигационной информации на основе технологии дополненной реальности в виде проекции на лобовое стекло автомобиля, что значительно повышает уровень информативности и комфорта использования навигационной системы [6].

Алгоритм построения маршрута

Основная задача ГИС — построение оптимального маршрута движения транспортного средства (по нескольким точкам). Ключевыми критериями оценки задачи могут выступать минимизация расстояния между точками маршрута, минимизация общего времени прохождения маршрута или их комбинация.

Дорожную сеть, состоящую из местных дорог, городских улиц и магистралей, при поиске маршрута можно представить в виде графа, где ребра — это дороги, а вершины — перекрестки, промежуточные и конечные точки.

Обычно в качестве алгоритмов маршрутизации применяют известные алгоритмы Дейкстры или A* [7, 8]. Логическое условие выполнения алгоритма Дейкстры определяется выражением

$$d[v] = \min_{p: u[p]=\text{false}} d[p],$$

где $d[v]$ — текущая длина кратчайшего пути из s в v для вершины v ; $u[p]$ — булевский массив, в котором сначала все узлы не помечены (значение элементов — false), а на очередной итерации выбирается вершина v с самым маленьким значением $d[v]$ среди тех, которые еще не помечены. Выбранная вершина отмечается помеченной, после чего на текущей итерации из вершины v выполняются релаксации — просматриваются все ребра (v, t_0) , которые исходят из вершины, причем для каждого узла алгоритм пробует улучшить значение $d[t_0]$:

$$d[t_0] = \min(d[t_0], d[v] + \text{len}),$$

где len — длина текущего ребра. В конечном итоге после n итераций все узлы станут помеченными, а алгоритм завершит работу.

Порядок обхода вершин в алгоритме A* определяется функцией

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где $f(n)$ — минимальная стоимость перехода в соседний узел; $g(n)$ — стоимость пути от начальной вершины до любой другой; $h(n)$ — эвристическое приближение стоимости пути от узла n до конечного узла.

В данной работе для построения маршрутов выбран маршрутный сервис OSRM, который просчитывает и возвращает оптимальные маршруты в условиях переданных ему координат. Сервис OSRM поставляется с открытым исходным кодом, использующим более производительный алгоритм маршрутизации Contraction Hierarchies [9].

Алгоритм Contraction Hierarchies позволяет ускорить вычисление кратчайших путей графа в среднем в 47 раз в сравнении с алгоритмом Дейкстры [10], требует меньше памяти при обработке и состоит из двух стадий.

Первая стадия — это стадия препроцессинга: вершины сортируются в каком-либо жестком порядке, далее проводится предварительная обработка графа, представляющая процесс сжатия узлов графа по одному за проход. Чтобы выполнить сжатие, вычисляется кратчайший путь между ближайшими соседями узла, на них размещаются метки и узел помечается как обработанный. В дальнейшем эта информация используется при построении маршрута или его перестроении, исходя из новых данных, что позволяет ускорить выполнение отдельных обращений (запросов) к графу и более эффективно использовать память компьютера.

Появление дополнительной информации, например, об аварии или пробке на участке дороги, которые увеличивают время проезда по данному участку, меняет вес ребер и приоритеты меток, что запускает процесс повторной обработки этого узла.

Вторая стадия — стадия запроса: с начальной и конечной точек маршрута запускается двусторонний алгоритм Дейкстры с условием, что волны идут только вверх по иерархии (когда они встретятся — путь найден), далее последовательно восстанавливаются сокращенные ребра (рис. 2, см. четвертую сторону обложки).

Штриховыми линиями на рис. 2 показаны ребра, которые сокращаются при первой волне прохождения по графу. Сплошными линиями — ребра, которые сокращаются при второй волне прохождения по графу. Зеленые стрелки показывают процесс сжатия — замены двух последовательных ребер одним. Красным цветом выделен итоговый маршрут.

В качестве источника геоинформационных данных при реализации алгоритма визуализации объектов дополненной реальности был выбран OpenStreetMap — проект с открытым исходным кодом, который является аналогом плиточных картографических сервисов, используемых такими систе-

мами, как OpenLayers. OpenStreetMap содержит глобальные векторные данные на уровне улиц и других пространственных объектов, а также предоставляет возможность обращения к точкам маршрута по специфической нумерации российских адресов. Данная картографическая база бесплатна и может быть использована для коммерческих целей, в отличие от Яндекс- и Гугл-карт.

Структуры и форматы геопространственных данных

Геопространственные данные в настоящее время представляются в десятке форматов файлов и структур баз данных и продолжают развиваться и расти, включая новые типы данных и стандарты. При этом данные могут быть как в растровом формате, так и в векторном. В предложенном алгоритме используются векторные данные, что связано с их компактностью, большой точностью и легкостью управления. Обеспечивается поддержка наиболее распространенных стандартов, например:

- shape-файл (файл фигур) — открытая спецификация, разработанная ESRI "Институт исследования систем окружающей среды";

- Coverage (пространственное покрытие) компании ESRI для хранения географических объектов в виде точек, дуг и многоугольников со связанными с ними таблицами атрибутов;

- Simple Features (простые геообъекты) — стандарт OpenGIS для хранения географических данных (точек, линий и многоугольников) вместе со связанными с ними атрибутами.

При описании отдельных сегментов геоданных обычно используются несколько распространенных микроформатов, таких как:

- WKT (Well-known Text) — текстовый формат для представления одного географического объекта, такого как многоугольник или ломаная;

- GeoJSON — открытый формат для кодирования географических структур данных, который основан на формате для обмена данными JSON;

- GML (Geography Markup Language), или язык географической разметки, — открытый стандарт на основе XML для обмена данными ГИС.

В рабочей программе для обмена данными с ГИС используется библиотека json и формат GeoJSON, отличающийся простотой интерпретации, описание объектов в нем определяется наборами типовых свойств вида "ключ/значение".

Существует несколько перечисленных далее подходов рендеринга в зависимости от формата геоданных, которые имеют различную поддержку среди готовых библиотек (сервисов).

- ◇ Локальная трансформация OSM XML (.osm) файлов формата shp в SVG, BMP, PNG. Такой подход используется, например, настольной программой рендеринга Maperitive, работающей под операционными системами Windows, Linux, Mac.

- ◇ Загрузка слоев, однократный рендеринг. Поддерживается проектами Osmarender, Kosmos, Maposmatic, CartoType и др.

- ◇ Генерация набора статичных тайлов. Поддерживается Mapnik (требуется PostgreSQL и различные библиотеки C++), Pyrender и др.

В описываемом алгоритме используется концепция мэшапа [11], представляющая систему геопространственных слоев, которая позволяет пользователю объединять и рекомбинировать данные из различных веб-сервисов в единую карту.

Алгоритм визуализации дополненной реальности

При построении маршрута определяются начальная и конечная координаты маршрута (рис. 3), их значения обрабатываются и передаются в маршрутный сервис OSRM. Для определения координат используется приемник GPS спутниковой системы навигации [12].

Расчет расстояния между точками маршрута проводится по формуле гаверсинусов, чтобы избежать проблем с небольшими расстояниями:

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right\},$$

где $\phi_1, \lambda_1; \phi_2, \lambda_2$ — широта и долгота двух точек в радианах; $\Delta\lambda$ — разница координат по долготе; $\Delta\sigma$ — угловая разница.

Начальный азимут от начальной точки к конечной точке вычисляется по формуле

$$\theta = \operatorname{atan} 2(\sin \Delta\lambda \cos \phi_2, \cos \phi_1 \sin \phi_2 - \sin \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda).$$

Скаченные с серверов OpenStreetMap тайлы (фрагменты карты, характеризующиеся тремя переменными: x, y — координаты верхнего левого угла фрагмента; z — размер масштабирования) объединяются в карту, затем полученные координаты переводятся в систему координат карты и визуализируются посредством 2D-графики.

Поступающий от видеокamеры видеопоток подвергается обработке. Проводится последовательный захват видеокadров и их декодирование. Затем полученные данные поступают в функцию отрисовки объекта, в которой проводится обработка и анализ каждого кадра. Вычисляется маска объекта, его растяжение и поворот, что позволяет однозначно задать положение объекта в пространстве. Затем объект выводится на экран с помощью графической библиотеки.

Для наложения объекта на кадр установим маску на растровое изображение, т. е. объединим маску с альфа-каналом растрового изображения. Тогда значение пикселя 1 на маске означает, что пиксель пиксельного изображения остается неизменным; значение 0 означает, что пиксель прозрачен. При этом маска должна иметь тот же размер, что и это пиксельное изображение. Таким образом, реализуется операция альфа-смешивания (*alpha blending*) — наложение изображений друг на друга в целях создания эффекта частичной прозрачности или вычисление взвешенной суммы двух массивов:

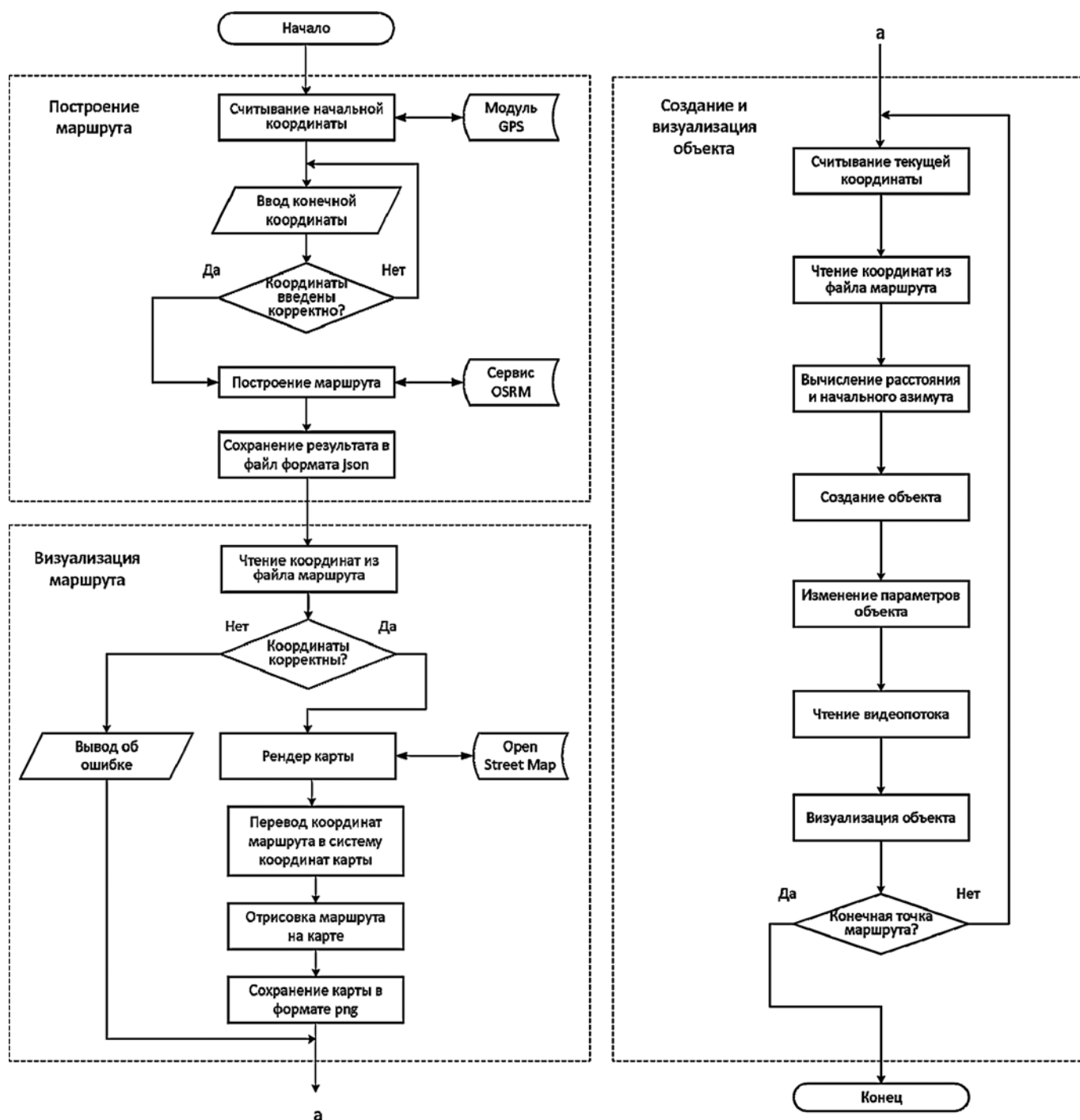


Рис. 3. Алгоритм визуализации объектов дополненной реальности

$$dst = src_1 * alpha + src_2 * beta + gamma,$$

где src_1 — первый исходный массив; $alpha$ — вес элементов первого массива; src_2 — второй исходный массив; $beta$ — вес элементов второго массива; $gamma$ — добавочное значение к каждой сумме; dst — массив для сохранения результата.

Рассмотренный алгоритм визуализации объектов дополненной реальности запрограммирован в коде,

с использованием которого реализуется навигация автомобиля. При задании точек маршрута сначала в соответствии с алгоритмом строится оптимальный граф. При изменении координат маршрута граф перестраивается. Пример части смоделированного графа представлен на рис. 4, где обозначение вершин графа соответствует координатам точек маршрута.

Одновременно с формированием карты и построением графа на экран в режиме реального времени

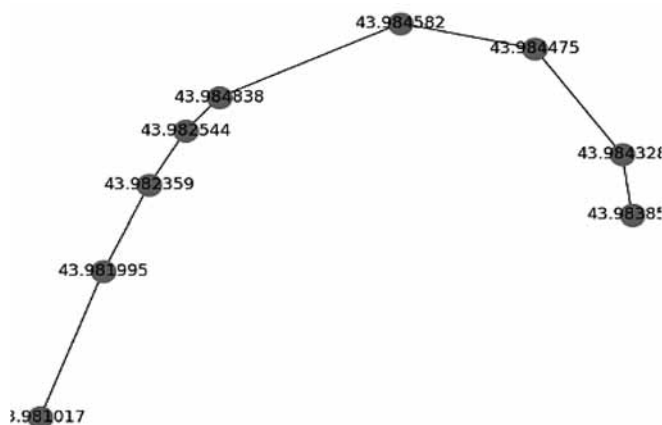


Рис. 4. Результаты моделирования — граф маршрута

выводится видеопоток с изменяющимся изображением дороги, полученный от видеокамеры, а также дополнительный слой с визуализацией направления движения по заданному маршруту в виде подсказок — стрелок-указателей (рис. 5, см. четвертую сторону обложки).

Заключение

Создан и опробован алгоритм визуализации объектов с динамическими параметрами, функционально зависящими от геоинформационных данных, с использованием открытых сервисов OSRM и OpenStreetMap. Интерактивный интерфейс программы визуализации дополненной реальности с проекцией на лобовое стекло автомобиля обладает интегрированным эффектом от совмещения преимуществ навигационных систем и сервисов геоинформационных данных. Предложенный алгоритм

может быть использован в программном обеспечении системы навигационного оснащения автомобиля для повышения удобства ее использования и обеспечения безопасности движения.

Список литературы

1. Капралов Е., Кошкарев А., Тикунов В. и др. Геоинформатика. М.: Academia, 2010. 400 с.
2. Смолин А. А., Жданов Д. Д., Потемин И. С., Меженнин А. В., Богатырев В. А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности. Уч. пос. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. 59 с.
3. Charissis V., Papanastasiou S. Human-machine collaboration through vehicle head up display interface // Cogn. Tech. Work. 2010. Vol. 12. P. 41–50.
4. OSRM API Documentation URL: <http://project-osrm.org/docs/v5.22.0/api/#general-options>
5. OpenStreetMap — wiki-карта мира. URL: <https://www.openstreetmap.org/>
6. Горячкин Б. С., Гаранов К. В., Бгатцев А. В. Повышение эргономичности транспортных средств путем внедрения проекционных дисплеев // E-Scio. 2020. № 6 (45). С. 104–118.
7. Dijkstra E. W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs // Numerische Mathematik. 1959. Vol. 1. P. 269–271.
8. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4. 1968. Vol. 2. P. 100–107.
9. Geisberger R., Sanders P., Schultes D., Delling D. Contraction Hierarchies: Faster and Simpler Hierarchical Routing in Road Networks // Proceedings of the 7th Workshop on Experimental Algorithms (WEA'08). 5038 of Lecture Notes in Computer Science. 2008. P. 319–333.
10. Ураков А. Р., Тимеряев Т. В. Алгоритм поиска кратчайших путей для разреженных графов большой размерности // Прикладная дискретная математика. 2013. № 1 (19). С. 84–92.
11. Yee R. Pro Web 2.0 Mashups: Remixing data and web services. New York: Apress, 2008. 603 p.
12. u-blox 5 NMEA, UBX Protocol Specification. URL: [https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/u-blox5_Protocol_Specifications\(GPS.G5-X-07036\).pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/u-blox5_Protocol_Specifications(GPS.G5-X-07036).pdf)

Implementation of Augmented Reality Algorithms in Road Transport Navigation using Open Services

A. A. Korotysheva, ania.korotishewa@yandex.ru, S. N. Zhukov, jsn@rf.unn.ru, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

Corresponding author:

Korotysheva Anna A., Master's Degree Student, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation
E-mail: ania.korotishewa@yandex.ru

Received on September 24, 2021
Accepted on November 17, 2021

In the modern world, vehicle drivers use geographic information systems (GIS) — based navigators instead of the conventional paper maps to build traffic routes. One of the promising branches in this area is the use of augmented reality (AR) technology and head-up display (HUD) technology in the form of information projection onto the windshield of a car. The development and implementation of augmented reality algorithms together with the implementation of HUD technology is an urgent task to solve the problem of improving road safety. The objective of the study is to

optimize the algorithm for constructing traffic routes for a car using geographic information services and augmented reality technology with projection of information onto the windshield of a car. In the present paper, an algorithm for visualizing objects with dynamic parameters functionally dependent on geographic information data using OpenStreetMap and OSRM (Open Street Routing Machine) services is proposed and implemented as a software. Features of route optimization in OSRM based on efficient Contraction Hierarchies algorithm are shown, which has a number of advantages compared to commonly used Dijkstra and A* route construction algorithms — higher speed, less memory requirements, a relatively fast preprocessing. The simulation results are provided. Possibilities and prospects of using the proposed algorithm in the software of the vehicle navigation system are presented. The developed algorithm using geographic information services and augmented reality technology with the projection of information onto the windshield of a car makes it possible to optimize the route construction process. The interactive interface of the augmented reality visualization program with the projection of route indicators and other important information onto the windshield of a car has the integrated effect of combining the advantages of AR, HUD technologies and geographic information services. The use of the interface in the vehicle navigation system will help to improve traffic safety.

Keywords: information technology, object visualization, augmented reality, visualization algorithms, geographic information data, geographic information system, graphic primitives

For citation:

Korotysheva A. A., Zhukov S. N. Implementation of Augmented Reality Algorithms in Road Transport Navigation Using Open Services, *Programnaya Ingeneria*, 2022, vol. 13, no. 2, pp. 88—93.

DOI: 10.17587/prin.13.88-93

References

1. **Kapralov E. G., Koshkarev A. V., Tikunov V. S.** et al. *Geoinformatics*, Moscow, Academiya, 2010, 400 p. (in Russian).
2. **Smolin A. A., Zhdanov D. D., Potemin I. S., Mezhenin A. V., Bogatyrev V. A.** *Virtual, augmented, and mixed reality systems*, Saint-Petersburg, University ITMO, 2018, 59 p. (in Russian).
3. **Charissis V., Papanastasiou S.** Human—machine collaboration through vehicle head up display interface, *Cognition Technology and Work*, 2010, vol. 12, pp. 41—50.
4. **OSRM API Documentation**. September 14, 2021, available at: <http://project-osrm.org/docs/v5.22.0/api/#general-options>
5. **OpenStreetMap** — site of world map wiki. September 14, 2021, available at: <https://www.openstreetmap.org> (in Russian).
6. **Goriachkin B. S., Garanov K. V., Bgattsev A. V.** Improving the ergonomics of vehicles by introducing projection displays, *E-Scio*, 2020, no. 6 (45), pp. 104—118 (in Russian).
7. **Dijkstra E. W.** A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, *Numerische Mathematik*, 1959, vol. 1, pp. 269—271.
8. **Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B.** A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4*, 1968, vol. 2, pp. 100 — 107.
9. **Geisberger R., Sanders P., Schultes D., Delling D.** Contraction Hierarchies: Faster and Simpler Hierarchical Routing in Road Networks, *Proceedings of the 7th Workshop on Experimental Algorithms (WEA'08)*, 5038 of Lecture Notes in Computer Science, 2008, pp. 319—333.
10. **Urakov A. R., Timeryaev T. V.** All-Pairs Shortest Paths Algorithm for Highdimensional Sparse Graphs, *Prikladnaya diskretnaya matematika*, 2013, no. 1 (19), pp. 84—92 (in Russian).
11. **Yee R.** *Pro Web 2.0 Mashups: Remixing data and web services*, New York, Apress, 2008, 603 p.
12. **u-blox 5 NMEA, UBX Protocol Specification**. September 14, 2021, available at: [https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/u-blox5_Protocol_Specifications\(GPS.G5-X-07036\).pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/u-blox5_Protocol_Specifications(GPS.G5-X-07036).pdf)

Рисунки к статье А. А. Коротышевой, С. Н. Жукова
«РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ
В НАВИГАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ СЕРВИСОВ»

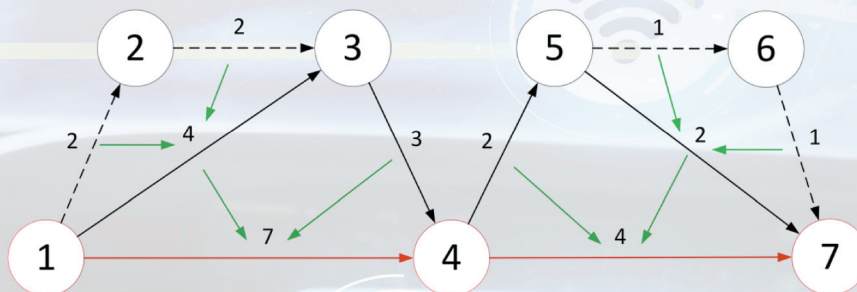


Рис. 2. Пример построения алгоритма Contraction Hierarchies



Рис. 5. Визуализация объекта дополненной реальности