

УДК 519.248

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ СЕРИЮ ПЕРЕКРЁСТКОВ

Исмагилов Т.Р., Бояршинова И.Н., Потапова И.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: 7118tim7118@mail.ru*

На сегодняшний день остро ощущается проблема затруднённости автомобильного движения в крупных городах. Предлагаемая работа посвящена компьютерному имитационному моделированию системы перекрёстков. Разработаны алгоритмы построения модели по заданным пользователем параметрам работы системы. Создана компьютерная программа, реализующая предложенные алгоритмы. Описание программы представлено в виде блок-схемы с пояснениями. Для разработки модели были использованы элементы теории систем массового обслуживания (СМО) и клеточных автоматов. Полагается, что перекрёсток – это СМО с четырьмя потоками заявок, каждый из которых представляет собой n одноканальных СМО с неограниченным временем ожидания. Созданная компьютерная имитационная модель позволяет исследовать поведение транспортных потоков на нескольких связанных между собой перекрёстках, оценивать влияние соседних перекрёстков друг на друга и транспортную ситуацию на каждом из них в отдельности, а также может служить базой для проведения численных экспериментов, анализа и обработки их результатов.

Ключевые слова: компьютерная имитационная модель, перекрёсток, многопоточная система массового обслуживания, очередь заявок

DEVELOPING A COMPUTER IMITATIONAL MODEL OF VEHICULAR TRAFFIC THROUGH A SERIES OF INTERSECTIONS

Ismagilov T.R., Boyarshinova I.N., Potapova I.A.

Perm National Research Polytechnical University, Perm, e-mail: 7118tim7118@mail.ru

Today, the problem of constriction of vehicular traffic in major cities is very common and actual. This paper is dedicated to creation of an imitational model of an intersections system. Algorithms have been developed which facilitate creation of such model based on a list of user-supplied system-wide parameters. A computer application has been created implementing the proposed algorithms. Description of the application is presented as a flowchart with commentaries. The created model incorporates elements from queueing systems (QS) theory and cellular automata theory. The model is based on an assumption that an intersection can be represented by a QS with four inbound streams, each represented by n single-channel QS with unlimited wait time. The created computer imitational model allows examining of behavior of vehicular transport streams on multiple connected intersections, and estimating influence of neighboring intersections on a singular intersection or their mutual influence. It can also serve as a foundation for running numerical experiments.

Keywords: computer simulation, intersection, multi-stream queueing system, queueing

Транспортное сообщение – неотъемлемая часть нашей жизни. Каждый день миллионы людей едут в школу, в университет, на работу. Общественный и личный транспорт образуют единый транспортный поток. Это постоянное движение стало одним из символов всех крупных городов. На сегодняшний день мегаполисы переполнены автомобилями, а дороги не справляются с растущим числом автомобилей. Очевидной является необходимость расширения дорожных сетей. Зачастую тяжело принять решение о расширении, не имея данных, подтверждающих достаточность применяемых мер. Проводить натурные эксперименты в данной области слишком долго и дорого. На помощь приходит компьютерное имитационное моделирование (КИМ) [3, 8].

На сегодняшний день существует множество различных методологий моделирования транспортных потоков.

В работе [1] моделирование поведения водителя определяется модификацией известного ранее алгоритма «умного водителя», при котором положение автомобиля в пространстве описывается через координату, время, скорость и длину автомобиля. Автором работы не учитывается движение автомобилей при повороте налево. В статье [6] было уделено большее внимание описанию управления и оптимизации, нежели алгоритма моделирования. Известно, что в работе использовался дискретно-событийный подход, чтобы уменьшить время исполнения программы. Авторами статьи [9] был использован подход «Узел – функция – объект» (УФО). Метод основан на алфавите элементов, связей систем, подвергающихся анализу, а также их библиотек. Транспортный поток описывается протяжённостью, количеством автомобилей в потоке, а также параметрами, запрещающими или

разрешающими проезд налево/направо/прямо. В статье [12] предлагается изолировать проблемный участок дороги, намеренно ограничивая скорость автомобилей в том же потоке. У водителей, находящихся на проблемном участке, появляется больше времени, чтобы предотвратить образование пробки. В работе [5] автор предлагает применять к моделированию транспортных потоков электродинамический принцип. Основные параметры транспортного потока ставятся в соответствие силе тока, напряжению и сопротивлению. В работе [7] рассмотрена модель системы, учитывающая сужения и расширения дорожного пространства, а также предложены меры по предотвращению образования заторов в узких местах.

Самыми проблемными являются перекрестки – участки пересечения встречных или взаимно перпендикулярных автомобильных потоков.

В настоящей работе поставлена задача создания компьютерной имитационной модели, позволяющей исследовать поведение транспортных потоков на нескольких связанных между собой перекрестках, оценки влияния соседних перекрестков друг на друга и транспортной ситуации на каждом из них в отдельности.

Компьютерная программа моделирует проблемные участки дороги с точки зрения образования на них очередей из автомобилей. Для моделирования очередей в работе использованы элементы теории систем массового обслуживания (СМО) [2, 4, 10]. Чтобы компьютерная модель была более точной, за основу был взят микроскопический подход [11]. Для упрощения модели и уменьшения вычислительных затрат использованы элементы теории клеточных автоматов [13, 14].

Основные элементы системы и их свойства

Основными элементами системы являются: перекресток, поток, автомобиль, участок пересечения потоков.

Самым крупным элементом модели является перекресток. Каждый перекресток представляет собой СМО, с двумя обработчиками очереди и четырьмя потоками заявок. Два потока обрабатываются, два – ждут. Через некоторое время обрабатываемые потоки приостанавливаются, а ожидающие попадают на обработку. В свою очередь каждый поток представляет собой n одноканальных СМО, где n – количество полос в потоке. В каждой полосе первый ав-

томобиль обрабатывается, остальные ждут своей очереди. Основными характеристиками перекрестка являются:

- наличие в его составе восьми потоков автомобилей: четыре потока, входящих на территорию перекрестка, и четыре потока, выходящих из него;

- два параметра, отвечающие за время движения/ожидания вертикальных/горизонтальных потоков. Сумма этих параметров даёт нам время цикла работы перекрестка;

- количество полос для движения потоков автомобилей в каждом направлении.

Следующим элементом системы является автомобильный поток. В данной работе под автомобильным потоком подразумеваются все автомобили, въезжающие или выезжающие с перекрестка в одном направлении.

Характеристиками входящих потоков являются:

- количество автомобилей, которые должны повернуть налево;

- количество автомобилей, которые должны повернуть направо;

- количество автомобилей, которые должны проехать прямо.

В зависимости от имеющегося числа полос автомобили распределяются по полосам в соответствии со своей целью. Автомобили, находящиеся в одной полосе, образуют очередь. Автомобиль после въезда на перекресток не может покинуть очередь, поэтому с точки зрения теории СМО система является «системой без отказов, с неограниченным временем ожидания». В системе перекрестков нет явного обработчика очереди, эта роль возлагается на водителя каждого автомобиля. Поэтому все типичные для обработчика заявок параметры в нашем случае перекладываются на автомобили. Вот как это проявляется в свойствах автомобиля:

- время обработки заявки в данном случае – это время, которое необходимо автомобилю, чтобы выполнить манёвр поворота или проехать через перекресток прямо;

- задержка между обработками заявок – время, которое обязан выждать «второй» автомобиль в очереди после отъезда «первого», чтобы избежать столкновения с ним.

Третьим важным элементом системы является участок пересечения потоков. Без него движение происходило бы в идеальных условиях, где автомобильные потоки не пересекаются друг с другом, что противоречит устройству обычного городского перекрестка.

Алгоритм работы программы

Первым этапом работы программы является опрос пользователя. Программой запрашиваются следующие данные: количество перекрёстков, параметры, общие для всей системы, индивидуальные параметры каждого перекрёстка. На основании полученных данных создаются элементы модели системы. Происходит процесс моделирования, по окончании которого пользователю представляется отчёт о результатах моделирования.

Алгоритм создания модели системы

В первую очередь создаются перекрёстки, заполняются необходимые поля класса «перекрёсток», вызывается «конструктор потоков», в завершение процедуры вызывается «конструктор участка пересечения».

В конструкторе потоков заполняются необходимые поля, создаются полосы, по которым будет происходить движение автомобилей, создаются автомобили, которыми заполняются полосы.

На рис. 1 представлены блок-схемы, описывающие алгоритм создания системы.



Рис. 1. Описание алгоритма создания системы:
а – процедура создания перекрёстка; б – процедура создания потока

Создав модель системы, программа приступает к процессу моделирования. Основным параметром в процессе моделирования является время. До тех пор, пока значение параметра времени не достигнет финальной отметки, заданной пользователем, состояние системы будет обновляться путём обновления состояния всех перекрёстков в системе.

Перед обновлением состояния перекрёстка необходимо выполнить проверку:

не пора ли остановить работу текущих потоков и запустить перпендикулярные им. Если цикл светофора завершился, данные обо всех автомобилях, проехавших за этот цикл, сохраняются. Выполняется процедура обновления соответствующих потоков, в зависимости от того, какие потоки должны функционировать в текущий момент времени.

В процессе обновления состояния потока в первую очередь необходимо произвести обновление состояния участка на пересечении перед потоком. В случае, если на участке пересечения будут автомобили с предыдущей части цикла светофора, то они должны уехать в первую очередь. Лишь после этого начнут своё движение первые автомобили из потока.

Автомобиль, оказавшийся на первой позиции в очереди, во время движения своего потока должен покинуть поток. Автомобиль может начать движение, если прошло достаточно времени с момента отъезда предыдущего автомобиля.

Когда первые автомобили из потока покинут очереди, их освободившиеся места займут следующие автомобили.

Обновление состояния первого автомобиля в очереди происходит так: изменим состояние автомобиля с «ожидания» на «движение» и зафиксируем время начала движения. Эту информацию можно будет использовать при анализе результатов работы системы. Затем, в зависимости от цели автомобиля (налево/направо/прямо) и потока, в котором он расположен, сообщаем автомобилю, в какой поток он должен двигаться. Покинув поток, автомобиль

сообщает время своего отъезда следующему в очереди автомобилю, чтобы он мог соблюсти должный временной интервал во избежание столкновения. Если целью автомобиля является проезд прямо или направо, автомобиль беспрепятственно проезжает. В случае, когда автомобилю нужно проехать налево, ему может препятствовать встречный поток автомобилей. В таком случае автомобиль занимает место на пересечении потоков и ждёт возможности продолжить движение. В случае ожидания на пересечении, фиксируется изменение свойств автомобиля: его состояния и времени начала ожидания.

Блок-схемы, отображающие алгоритм моделирования работы системы, изображены на рис. 2 и 3.

Созданная программа может предоставить данные для анализа результатов работы системы. Полученные данные можно использовать для оценки пропускной способности проектируемых участков дорог или действующих перекрёстков, в случае обнаружения неполадок в работе. Программа может быть запущена с новыми параметрами системы для подтверждения оптимальности новых расчетных значений.



Рис. 2. Описание алгоритма моделирования:
а – описание процедуры моделирования;
б – описание процедуры обновления состояния перекрёстка



Рис. 3. Описание алгоритма моделирования:
а – описание процедуры обновления потока;
б – описание процедуры обновления состояния первого автомобиля в очереди

По окончании работы программы можно отследить общее количество машин, попавших в систему, проехавших через систему, оставшихся в очередях системы. Есть возможность узнать, сколько времени в среднем проводил автомобиль в движении или ожидании, в системе или на конкретном перекрёстке. Можно получить ту же характеристику по каждому автомобилю в отдельности.

При тестировании программы на создание системы из четырёх перекрёстков (по три полосы в каждом из четырёх направлений, по шесть автомобилей в полосе) и моделировании её работы в течение 600 секунд реального времени программе понадобилась 1 секунда. При этом было использовано 2,4 МБ памяти. Больше всего памяти понадобилось для класса «Автомобиль», самого многочисленного класса в системе. Компьютерное моделирование проводилось на процессоре Intel(R) Core(TM) i5-2520M CPU @ 2.50 GHz 2.50 GHz. Загрузка процессора не превысила 30%.

Кроме большого количества варьируемых и отслеживаемых параметров элементов системы, можно отметить её универсальность: возможность моделирования любых конкретных объектов автомобильных сетей. Предусмотрена возможность добавления дополнительного функционала и логики поведения элементов системы.

Компьютерная модель может служить базой для проведения численных экспериментов в системе и получения выходных параметров для дальнейшего анализа и обработки.

Список литературы

1. Ахмадинуров М.М., Оптимизация светофорного регулирования с помощью программы моделирования транспортных потоков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2010. – № 22 (198).
2. Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р., Потапова И.А., Моделирование и оптимизация работы системы массового обслуживания // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9–1. – С. 9–13.
3. Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М., Таташев А.Г., Яшина М.В. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автотрассового движения. – М.: Мир, 2003. – 368 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Изд-во «СОВЕТСКОЕ РАДИО», 1972. – 552 с.
5. Гальченко Г.А., Моделирование транспортных потоков на основе электродинамического принципа // Символ науки. – 2015. – № 8.
6. Голубков А.С., Царев В.А., Адаптивное управление дорожным движением на базе системы микроскопического моделирования транспортных потоков // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 5.
7. Кузин М.В. Особенности моделирования движения плотных групп транспортных средств с учетом изменения поперечного сечения дороги // МСим. – 2008. – № 1 (18).

8. Куприяшкин А.Г., Основы моделирования систем: учебное пособие. – 2015.

9. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Брусенская И.Н. Имитационное моделирование транспортных потоков с применением УФО-подхода // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2013. – № 22–1 (165).

10. Павский В.А., Теория массового обслуживания: учебное пособие. – 2008.

11. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г., Поляков Д.Б., Математическое моделирование потоков автотранспорта на основе макро и микроскопических подходов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 1.

12. Ширин Валерий Викторович. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети города // Вестник ХНАДУ. – 2010. – № 50.

13. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // Math. Comp. Simul. – 1986. – Vol. 28. – P. 297–303.

14. Saifallah Benjaafar, Kevin Dooley, Wibowo Setyawan, Cellular Automata for Traffic Flow Modeling.

References

1. Ahmadinurov M.M., Optimizacija svetoformnogo regulirovanija s pomoshhju programmy modelirovanija transportnyh potokov // Vestnik JuUrGU. Serija: Kompjuternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika. 2010. no. 22 (198).

2. Bojarshinova I.N., Ismagilov T.R., Potapova I.A., Modelirovanie i optimizacija raboty sistemy massovogo obsluzhivaniya // Fundamentalnye issledovanija 2015. no. 9 (chast 1) pp. 9–13.

3. Buslaev A.P., Novikov A.V., Prihodko V.M., Tatashev A.G., Jashina M.V. Veroyatnostnye i imitacionnye podhody k optimizacii avtodorozhnogo dvizhenija. M.: Mir, 2003. 368 p.

4. Ventcel E.S. Issledovanie operacij Izdatelstvo «SOVETSKOE RADIO» Moskva. 1972. 552 p.

5. Galchenko G.A., Modelirovanie transportnyh potokov na osnove jelektrodinamicheskogo principa // Simvol nauki. 2015. no. 8.

6. Golubkov A.S., Carev V.A., Adaptivnoe upravlenie dorozhnym dvizheniem na baze sistemy mikroskopeskogo modelirovanija transportnyh potokov // Informacionno-upravljajushhie sistemy. 2010. no. 5.

7. Kuzin M.V. Osobennosti modelirovanija dvizhenija plotnyh grupp transportnyh sredstv s uchedom izmenenija poperechnogo sechenija dorogi // MSiM. 2008. no. 1 (18).

8. Kuprijashkin A.G., Osnovy modelirovanija sistem // Uchebnoe posobie, 2015.

9. Matorin S.I., Ziharev A.G., Zajceva N.O., Brusenskaja I.N. Imitacionnoe modelirovanie transportnyh potokov s primeneniem UFO-podhoda // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jekonomika. Informatika. 2013. no. 22–1 (165).

10. Pavskij V.A., Teorija massovogo obsluzhivaniya // Uchebnoe posobie, 2008.

11. Trapeznikova M.A., Chechina A.A., Churbanova N.G., Poljakov D.B., Matematicheskoe modelirovanie potokov avtotransporta na osnove makro i mikroskopeskih podhodov // Vestnik AGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. 2014. no. 1.

12. Shirin Valerij Viktorovich. Povyshenie propusknoj sposobnosti ulichno-dorozhnoj seti goroda // Vestnik HNADU. 2010. no. 50.

13. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // Math. Comp. Simul. 1986. Vol. 28. pp. 297–303.

14. Saifallah Benjaafar, Kevin Dooley, Wibowo Setyawan, Cellular Automata for Traffic Flow Modeling.