



ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Е. Таратун, Е. А. Таратун

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассмотрены вопросы построения моделей цифровых двойников транспортных систем. Представлена концептуальная модель, а также приведен пример построения отдельных компонентов имитационной модели. Проведен эксперимент, на основе которого определена необходимость модернизации транспортной системы на примере объекта исследования центрального района г. Санкт-Петербург. Определены основные подходы, построения имитационных моделей. Приведены лидирующие средства имитационного моделирования.

Ключевые слова: транспортная система, информационный поток, повышение эффективности работы транспортной системы, цифровой двойник, имитационное моделирование, агентный подход.

Для цитирования:

Таратун, В. Е. Вопросы имитационного моделирования транспортных потоков в городской среде с использованием методов агентного моделирования / В. Е. Таратун, Е. А. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 5(43). – с. 117-123. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-117-123.

ISSUES OF SIMULATION MODELING OF TRAFFIC FLOWS IN URBAN ENVIRONMENT USING AGENT-BASED MODELING METHODS

V. E. Taratun, E. A. Taratun

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article deals with the issue of building models of digital twins of transportation systems. The conceptual model is presented, and an example of building individual components of the simulation model is given. The experiment is conducted, on the basis of which the necessity of transport system modernization is determined on the example of the object of research of the central district of St. Petersburg. The basic approaches of building simulation models are defined. The leading means of simulation modeling are given.

Key words: transport system, information flow, improving the efficiency of the transport system, digital twin, simulation modeling, agent approach.

For citation:

Taratun, V. E. Issues of simulation modeling of traffic flows in urban environment using agent-based modeling methods / V. E. Taratun, E. A. Taratun // System analysis and logistics. – 2024. – № 5(43). – p. 117-123. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-117-123.

Введение

Современные тенденции развития мира неуклонно приводят к росту городов и урбанизации, что в свою очередь напрямую влияет на увеличение количества транспортных средств на улицах наших городов и как следствие возникновения множества проблем: наличие пробок, загрязнение окружающего воздуха, увеличение времени поездки и снижение комфорта для пассажиров. Данные проблемы значительно влияют как на качество жизни людей в городах, так и различные экономические процессы, экологическую обстановку в целом. Рост пробок в свою очередь приводит к значительной потере времени и ресурсов, а ухудшение экологической обстановки плохо отражается на здоровье людей и окружающей среде. Примером может являться рост числа молодых людей с заболеваниями сегодня, которые возникали до недавнего времени у людей лишь в более поздние моменты их жизни.

Для решения проблем, связанных с транспортными потоками необходимо наличие механизма эффективного управления, позволяющего оптимизировать движение транспортных средств в городской среде. Одним из наиболее перспективных методов как исследования тенденции развития, прогнозирования и анализа транспортных потоков



является имитационное моделирование. Данный метод позволяет выполнить исследование поведения транспортных систем, спрогнозировать их развитие на нужный промежуток времени, а также определить необходимые сценарии для улучшения работы транспортной инфраструктуры и вопросов, связанных с управлением потоками.

В можно сказать, что процесс имитационного моделирования [1] представляет из себя создание цифровой модели реальной системы с некоторой степенью абстракции, в которой можно тестировать различные условия, и вырабатывать сценарии поведения транспортных потоков.

На сегодняшний день особое внимание уделяется агентному моделированию, которое предполагает в свою очередь, что каждый объект исследования воспринимается как отдельный агент в системе с некоторыми уникальными характеристиками и поведением.

Данное утверждение в рамках имитационного моделирования позволяет более точно учесть индивидуальные особенности движения, а также оценить взаимодействия между объектами – участниками.

Основные группы моделей для реализации цифровых двойников на основе имитационного моделирования

Сегодня можно выделить три основных группы существующих моделей, которые могут быть использованы для имитационного моделирования [1] транспортных потоков.

Таковыми моделями являются:

- 1. Макроскопические модели.** Данные модели позволяют рассмотреть существующие транспортные потоки с позиции непрерывных сред, аналогичных жидкостям, в которых поведения системы может быть описано такими показателями как плотность потока, средняя скорость и другие количественные показатели. Примером таких моделей может служить – уравнения Лайтхилла-Уизема. Данные макроскопические модели эффективны для выполнения анализа характеристик глобального уровня транспортной системы, но, к сожалению, они неспособны учесть индивидуальные особенности поведения участников движения.
- 2. Мезоскопические модели.** Данные модели являются промежуточным звеном между макроскопическими и микроскопическими моделями. Методология мезоскопических моделей предполагает, что транспортные средства могут быть представлены с позиции агрегированных потоков, а индивидуальные характеристики поведения агентов могут быть учтены на уровне всего лишь небольших групп. Преимуществом и отличительной особенностью является возможность проведения анализа на более детальном уровне относительно макроскопических моделей. Однако они являются не столь ресурсоемкими относительно микроскопических моделей.
- 3. Микроскопические модели.** Данные модели диктуют необходимость рассмотрения каждого автомобиля как некую отдельную единицу и позволяют моделировать его поведение в реальном времени. Поведение индивидуального объекта движения определяется такими характеристиками, как скорость, ускорение, дистанция до впереди следующего объекта и т.д. Использование микроскопических моделей для построения цифровых двойников [2] позволяют более детально описать процессы транспортной системы, но требует наличия у разработчика значительных вычислительных мощностей.

Рассматривая агентное моделирование можно с уверенностью сказать, что как часть микроскопического подхода, данный метод позволяет представить каждого агента (транспортное средство, пешеход, велосипедист и т.д.) в своей структуре наличие своих уникальных параметров и правил поведения. Применение агентного моделирования позволяет решить задачу анализа сложного взаимодействия между различными участниками как дорожного движения, транспортной инфраструктурой, так и исследовать их адаптацию к



изменяющимся условиям.

Применение данного подхода уже показало успешное применение в различных проектах, направленных на улучшение транспортных систем. Примером может послужить города с высокой загруженностью дорог. Применение агентного моделирования было применено для оптимизации не только общественного транспорта, а также и для организации различных дорожных развязок и других инфраструктурных элементов.

Характерным примером успешного применения агентного моделирования является оптимизация работы транспортной системы в Лондоне. Использование данного подхода позволило спрогнозировать возможные заторы в реальном времени, выработать сценарии оптимизации, путем предложения альтернативных маршрутов для городского общественного транспорта и автомобилистов. Агентное моделирование показало многообещающую перспективу для решения задач оценки влияния пешеходного и велосипедного движения на транспортную систему города в целом.

Постановка основных целей исследования

Основной целью исследования является разработка модели цифрового двойника, построенной на основе агентного подхода городской транспортной системы, которая позволяет автоматизировать и оптимизировать процесс распределения транспортных потоков в реальном времени. Исследование должно фокусируется на следующих основных задачах:

1. Разработка гибкой модели, позволяющей учитывать различные типы участников дорожного движения: автомобили, пешеходы, велосипеды и общественный транспорт.
2. Оценка влияния ключевых факторов, таких как плотность населения, интенсивность движения, количество транспортных средств, дорожные работы и аварии, на транспортные потоки.
3. Моделирование различных сценариев поведения системы с целью определения наиболее эффективных стратегий управления движением в городской среде.
4. Определение влияния инфраструктурных изменений на потоки движения (например, введение новых маршрутов общественного транспорта или изменение разметки дорог).

Используемая методология

Исследование должно основываться на методе имитационного моделирования с использованием агентного подхода, позволяя с требуемой степенью абстракции выполнять анализ поведения как отдельных агентов и их взаимодействие между собой, так и их взаимодействие с транспортной инфраструктурой. Модель представляет из себя сетевую структуру, содержащую следующие основные компоненты:

1. Улицы и перекрестки. Данный компонент является основной частью модели, позволяющий описать основные процессы городской дорожной сети. Для каждого участка дороги настраиваются параметры, описывающие ее характеристики, такие как ширина дороги, количество полос, ограничения движения, дорожные знаки и т.д.
2. Транспортные узлы. Данный компонент позволяет описать процесс взаимодействия дорог (перекрестки, развязки). Процессы взаимодействия в данных элементах должны быть реализованы с учетом правил дорожного движения, наличия светофорного регулирования.
3. Агенты. Данный компонент позволяет описать индивидуальные сущности в модели и их неповторимые характеристики. В данном случае под агентом могут выступать автомобили, пешеходы, велосипеды, общественный транспорт. Требуется описание, к примеру таких характеристик как скорость, предпочтения при выборе маршрута, реакция на изменение ситуации на дороге, правила поведения (например, соблюдение правил дорожного движения, выбор оптимального маршрута).



4. Инфраструктура. Данный компонент описывает элементы транспортной инфраструктуры, такие как, к примеру, парковки, остановки общественного транспорта, дорожные развязки, пешеходные переходы, позволяя выстроить систему взаимодействия агентов с данными объектами.

Исследование программного обеспечения для построения моделей цифровых двойников на основе имитационного моделирования и агентного подхода

Основными лидерами среди программных средств на сегодняшний день для построения моделей цифровых двойников [3] на основе агентного подхода являются такие как Vissim и Anylogic. На основе исследования [4] можно утверждать, что для решения задач конфликтных ситуаций более детального уровня абстракции приоритетным средством выступает Vissim, имея в своем арсенале большое количество заранее определенных стандартизированных метрик и функциональных возможностей. Однако при наличии недостатка стандартных возможностей и/или наличия нестандартной логики реализации процессов объекта исследования более приоритетным выступает Anylogic. За счет возможности реализации своих собственных нестандартных как структурных элементов имитационной модели, так и метрик на основе написания собственного исходного кода, используя язык высокого уровня - Java, данное средство реализации выступает безусловным лидером, позволяющим описать практически любой динамических процесс.

На рисунке 1 представлен пример построения компонента имитационной модели [2,3,4] для описания процесса работы одного из элементов системы городского наземного пассажирского транспорта.

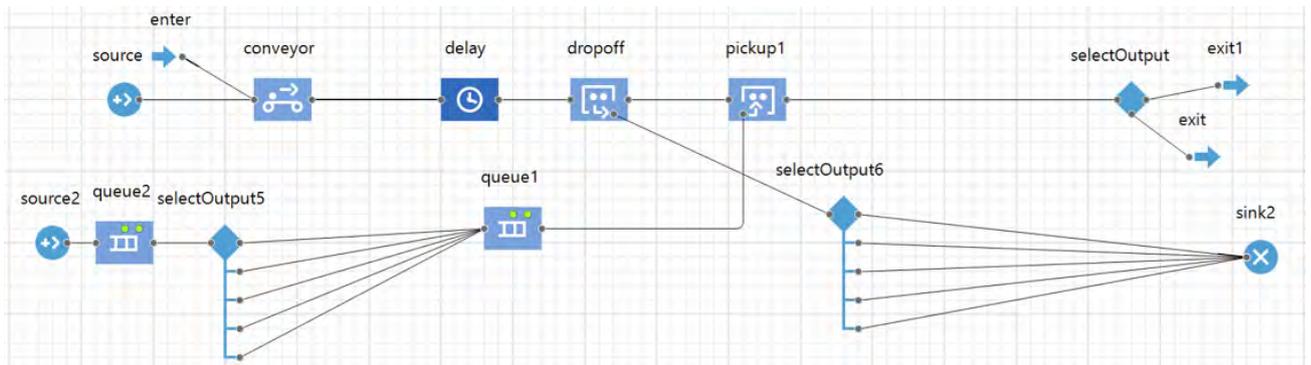


Рис. 1. Пример построения компонента имитационной модели для описания процесса работы одного из элементов системы городского наземного транспорта

На рисунке 2 представлен пример построения компонента имитационной модели [2,3,4] для описания процесса взаимодействия агентов типа – пассажир с элементом имитационной модели городского наземного пассажирского транспорта.

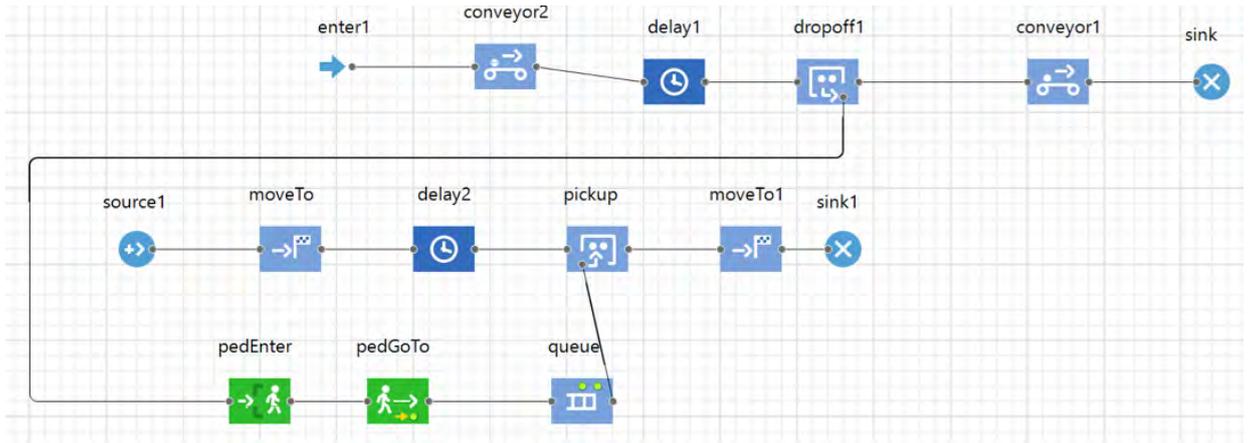


Рис. 2. Пример построения компонента имитационной модели для описания процесса взаимодействия агентов типа – пассажир с элементом имитационной модели городского наземного пассажирского транспорта

Концептуальная модель цифрового двойника на основе агентного подхода в укрупненном виде представлен на рисунке 3.

Исходные данные, результаты и их обсуждение

Для выполнения моделирования в качестве объекта исследования был выбран один из центральных районов города Санкт-Петербург с наличием высокой интенсивности движения в часы пик.

Условиями для проведения экспериментов выступали:

1. **Тестовые временные рамки.** Моделирование проводилось в утренний час пик (с 7:00 до 9:00), когда загруженность дорог максимальна.
2. **Сценарии нагрузок.** В исследовании рассматривались сценарии с различной интенсивностью движения (низкая, средняя, высокая) и учитывались такие факторы, как наличие дорожных работ или ДТП.
3. **Оценочные параметры.** В качестве критериев эффективности использовались время в пути, количество заторов и задержек, а также средняя скорость движения по магистралям.



Рис. 3. Концептуальная модель взаимодействия компонентов имитационной модели

На основе проведенного эксперимента было выявлено что увеличение плотности транспортных средств на дорогах напрямую влияет на рост заторов и времени в пути. В случае высокой интенсивности движения (более 80% заполняемости дороги) наблюдались серьезные заторы на ключевых транспортных узлах, что приводило к увеличению времени поездки в два-три раза. Кроме того, было определено, что наличие дорожных работ и аварий оказывают существенное значение на транспортные потоки, особенно на дорогах с высокой интенсивностью движения. Проведение эксперимента на базе применения имитационного



моделирования выявило, что при наличии альтернативных маршрутов водители часто изменяют свой путь, что приводит к перегрузке второстепенных улиц.

Анализ эффективности общественного транспорта показал, что увеличение частоты движения автобусов на ключевых маршрутах может снизить количество автомобилей на дорогах и, следовательно, уменьшить общую нагрузку на транспортную сеть. В этом случае было зафиксировано снижение заторов на 15-20%.

Имитационное моделирование транспортных потоков с использованием агентного подхода [5] доказало свою эффективность как инструмент для исследования и оптимизации транспортных систем в городской среде. Этот метод [5,6] позволяет детально рассматривать поведение участников дорожного движения и их взаимодействие, что делает его идеальным инструментом для анализа сложных транспортных систем.

Важным аспектом, влияющим на развитие механизмов, моделей и методов развития транспортных систем [5,6] несомненно является необходимость внедрения систем машинного обучения и интеллектуальных систем принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Таратун, В. Е.* Имитационное моделирование как подход в решении задач систем массового обслуживания / В. Е. Таратун, В. С. Шаперова // Системный анализ и логистика. – 2020. – № 04(26). – С. 35–44.
2. *Таратун В. Е.* Роль цифровых двойников для развития интеллектуальных транспортных систем / В. Е. Таратун, Е. А. Таратун // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Материалы XXIV Международной научной конференции. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 294–299.
3. *Таратун В. Е.* Роль цифровых двойников для развития интеллектуальных транспортных систем / В. Е. Таратун, Е. А. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2016. – № 02(13). – С. 52–59.
4. *Таратун В. Е.* Исследование и разработка имитационной модели для анализа эффективности городского пассажирского транспорта / В. Е. Таратун, В. А. Манакова, П.С. Сухарева // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 02(40). – С. 114–122.
5. *Фетисов В. А.* Моделирование транспортных процессов / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров, В. Е. Таратун – СПб.: ГУАП, 2013. – 31 с.
6. *Таратун В. Е.* Имитационное моделирование как метод оптимизации сложной технической системы / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров, В. Е. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2013. – № 10. – С. 63–69.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таратун Виталий Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: taratun.vitaliy@guap.ru

Таратун Екатерина Александровна

Ассистент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: losekaterina@yandex.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Taratun Vitaliy Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Systems Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: taratun.vitaliy@guap.ru

Taratun Ekaterina Aleksandrovna

Assistant of the Department of Systems Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: losekaterina@yandex.ru