

УДК 681.3

Сорокин Алексей Александрович

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

В статье рассмотрены вопросы моделирования городского трафика в среде имитационного моделирования Anylogic. При разработке имитационных моделей были заданы категории транспортных средств, произведена их параметризация, заданы правила поведения водителя, созданы потоки автомобилей и т. д. Имитационная модель построена с применением дискретно-событийного подхода и аппарата сетей массового обслуживания, позволяет давать оценку показателей функционирования и выявлять «узкие места» в структуре элемента транспортной сети. Результаты имитационного моделирования могут быть использованы для поддержки принятия решений по повышению эффективности системы городского трафика.

Ключевые слова: городской трафик, библиотека дорожного движения, поддержка принятия решений, имитационное моделирование, Интернет, AnyLogic.

Alekssei Sorokin

MODELING OF URBAN TRANSPORT NETWORK

The article discusses modeling of city traffic the environment simulation Anylogic. In the development of simulation models, categories of vehicles were specified, their parametrization was made, rules for the behavior of the driver were set, car flows were created, and so on. The simulation model is constructed using the discrete-event approach and the device of queuing networks and allows to evaluate the performance indicators and identify bottlenecks in the structure of the transport network element. Simulation results can be used for decision support systems to improve the effectiveness of city traffic.

Key words: city traffic, traffic library, decision support, simulation modeling, Internet, AnyLogic.

Введение / Introduction. Имитационное моделирование является одним из наиболее популярных и эффективных инструментов, используемых для моделирования транспортного движения, транспортных сетей, узлов и терминалов.

При разработке сложных и очень дорогостоящих систем, которые должны функционировать многие годы, к каким относится городская транспортная система, и развязки в частности, проектирование играет особо важную роль. Любая ошибка может не только привести к прямым финансовым потерям, но и к косвенным потерям, которые могут быть гораздо больше прямых потерь, и к отрицательным социальным последствиям. Развитая городская транспортная сеть является основой для экономического развития города и комфортной жизни горожан. Использование имитационного моделирования крайне актуально при проектировании и создании транспортной сети города. При использовании имитационных моделей дорожного движения на стадии проектирования необходимо учитывать прогнозы по изменению интенсивности пассажиропотоков, увеличению количества автотранспорта на дорогах, появление новых маршрутов (в связи со строительством в городе новых предприятий, учебных заведений, рынков, вокзалов, автостанций и т. д.).

Материалы и методы / Materials and methods. К пакетам прикладных программ (ППП), используемым при имитационном моделировании городского трафика, предъявляются определенные требования. Пакеты для разработки имитационных моделей транспортной сети должны обладать рядом характерных свойств, учитывающих специфику прикладной области. Например, процесс построения имитационной модели транспортного узла (ТУ) заключается в построении схемы транспортных сообщений, расположении на ней знаков дорожного движения и светофоров, указания маршрутов перемещения транспортных средств.

При разработке имитационных моделей необходимо задать категории транспортных средств, провести их параметризацию, задать правила поведения водителя, создать поток автомобилей и т. д.

При моделировании трафика необходимо учитывать, что поведение водителя не является постоянным и строго заданным, а меняется в зависимости от состояния окружающей среды: близлежащих полос, скорости и плотности потока, дорожных ограничений, светофоров и т. д. В целом модель трафика участка (узла) транспортной сети состоит из совокупности объектов, выполняющих определенные функции в транспортной сети [1]. Важной особенностью является то, что объекты модели находятся в динамически изменяющейся среде и должны реагировать на эти изменения. В имитационной модели обычно выделяют следующие категории объектов транспортной сети, которые можно условно разделить на группы активных и пассивных объектов (рис. 1).

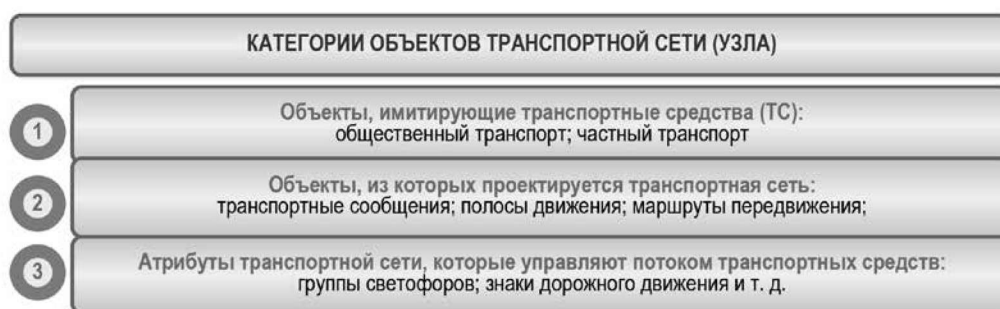


Рис. 1. Категории объектов модели трафика транспортной сети

К активным объектам относятся объекты, имитирующие поведение транспортного средства (ТС) и обладающие способностью менять свое состояние в ходе моделирования. ТС должны передавать информацию в окружающую среду, принимать ее из среды и корректировать согласно ее состоянию свое поведение. Перемещаясь по линиям сообщений, транспортное средство должно учитывать такие факторы, как: скорость потока, в котором перемещается; сигналы, посылаемые светофором; расположение знаков дорожного движения; маршрут; информацию о близлежащих полосах и едущих рядом других транспортных средствах и т. д.

В свою очередь, сами ТС должны уметь передавать информацию о себе окружающим его активным объектам: текущую скорость движения; событие принятия решения о смене полосы, повороте; физические показатели (ширина, длина кузова), тип ТС.

К пассивным объектам можно отнести: объекты, имитирующие группы светофоров; объекты, имитирующие знаки дорожного движения; маршруты, транспортные сообщения, полосы.

Каждый из этих объектов обладает набором свойств, характеризующих его состояние. Эти свойства могут быть постоянными для объектов транспортной сети и динамически изменяющимися в ходе работы модели. Например, объект, имитирующий ТС, должен обладать характеризующими его техническими (скорость разбега, мощность двигателя и т. д.) и физическими свойствами (вес автомобиля, ширина, длина кузова и т. д.). К динамически изменяющимся свойствам автомобиля относятся его текущая скорость, ускорение, время реакции, внимание водителя. Значения этих показателей могут меняться в ходе моделирования под воздействием условий окружающей среды.

В таких пакетах также должна быть предусмотрена возможность сбора и анализа статистики трафика на ТУ. В результате имитационный пакет для моделирования транспортного узла должен обладать библиотеками, обеспечивающими вышеперечисленные возможности. Итак, можно выделить следующие классы библиотек, необходимых для решения задач транспортного моделирования: библиотеки ТС, содержащие классы ТС с возможностью их параметризации; библиотеки, позволяющие строить пути транспортных сообщений и задавать маршруты передвижений; библиотеки знаков дорожного движения и светофоров; библиотеки инструментов для сбора статистики и ее обработки.

Безусловно, специализированные имитационные пакеты должны позволять строить анимацию, визуализировать работу транспортного узла.

Одной из отличительных особенностей пакета AnyLogic является то, что в нем возможна реализация многоподходного моделирования, которое позволяет задавать индивидуальные поведения объектов в системе и взаимодействие этих объектов с окружающей средой [2].

Библиотека дорожного движения разработана с помощью стандартных компонентов и позволяет комбинирование с другими библиотеками AnyLogic. Библиотека предназначена для детального моделирования дорог, перекрёстков, развязок, подъездов к складам, производственным и общественным зданиям. Для моделирования парковок и остановок общественного транспорта в AnyLogic предусмотрены специальные элементы разметки. При движении по дорожной сети машины следуют правилам дорожного движения и учитывают текущую загрузку полос. Детальное моделирование дорожного движения в таком случае позволяет сделать модель более реалистичной, а результаты моделирования точнее.

Результаты обсуждения / Results and discussion. При разработке транспортной библиотеки за основу взята клеточная модель представления транспортной сети. В этой модели дорога разбивается на клетки, размер которых соответствует одному транспортному средству размером 1 рси (Passenger Car Unit – международно-принятая единица измерения габарита транспортного средства), что соответствует стандартному легковому автомобилю. Для учета в потоке грузовых автомобилей и автобусов их размеры могут составлять 2–3 рси, и занимать они будут соответствующее число клеток. Пример такого представления транспортного узла приведен на рис. 2.

Имитационная модель построена с применением дискретно-событийного подхода и аппарата сетей массового обслуживания и позволяет давать оценку показателей функционирования и выявлять «узкие места» в структуре (логике функционирования) элемента транспортной сети (узла). На основе результатов имитационных экспериментов с моделью был выполнен расчет оценки её выходных параметров, анализ которой позволил сделать вывод об адекватности предложенной модели.

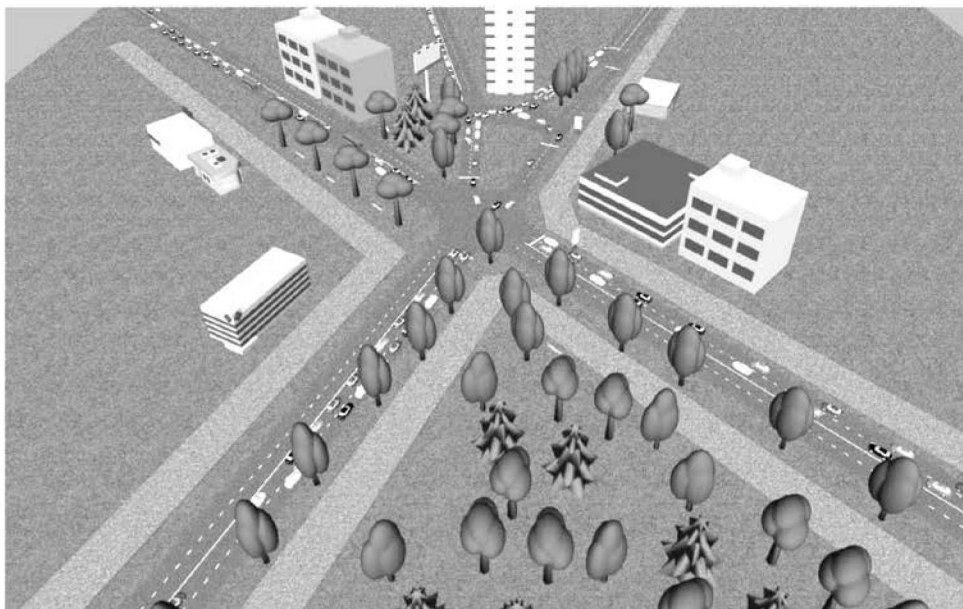


Рис. 2. Модель транспортного узла, разработанная в пакете Anylogic

Модель характеризуется простотой представления объектов, высокой производительностью выполняемого модуля, учетом специфических разнородных свойств и характеристик элементов модели и особенно наглядностью визуализации.

Структура транспортной сети (узла) представлена на рис.3.

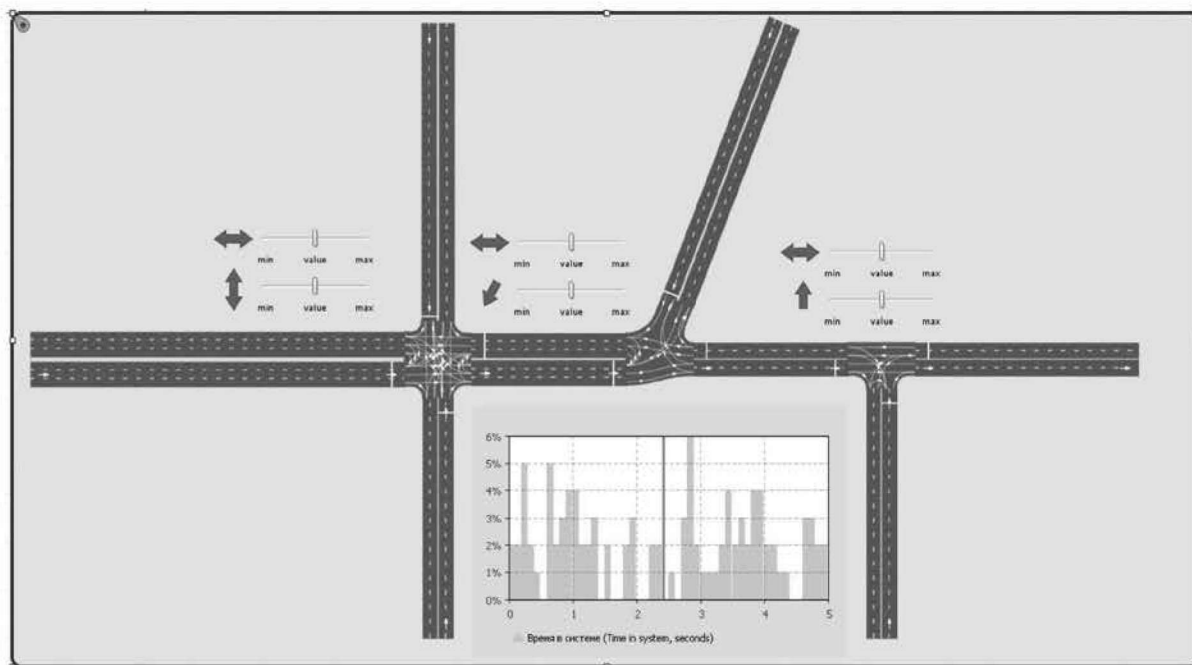


Рис. 3. Структура транспортной сети (узла)

Структура (логика) модели представлена на рис. 4. В целом модель представляет собой набор экземпляров различных классов. Для более детализированного описания модели необходимо проанализировать каждый компонент модели в отдельности.

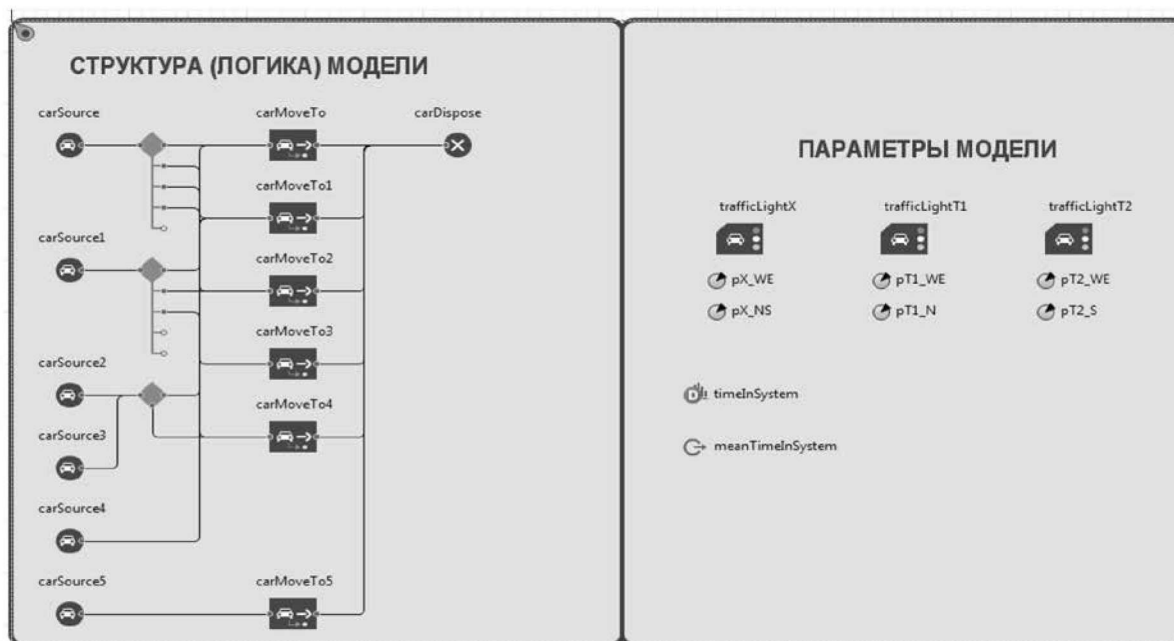


Рис. 4. Структура и параметры модели транспортной сети (узла)

Имитационная модель позволяет проводить эксперименты с варьированием различных параметров транспортной сети, в частности интенсивности потока автомобилей. Результаты сбора статистики выводятся на графике (рис. 5).

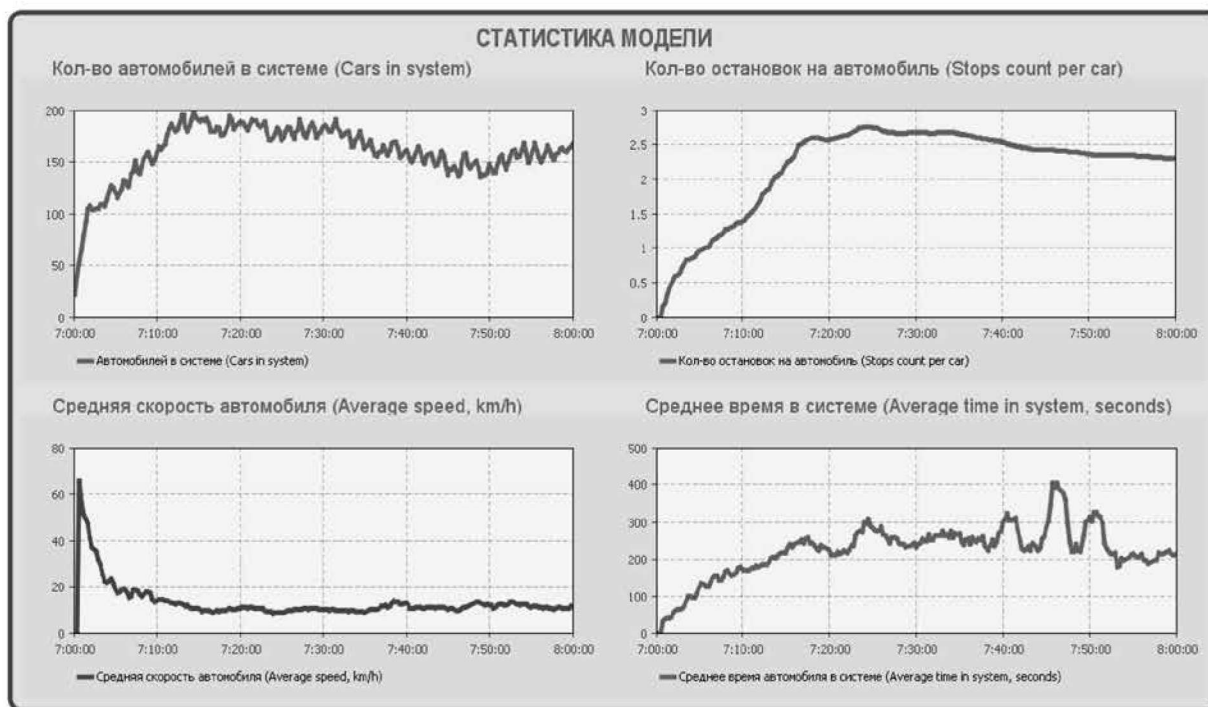


Рис. 5. Статистика модели транспортной сети (узла)

Заключение / Conclusion. Безусловно, рассмотренная задача не охватывает всего спектра требований, которые выдвигаются к библиотекам такого класса. Однако, основные функции, необходимые для генерации потока автомобилей и его управления, присутствуют, но требуют уточнения. В дальнейшей работе с моделью намечается подключение режимов оптимизации и варьирования параметров трафика. В первую очередь планируется предусмотреть возможность учета физических и технических характеристик автомобиля при определении скорости автомобиля, его ускорения и торможения. Будут учтены психофизиологические особенности водителя (снижение внимания, усталости), которые также влияют на поведение автомобиля. Будут введены классы, позволяющие моделировать общественный транспорт. Также расширятся возможности параметризации потока автомобилей: задания процентного распределения типов автомобилей в этом потоке, интенсивности, распределение скорости автомобиля. Добавятся возможности определения маршрута движения автомобилей.

Проблема оперативного управления городскими транспортными процессами актуальна, особенно в мегаполисах. Резкое снижение скоростей движения, многочасовые пробки, дефицит площадей для организации кратковременных стоянок транспортных средств, затруднение движения пешеходов, загрязнение окружающей среды, транспортный шум и, наконец, рост количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) – являются основными негативными последствиями автомобилизации.

Требуется разработка новых математических и имитационных моделей систем управления транспортными процессами, одновременно охватывающих массивы разнородных данных и обеспечивающих многоуровневое взаимодействие множества подчиненных сложных подсистем. Создание новых технологий и систем управления транспортными процессами позволит повысить уровень ор-

ганизации движения: улучшить характеристики городской транспортной сети, усовершенствовать структуру объектов транспортной инфраструктуры, оптимизировать процесс управления городскими транспортными потоками на всех фазах движения, уменьшить транспортные задержки, повысить безопасность движения.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 400 с.
2. Многоподходное имитационное моделирование в AnyLogic. XJ Technologies [Электронный ресурс]. URL: <http://www.xjtek.ru>
3. Григорьев И. AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию. Интернет-издание, 2016. 202 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/2207475/>
4. AnyLogic. URL: <http://www.anylogic.com>

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Karpov Ju. G. Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 (Simulation systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5). SPb.: BHV-Peterburg, 2009. 400 p.
2. Mnogopodhodnoe imitacionnoe modelirovanie v AnyLogic. XJ Technologies (Multi-approach simulation in AnyLogic. XJ Technologies) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.xjtek.ru>
3. Grigor'ev I. AnyLogic za tri dnja. Prakticheskoe posobie po imitacionnomu modelirovaniju (AnyLogic in three days: a practical guide on simulation). Internet-izdanie, 2016. 202 p. URL: <http://www.twirpx.com/file/2207475/>
4. AnyLogic. URL: <http://www.anylogic.com>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Сорокин Алексей Александрович, аспирант кафедры инфокоммуникаций СКФУ. E-mail: sorokinaa2006@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Aleksei Sorokin, post-graduate student of Applied Informatics Department, NCFU. E-mail: sorokinaa2006@yandex.ru