

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ТРАФИКА В УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Савина Кристина Николаевна (savina.kris@mail.ru), Дюпин Владимир Николаевич, Копейкин Артем Эдуардович, Кононова Владимира Евгеньевна, Чиркова Валерия Евгеньевна

СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Статья посвящена разработке программных компонентов для моделирования транспортных систем и решения задачи оптимизации транспортных процессов. В статье разобран пример решения оптимизационной задачи для поиска оптимального маршрута перемещения агентов транспортной системы. Математической моделью транспортной системы является граф дорожного движения. Графопостроитель системы позволяет осуществлять загрузку картографических данных из сторонних открытых систем и производить редактирование этих данных через средства пользовательского интерфейса системы. Подсистема моделирования дорожного трафика предоставляет набор средств для задания исходных данных моделируемой системы, визуализации результатов моделирования и средств визуального анализа данных. Подсистема поиска оптимального маршрута позволяет решать задачи оптимизации для агентов моделируемой системы в части нахождения минимального маршрута следования агентов. Алгоритм поиска оптимального маршрута основан на алгоритме Дейкстры и осуществляет итерационное назначение варьируемых параметров на узлы графа движения объектов с последующим пересчетом меток достижимости на смежных узлах графа. В статье приведены экранные формы графического интерфейса подсистемы поиска оптимального маршрута, представлен пример решения оптимизационной задачи поиска оптимального маршрута. Приведена схема коммуникации агентов транспортной системы.

Ключевые слова: транспортная система, имитационное моделирование, агент, редактор маршрутов, задача оптимизации.

SIMULATION OF ROAD TRAFFIC IN THE STREET AND ROAD NETWORK OF THE CITY

Savina Kristina Nikolaevna (savina.kris@mail.ru), Dyupin Vladimir Nikolaevich, Kopeikin Artem Eduardovich, Kononova Vladimir Evgenievna, Chirkova Valeria Evgenievna

SarFTI NRNU MEPHI, Sarov, Nizhny Novgorod region

The article is devoted to the development of software components for modeling transport systems and solving the problem of optimizing transport processes. The article analyzes an example of solving an optimization problem for finding the optimal route for moving agents of a transport system. The traffic graph is a mathematical model of the transport system. The system plotter allows loading cartographic data from third-party open systems and editing this data through the system's user interface. The traffic modeling subsystem provides a set of tools for setting the initial data of the simulated system, visualizing the simulation results, and tools for visual data analysis. The optimal route search subsystem allows solving optimization problems for the agents of the simulated system in terms of finding the minimum route for the agents. The optimal route search algorithm is based on Dijkstra's algorithm and iteratively assigns variable parameters to the nodes of the object movement graph with subsequent recalculation of reachability labels on adjacent graph nodes. The article presents screen forms of the graphical interface of the optimal route search subsystem, an example of solving the optimization problem of finding the optimal route is presented. The scheme of communication of agents of the transport system is given.

Keywords: transport system, simulation modeling, agent, route editor, optimization problem.

В современном мире для исследования поведения больших сложных систем используют системы имитационного моделирования. Решение задачи моделирования дорожного трафика позволит оценить нагрузку на транспортную систему города. Модернизация систем транспортных маршрутов позволит снизить расходы на транспортировку товаров, как для крупных фирм, так и для частных лиц.

Объектом исследования данной работы является транспортная система города. Цель данной работы заключается в построении системы для моделирования процессов перемещения объектов транспортной сети и поиска оптимального пути перемещения этих объектов. Достижение поставленной цели осуществляется поэтапно решением следующего перечня задач:

1. Создание математической модели транспортной системы;
2. Реализация графопостроителя транспортной системы;
3. Реализация подсистемы моделирования дорожного трафика;
4. Реализация подсистемы поиска оптимального маршрута.

Математическая модель транспортной системы

В основе подсистемы поиска оптимального маршрута расположен математический граф, который позволяет описывать объекты транспортной инфраструктуры и связи между этими объектами. Схематически объекты графа представлены узлами (точками), а связи между объектами – линиями, которые объединяют точки отправления и точки прибытия объектов транспортной инфраструктуры.

Для решения задачи поиска оптимального маршрута используются взвешенные графы, где каждому ребру графа присваивается информация о расстоянии между узлами ребра. На рис. 1 представлен пример взвешенного графа.

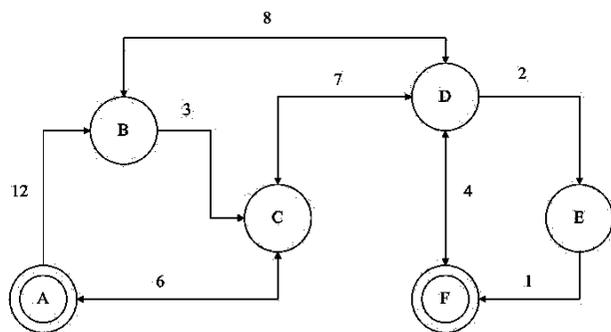


Рис. 1. Пример математического графа транспортной системы

Латинскими буквами на рис. 1 обозначены узлы графа, стрелками обозначены направления перемещения объектов, а числами над ребрами – расстояния между объектами транспортной инфраструктуры.

Для упрощения задачи построения графа транспортной системы в рамках работы был реализован графопостроитель – программный компонент, который позволяет редактировать и отображать граф транспортной системы. На рис. 2 представлена структурная схема графопостроителя.

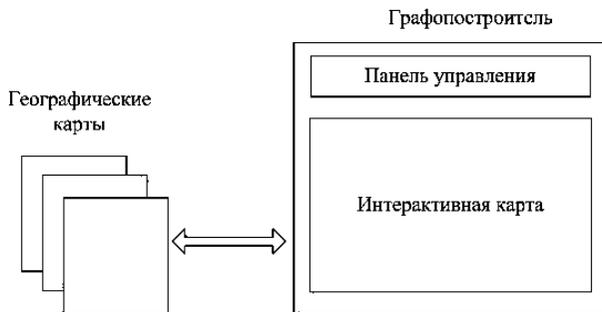


Рис. 2. Структурная схема графопостроителя

Главное окно графопостроителя включает набор инструментов для редактирования и задания режимов отображения карт пользователя, который расположен в панели инструментов главного окна. Интерактивная карта предоставляет набор инструментов для отображения картографических данных. Географические карты поставляют исходные данные о транспортной инфраструктуре для графопостроителя, которые содержат информацию о долготе и широте географических объектов, а также графы транспортной инфраструктуры [1–4].

Основную часть данных транспортной системы графопостроитель получает из открытых картографических сервисов. Программный компонент лексического разбора файла карт извлекает информацию о множестве картографических объектов и их географических координатах, которые включают широту и долготу объектов. Поскольку открытые картографические сервисы могут предоставлять неполные данные о транспортной инфраструктуре города, графопостроитель предоставляет ряд инструментов для редактирования и добавления новых элементов в математический граф транспортной системы. Таким образом, графопостроитель использует гибридный подход обработки картографических данных, где большие данные поставляются открытыми картографическими сервисами, а легкие данные накладываются на существующие данные пользователем.

Интерактивная карта содержит набор средств для преобразования систем координат, которые включают методы преобразования географических координат в экранные координаты приложения и обратные преобразования. Для вычисления экранных координат графопостроитель вычисляет минимальные и максимальные значения долготы и широты объектов транспортной инфраструктуры. Используя коэффициент масштабирования интерактивная карта графопостроителя позволяет пропорционально уменьшить или увеличить расстояния между объектами транспортной инфраструктуры.

Программный компонент «линейка» (расположенный на панели инструментов графопостроителя) позволяет измерить расстояния между двумя узлами на интерактивной карте. Узлы для программного компонента могут как принадлежать графу транспортной системы, так и являться свободно заданными (внешними по отношению к графу).

Подсистема моделирования дорожного трафика

Подсистема моделирования дорожного трафика позволяет задать начальные данные моделирования, рассчитать траектории движения объектов моделирования и отобразить результаты моделирования.

Подсистема моделирования базируется на агентном моделировании – разновидности имитационного моделирования, которое исследует поведение сложной системы через поведение отдельных частей этой системы (агентов).

Агентами системы являются динамические объекты транспортной системы (например, автомобили) и статические объекты транспортной инфраструктуры (светофоры, транспортные пути и т. п.).

На рис. 3 представлена коммуникационная модель поведения агентов транспортной системы.

На начальном этапе агент «Автомобиль» запраши-

вает данные о транспортной инфраструктуре у агента «Навигатор». Агент «Навигатор» осуществляет анализ инфраструктуры транспортной системы у агента «Граф». Агент «Граф» возвращает подмножество транспортной инфраструктуры, содержащее оптимальный маршрут перемещения агента «Автомобиль» агенту «Навигатор», который передает его агенту «Автомобиль».

Получив маршрут движения, агент «Автомобиль» осуществляет перемещение по транспортной инфраструктуре. По мере перемещения по целевому маршруту агент «Автомобиль» запрашивает состояние агента «Светофор», расположенного на ребре графа дорожного маршрута. При смене состояния «Светофор» в «Стоп», агент «Автомобиль» прекращает перемещение по заданному маршруту. При смене состояния «Светофор» в «В путь», агент «Автомобиль» продолжает перемещение по заданному маршруту. При наличии на пути следования агента «Автомобиль» других агентов класса «Автомобиль» целевой агент осуществляет запрос нагрузки у агента «Навигатор» и корректирует скорость своего перемещения в зависимости от загруженности транспортного маршрута.

На рис. 4 показана экранная форма главного окна подсистемы моделирования дорожного трафика.

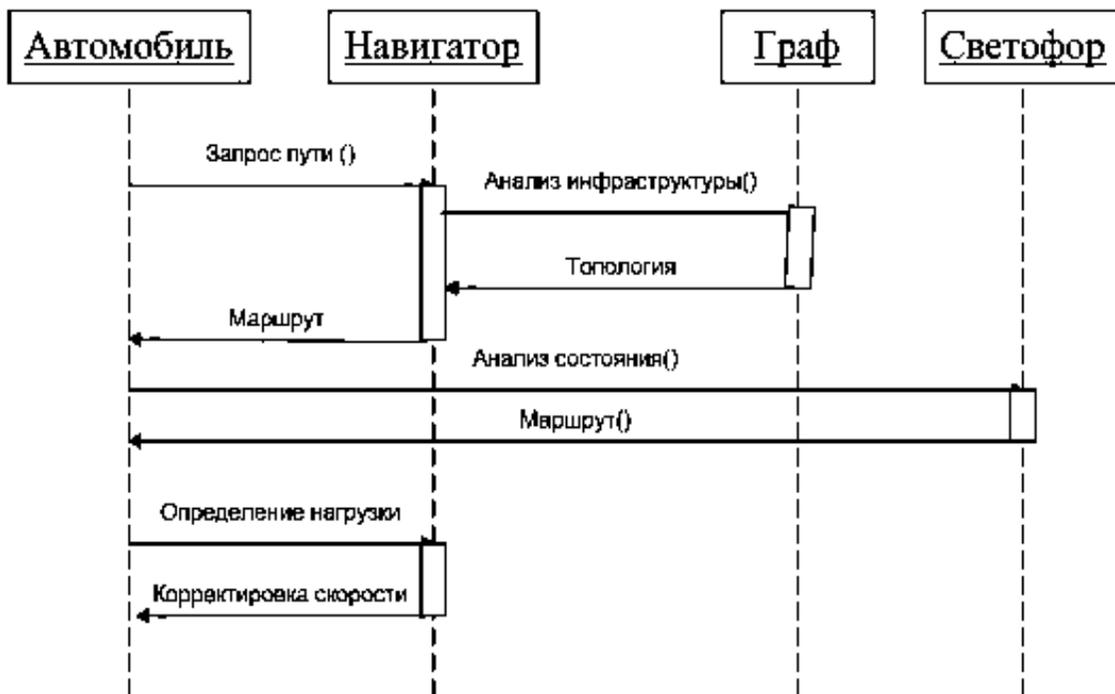


Рис. 3. Блок-схема модели коммуникации агентов транспортной системы

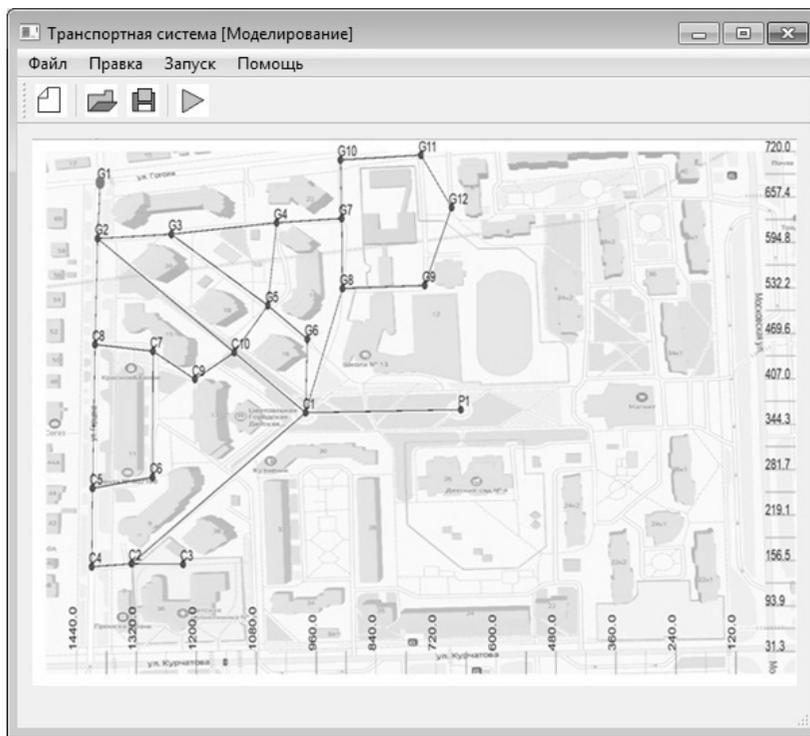


Рис. 4. Главное окно подсистемы моделирования дорожного трафика

Подсистема поиска оптимального маршрута

Подсистема поиска оптимального маршрута оперирует с графом транспортной системы, назначая ребрам графа варьируемый параметр оптимизационной задачи. Например, для поиска минимального маршрута перемещения объектов транспортной инфраструктуры может использоваться параметр расстояния между объектами системы.

Поиск оптимального пути подсистема осуществляется по алгоритму Дейкстры [5]. На первом этапе алгоритма Дейкстры определяются узлы отправления и прибытия объектов транспортной инфраструктуры. К узлам графа прикрепляются метки достижимости узла из точки отправления, которые инициализируются достаточно большим числом. После присвоения меток узлам графа определяются смежные узлы для точки отправления и пересчитываются метки узлов значениями расстояний до точки отправления.

На втором этапе алгоритма Дейкстры определяется смежная вершина с минимальной меткой, для которой повторяется процедура поиска смежных узлов и пересчета меток узлов. Алгоритм поиска оптимального маршрута завершается при достижении узла назначения [6].

Заключение

В статье были рассмотрены функциональные возможности реализованной системы моделирования

дорожного трафика в улично-дорожной сети города. Реализованные подсистемы системы моделирования позволили осуществлять загрузку картографических данных из внешних источников данных, проводить корректировку полученных данных, осуществлять анализ моделируемых систем, осуществлять решение задачи оптимизации при поиске минимального маршрута агентов системы.

Список литературы

1. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 19.02.2022).
2. Дюпин В. Н. Имитационный слой виртуального адаптивного пространства // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 11-1. С. 37–42.
3. Бабанов Н. Ю., Мартынов А. П., Николаев Д. Б., Фомченко В. Н., Новиков А. В. Виртуальная интерактивная система формирования и отработки управляющей информации // Вестник НГИЭИ. 2016. № 4 (59). С. 15–29.
4. Васильев Р. А., Николаев Д. Б. Анализ возможностей применения голосовой идентификации в системах разграничения доступа к информации. Научный результат // Информационные технологии. 2016. Т. 1. № 1. С. 48–57.
5. Алексеев В. В. Основные положения теории графов. Учебно-методическое пособие. Саров: СарФТИ НИЯУ МИФИ, 2019.
6. Алексеев В. Е., Захарова Д. В. Теория графов: Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2017.