

---

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ МЕГАПОЛИСОВ

Е.А. Пендер, К.Н. Бояршинов (Омск)

### Введение

В настоящее время из-за постоянного увеличения количества автотранспорта, неэффективного регулирования дорожного движения, неоптимального построения улично-дорожной сети решению транспортной проблемы уделяется все большее внимание. В крупных городах основные дороги были впервые проложены много лет назад и, как правило, не подлежат преобразованию, но так сложилось исторически, что значительная часть транспортного потока в городе сконцентрирована именно на этих участках УДС. Поэтому необходимо эффективно управлять транспортными потоками в уже имеющейся дорожно-транспортной сети, искать возможности увеличения общей пропускной способности дорог без необходимости их значительного преобразования. Для этого необходимо рассматривать улично-дорожную сеть города (УДС) в целом и отдельно взятые дороги.

В научно-исследовательской лаборатории имитационного моделирования, системного анализа и информационных технологий (НИЛ ИМСАИТ) при кафедре АСОИУ ОмГТУ предприняты исследования, направленные на развитие теории транспортных потоков на основе синтеза аналитико-имитационных моделей и методов с моделями транспортных потоков на клеточных автоматах.

Обзор существующих инструментов моделирования транспортных потоков [1] показывает, что не решена проблема совмещения моделирования на микроуровне и оптимизации крупной УДС как единого целого. Программные комплексы и пакеты являются преимущественно проприетарными и дорогими. Поэтому разработка свободного программного продукта с открытым исходным кодом, бесплатного для использования и модификации, целесообразна и актуальна.

### Описание программы

Разработан прототип программы моделирования УДС на первом уровне транспортных клеточных автоматов (ТКА) в рамках двухуровневой структуры САИМ ТСП – системы распределенного моделирования автотранспортных сетей и потоков [2], которая должна обеспечивать сокращение времени имитационных экспериментов на порядок и более (по сравнению с одноуровневой структурой).

Основной концепцией двухуровневой структуры САИМ ТСП является вычисление статистических характеристик дорог и транспортных потоков на уровне ТКА и их использование в моделях УДС на уровне сетей с очередями (рис. 1).

Входными параметрами на уровне ТКА являются сведения о дорогах (длина, количество полос) и перекрестках (длительность фаз регулирования), данные о взаимном расположении объектов улично-дорожной сети (УДС), данные о средней интенсивности потока. Эти экспериментальные данные могут быть получены как в результате наблюдения и измерения, так и путем обработки разнообразной текущей документации, которая ведется в организациях и на предприятиях, связанных с транспортом, или посредством анализа данных уже существующих сервисов, использующих gps-треки.

После того как необходимая информация об исследуемом участке УДС внесена пользователем в программу, запускается процесс моделирования. Результатом является специальная статистика по участкам УДС, а также расчет длин очередей перед перекрестками. Эти данные используются на уровне транспортных сетей массового обслуживания и уровне аналитических надстроек.



Рис. 1. Архитектура САИМ ТСП

### Математическая модель

При всем многообразии подходов к моделированию транспортного потока за основу была взята модель Нагеля-Шрекенберга [3] на клеточных автоматах для однополосной дороги и дополнена правилами совершения передвижения для многополосной дороги [4]. Такая микромодель на клеточных автоматах позволяет составить общую картину поведения транспортной сети, учитывая индивидуальное поведение транспортного средства, его вероятностный характер. Здесь транспортные средства рассматриваются как индивидуальные сущности, обладающие своими характеристиками и поведением, а УДС представляет собой набор элементов, взаимодействующих между собой. Время в такой модели дискретно, что позволяет применять параллельные вычисления.

В моделях на клеточных автоматах дорога представляется сеткой, состоящей из ячеек одинаковой длины. Размер такой сетки на дороге равен  $M \times N$ , где  $M$  – количество полос,  $N$  – длина дороги. Длина одной ячейки принимается равной длине легкового автомобиля – 5,5 м. В одной клетке может находиться только один автомобиль. Такая модель позволяет описывать многополосную дорогу. Дороги в разных направлениях описываются как две дороги, находящиеся параллельно друг другу, но движение автомобилей на них направлено в разные стороны.

Движение транспортных средств (ТС) моделируется сменой состояний ячеек. Если в ячейке находится ТС, то состояние ячейки устанавливается в состояние «занята», в противном случае – «свободна». Переключение состояний ячеек происходит одновременно. Один шаг переключения состояний ячеек соответствует 1 с, что равно времени реакции водителя на изменившуюся ситуацию на дороге.

ТС характеризуется типом  $c_i$  (легковой, автобус, грузовой автомобиль и т.д.) и максимальной скоростью  $v_m$ . От типа зависит его длина на дороге ( $l_i$ ).

На каждом шаге ТС вычисляет скорость, с которой оно будет двигаться, и координату, которую оно будет занимать на следующем шаге. После того как все ТС вычислили эти характеристики, происходит одновременная установка ТС в ячейки и смена состояний ячеек.

Чтобы объединить дороги в сеть, необходимо использовать для соединения перекресток. Перекресток обеспечивает правильное регулирование движения машин, проверяет возможность маневров поворота и смены дороги. Если ТС на следующей итерации окажется за пределами дороги, то это означает, что впереди расположен перекресток. Далее определяется направление текущей дороги относительно перекрестка. Последовательно проверяется возможность переехать на выбранную дорогу. Если выбранная дорога свободна для переезда, то выполняются перемещение ТС на эту дорогу и удаление его с предыдущей. Существует возможность задания как нерегулируемого, так и регулируемого (со светофором) перекрестка. Светофор имеет индикаторы трех цветов и 5 состояний, сменяющихся в последовательности: зеленый, мигающий зеленый, желтый, красный, красный и желтый одновременно. Каждое из состояний светофора разрешает или запрещает движение на перекрестке.

Все маневры (перемещение, перестроение, ускорение, торможение и т.д.) могут быть выполнены или не выполнены с определенной вероятностью. Так как, например, не все водители стремятся перестраиваться, многие продолжают движение за «лидером», тем самым образуя колонны ТС. Или, например, есть вероятность смены полосы без видимой на то причины. Элемент случайности позволяет более реально отражать поведение водителей на дороге.

Данная модель учитывает основные алгоритмы поведения водителей и после калибровки ее параметров по экспериментальным данным способна адекватно отражать действительность.

### **Описание программы**

Прототип системы первого уровня представляет собой программу моделирования на языке высокого уровня C++. Программа позволяет создавать и редактировать сеть дорог, моделировать движение транспортных потоков на ней, снимать показатели транспортной нагрузки.

Программа работает в 3 этапа:

1. *Создание или редактирование дорожной сети.* Необходимо указать параметры дорог, перекрестков, других элементов УДС и все вероятностные характеристики (например, вероятность превышения скорости, вероятность случайной смены полосы, вероятность случайной остановки т.д.), а также дополнительные параметры, необходимые для запуска процесса моделирования в input-файле.

2. *Моделирование.* Программа, анализируя input-файл, моделирует процесс движения транспортных потоков на выбранной конфигурации дорожной сети на основе описанной математической модели на уровне клеточных автоматов.

3. *Выдача результатов.* В результате процесса моделирования генерируется текстовый файл Results.txt, в котором сохраняются все вычисленные статистические показатели транспортной сети.

Разработаны программные модули для расчета:

- средних скоростей на дорогах,
- средних плотностей движения,
- величин потоков,
- среднего времени проезда ТС по дорогам,
- количеств проехавших ТС,
- количеств ТС, находящихся на дорогах в текущий момент,
- распределений временных интервалов между ТС (включая их математические ожидания, дисперсии, СКО, коэффициенты корреляции смежных интервалов),
- средних/максимальных длин очередей перед перекрестками,
- фундаментальных диаграмм дорог.

### **Практическое приложение**

С помощью программы моделирования было проведено несколько экспериментов, в результате которых можно сделать следующие выводы.

1) Из полученных в результате моделирования фундаментальных диаграмм дорог вытекает, что при увеличении плотности ТС на дороге средняя скорость движения уменьшается. Такое явление подтверждается и наблюдением за реальной дорогой. До достижения определенной плотности на дороге ТС могут без препятствий двигаться с желаемой скоростью, которая часто приближается к максимально разрешенной. Средняя скорость движения потока при этом значительно не меняется. При сильной загруженности потока скорость ТС начинает быстро уменьшаться и возникает транспортный затор или так называемая «пробка».

2) Максимальная пропускная способность пропорциональна количеству полос. Поэтому можно сделать вывод о том, что, если существует возможность беспрепятственно расширить проезжую часть, то необходимо это сделать.

3) При разных законах поступления ТС в начало дороги, включая регулярный поток ТС, при длине дороги 200 метров на ее конце получается поток, достаточно близкий к пуассоновскому.

4) При адаптивной системе управления перекрестком (когда соотношение фаз светофора зависит от наличия ТС на конкурирующих направлениях) средняя и максимальная длина очереди и среднее время проезда по дороге меньше, чем при неадаптивной. Тем самым можно сделать вывод, что применение адаптивных систем управления светофорами позволит сократить количество заторов в крупных городах.

### Заключение

Главными направлениями дальнейшей работы является доработка графического интерфейса, отображение процесса моделирования в режиме реального времени на карте и распараллеливание программы, которое позволит значительно сократить время имитационного моделирования.

Предлагаемая модель дороги может быть использована для моделирования движения ТС в различных условиях. Добавление в модель новых факторов, влияющих на движение (таких как учет состояния дорожного полотна, погодных или временных условий, задание маршрутов общественного транспорта в рамках УДС, учет маршрутов и индивидуальных особенностей водителей и появление на дорогах нештатных ситуаций), позволит более точно и детально проводить моделирование и получать в результате исследований новые данные.

Разработанная программа может служить хорошим инструментом для разработки новых вариантов организации дорожного движения, позволяя анализировать и прогнозировать состояние существующих транспортных узлов, подбирать оптимальный режим светофорного регулирования и эффективно рассчитывать проектируемые развязки.

Исходный код программной системы можно найти по ссылке [5].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00149-а.

### Литература

1. **Задорожный В.Н., Юдин Е.Б.** Обзор программ моделирования транспортных потоков // Динамика систем, механизмов и машин: материалы 8 международной науч.-техн. конф. Кн.1. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – С. 254–257.
2. **Задорожный В.Н., Долгушин Д.Ю., Юдин Е.Б.** Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 86–125.
3. **Nagel K., Schreckenberg M.** A cellular automaton model for freeway traffic //J. Phys. I France. – 1992. – V. 2. – P. 2221–2229.

4. Долгушин Д. Ю. Имитационное моделирование дорожного движения для оценки экологического влияния автотранспорта // Д.Ю. Долгушин, Т.А. Мызникова // Системы управления и информационные технологии, 4.1 (38). – 2009. – С. 139-142
5. Исходный код проекта – GitHub [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://github.com/naghtarr/catsim>.