

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

В.А. Сёмина

valeriya.syomina@yandex.ru

SPIN-код: 2636-6585

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Вследствие экспансии транспортных сетей все более усложняется анализ параметров их функционирования: пропускной способности, средней скорости и интенсивности движения транспортных средств на выделенных участках пути, а также эффективности, объема грузовых перевозок и др. В этой связи проведен анализ существующих методов формализации транспортных потоков. Установлено, что самым популярным среди них является метод мультиагентного моделирования. Благодаря учету индивидуальных характеристик участников движения, например скорости в транспортном потоке, данный метод позволяет построить приближенную к реальности модель. Представленный подход может быть усовершенствован с целью учета влияния психологического и физического состояния водителя на принимаемые им решения.

Ключевые слова

Моделирование, транспортный поток, транспортная сеть, мультиагентные системы

Поступила в редакцию 10.11.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Транспортная инфраструктура является одной из важнейших, обеспечивающих жизнь городов и регионов. За последние годы во многих крупных городах и мегаполисах исчерпаны или близки к этому возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому в настоящее время особое значение приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного и специализированного транспорта, обеспечение безопасности дорожного движения, а также повышение эффективности автомобильных перевозок [1].

Решение такого рода задач невозможно без применения методов математического моделирования транспортных сетей и потоков. Главной задачей математических моделей является определение и прогноз параметров функционирования транспортной сети, а именно пропускной способности, интенсивности движения на всех элементах сети, объемов перевозок в сети общественного транспорта, средних скоростей движения, задержек и потерь времени, эффективности грузовых перевозок и т. д.

Для поиска эффективных стратегий управления транспортными потоками в мегаполисе, оптимальных решений по проектированию улично-дорожной сети и организации дорожного движения необходимо учитывать широкий

спектр характеристик транспортного потока, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного транспортного потока [2].

В ходе исследования процессов движения транспортных потоков на протяжении многих лет накоплен большой опыт, однако практическое использование полученных результатов недостаточно в силу следующих факторов [2]:

1) транспортный поток является нестабильным и многообразным. Получение объективной информации о нем является наиболее сложной и ресурсоемкой задачей системы управления;

2) противоречивость критериев качества управления дорожным движением необходимо обеспечивать бесперебойность движения, одновременно снижая ущерб от движения и накладывая ограничения на скорость и направление движения;

3) при всей стабильности для дорожных условий характерен элемент непредсказуемости, например по причине погодных-климатических условий или состояния дорожного полотна;

4) исполнение решений управления дорожным движением всегда неточно при реализации и, если рассматривать природу процесса дорожного движения, приводит к непредсказуемым эффектам.

Таким образом, можно сделать вывод, что трудность формализации процесса движения транспортных потоков является причиной отставания научных исследований от реальных требований, следовательно, задача формализации транспортных потоков остается актуальной в настоящее время.

Макроскопические модели. В таких моделях транспортный поток уподобляется потоку жидкости, отсюда другое название этих моделей — гидродинамические. К ним относят модель Лайтхилла—Уизема—Ричардса, модель Танака, модель Пейна и кинетические модели [2].

В рамках данного подхода не рассматриваются индивидуальные особенности транспортных средств. Макромодели способны лишь имитировать некоторые свойства автомобильного потока, например изменение скорости в сужениях и расширениях дорог, «старт-стоп» движение в пробках и т. п.

Преимуществом таких моделей является простота в использовании, а недостатком — низкая степень детализации. Макромодели не способны генерировать надежные результаты для дорожных сетей с ограниченной емкостью, например для дорог в крупных городах. Невозможно описать все разнообразие возникающих на дорогах ситуаций, учитывая малое число параметров, например, только скорость и плотность потока.

Микроскопические модели. Данные модели описывают движение каждого отдельного транспортного средства в потоке. Такой подход позволяет достичь гораздо более точных результатов при моделировании, по сравнению с макроскопическим подходом.

Наиболее простой с точки зрения реализации класс микроскопических моделей называют моделями «следования за лидером» [2]. Представим, что авто-

мобильные транспортные средства пронумерованы от 1 до n . Далее предположим, что ускорение n -го автомобиля зависит от его положения на дороге, то есть от соседних автомобилей (их ускорения, размера, скорости и других показателей). Однако основное влияние оказывает непосредственно $n-1$ -й идущий перед ним автомобиль. Такое транспортное средство называют лидером или лидирующим. Каждый водитель адаптирует свою скорость к скорости лидирующего транспортного средства.

Другим вариантом данного подхода является модель оптимальной скорости. В данном случае считается, что для каждого водителя существует своя «безопасная» скорость движения, которая зависит от дистанции до лидера. Адаптация скорости проводится не к скорости лидера, а к оптимальной скорости.

Недостатком моделей данного типа является отсутствие механизмов моделирования дорожного движения на многополосных дорогах. Несмотря на это обстоятельство, модели данного типа широко используются.

Клеточные автоматы. Дороги в действительности могут состоять более из одной полосы в одном направлении движения. В настоящее время наиболее популярным методом микроскопического моделирования является использование клеточных автоматов, которые позволяют имитировать многополосные магистрали.

Дороги представляются в виде численных матриц: каждая строка соответствует полосе, каждая ячейка — участку дороги установленной длины. В любой момент времени каждая ячейка матрицы дорожного полотна либо свободна, либо занята обычно одним транспортным средством.

Впервые реализацию транспортной модели на клеточных автоматах в 1992 году описали К. Нагель и М. Шрекенберг. На каждом шаге состояние всех транспортных средств в системе обновляется в соответствии с некоторыми правилами [2, 3]:

1) ускорение отражает тенденцию двигаться как можно быстрее, не превышая максимально допустимую скорость:

$$V_n(m+1) = \min\{V_n + 1, V_{\max}\},$$

где V_n — скорость n -го водителя; m — номер шага моделирования;

2) торможение гарантирует отсутствие столкновений с впереди идущими транспортными средствами:

$$V_n(m+1) = \min\{V_n(m), s_{n+1}(m) - s_n(m) - d\}, \quad d \sim 7,5 \text{ м};$$

3) случайные возмущения учитывают различия в поведении транспортных средств:

$$V_n(m+1) = \begin{cases} \max\{V_n(m) - 1, 0\}, p \\ V_n(m), 1 - p \end{cases},$$

здесь p — вероятность;

4) движение $d \sim 7,5$ м:

$$s_n(m+1) = s_n(m) + V_n(m),$$

где s_n — расстояние, пройденное водителем.

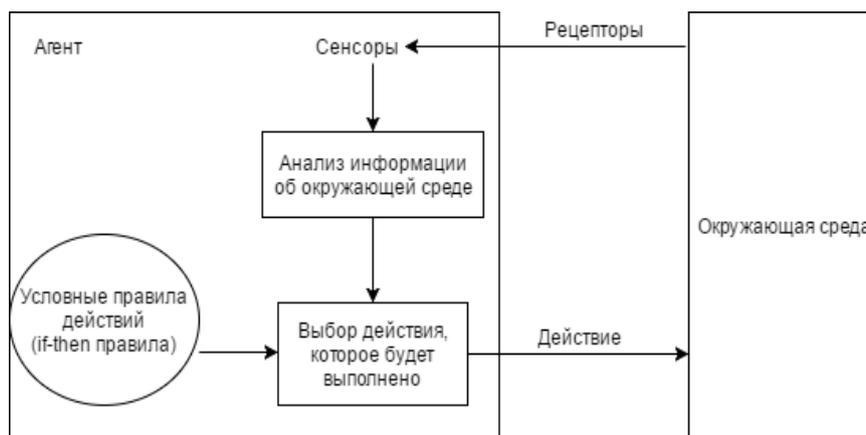
Данная модель описывает только основные и самые важные аспекты процесса движения. Для более сложных ситуаций необходимо формулировать дополнительные правила и условия.

К тому же одна клетка матрицы не может содержать достаточно информации об одном автомобиле. Вследствие этого все автомобили в модели обладают одинаковыми поведенческими и физическими свойствами. Обойти данное ограничение позволяет многоагентное моделирование.

Мультиагентное (многоагентное) моделирование. Агент, с точки зрения термина «объект», по определению Международной ассоциации по лингвистике FIRA (Federation of Intelligent Physical Agents) является «сущностью, которая находится в некоторой среде, интерпретирует ее и исполняет команды, воздействующие на среду» [4, 5].

Под мультиагентной, или многоагентной, системой понимают множество взаимосвязанных агентов с индивидуальными характеристиками и поведением в какой-либо активной среде [4]. Мультиагентная система воспроизводит динамику взаимодействия и состояния агентов в процессе достижения общих и частных целей [5].

Применительно к задаче моделирования транспортных потоков в агентно-ориентированных транспортных моделях главным объектом является водитель. Каждый водитель может обладать рядом индивидуальных параметров таких, как оказываемое на окружающую среду воздействие, привычки, текущее настроение, а также психоэмоциональное состояние [6]. Концепция агента предстала ниже, на рисунке.



Концепция агента

Особое внимание следует уделить взаимодействию между агентами. Каждый агент, с точки зрения других агентов, представляет собой «черный ящик» [7, 8]. Агенты вынуждены действовать в соответствии с полученной информацией о те-

кущем состоянии окружающей среды, принимая во внимание сигналы от других агентов. Каждый из них принимает решение самостоятельно, его действия не определяются извне [6, 9]. Внутренняя и внешняя по отношению к агенту информация обрабатывается экспертной системой, которая выдает сведения о следующем действии водителя [9]. Экспертная система должна содержать базу данных, которую формирует разработчик модели на основе анализа реального опыта вождения людей. Недостатком данного метода являются большие вычислительные затраты, по сравнению с ранее рассмотренными подходами.

Анализ методов математического моделирования транспортных потоков показал, что использование многоагентного подхода позволяет учитывать индивидуальные характеристики участников дорожного движения и создавать более точные, приближенные к реальности, модели.

Литература

- [1] Гасников А.В., ред. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. Москва, МЦНМО, 2013, 215 с.
- [2] Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков. *Автоматика и телемеханика*, 2003, № 11, с. 3–46.
- [3] Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 1992, vol. 2, no. 12, pp. 2221–2229.
- [4] Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex 3. Москва, Лаборатория знаний, 2016, 361 с.
- [5] Stone P., Veloso M. Multiagent systems: a survey from a machine learning perspective. *Autonomous Robots*, 2000, vol. 8, no. 3, pp. 345–383.
- [6] Wooldridge M. An introduction to multiagent systems. Wiley, 2009, 484 p.
- [7] Doran J., Franklin S., Jenkins N.R., Norman T.J. On cooperation in multi-agent systems. UK Workshop on Foundations of Multiagent Systems, Warwick, 1996.
- [8] Russel S., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall, 1995, 932 p.
- [9] Rehtanz C., ed. Autonomous systems and intelligent agents in power system control and operation. Springer, 2003, 306 p.

Сёмина Валерия Алексеевна — студентка кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Рудаков Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

CLASSIFICATION OF THE TRAFFIC FLOW MATHEMATICAL MODELING METHODS

V.A. Semina

valeriya.syomina@yandex.ru

SPIN-code: 2636-6585

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Due to the expansion of the transportation networks it becomes more and more challenging to analyze their operating parameters such as traffic capacity, average speed and rate of vehicles traffic flow on the chosen legs of the route, as well as the efficiency and volume of freight traffic etc. In this regard, we have analyzed the existing traffic flows formalization methods. It is established that the most popular one is a multiagent modeling method. Due to the consideration of the traffic participants' individual characteristics, for example, the speed in the traffic flow, it allows us to develop a model close to the reality. This approach can be improved with the object of considering the drivers mental and physical condition impact on the decisions that they make.

Keywords

Modeling, traffic flow, transportation network, multiagent systems

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Gasnikov A.V., ed. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov [Introduction in mathematical modelling of traffic flows]. Moscow, MTsNMO publ., 2013, 215 p.
- [2] Shvetsov V.I. Mathematical modeling of traffic flows. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, no. 11, pp. 3–46. (Eng. version: *Automation and Remote Control*, 2003, vol. 64, no. 11, pp. 1651–1689.)
- [3] Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 1992, vol. 2, no. 12, pp. 2221–2229.
- [4] Ivashkin Yu.A. Mul'tiagentnoe modelirovanie v imitatsionnoy sisteme Simplex 3 [Multiagent modelling in Simplex 3 simulation system]. Moscow, Laboratoriya znaniy publ., 2016, 361 p.
- [5] Stone P., Veloso M. Multiagent systems: a survey from a machine learning perspective. *Autonomous Robots*, 2000, vol. 8, no. 3, pp. 345–383.
- [6] Wooldridge M. An introduction to multiagent systems. Wiley, 2009, 484 p.
- [7] Doran J., Franklin S., Jenkins N.R., Norman T.J. On cooperation in multi-agent systems. UK Workshop on Foundations of Multiagent Systems, Warwick, 1996.
- [8] Russel S., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall, 1995, 932 p.
- [9] Rehtanz C., ed. Autonomous systems and intelligent agents in power system control and operation. Springer, 2003, 306 p.

Semina V.A. — student, Department of Software for Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Rudakov I.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Software for Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.