

УДК 531.1

МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА КАК СТАИ ОБЪЕКТОВ

В.Е. Павловский

ФИЦ Институт прикладной математики им.М.В. Келдыша РАН, Москва
Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4
E-mail: vpavl@mail.ru

В.В. Павловский

Российский Экономический Университет им.Г.В. Плеханова, Москва
Российская Федерация, 117997, Москва, Стремянный переулок, д. 36
E-mail: vpavl2000@mail.ru

М.В. Андреева

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва
Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64
E-mail: point15@ro.ru

Ключевые слова: стая, моделирование, транспортные потоки.

Аннотация: В работе используется стайный подход к моделированию транспортных потоков. На основе этой схемы разработана система микро моделирования транспортных потоков города и шоссе, позволяя исследовать различные параметры дорог и транспортных потоков. Представлены модели условных городских перекрестков и примеры реальных московских дорог. В работе представлена теоретическая схема моделирования, программный симулятор, и показаны соответствующие результаты моделирования.

1. Введение

По общему мнению экспертов, моделирование транспортных потоков стало одной из основных задач в организации движения в городах и на шоссе (см., например, [1-3]). Для этой цели применяются различные модели и транспортные симуляторы, например, сетевые модели, среди которых мы отметим использование сетей Петри [1, 2].

В данной работе мы представляем модель, использующую идеи стайного моделирования. Эта концепция предполагает наличие очень большого количества отдельных агентов, причем поведение каждого из них определяется относительно простыми правилами, но в совокупности оно приводит к сложным эмерджентным свойствам системы как целого. Предлагаемая модель объединяет общие методы для задания правил, логики и «характеров» автомобилей-агентов на дороге с отдельными параметрами для каждого агента и простотой изменения этих параметров для целей моделирования. В качестве примера рассмотрена модель пятиполосной развязки трех дорог, с последующими экспериментами с более сложными перекрестками и транспортными узлами.

Полученные результаты могут использоваться для группового планирования движения роботизированных автомобилей, оптимизации распределения роботов и обычных автомобилей между различными маршрутами для максимизации пропускной способности дорог.

2. Структура модели

Рассматривается следующая модель. Дорога задается как ряд полос движения, причем положение каждого автомобиля определяется полосой, по которой он движется, и его координатой вдоль полосы. Некоторые полосы движения параллельны и описывают многополосную дорогу, и автомобиль может перестраиваться с одной полосы на другую в любом месте (если целевая полоса свободна); другие полосы связаны в определенных точках, позволяя переходить с одной дороги на другую.

Новые автомобили генерируются случайно на каждой из входных полос и для каждого выбирается собственная желаемая выходная дорога (в симуляторе визуально называется цветом автомобиля); вместе они определяют “план движения” – последовательность дорог и поворотов, которые должен пройти автомобиль, исходя из топологии дорожной системы. Остальные параметры и признаки также выбраны индивидуально для каждого автомобиля-агента.

Используется следующая стайная схема моделирования. «Поведение» каждого автомобиля-агента задается и описывается одним и тем же набором локальных правил, их логика одинакова для всех автомобилей-агентов. В то же время, все эти правила зависят от наборов параметров, каждое правило – от своего собственного набора, и конкретные значения этих параметров – свои для каждого автомобиля-агента. Таким образом реализуется различное поведение («характер») различных агентов и различный стиль их вождения, от «чрезвычайно тихого вождения» до «агрессивного вождения». В частности, в качестве такого параметра выбрана желаемая скорость движения. Также в системе есть общие правила, основанные на правилах дорожного движения. Автомобили-агенты не нарушают их.

В целом при наличии большого количества агентов, проходящих через систему, возникают эмерджентные эффекты, состоящие в общем стайном поведении всего множества автомобилей от свободного движения до образования «пробок».

Общие локальные правила для агентов следующие.

Общая схема движения. Общая схема движения определяется правилами перестроения между рядами движения и логикой выбора текущей скорости движения. В остальном каждый агент выбирает свое движение независимо.

Правила перестроения. На основании желаемого выходного пути, заданного для каждого автомобиля, в каждый момент времени определяется желаемая полоса движения. Автомобили, планирующие свернуть на боковую дорогу, должны заранее перестроиться в самый правый ряд. Есть заданные пороги для этих перестроений перед поворотом, и если ряд справа будет занят, автомобиль замедлится (или даже остановится), пока не сможет перестроиться.

Кроме того, для правильного использования многополосных дорог добавлено еще несколько правил для перестроения между полосами, чтобы автомобили не скапливались в самом правом ряду. В частности, если автомобиль, желающий ехать быстрее (согласно заданной желаемой скорости) будет ограничен более медленным движущимся впереди него автомобилем, он попытается перестроиться влево. Если медленный автомобиль “будет чувствовать давление” автомобиля позади, он попытается перестроиться правее.

После определения желаемой полосы проверяется ее занятость. Пусть X – координата автомобиля вдоль полосы; тогда перестроение разрешено и осуществляется, если на целевой полосе интервал $(X-A, X+B)$ свободен, где A и B – заданные константы. Во

время маневра перестроения автомобиль технически считается занимающим две полосы движения одновременно, ограничивая скорость движения автомобилей позади.

Логика выбора текущей скорости движения. Движение автомобиля вдоль полосы определяется скоростью V , на каждом шаге ее значение вычисляется как минимум трех величин, $V = \min (V_1, V_2, V_3)$:

V_1 – собственная скорость, случайно выбирается при генерации автомобиля;

V_2 – ограничение идущим впереди автомобилем, $V_2 = V_{pred} + K_1 \times (D - D_0)$, где V_{pred} – скорость автомобиля впереди, D – расстояние до него, D_0 – минимальное расстояние, K_1 – коэффициент торможения при приближении;

V_3 – определяет замедление автомобиля в случае, если нужная ему полоса движения занята, чтобы все еще успеть перестроиться вовремя до поворота, $V_3 = K_2 \times D$, D – расстояние до критической точки (порога), перед которым автомобиль должен перестроиться в нужную полосу, K_2 – коэффициент торможения для перестроения.

3. Симулятор и эксперименты

Был разработан симулятор - программа моделирования (городского) трафика согласно описанной схеме. В первых экспериментах рассматривалась условная модельная дорога. В результате моделирования определена зависимость пропускной способности дорожной системы от интенсивности потока и соотношения проезжающих прямо и поворачивающих машин; показано, что при возрастании нагрузки пропускная способность растет до определенного порога, после чего заторы и пробки приводят к ее снижению. Этим результатам посвящены предыдущие работы авторов [4, 5].

В новых экспериментах, предложенных в настоящей работе, моделировалась реальная развязка – а именно, пересечение московского Третьего транспортного кольца и Звенигородского шоссе. На рис. 1 и 2 показана реальная фотография развязки (взятая с Google Maps) и ее представление в предлагаемом моделировании.



Рис. 1. Фотография развязки с Google Maps.

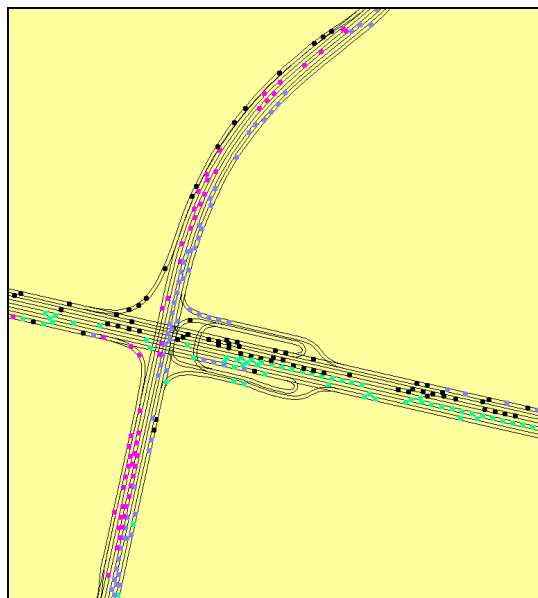


Рис 2. Модель развязки в программе моделирования

Эксперименты с этой моделью (рис. 3) показали удовлетворительные результаты; удалось воспроизвести дорожную загрузку и пробки, причем, как и для модельной дороги, при увеличении интенсивности потока пропускная способность развязки сначала увеличивается, а затем начинается снижаться, поскольку возникают пробки.

В частности, рис. 4 показывает определенный тип пробки на многополосной дороге: автомобили, желающие повернуть, блокируют левые ряды, поскольку они не могут перестроиться в забитый правый ряд для поворота. Это видно на нижней дороге: голубые автомобили (желающие свернуть вправо) блокируют 2-й и 3-й ряды для синих и черных автомобилей. Авторы сталкивались с такими ситуациями на реальных московских дорогах.

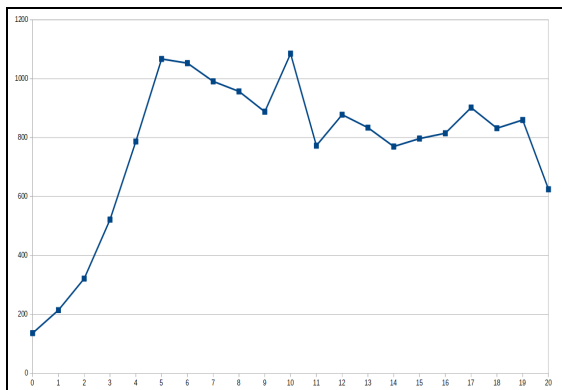


Рис. 3. Пропускная способность реальной дороги.

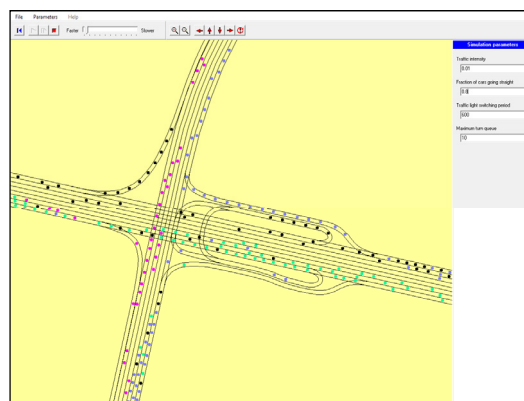


Рис. 4. Пробка, возникшая из-за высокой интенсивности движения

Кроме того, на рис. 4 можно видеть средства управления симулятора – панель меню, окно для ввода и контроля основных параметров (на рисунке оно показано справа от рабочего окна программы). В основном рабочем окне визуализируется карта изучаемой части дороги и процесс моделирования. Стандартное меню «File» позволяет загружать различные карты дорог.

В целом система позволяет анализировать динамику процессов на изучаемой части дороги и разрабатывать рекомендации по ее эффективному улучшению.

Помимо описанного симулятора также построена развернутая компьютерная модель движения отдельного автомобиля по дороге в пакете «Универсальный механизм» [6]. С помощью этой модели исследована динамика движения отдельного автомобиля, подтвердившая адекватность стайного подхода и использованных моделей поведения составляющих стаю автомобилей-агентов.

4. Заключение

Выполненная работа и эксперименты, продемонстрировавшие ожидаемые эффекты, подтвердили правильность принятых решений. В экспериментах показан выбор оптимальных параметров для организации движения на рассмотренных участках дорог. Изучено и показано положительное и отрицательное влияние таких параметров, как интенсивность потока и доля поворачивающих автомобилей, на динамику дорожной ситуации. Представленные результаты могут использоваться в организации движения автомобилей-роботов и автомобилей с водителями.

Эта работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных исследований, проекты № 19-01-00123 А, 19-08-01159 А, 16-08-00880 А, 18-08-01441 А, 18-31-20068, 16-29-08406, и Программой Президиума РАН I29 «Актуальные проблемы робототехнических систем»

Список литературы

1. Мартынова И.В., Ершов Н.М. Имитационное моделирование дорожного трафика с помощью сетей Петри // Вестник Международного университета природы, общества и человека. 2016. № 2. С. 22-27.
2. Dotoli M., Fanti M. An urban traffic network model via coloured timed Petri nets // Control Engineering Practice. 2006. Vol. 14, No. 10. P. 1213-1229.
3. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling // J. Syst. Cont. Eng. 2001. Vol. 215, No. 4. P. 283-303.
4. Pavlovsky V.E., Pavlovsky V.V. Mathematical Models of Swarm Aspects in Traffic Flows. // Proceedings of the 18th International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering CMMSE 2018. 9-13 July, 2018, Spain.
5. Pavlovsky V.E., Pavlovsky V.V. Mathematical Models of Swarm Aspects for Describing Traffic Situations. // Proceedings of the 5th International Conference on Communication, Management and Information Technology ICCMIT. 26-28 March 2019, Vienna, Austria.
6. Mikheev G., Pogorelov D., Rodikov A. Methods of Simulation of Railway Wheelset Dynamics taking into Account Elasticity // First International Conference on Rail Transportation. Chengdu, China, July 10-12, 2017.