

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Д.А. Шибанова

daria-artiste@mail.ru

SPIN-код: 5604-0288

Ю.В. Строганов

stroganovyv@bmstu.ru

SPIN-код: 9165-1034

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

---

### Аннотация

Рассмотрена задача моделирования транспортного потока с использованием графовой базы данных для описания перемещений. Перед моделированием был проведен анализ существующих подходов, на основе которого составлен алгоритм для решения поставленной задачи. В работе выдвинута гипотеза, что описание дорожной системы можно корректно выполнить с использованием графовой базы данных NoSQL. Для этой цели была выбрана система управления графовыми базами данных Neo4j. При реализации решения были проведены эксперименты по определению времени отклика графовой базы данных на различные запросы при различных форматах данных. Анализ результатов показал, что для начального формирования графа в графовых базах данных требуется длительное время. Для выполнения такого запроса нужно на порядок больше времени, чем для реализации запросов других типов (максимальное время поиска составило около 23 % времени формирования графа), поэтому оптимальным решением проблемы временных затрат может быть исключение этапа подготовки карты из этапа непосредственного моделирования.

### Ключевые слова

Моделирование, дорожное движение, транспортный поток, графовая база данных, время отклика, карта дороги, нереляционные базы данных, система массового обслуживания

Поступила в редакцию 24.12.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

**Введение.** Системы моделирования востребованы в оценке пропускной способности участков дороги, определении влияния на экологию [1], построении маршрутов [2], расчете использования транспортной системы для эвакуации в чрезвычайной ситуации [3], поскольку они позволяют сократить затраты.

Несмотря на большое количество систем автоматизированного проектирования (среди которых Aimsun, TSIS-CORSIM, TransModeler и др.) и огромного предоставляемого ими функционала для моделирования транспортного потока, решение задачи с учетом платных дорог все еще является актуальной проблемой. Кроме того, значительная часть решений не является кроссплатформенной и ориентируется исключительно на операционные системы семейства Windows.

Помимо разработки фреймворков (программного обеспечения, позволяющего объединить компоненты в большой программный проект с широким

функционалом) ведутся исследования в области моделей и методов моделирования транспортного потока: принятие во внимание немоторизованных транспортных средств на примере стран Азии [4, 5], смешанный транспортный поток с учетом особенностей дороги [6], применение вероятностных методов для управления заторами [7].

**Постановка проблемы.** Моделирование поведения участников транспортного движения декларативным образом позволит экспертам быстрее апробировать модели. Создание системы определения следующего состояния модели — чересчур сложная и медленная задача, однако ее можно упростить и ускорить, переложив часть решения на систему управления базами данных (СУБД).

Дорога может быть представлена графом и, соответственно, в качестве СУБД может использоваться графовая база данных (БД). Разделим дорогу на участки — зоны, для которых характерна единая модель движения. Каждую зону дополнительно опишем с помощью направления движения и влияющих на нее правил.

Для реализации программного обеспечения предварительно необходимо описать алгоритм функционирования системы.

**Описание алгоритма в графической нотации IDEF0.** Воспользуемся для описания алгоритма графической нотаций IDEF0. На рис. 1 представлен верхний уровень. Входными данными служат скорость движения, время обработки в очереди и маршрут, выходными — характеристики прохождения участка по времени. Управлением являются дорожные знаки, разметка и карта, механизмы в представленной схеме отсутствуют.

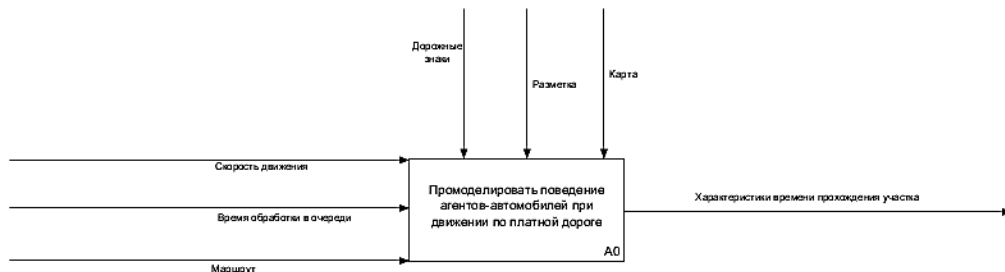


Рис. 1. Верхний уровень IDEF0

Детализация верхнего уровня в результате декомпозиции на три основные задачи показана на рис. 2. Такой подход позволяет универсализировать решение, чтобы его можно было использовать для моделирования на бесплатных дорогах, ограничиваясь только изменением входных данных модели без изменения общей логики алгоритма.

Процесс обработки очередей в пунктах оплаты (декомпозиция блока А1) показан на рис. 3. В целом процесс можно подразделить на три основных шага:

- 1) определение характеристик пунктов оплаты;
- 2) формирование подхода к выбору машинной очереди (описание критериев выбора агентов очереди, в которую ему требуется добавиться);
- 3) реализация FIFO-алгоритма для каждого пункта оплаты.

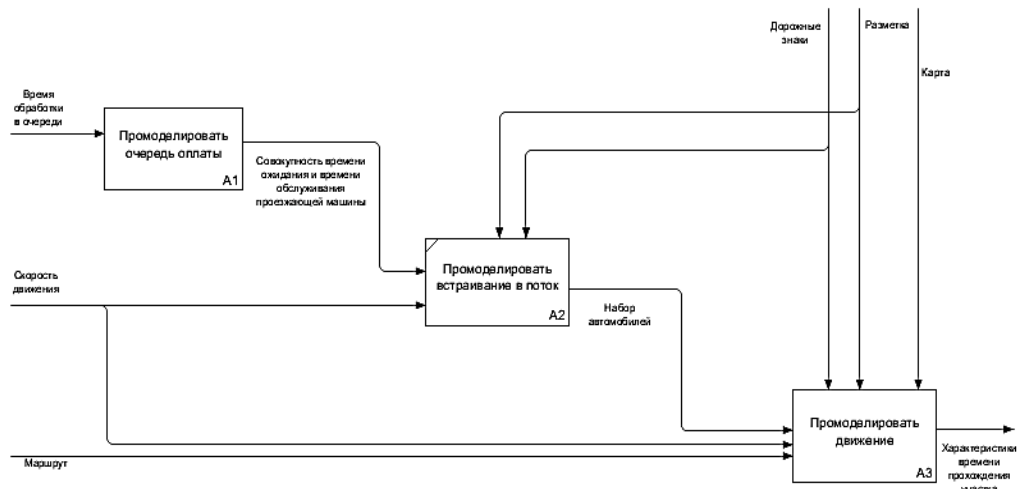


Рис. 2. Детализация верхнего уровня

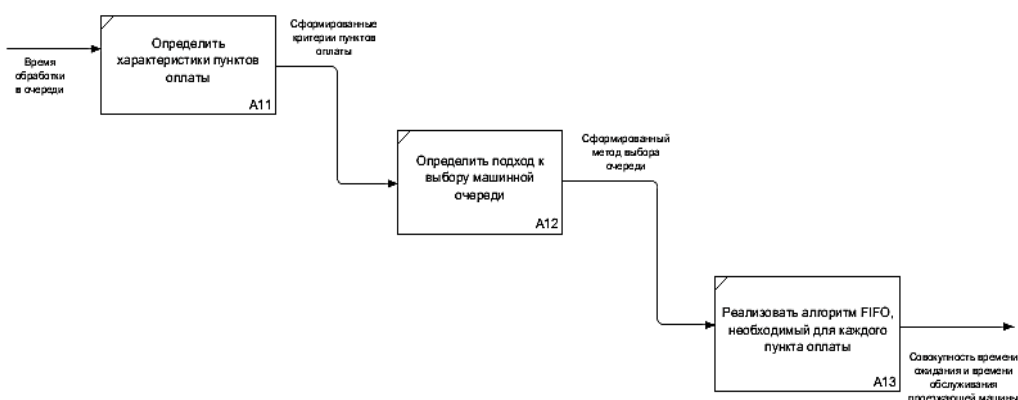


Рис. 3. Работа с очередями в пунктах оплаты

Декомпозиция задачи моделирования движения на разных участках показана на рис. 4. В целом их можно условно подразделить на простые и сложные. Простым участком принято считать такой, на котором происходит движение по однонаправленному участку, сложным — на котором расположены различные виды перекрестков.

Существуют различные методы описания движения, в работе для этой цели рассматривали подход, совмещавший в себе кинематическое описание, макроскопические модели и сетей Петри. Значительным отличием решения задачи от существующих решений является то, что для хранения сведений о дороге и агентах транспортного потока использована графовая база данных NoSQL.

**Графовое хранение дорожной карты и перемещений.** На основе проведенного анализа выдвинуто предположение, что в качестве системы управления базами данных стоит использовать графовые базы данных из-за формата сведе-

ний о дороге. Одной из развиваемых систем управления является система управления графовыми базами данных Neo4j. Осенью 2019 г. к графовой базе данных Neo4j было выпущено дополнение Neomaps [8], которое позволяет работать с географическими данными. Оно функционирует в двух режимах, простом и расширенном. Для них актуален единый формат работы с картой:

- обрабатываются данные широты и долготы;
- при работе с картой можно добавить маркировку — узлы задаваемого цвета со всплывающей подсказкой;
- можно также формировать тепловые карты — карты, на которых с помощью цвета отображается плотность меток в определенной области.

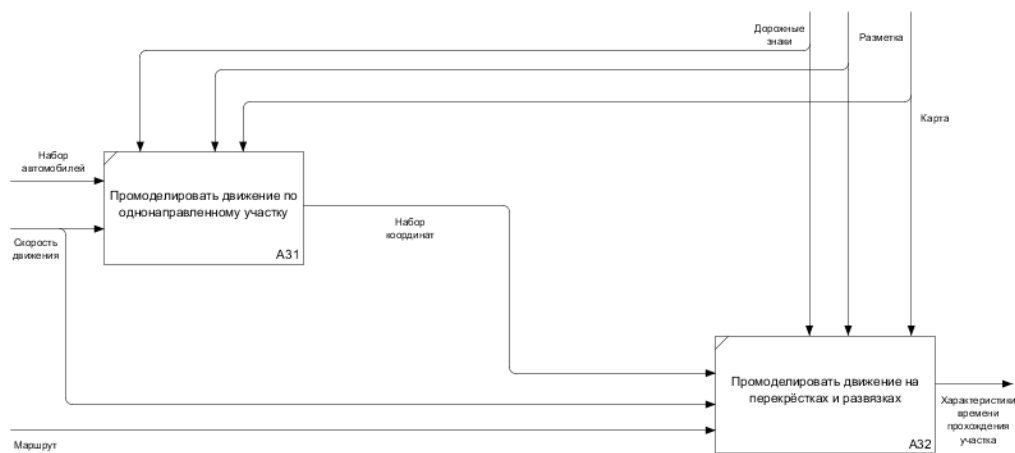


Рис. 4. Движение по участку дороги.

Версия данного независимо компилируемого программного модуля от 27 февраля 2020 г. предоставляет дополнительные возможности, среди которых отображение полилиний (сложных примитивов, состоящих из одного или нескольких связанных между собой прямолинейных и дуговых сегментов) между узлами карт. Автор Neomaps приводит пример возможностей обновленной версии через задачу формирования кратчайшего пути [9]. Для этого считывается карта из OpenStreetMap, в которой отмечаются ключевые точки, соединяемые прямолинейными сегментами.

Очевидно, что при таком хранении не может учитываться область действия дорожных знаков и дорожной разметки, соответственно, использование независимо компилируемого программного модуля наложит значительные ограничения на решаемую задачу. Необходимо совместить с рассматриваемой концепцией формализацию движения, а также дорожную разметку. Поскольку дорожная разметка накладывает ограничения на перестроения, сужения и прочие особенности движения, деление исключительно по действию знаков или по типу движения будет некорректным (не позволит учесть правила дорожного движения). По этой причине предложено дополнительно подразделить участки по полосам движения. Пример такого деле-

ния приведен на рис. 5. На нем обозначены положения автомобиля в зоне соответствующей полосы, стрелками соединены возможные переходы между ними. При этом возможен переход между зонами с противоположным направлением движения (например, при выполнении разворота), если правила дорожного движения позволяют совершить такой маневр.

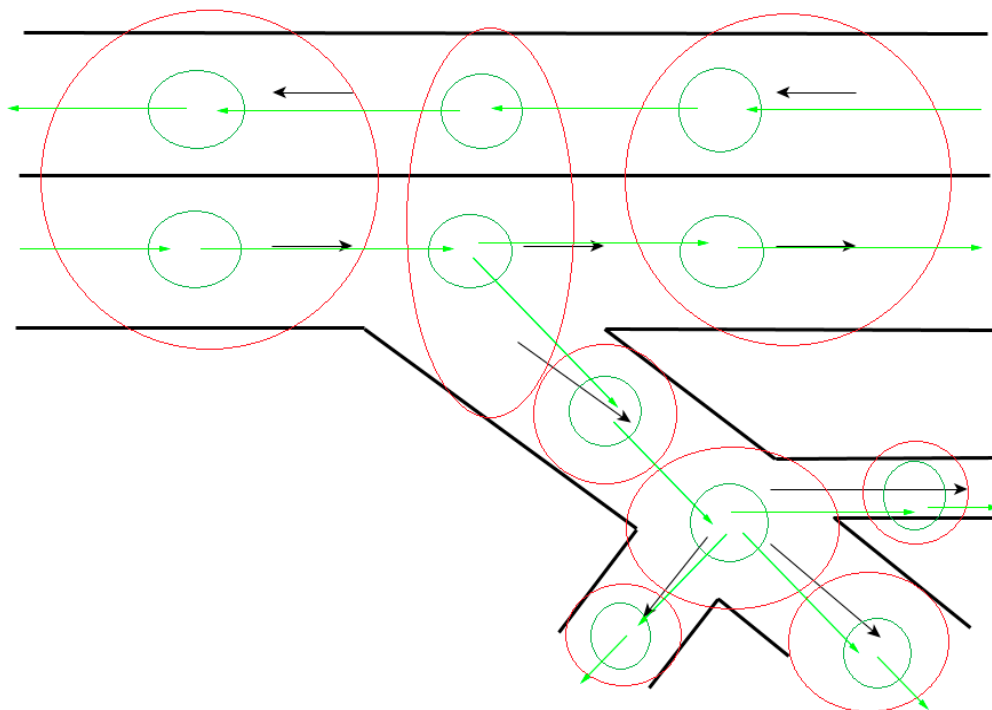


Рис. 5. Разделение дороги на участки с учетом разметки

Таким образом, сделан вывод, что в узлах графа помимо характеристик движения и основ правил дорожного движения требуется хранить дополнительно возможность перехода между узлами (например, с помощью соответствующей дуги).

**Экспериментальная часть с интерпретацией результатов.** Поскольку графовое хранение играет важную роль в предложенном методе, оно было исследовано экспериментально. Графовая база данных дорог хранилась в Neo4j, запросы к которой выполнялись на языке Cypher. Дорога была подразделена на зоны-узлы, представленные на рис. 6. В исследовании рассматривалось 10 выделенных на рисунке участков. Зона 11 в данном случае — условное обозначение любого положения автомобиля вне исследуемой карты. Поскольку карта не одноуровневая, районы расположения узлов для наглядности обозначены двумя цветами (красный — нижний уровень, зеленый — верхний уровень). Узлы соединяются между собой направленными дугами, если переход по разметке разрешен. Тогда автотранспортное средство можно описать положением (связью с участком) и характером движения.

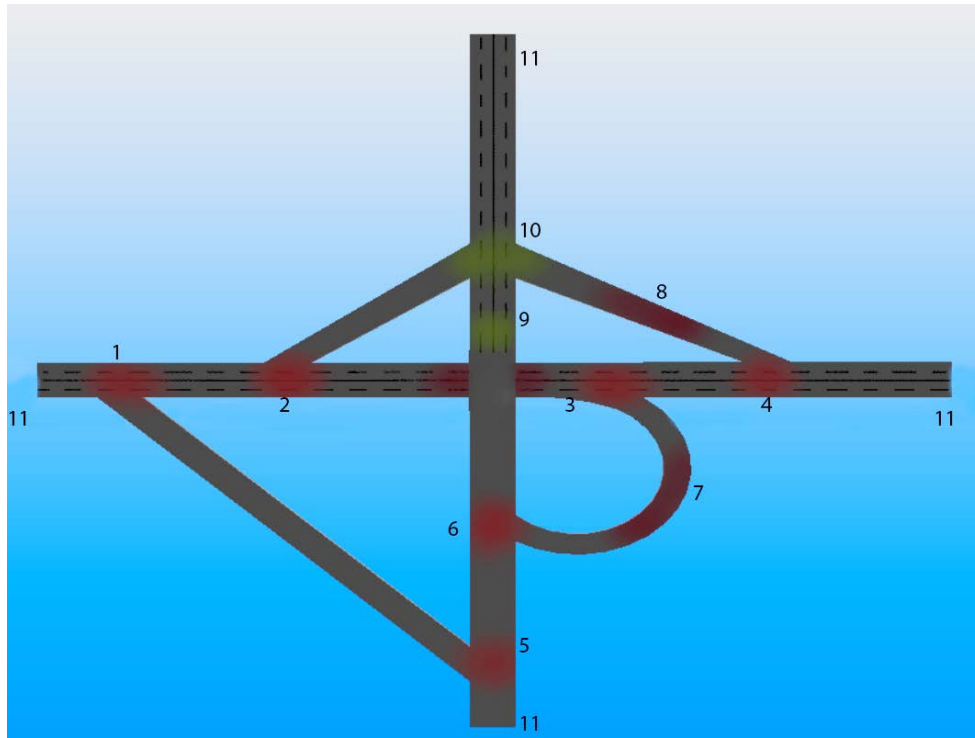


Рис. 6. Карта дороги в эксперименте

Результат формирования карты визуализирован в базе данных и представлен на рис. 7.

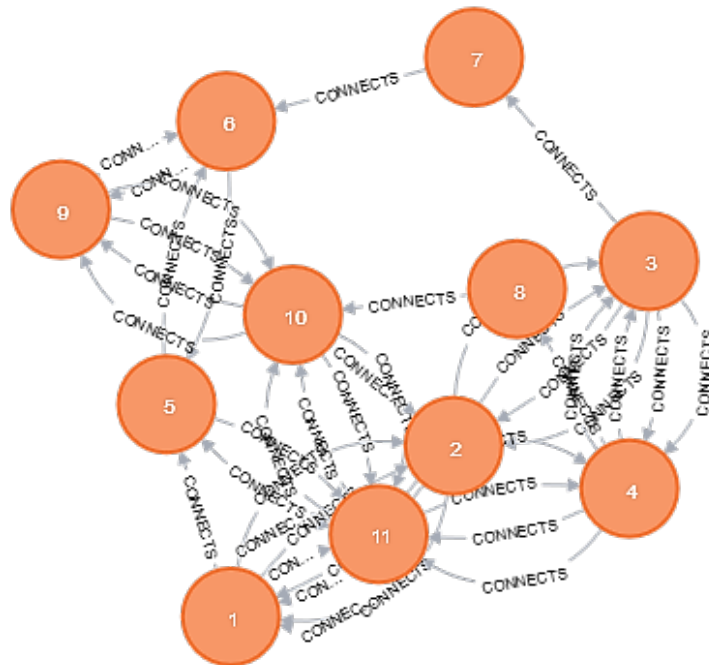


Рис. 7. Визуализация способа хранения в базе данных карты дороги

В таблице приведена характеристика работы базы данных в Neo4j в зависимости от запросов и изменения количества узлов, связей и свойств.

**Характеристика запросов по числу узлов, связей и времени**

№ п/п	Тип запроса	Число узлов	Число связей	Число свойств	Время
1	Создание карты дороги	11	40	22	700 мс
2	Создание узлов	11	0	22	531 мс
3	Создание связей между узлами	11	40	22	101 мс
4	Поиск всех узлов, у которых есть с другими связь CONNECTS	11	40	22	Потоковая передача 11 записей началась через 15 мс и завершилась через 31 мс
5	Поиск всех узлов без указания связей	11	40	22	Потоковая передача 11 записей началась через 16 мс и завершилась через 16 мс
6	Поиск узлов с идентификатором 1, у которых есть связи с другими узлами (в любую сторону)	11	40	22	Потоковая передача 9 записей началась через 1 мс и завершилась через 162 мс
7	Поиск узлов с идентификатором 1, у которых есть связи с другими узлами (наличие исходящих связей)	11	40	22	Потоковая передача 5 записей началась менее чем через 1 мс и завершилась менее чем через 1 мс
8	Удаление всех узлов и связей между ними	11	40	22	325 мс

Как видно из таблицы, наибольшее время уходит на создание и удаление узлов и связей между ними. Поиск узлов без поиска связей происходит на один и тех же данных примерно в два раза быстрее. Поиск узлов с заданным идентификатором значительно (более чем на два порядка) различается в зависимости от искомым связей: конкретизация запросов позволила сократить время.

Сравнение времени запросов к базе данных проиллюстрировано рис. 8. Запросы на отдельное создание узлов и установление связей между ними не приводятся: время этих запросов приблизительно равно совместному выполнению этих запросов. На диаграмме обозначены тип запроса и время выполнения в миллисекундах. Как выяснилось экспериментально, последний запрос из таблицы можно ускорить, переписав его в другом виде. В таком случае он будет составлять в среднем 7 мс при тех же данных. Проблема большого времени создания узлов и связей между ними была решена менее тривиально: очистка системы управления базами данных от неиспользуемых в задаче узлов позволила сократить время в среднем до 12 мс (при этом это не оптимизировало время других запросов из таблицы).

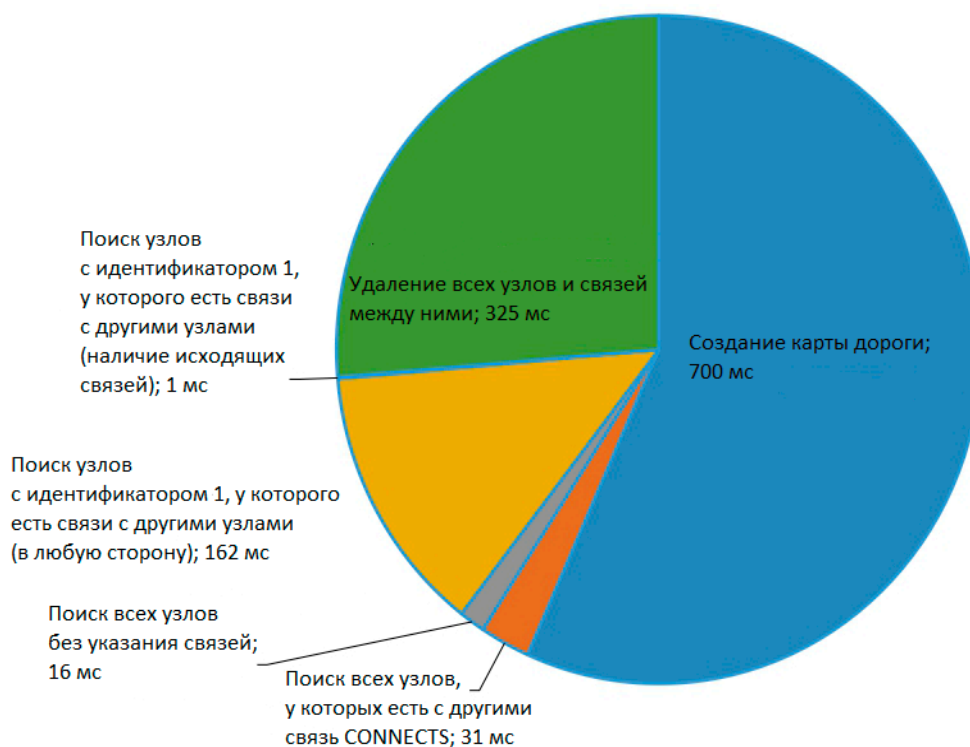


Рис. 8. Сравнительная диаграмма времени запросов

В работе уделялось внимание исследованию времени выполнения запросов к базе данных:

- создание узлов дороги и связей между ними;
- создание автомобиля с параметрами идентификатора и скорости движения, равной 70 км/ч;
- соединение транспортного средства с первой зоной;
- удаление связи с первой зоной;
- установка связи со второй зоной;
- изменение скорости движения машины на 60 км/ч.

По результатам 10 замеров в среднем время выполнения такого алгоритма запросов на языке Cypher составило 34 мс, причем наибольшее время уходило на SET-запрос, устанавливающий новое значение скорости.

Графовое хранение показало свою состоятельность в поставленной задаче:

- упростило хранение правил дорожного движения на участке;
- позволило контролировать переходы между зонами.

Недостатком такого решения является скорость обработки запроса для получения ответа Neo4j. По данным работы [10] очевидно, что число параметров в запросе не оказывает значительного влияния на время ответа, но увеличение числа элементов базы данных в ответе может постепенно привести к увеличению времени ответа в геометрической прогрессии, что следует учесть при дальнейшей работе с методом.



**Заключение.** В работе приведено описание общего вида алгоритма для моделирования движения транспортного потока. Предложенный метод основывается на применении графовой базы данных Neo4j для поставленной задачи.

Для графовой базы данных формализовано разделение на участки и описаны основные принципы хранения в них информации, что позволило упростить контроль над хранением правил дорожного движения на участке и контролировать переходы элементов транспортного потока между зонами. На небольшом размере карты и малом числе автотранспортных средств время получения ответов на запросы к базе данных является приемлемым. Оптимизированы наиболее ресурсозатратные по времени запросы (создание и удаление узлов и их связей) приблизительно от 30 до 70 раз, что было достигнуто изменением формата запросов и очисткой системы управления базы данных.

При этом можно выдвинуть предположение, что при дальнейшей разработке системы следует контролировать время обновления сведений в базе данных и производить физические расчеты переходов. Следовательно, можно сделать вывод, что оптимальным решением поставленной задачи является комбинирование кинематического описания, макроскопического моделирования и формализма сетей Петри с графовым хранением данных.

## Литература

- [1] Tsanakas N., Ekström J., Olstam J. Estimating emissions from static traffic models: problems and solutions. *J. Adv. Transp.*, 2020, vol. 2020, art. 5401792. DOI: URL: <https://doi.org/10.1155/2020/5401792>
- [2] Zong F., Zeng M., Zhong W. et al. Hybrid path selection modeling by considering habits and traffic conditions. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 43781–43794. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907725>
- [3] Alam M.J., Habib M.A. Mass evacuation of Halifax, Canada: a dynamic traffic microsimulation modeling approach. *Procedia Comput. Sci.*, 2019, vol. 151, pp. 535–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.072>
- [4] Liu Q., Sun J., Tian Y. et al. Modeling and simulation of overtaking events by heterogeneous non-motorized vehicles on shared roadway segments. *Simul. Model. Pract. Theory*, 2020, vol. 103, art. 102072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102072>
- [5] Zhang S., Ren G., Yang R. Simulation model of speed-density characteristics for mixed bicycle flow-Comparison between cellular automata model and gas dynamics model. *Physica A*, 2013, vol. 392, no. 20, pp. 5110–5118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.06.019>
- [6] Khan S.I., Maini P. Modeling heterogeneous traffic flow. *Transp. Res. Rec.*, 1999, vol. 1678, no. 1, pp. 234–241. DOI: <https://doi.org/10.3141/2F1678-28>
- [7] Shen J., Qi J., Qiu F. et al. Simulation of road capacity considering the influence of buses. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 144178–144187. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942524>
- [8] Scifo E. Introducing Neomap, a Neo4j Desktop application for spatial data. *medium.com: веб-сайт*. URL: <https://medium.com/neo4j/introducing-neomap-a-neo4j-desktop-application-for-spatial-data-3e14aad59db2> (дата обращения: 16.03.2020).

- [9] Scifo E. Visualizing shortest paths with neomap  $\geq 0.4.0$  and the Neo4j Graph Data Science plugin. *medium.com: веб-сайт*. URL: <https://medium.com/neo4j/visualizing-shortest-paths-with-neomap-0-4-0-and-the-neo4j-graph-data-science-plugin-18db92f680de> (дата обращения: 16.03.2020).
- [10] Крестов С.Г., Строганов Ю.В. Проверка времени исполнения сгенерированных запросов к графовой базе данных. *Новые информационные технологии в автоматизированных системах*, 2017, № 20, с. 235–238.

**Шибанова Дарья Александровна** — студентка кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Строганов Юрий Владимирович** — старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Рудаков Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

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

Шибанова Д.А., Строганов Ю.В. Моделирование дорожной системы с использованием графовой базы данных. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-765>

MODELING A ROAD SYSTEM USING A GRAPH DATABASE

D.A. Shibanova

daria-artiste@mail.ru

SPIN-code: 5604-0288

Yu.V. Stroganov

stroganovyv@bmstu.ru

SPIN-code: 9165-1034

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

*The problem of modeling a traffic flow using a graph database for describing movements is considered. Before modeling, an analysis of existing approaches was carried out, based on which an algorithm was compiled to solve the problem. The paper hypothesizes that the description of the road system can be correctly performed using the NoSQL graph database. For this purpose, the graph database management system Neo4j was chosen. When implementing the solution, experiments were carried out to determine the response time of the graph database to various queries with various data formats. Analysis of the results showed that the initial formation of a graph in graph databases takes a long time. It takes more time to execute such a query than to implement queries of other types (the maximum search time was about 23% of the graph generation time), so the optimal solution to the problem of time costs may be to exclude the stage of preparing the map from the stage of direct modeling.*

**Keywords**

*Modeling, traffic, traffic flow, graph database, response time, road map, non-relational databases, queuing system*

Received 24.12.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

**References**

- [1] Tsanakas N., Ekström J., Olstam J. Estimating emissions from static traffic models: problems and solutions. *J. Adv. Transp.*, 2020, vol. 2020, art. 5401792. DOI: URL: <https://doi.org/10.1155/2020/5401792>
- [2] Zong F., Zeng M., Zhong W. et al. Hybrid path selection modeling by considering habits and traffic conditions. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 43781–43794. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907725>
- [3] Alam M.J., Habib M.A. Mass evacuation of Halifax, Canada: a dynamic traffic microsimulation modeling approach. *Procedia Comput. Sci.*, 2019, vol. 151, pp. 535–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.072>
- [4] Liu Q., Sun J., Tian Y. et al. Modeling and simulation of overtaking events by heterogeneous non-motorized vehicles on shared roadway segments. *Simul. Model. Pract. Theory*, 2020, vol. 103, art. 102072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102072>
- [5] Zhang S., Ren G., Yang R. Simulation model of speed-density characteristics for mixed bicycle flow-Comparison between cellular automata model and gas dynamics model. *Physica A*, 2013, vol. 392, no. 20, pp. 5110–5118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.06.019>
- [6] Khan S.I., Maini P. Modeling heterogeneous traffic flow. *Transp. Res. Rec.*, 1999, vol. 1678, no. 1, pp. 234–241. DOI: <https://doi.org/10.3141%2F1678-28>

- [7] Shen J., Qi J., Qiu F. et al. Simulation of road capacity considering the influence of buses. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 144178–144187. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942524>
- [8] Scifo E. Introducing Neomap, a Neo4j Desktop application for spatial data. *medium.com: website*. URL: <https://medium.com/neo4j/introducing-neomap-a-neo4j-desktop-application-for-spatial-data-3e14aad59db2> (accessed: 16.03.2020).
- [9] Scifo E. Visualizing shortest paths with neomap  $\geq 0.4.0$  and the Neo4j Graph Data Science plugin. *medium.com: website*. URL: <https://medium.com/neo4j/visualizing-shortest-paths-with-neomap-0-4-0-and-the-neo4j-graph-data-science-plugin-18db92f680de> (accessed: 16.03.2020).
- [10] Krestov S.G., Stroganov Yu.V. Test on processing time of generated enquiry to the graph data. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh*, 2017, no. 20, pp. 235–238 (in Russ.).

**Shibanova D.A.** — Student, Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Stroganov Yu.V.** — Senior Lecturer Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Rudakov I.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

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

Shibanova D.A., Stroganov Yu.V. Modeling a road system using a graph database. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-765.html> (in Russ.).