Анализ и оптимизация транспортных потоков с помощью моделирования

Введение

В настоящее время остро стоит проблема управления транспортными потоками, особенно в больших городах. Увеличение количества транспортных средств (ТС) как личных, так и общественных, привело к перегруженности городских дорог, многочасовым пробкам, затруднению движения пешеходов, увеличению количества аварий и т.д.

Объектом управления в системе управления дорожным движением является транспортный поток, состоящий из технических средств (автомобилей, мотоциклов, автобусов и так далее). В то же время водители автомобилей ведут себя на дороге и реагируют на различные события по-разному, не всегда предсказуемо, что значительно усложняет анализ такой системы. Таким образом, дорожное движение представляет собой техносоциальную систему, что и определяет его специфику как объекта управления. Даже рассматривая только технические аспекты управления дорожным движением, необходимо иметь в виду, что этот объект весьма своеобразен и сложен с точки зрения управления его свойствами.

Городские транспортные потоки обладают следующими особенностями.

Во-первых, это стохастичность транспортных потоков: их характеристики допускают прогноз только с определенной вероятностью. Транспортный поток движется по транспортной сети, которая также обладает определенными характеристиками, допускающими более или менее строгое описание, и которые являются нестационарными.

Во-вторых, это нестационарность транспортных потоков, причем колебания их характеристик происходят как минимум в трех циклах: суточном, недельном и сезонном.

В-третьих, это неполная управляемость, суть которой состоит в том, что даже при наличии полной информации о потоках и возможности информирования водителей о необходимых действиях, эти требования носят рекомендательный характер. Следовательно, достижение глобального экстремума любого критерия управления становится весьма проблематичным.

В-четвертых, это множественность критериев качества, таких как: задержка в пути, средняя скорость движения, прогнозируемое число ДТП, объем вредных выбросов в атмосферу и т.д. Большинство характеристик взаимосвязаны и выделить какую-либо одну не представляется возможным.

Пятой особенностью дорожного движения как объекта управления является сложность и даже невозможность замера даже основных характеристик, определяющих качество управления. Так, оценка величины интенсивности движения требует либо наличия датчиков транспортных потоков на всех направлениях их движения, либо использования данных аэрофотосъемки, либо проведения трудоемкого ручного обследования.

Наконец, необходимо отметить принципиальную невозможность проведения масштабных натурных экспериментов в сфере управления дорожным движением. Эта невозможность предопределена, во-первых, необходимостью обеспечения безопасности движения, во-вторых, материальными и трудовыми затратами на проведение эксперимента (изменение разметки и дислокации дорожных знаков) и, в-третьих, тем, что серьезные изменения в комплексной схеме организации движения затрагивают интересы большого количества людей – участников движения.

Особенности транспортных систем делают невозможным построение адекватной аналитической модели, позволяющей исследовать варианты управления в этой системе и ее

характеристики в различных условиях. В то же время имитационное моделирование как метод исследования подобных объектов представляется обещающим подходом к решению этой проблемы: оно позволяет быстро и с хорошей точностью прогнозировать характеристики сложных систем подобной природы и оптимизировать существенные параметры, выбирая соответствующие параметры оптимизации.

Настоящая работа ставила целью создание библиотеки элементов транспортной сети в среде имитационного моделирования и исследование возможностей применения имитационных моделей для решения проблем анализа и оптимизации транспортных потоков.

Имитационное моделирование транспортных потоков

На сегодняшний день в мире существует множество специальных систем для моделирования транспортных потоков, например, TRANSIMS, PARAMICS, EMME/2, SATURN и др. Существующие подходы к моделированию могут быть классифицированы в зависимости от уровня детальности моделируемого процесса:

- Модели макро-уровня описывают транспортный поток как целое, совокупность всех транспортных средств. Значимые параметры — плотность трафика и т.д. Основная область применения этого типа моделей — анализ транспортной системы большого объема, т.е. сетей магистралей и межрегиональных дорожных сетей.
- Модели микро-уровня характеризуются описанием отдельных транспортных средств и взаимодействий между ними. Модели этого класса показывают поведение отдельных участников дорожного движения, подчиняющиеся правилам поведения и взаимодействия транспортных средств. Правила поведения содержат дополнительные стратегии для управления скоростью и ускорением. В настоящее время микроскопические модели используются для моделирования трафика на отдельных перекрестках и их совокупностях.

Большинство существующих систем предназначены для построения и исследования моделей микро-уровня.

Основной задачей данной работы была разработка библиотеки элементов транспортной сети в одном из инструментов имитационного моделирования. В качестве среды моделирования был выбран пакет AnyLogic (www.anylogic.com). AnyLogic – это универсальный инструмент для моделирования дискретных, непрерывных и гибридных систем. Области его применения разнообразны: от простых обучающих моделей до логически сложных. AnyLogic использует такое мощное средство проектирования сложных систем как Unified Modeling Language (UML, универсальный язык моделирования).

Предполагалось, что универсальность пакета, его возможности работать как с непрерывными, так и дискретными моделями, его доступность и простота использования позволят построить библиотеку элементов транспортной сети, которая будет удобна для решения широкого круга разнообразных проблем в области транспорта. Кроме того, используемые в пакете AnyLogic средства объектно-ориентированного программирования позволят легко адаптировать и настраивать элементы библиотеки.

Библиотека элементов транспортной сети

Библиотека содержит следующие элементы: генератор/приемник транспортных средств (ТС), участок дороги, регулируемый и нерегулируемый перекрестки. Этих элементов оказалось достаточно для построения большинства областей городской транспортной сети. Каждый из элементов библиотеки имеет настраиваемые параметры, которые определяют важные свойства объектов.

Генератор транспортных средств.

Этот элемент используется для генерации и приема ТС. При приеме ТС накапливается статистика, а именно среднее время движения, среднее время ожидания в очередях, средняя скорость движения ТС.

На рис. 1 показан блок, обозначающий генератор/приемник ТС.

Рис.1: генератор/приемник ТС

Участок дороги

Этот блок моделирует участок дороги между перекрестками. Он показан на рис.2.

Рис.2: участок дороги

Нерегулируемый перекресток

Правила проезда ТС через перекресток этого типа определяется следующими законами:

- Если ТС находится на главной дороге, то оно должно пропускать только тех, кто находится на главной дороге справа от него.
- Если ТС находится на второстепенной дороге, то оно должно пропускать всех, кто находится на главной дороге, и тех, кто находится на второстепенной дороге справа от него.

На рис.3 показан блок, обозначающий нерегулируемый перекресток.

Рис.3: нерегулируемый перекресток

Регулируемый перекресток

Этот тип перекрестка управляется при помощи светофоров. Однако на нем также действуют правила проезда, как на равнозначном нерегулируемом перекрестке (поворот налево без специальной стрелки светофора).

На рис.4 показан блок, обозначающий регулируемый перекресток.

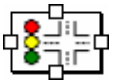

Рис.4: регулируемый перекресток

Чтобы построить исследуемую транспортную сеть, нужно из готовых блоков сформировать топологию сети и задать необходимые параметры для каждого блока.

Анализ транспортной сети с помощью разработанной библиотеки

Топологии сети, для которой проводится анализ, задается путем перемещения разработанных элементов транспортной сети в корневой объект модели. Параметры настраиваются для каждого элемента в отдельности. Время создания модели транспортной сети зависит от её объема. Например, для создания модели сети, состоящей из 6-ти перекрестков, требуется около часа без учета времени, потраченного на сбор данных о реальных параметрах сети (длина участков дорог, фазы светофоров, интенсивности движения, направления и вероятности движения по направлениям).

Модели, которые могут быть построены из элементов созданной библиотеки, нельзя полностью отнести только к одной категории представленной выше классификации моделей транспортных сетей. Они сочетают в себе свойства обеих категорий. Данный подход

обусловлен тем, что не всегда требуется, например, учет всех законов микро-моделирования (движение и взаимодействие ТС). Пользователь имеет возможность изменять степень детальности моделируемых объектов и явлений, тем самым получая модели как макро-, так и микро-уровня.

Построенная модель сети позволяет исследовать различные характеристики транспортных систем. Такое исследование можно проводить в нескольких направлениях:

1. анализ конкретных ситуаций, когда моделируется реальная ситуация (например, авария, уборочные работы), в которой анализируются такие характеристики системы, как средняя скорость движения ТС, время ожидания в очередях (задержки в пути) и т.п.
2. поиск оптимального решения некоторых задач управления движением, для чего необходимо выбрать изменяемые параметры (например, времена переключения светофоров, количество полос движения и др.) и определить целевую функцию (оптимизируемое значение). Такой функцией может быть, например, средняя скорость на анализируемом участке транспортной сети, время ожидания на перекрестках и т.д.
3. прогнозирование влияния изменения топологии транспортной сети (строительство объездных дорог, введение датчиков наличия ТС на перекрестке, изменение типов перекрестков и т.д.) на важные характеристики транспортного потока.
4. борьба с пробками на дорогах. Данная задача решается уменьшением интенсивности движения в заданном направлении, например, перенаправлением транспортного потока на прилегающие дороги.

В рамках пакета AnyLogic возможно выполнение оптимизации модели, т.е. получение оптимальных значений каких-либо параметров модели при заданном критерии оптимизации. В модели транспортной системы при оптимизации можно изменять параметры и/или функциональность объектов транспортной системы. Критерии оптимизации могут не совпадать для различных элементов системы, цели оптимизации также могут быть противоположны. Поэтому, следует строить сложные критерии оптимизации с использованием весовых функций.

Пример анализа транспортной сети

Рассмотрим, как с помощью разработанной библиотеки провести исследование и оптимизацию модели транспортной сети «площадь Мужества», общая схема которой приведена на рис.5. Для анализа схема кругового движения на площади Мужества была разделена на составные части, поэтому данная транспортная сеть состоит из 5-ти регулируемых и одного нерегулируемого перекрестков.

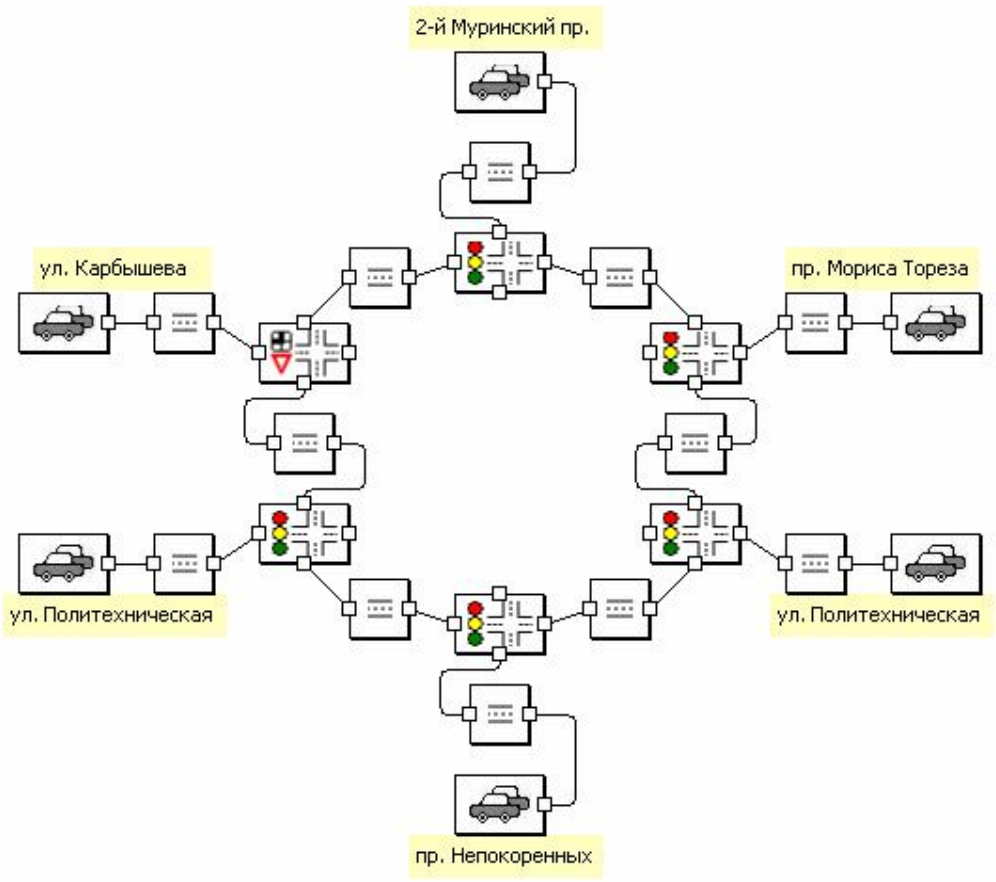

Рис.5: Общая схема модели «Площадь Мужества»

Для того, чтобы можно было доверять модели и результатам моделирования транспортной сети, необходимо было провести анализ её адекватности реальному процессу дорожного движения. Для проведения такого исследования были измерены входные данные для модели сети (средний интервал генерации ТС, статические параметры транспортной сети, параметры движения ТС) и выходные характеристики (средние длины очередей на перекрестках, средние времена ожидания ТС). Затем в процессе моделирования производится сравнение выходных данных, полученных на модели и измеренных на улице.

	Средняя длина очереди	
	модель	реальность
ул.Политехническая (справа на схеме, рис.5)	10	14
пр. М.Тореза	13	12
2-й Муринский пр.	25	29
ул.Политехническая (слева на схеме, рис.5)	63	60
пр.Непокоренных	26	24

Учитывая стохастический характер модели и невозможность точного практического измерения характеристик транспортной сети, можно сказать, что полученная модель, по крайней мере, качественно отражает реальную ситуацию на данном участке транспортной сети.

Для того, чтобы не образовывались пробки (не возрастало время ожидания на перекрестке), необходимо управлять интенсивностью транспортного потока на данном участке транспортной сети. Для такого управления нужно знать критическое значение

интенсивности, при котором образование пробки неминуемо. Такая задача легко решается при помощи моделирования заданной транспортной сети.

Рассмотрим, например, участок Политехнической улицы (справа на схеме, рис.5). Изменяя средний интервал генерации ТС на данном участке дороги, будем измерять среднее время ожидания на перекрестке.

На рис.6 приведен полученный график зависимости среднего времени ожидания на перекрестке от среднего интервала между ТС. На этом графике явно видна критическая точка, при которой происходит резкий скачок времени ожидания при уменьшении интервала между ТС. Когда значение среднего интервала времени между ТС приблизится или достигнет этой точки, интенсивность транспортного потока должна быть уменьшена. Это можно сделать следующими способами: увеличить длину фазы предыдущего светофора для ТС, едущих в данном направлении; частично перенаправить поток на прилегающие улицы.

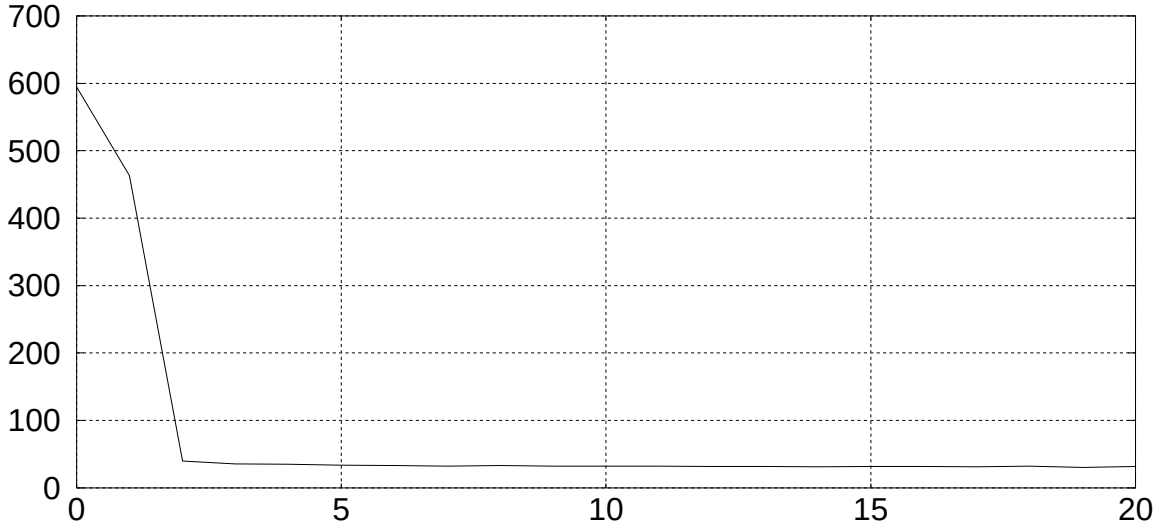

Рис. 6

Также легко можно решать и другие задачи, возникающие при исследовании городской транспортной сети.

Заключение

Преимуществами данного подхода к моделированию и исследованию транспортных сетей в пакете AnyLogic является простота и наглядность построения сети, возможность расширения и усовершенствования модели пользователем.

Время создания модели транспортной сети зависит от её объема. Построение транспортных сетей и проведение несложных экспериментов с ними может быть выполнено даже не имеющим специальной подготовки пользователем.

В результате проделанной работы был проведен анализ существующих подходов к моделированию транспортных потоков, анализ возможностей и функциональности существующих специализированных систем, разработана методика использования универсального инструмента для анализа, выявлены его преимущества и недостатки, разработана библиотека элементов транспортной сети и показано, как она может быть использована для решения проблем анализа и оптимизации транспортных потоков.