

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 <https://esj.today/issue-6-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Зайнетдинов А.Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Nedyak A.V., Rudzeyt O.U., Zainetdinov A.R. (2019). Classification of methods for modeling traffic flows. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf> (in Russian)

УДК 004.94

ГРНТИ 28.17.31

Недяк Антон Витальевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: nedyaq@gmail.com

Рудзейт Олег Юрьевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: rudzeyt18@mail.ru

Зайнетдинов Артём Ришатович

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: zainet.ar@gmail.com

Классификация методов моделирования транспортных потоков

Аннотация. Моделирование различных процессов и систем позволяет решать различные проблемы, не прибегая к экспериментам с реальной системой. С помощью моделирования транспортных потоков можно решать задачи, связанные с проектированием дорожных сетей, составлением транспортных маршрутов и расписаний для общественного транспорта, а также оптимизировать движение в существующих транспортных сетях. Существует большое количество методов моделирования, с помощью которых инженеры могут решать свои задачи. Для упрощения выбора метода моделирования их классифицируют. Это помогает быстро определить, какой из методов моделирования подходит для решаемой задачи исходя из имеющихся данных, временных, вычислительных и трудовых ресурсов, а также учитывая необходимую точность и конечные цели моделирования. В статье представлена классификация, а также отдельно рассмотрены различные методы моделирования транспортных потоков. Как примеры макроскопических моделей, также известных как гидродинамические модели, приведены модель Лайтхилла-Уизема, модель Гриншилдса и модель, основной идеей которой является системная динамика. Макроскопические модели строятся «сверху вниз» – для моделирования задаются глобальные параметры взаимодействия и поведения, отдельные единицы транспорта не рассматриваются. Затем в статье речь идёт о мезоскопических моделях. Это методы моделирования, которые комбинируют микромоделирование и макромоделрование. В качестве примеров рассматриваются гравитационная и энтропийная модели. Последним рассматриваемым

обширным классом моделей являются микроскопические модели. Здесь настраивается взаимодействие отдельных транспортных единиц и тем самым обозначается поведение всей системы в целом. К микроскопическим моделям относят клеточные автоматы, имитационное моделирование и дискретно-событийный метод.

Ключевые слова: моделирование; транспортные потоки; классификация; микроскопические модели; мезокопические модели; макроскопические модели; имитационное моделирование; гравитационная модель; системная динамика; дискретно-событийное моделирование; агентное моделирование

Введение

При решении задач с использованием моделирования транспортных потоков первоочередным является выбор метода моделирования. Выбор зависит как от самого типа задачи, так и от имеющихся временных и трудовых ресурсов. От метода моделирования зависит, каким конкретно образом модель будет построена, как инженер-создатель модели будет её настраивать и какие данные необходимо получить для её построения.

Классификации методов моделирования транспортных потоков

Для простоты выбора метода моделирования существуют различные классификации, некоторые приведены ниже. Это классификации по следующим признакам:

- по изменяемости данных с течением времени (динамические, статические);
- по методу расчётов (компьютерные, математические);
- по непрерывности (непрерывные, дискретные);
- по наличию вероятностной составляющей (стохастические, детерминированные);
- по типу решаемых задач (прогнозные, имитационные, оптимизационные);
- по уровню детализации (макроскопические, микроскопические, мезоскопические).

В последнее время специалисты всё чаще прибегают к классификациям, которые основаны не на одном признаке, а на их сочетании. Одной из таких является изображённая на рисунке 1 классификация по двум основным признакам: уровню детализации и методу моделирования [1]:

1. макроскопические;
 - 1.1. модели-аналоги;
 - 1.2. модель системной динамики;
2. мезоскопические;
 - 2.1. модели расчёта матрицы межрайонных корреспонденций;
 - 2.2. модели распределения потоков;
3. микроскопические;
 - 3.1. «follow»-модели или модели следования за лидером;
 - 3.2. клеточные автоматы;

3.3. имитационные модели.



Рисунок 1. Классификация методов моделирования транспортного потока (составлено автором)

Макроскопические модели

Этот класс моделей также известен как гидродинамические модели, поскольку здесь проводится аналогия между транспортным потоком и потоком абстрактной жидкости; поток рассматривается как неделимая единица, то есть отсутствует моделирование каждого автомобиля. Модель настраивается путём определения плотности потока, средней скорости, интенсивности потока. В данных моделях имеются некоторые допущения. Например, между скоростью и плотностью есть функциональная зависимость [2]. Это необходимо для учёта уменьшения скорости движения автомобилей с ростом плотности потока. Однако, при таком подходе есть вероятность, что значения плотности или скорости станут отрицательными, что невозможно. Также нельзя не отметить тот факт, что одному значению плотности потока может соответствовать несколько значений скорости (при различных обстоятельствах). Именно эти элементы макроскопического моделирования являются их главными недостатками.

Примером макроскопической модели является модель Лайтхилла-Уизема. Она основана на уравнениях гидродинамики и выполнении закона сохранения массы, данном случае под массой подразумевается количество автомобилей. Приведённая модель является первой гидродинамической моделью. Она не лишена недочётов – модель не работает при экстремально низких и высоких значениях плотности потока; модель неадекватна около так называемых «бутылочных горлышек» – резко сужающихся частей дороги. Также модель Лайтхилла-Уизема неадекватна при моделировании перекрёстков со светофорами. Однако, на основе этой гидродинамической модели затем были разработаны улучшенные варианты моделирования. В модифицированных моделях было учтено внутреннее давление потока, которое заставляет водителей действовать аналогично движению лидирующего автомобиля [1].

Модель Гриншилдса также основана на уравнениях гидродинамики и выполнении закона сохранения транспортного потока, как и в предыдущем случае, но здесь зависимость плотности скорости потока линейная. Для получения адекватных результатов при определении пропускной способности необходимо правильно задать скорость свободного движения, иначе есть вероятность получения завышенных результатов. Данная модель обладает следующей особенностью: результаты моделирования будут тем точнее, чем ниже будет задана скорость

свободного движения. Данная модель позже была доработана Гринбергом. В модели он изменил зависимость плотности потока и скорости движения – она стала логарифмической. Недостаток моделей Гриншилдса и Гринберга – они неадекватны при крайне низком значении плотности потока [2].

Также к макроскопическим моделям можно отнести так называемую системную динамику. В основе этого метода лежат циклы обратной связи [3]. Например, работа светофоров определяет движение транспортного потока, в то время как настройка светофора зависит от движения транспортного потока. Для получения представления о системе здесь используются так называемые причинно-следственные диаграммы [4]. Они позволяют отследить взаимосвязи элементов модели, что позволяет при использовании этого метода моделирования рассматривать различные варианты влияния на систему и оценивать влияние на результат. Системная динамика позволяет реализовывать системы на макроуровне и отлично подходит для прогнозирования различного рода ситуаций в долгосрочной перспективе [5]. Она используется для отслеживания общих тенденций развития модели, что и характерно для макро моделирования.

При помощи вышеописанных моделей решаются различные задачи, в том числе составление расписания для городского общественного транспорта, оценка уровня загруженности транспортной сети и так далее. Данные модели позволяют получить значения таких характеристик транспортных потоков как средняя скорость, уровень загрузки участка транспортной сети и интенсивность движения потока [6].

К недостаткам этих моделей можно отнести статичность результатов и относительно небольшую точность.

Однако, при своих недостатках, макроскопические модели имеют такие плюсы как низкие требования к вычислительным ресурсам при большой скорости расчётов.

Мезоскопические модели

Особенностью данных методов моделирования является комбинирование микро- и макроскопических моделей. Здесь определяется поведение каждой транспортной единицы, но при этом их взаимодействие рассматривается на макроскопическом уровне.

Одной из таких моделей является гравитационная модель. Она описывает взаимодействие двух регионов, которые, собственно, и являются источниками транспортных потоков, или, если использовать терминологию этой области, корреспонденций. Это название было выбрано из-за лежащего в основе этой модели закона всемирного тяготения. Здесь в системе определяются регионы – точки, которые являются источниками и приёмниками транспортных потоков. Между ними задаётся связь, которая по сути является путём. Основными исходными данными для гравитационной модели являются объёмы прибытия и отбытия между районами. Предполагается, что сумма всех отбытий равна сумме всех прибытий, иначе модель будет неадекватна. Принцип данного метода заключается в следующем: транспортный поток из точки А в точку Б пропорционален объёму отбытия из А, объёму прибытия в Б, а также функции тяготения F , которую определяет удалённость точек А и Б друг от друга, а также скоростные и прочие характеристики данного участка пути [7]. Недостатком гравитационной модели является то, что объём корреспонденции рассматривается лишь для двух отдельно взятых районов в отрыве от остальных. Это не позволяет учитывать в модели привлекательность района по причине своего расположения относительно прочих окружающих его районов.

К мезоскопическим моделям, в числе прочих, относят энтропийную модель. В основе метода лежит вероятностное описание поведения транспортных средств [8]. Отдельные участники движения случайным образом распределяются по набору возможных состояний. При моделировании состоянием транспортного средства считается его принадлежность к корреспонденции из i в j . Случайный выбор своего состояния каждым участником движения определяет макроскопическое состояние системы. Реализуемое состояние модели – состояние с наибольшим статистическим весом. Статистические веса состояний отражают сравнительные вероятности реализации различных состояний модели [8]. Состояние с наибольшим статистическим весом является состоянием, при котором достигается максимум некоторой функции в пространстве состояний, называемым энтропией системы.

Преимуществом приведённых моделей является их сравнительная компактность [1]. Как следствие, эти модели имеют следующие недостатки: набор регулируемых параметров не так разнообразен, как у прочих моделей; также здесь практически не учитывается динамика корреспонденций, а значит модели применимы в ограниченном кругу задач.

Микроскопические модели

Микроскопические модели описывают систему путём описания поведения каждого отдельного автомобиля и вариантов взаимодействия с другими участникам дорожного движения [9]. Развитие данных моделей обусловлено появлением производительных ЭВМ, благодаря которым появилась возможность работать с большим объём расчётов.

Первыми появившимися микроскопическими моделями были модели «следования за лидером»: модели оптимальной скорости (разработанные в 1950–1953 годах) и «умного водителя». Предполагается, что каждый участник дорожного движения ориентируется на скорость автомобиля, идущего перед ним. В модели влияние лидера на следующие транспортные средства основано на зависимости оптимальной скорости от дистанции до ведущей машины [1]. Последующий модификации модели оптимального движения касались рассмотрения поведения некоторых водителей при изменении скорости лидирующего автомобиля, а также было рассмотрено поведение транспорта на дорогах с более чем одной полосой движения.

Иногда клеточные автоматы как метод моделирования тоже относят к классу микроскопических. Здесь для моделирования необходимо разбить дорожную сеть на ячейки. В ходе моделирования каждая из этих клеток находится в состоянии, определяющемся предустановленным набором правил и состоянием находящихся по близости клеток.

Ещё один метод, относящийся к микроскопическим – дискретно-событийный метод. В его основе лежит идея о том, что систему можно определить как заданную последовательность операций [10]. В моделях, построенных с использованием данного метода, обрабатываемыми единицами будут заявки [11]. Настраиваются они определением атрибутов – они определяют правила обработки заявок. Например, если объектом моделирования является автомобиль, то его атрибутами могут быть «движение» (состояния «двигается» и «покоится»), «направление движения» (например, ориентированное по компасу) и так далее. Это позволяет моделировать поведение отдельных единиц транспортного потока и определять их взаимодействие. Наибольшее распространение этот метод моделирования получил в логистике, а также моделировании производственных процессов [12].

Агентное моделирование – это относительно новый, но быстроразвивающийся метод для создания моделей. Данный вид моделей основан на моделировании «снизу вверх» – при создании модели описывается не глобальное поведение системы, а отдельных её частей [13]. Агентные модели получили своё название от используемой в них единицы моделирования –

агента. Агент – это независимый автономный объект, который действует согласно установленному набору правил и взаимодействующий с другими агентами [14]. Попадая в систему, агент старается доступными ему способами выполнить цель, которая также заранее предусматривается специалистом, разрабатывающим модель. В случае с моделированием транспортных потоков, целью агента будет достижение определённого места транспортной сети. Агентная модель является типичной микроскопической моделью: глобальное состояние системы диктуется поведением и взаимодействием её отдельных элементов. Это позволяет отследить, как значительные для системы последствия рождаются из небольших факторов, определяющих поведение отдельных агентов.

Недостатком микроскопических моделей является высокое потребление ими ресурсов ЭВМ, что может стать проблемой при моделировании относительно больших участков транспортной системы. Помимо прочего, высокая степень детализации требует большого количества исходных данных. Однако, их сложность позволяет строить модели с многополосными дорогами, поскольку движение автомобилей весьма реалистично и адекватно действительности. Также к преимуществам микроскопических моделей можно отнести высокую точность получаемых результатов.

Заключение

Учитывая большое разнообразие методов моделирования транспортных потоков, создание всеобъемлющей и удобной для всех классификаций является крайне трудной задачей. В статье рассмотрена классификация, которая построена на сочетании разных признаков, что позволяет быстро определить подходящий метод моделирования для решаемой задачи. Поскольку именно удобный выбор модели и является одной из основных задач систематизации методов, то такое решение можно назвать успешным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапова, И.А. Методы моделирования транспортного потока // И.А. Потапова, И.Н. Бояршинова, Т.Р. Исмагилов – *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 10–2. – с. 338–342.
2. Семёнов, В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семёнов – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, 2004 – 44 с.
3. Системная динамика [Электронный ресурс] / The AnyLogic Company – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/system-dynamics/>.
4. Morecroft J., Wiley J. *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*. – 2007. – 464 p.
5. Маликов, Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic / Р.Ф. Маликов – Уфа: ФГБОУ ВПО «Башкирский Государственный Педагогический Университет им. М. Акмуллы», 2013. – 297 с.
6. Дискретно-событийное моделирование [Электронный ресурс] / The AnyLogic Company – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/>.
7. Справка AnyLogic [Электронный ресурс] / The AnyLogic Company – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://help.anylogic.ru/index.jsp>.
8. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов – М.: Институт системного анализа РАН, 2013. – 52 с.
9. Wilensky U., Rand W. *An Introduction to Agent-Based Modeling. Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. – 2015. – 504 p.
10. Fishman G. *Discrete-Event Simulation. Modeling, Programming, and Analysis*. – 2001. – 537 p.
11. Боев, В.Д. Моделирование в среде anylogic: учеб. пособие для СПО / В.Д. Боев. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 298 с. Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/modelirovanie-v-srede-anylogic-437871>.
12. Savrasov M. *Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis*. – Riga, 2013. – 161 p.
13. Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие / Н.Н. Лычкина – М.: Инфра-М, 2012. – 253 с.
14. Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова: информ.-аналит. журн. / учредитель ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова». – М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2017.

Nedyak Anton Vitalievich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: nedyaq@gmail.com

Rudzeyt Oleg Urievich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: rudzeyt18@mail.ru

Zainetdinov Artem Rishatovich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: zainet.ar@gmail.com

Classification of methods for modeling traffic flows

Abstract. Modeling various processes and systems allows solving various problems without resorting to experiments with a real system. Using the modeling of traffic flows, it is possible to solve problems associated with the design of road networks, the preparation of transport routes and schedules for public transport, as well as optimize traffic in existing transport networks. There are many modeling methods with which engineers can solve their problems. To simplify the choice of modeling method, they are classified. This helps to quickly determine which of the modeling methods is suitable for the task based on the available data, time, computational and labor resources, as well as taking into account the necessary accuracy and the ultimate goals of the simulation. The article presents the classification, as well as separately discusses various methods of modeling traffic flows. Examples of macroscopic models, also known as hydrodynamic models, include the Lithill-Watham model, the Grinshields model, and the model whose main idea is system dynamics. Macroscopic models are built “from top to bottom” – for modeling global parameters of interaction and behavior are set, individual units of transports are not considered. Then, the article deals with mesoscopic models. These are simulation methods that combine micromodeling and macromodeling. Gravity and entropy models are considered as examples. The last extensive class of models considered is microscopic models. Here, the interaction of individual transport units is set up and thereby the behavior of the entire system as a whole is indicated. Microscopic models include cellular automata, simulation and the discrete-event method.

Keywords: modeling; traffic flows; classification; microscopic models; mesoscopic models; macroscopic models; simulation; gravity model; system dynamics; discrete-event modeling; agent modeling