

УДК 625.72

Н.Х.Нассер
**ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ
ПОТОКОВ**

Воронежский институт высоких технологий

В работе проводится анализ особенностей моделирования транспортных потоков. Проводят разделение моделей симулирования (имитирования) движений транспортных потоков по 4 классам, исходя из того какие способы к моделированию деталей. Первой рассматривается простейшая кинематическая модель, затем дается ее уточнение. Отмечается, что в уточненной модели как только возникает потребность в том, чтобы изменить полосу движения, проводят проверку - появится ли опасность для движущегося транспортного средства или для тех транспортных средств, с которыми оно взаимодействует. Указано, что перспективным подходом является использование имитационного моделирования.

Ключевые слова: транспортный поток, моделирование, алгоритм, программа.

Когда проектируются какие-либо дорожно-транспортные узлы (места пересечений городских магистралей для одного или разных уровней), у проектировщиков часто появляются вопросы, например: какие режимы движения будут сформированы выбранной геометрией в проектируемом узле?; сможем ли мы обеспечить пропускную способность по точкам слияния (где происходит смыкание съездов), а поэтому и целиком всей развязки?; будет ли необходимым образом достигнута безопасность и характеристики комфортного движения по планируемой развязке?

Могут возникать и другие ситуации: для каждого проекта реконструкции или новых сооружений в дорожно-транспортных узлах [1-3] требуются согласования по многим уровням управления регионами. В задачи проектной организации входит: правильно, объективным и доступным образом сделать презентацию своего проекта, создать условия, чтобы люди, которые, могут быть далеки от того, чтобы разбираться во всех особенностях и специфике подобных отраслей, поняли его предназначение [4, 5].

Также, когда проводится масштабное строительство в населенных пунктах, то оно определяет большой интерес у населения, которое должно быть проинформировано о том, какие изменения могут возникнуть на улично-дорожных сетях городов, в которых они живут.

Для того, чтобы учесть специфику работы будущих дорожно-транспортных сооружений еще на стадиях проектирования или даже по предпроектным предложениям (концепциям) необходимо использовать математическое моделирование, а именно такая его часть, которая характеризует «Теорию транспортных потоков».

Ученым Дональдом Дрю, в труде “Теория транспортных потоков и управление ими” [6] была описана проблема такого вида: формирование некоторой математической модели, в рамках которой описывается стохастическое движение транспортных потоков на основе формульных выражений.

В итоге было разработано множество подходов, требующих разных вычислительных ресурсов.

На основе моделирования возникают возможности для того, чтобы проводить изучение сложных задачи транспортного движения не для реальных условий, а в лабораториях.

В течение нескольких десятилетий были созданы математические вероятностные модели, которые для микро и макро уровней описывают поведение транспортных потоков. Существуют такие продукты, которые распространяются на коммерческой основе, например, VISSIM [7]. VisSim является визуальным языком программирования, который предназначен для того, чтобы проводить моделирование динамических систем, и осуществлять процессы проектирования, которые базируются на моделях, по встроенным микропроцессорам. VisSim дает возможности для создания иерархических диаграмм. В большинстве случаев происходит построение модели некоторого процесса, которая состоит из нескольких уровней. Если необходимо, то определенные блоки могут быть разработаны на языке Си или Фортран самими пользователями.

Существуют программные продукты, которые возникли и развивались в учебных заведениях для обучающих целей.

Проводят разделение моделей симулирования (имитирования) движений транспортных потоков по 4 классам, исходя из того какие способы к моделированию деталей. К первому уровню относят макроскопические модели, в которых транспортные потоки представляют в виде потока частиц, подчиняющегося законам гидрогазодинамики. На втором уровне отмечают достаточно часто применяемые модели — микроскопические, они связаны с особенностями индивидуальных транспортных средств и их движении. В макроскопических моделях применяют меньше количество вычислительных ресурсов и, в этой связи, на их основе результаты, связанные с моделированием больших дорожных сетей, во многих случаях будут менее точными, если сравнивать с микроскопическим моделированием. Модели мезоскопические, относящиеся к третьему уровню, наоборот, находятся между макроскопическим и микроскопическим моделированием, когда используются индивидуальные транспортные средства, их приводят в действие на основе контролируемых макроскопических переменных. На четвертом уровне находятся подмикроскопические модели, при помощи них обеспечивается самая высокая степень детализации. В этой связи их

чаще всего применяют для того, чтобы моделировать поведение одиночных транспортных средств в автомобильной промышленности.

Большей частью, для всех программ, проведение моделирования транспортных потоков идет на микроуровне. Поэтому, анализировать в первую очередь будем их. Проведем рассмотрение наиболее распространенных вероятностных моделей.

В кинематической модели [8] используется довольно простое кинематическое уравнение, с тем, чтобы могла быть определена максимальная степень ускорения или замедления, которое должно относиться к транспортному средству, чтобы не выполнились условия для того, чтобы оно столкнулось с другими транспортными средствами, которое движется впереди него. Для каждого временного отрезка (time-step) для нового значения для a_{n+1} мы должны обеспечить большую величину с тем, чтобы мы избежали столкновения для выбранного часового промежутка, его называют временем до столкновения — t_c . Также, требуется непрерывным образом делать изменение расстояния Dx , чтобы получить определенное оптимальное значение по следующему отрезку dx . Скорость корректируем таким образом, чтобы мы оставались в пределах $[0 \dots V_{\max}]$.

$$a_{n+1} = a_n + (Dx - dx) \frac{2}{t_c^2} + dv \frac{2}{t_c}.$$

Поскольку в модели используется только 2 параметра, то ее достаточно сложно откалибровать. Но при этом при моделировании, мы не получим высокие уровни правдоподобности. Вследствие того, что в кинематической модели есть существенные ограничения, то ее довольно редко применяют при современных процессах моделирования транспортных потоков и ее не рекомендуют для того, чтобы применять с целями определения величин ширин проезжих частей магистралей. Ее используют в основном в образовательных целях.

В 1995 году ученым Бандо [9] и его коллегами была представлена так называемая «оптимальная скоростная модель» (Optimal Velocity Model). Ее рассматривают как скоростную модель плотности, относящейся к множеству детерминированных ведущих моделей, в ней описывается, каким образом осуществляется связь целевой скорости транспортного средства и макроскопической плотности в транспортных потоках. Вышеуказанными учеными была выведена оптимальная скорость так, чтобы по каждому транспортному средству выполнялось такое отношение:

$$a_{n+1} = \alpha(v_{opt} dx - v_n)$$

где:

a_{n+1} — является ускорением по следующему отрезку времени;

α — является фактором чувствительности (значение, которое обратно времени реакции водителей);

v_{opt} — является оптимальной скоростной функции;

dx — является изменением расстояния к предыдущему транспортному средству;

v_n — является текущей скоростью автомобиля.

Учеными была предложена оптимальная скоростная функция, которая монотонным образом увеличивается, при верхней границе в v_{max} .

$$v_{opt} dx = \frac{v_{max}}{2} (\tanh(0.086(dx - 25)) + 0.913) \leq v_{max}.$$

Далее, была проведена модификация модели при помощи нескольких оптимальных скоростных функций. Например, путем использования разных функций ускорения или на основе дифференцирования между свободной скоростью транспортных средств (для ненасыщенного транспортного потока) и скоростью, которая относится к пределу пропускной способности (speed-at-capacity) (для насыщенного транспортного потока) при уравнении с 4-мя параметрами.

В теории следования за автомобилями (говорят о «гонке за лидером»), базируются на исследованиях ученых Gazis, Herman и Rothery [10], стремятся к тому, чтобы рассматривать поведение транспортного средства, на основе детерминирования расстояния, рассмотрении времени реакции водителей к некоторым стимулам (например, тот автомобиль, который идет впереди, может менять скорость), основываясь на формуле:

$$a_{n+1} = \alpha_0 \frac{v_{n+1}^m}{dx^l} dv$$

где:

a_{n+1} — является ускорением после времени реакции t_p ;

α_0 — является фактором чувствительности;

m, l — являются параметрами калибровки (коэффициентами);

dx — является разницей скорости с предыдущим автомобилем.

Для дорог, которые строились в Германии в свое время установили значения параметров на основе исследований ученого Hoefs при разных сценариях (процесс отдаления или приближения автомобиля спереди, при тормозных сигналах или без них). Но, вследствие того, что происходит стабильное увеличение автомобилей, движущихся по европейским дорогам, в ходе совершенствования пакета моделирования VABSIM была осуществлена перекалибровка по эталонным параметрам, что дало к

получение нового множества параметров и более реалистичные результаты в моделировании.

Исходя из работ Вайдемана, Спарманом было проведено развитие алгоритмов изменения полос движения в случае двухполосных шоссе [11]. Если рассматривать всех шесть возможных партнеров по взаимодействию (то есть транспортное средство располагается впереди, позади на рассматриваемой полосе, а так же для двух боковых), для транспортного средства можно изменить полосу движения на основе использования параметров Вайдеманна.

Как только возникает потребность в том, чтобы изменить полосу движения, проводят проверку — появится ли опасность для движущегося транспортного средства или для тех транспортных средств, с которыми оно взаимодействует. Если обеспечена безопасность по всем транспортным средствам, то происходит процесс перестроения и автомобиль переходит на соседнюю полосу. Существует недостаток в модели Спармана — в том, что проводится анализ только по соседним транспортным средствам, при этом не принимаются во внимание потребности других транспортных средств в том, чтобы была сменена полоса движения.

Ученым Тейсом была добавлена вероятностная компонента в которой учитывалось, что если автомобиль мы планируем перестроить на заданную полосу, то им должен быть сделан запрос к соседним транспортным средствам. Также для автомобиля, который рассматривается с точки зрения взаимодействия с другими автомобилями, мы должны принять решение по его дальнейшим маневрам и изменению скоростных характеристик, чтобы был создан интервал для транспортных средств, меняющих полосу, или он сменил полосу, для предоставления другим автомобилям места.

В системе имитации VISSIM можно выделить две отдельных программы, между которыми происходит взаимодействие на основе интерфейса. В нем идет обмен данными по измерениям детекторов, а также идут данные по состоянию регулировочных систем. В результате имитации получают анимацию перемещения транспорта в графическом виде для режимов реального времени и в дальнейшем выдаются всевозможные транспортно-технические параметры, такие как, например, закономерности распределения времени движения и времени ожидания, которые подразделяются по множествам пользователей.

В модели транспортных потоков включают модель движения за транспортным средством, которое идет впереди, для того, чтобы отобразить движение в колонне за транспортным средством, которое идет по той же полосе движения, и модель, на основе которой происходит смена полос движения.

Логика процессов регулирования зависит от транспортного движения и ее моделирование происходит на основе внешних регулирующих программ по светосигнальным установкам. Программа, связанная с логическим управлением, осуществляет запрос параметров детекторов при тактах от 1 секунды до 1/10 секунды (это определяется настройкой и типом светофорных компонентов). На основе тех данных, которые были получены, а также временных интервалов, в программе происходит определение состояния по всем регуливающим системам в следующем шаге имитации, и эти состояния вносятся в проведение имитации транспортных потоков.

Если рассматривать точность систем имитации, то в ней является влияющим фактором будет являться качество моделей потоков транспортных движений, то есть какой из способов будет выбран, для осуществления расчетов передвижения автомобилей в сети.

В PTV Vision® VISSIM есть отличие от упрощенных моделей, рассматривающих постоянные значения скоростей и неизменный характер движения относительно впереди движущихся транспортных средств. При этом применяется психофизиологическая модель восприятия Вайдеманна [12]. В качестве основной идеи модели принимают то, что водители транспортных средств, движущихся с более высокими скоростями, начинают тормозить, когда они достигают свой индивидуальный порог восприятия, если рассматривать расстояние до впереди движущегося автомобиля, в тех случаях, когда это расстояние они начинают считать как слишком маленькое. Поскольку они не могут точным образом сделать оценку скорости впереди движущегося автомобиля, то их скорость будет уменьшаться до значений меньше скоростей впереди движущегося автомобиля. Это будет до тех пор, пока не будет вновь происходить их некоторое ускорение после того, как они достигли своих порогов восприятия, когда они начнут считать расстояние между ними и впереди движущимися автомобилями как довольно большое. Это приводит к непрерывному легкому ускорению и замедлению. На основе функций по распределению для скоростей и дистанций проводится имитация различного поведения водителей [13-16].

Имитационные модели указанных видов относят к множеству car-following:

- Gazis-Herman-Rothery(GHR)
- CollisionAvoidancemodel(CA)– Модели Kametani и Sasaki, Гиппе, Лейцбаха, Крауса
- PsychophysicalorActionPointmodel(AP) – Модель Видеманна
- Linearmodel– Модели Helly, Hanken и Rockwell, Burnham и Seo, Aron Xing

• Fuzzylogic-basedmodel28.06.2010 – Модели Rekersbring, Henn, McDonald и Wu.

В моделях множества car-following происходит ориентация по характеристикам индивидуальных транспортных средств. В модели Вайдеманна класса PSM есть выигрыш с точки зрения количества учитываемых факторов при проведении моделирования транспортного трафика для микроуровня. В модель Вайдеманна входят характеристики водителей, самих транспортных средств и ее можно рассматривать золотую середину между применением клеточных автоматов и остальных классов моделей в множестве car-following.

После того, как исследователи провели многочисленные эксперименты, эту модель, описывающую движение за впереди движущимся автомобилем стали считать эталонной. В рамках более актуальных измерений было показано, что изменившиеся в течение последних лет манеры езды и технические характеристики автомобилей корректным образом отображаются в указанной модели.

В случае многополосных проезжих частей водителем в VISSIM-модели учитываются не только автомобили, движущиеся впереди, но и автомобили по обеим соседним полосам.

Для водителей отмечается особенность – светофор за 100 м перед тем как достигнута стоп — линия.

Вывод. Кроме того, программа PTV Vision® VISSIM дает возможности для того, чтобы осуществить упрощения в работе проектировщиков и формирует достоверное основание для того, чтобы создавались как дорожно-транспортные, так и любые градостроительные объекты. Имитационное моделирование представляет собой эффективный инструмент для того, чтобы оценивать и анализировать движение транспортных и пешеходных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чопоров О.Н. Методы анализа значимости показателей при классификационном и прогностическом моделировании / О.Н.Чопоров, А.Н.Чупеев, С.Ю.Брегеда // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 9. С. 92-94.
2. Брегеда С.Ю. Формализованное описание транспортных потоков на городских автомагистралях / С.Ю.Брегеда, В.Л.Бурковский, О.Н.Чопоров // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 10. С. 63-66.
3. Брегеда С.Ю. Программный комплекс моделирования и управления транспортными потоками на городских территориях / С.Ю.Брегеда, В.Л.Бурковский, О.Н.Чопоров // Вестник Воронежского

- государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 10. С. 130-134.
4. Брегеда С.Ю. Управление транспортными потоками на основе адаптивной светофорной сигнализации / С.Ю.Брегеда, В.Л.Бурковский, О.Н.Чопоров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2009. № 2. С. 110-115.
 5. Брегеда С.Ю. Управление транспортными потоками на регулируемых перекрестках городской дорожной сети / С.Ю. Брегеда, В.Л.Бурковский, О.Н.Чопоров // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 10. С. 32-35.
 6. Дрю А. Теория транспортных потоков и управление ими. / А.Дрю // Транспорт, 1972, 424 с.
 7. <http://www.ieeecss.org/columns/October2007/Oct2007VisSimProductSpotlight.pdf>.
 8. <http://spkurdyumov.ru/uploads/2013/08/Semenov.pdf>.
 9. Bando M, Hasebe K. Phenomenological study of dynamical model of traffic flow. J. Phys. I France, 1995; 5: 1389-1399.
 10. <https://usp.hse.ru/data/2016/03/16/1127570673/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf>.
 11. <http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/Ning.Wu/pdf/Impact%20of%20traffic%20regulation%20on%20lane%20flow%20-%20distribution%20and%20capacity%20of%20motorways.pdf>.
 12. http://epa.oszk.hu/02500/02537/00027/pdf/EPA02537_acta_technica_jaurine_nsis_2015_02_145-152.pdf.
 13. Фомина Ю.А. Принципы индексации информации в поисковых системах / Ю.А.Фомина, Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 7. С. 98-100.
 14. Филипова В.Н. О некоторых инновациях, используемых в туристическом бизнесе / В.Н.Филипова, Ю.А.Пивоварова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 202-206.
 15. Львович И.Я. Применение методологического анализа в исследовании безопасности / И.Я.Львович, А.А.Воронов // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 3. С. 469-470.
 16. Шадымова О.В. Классификация АРМ, используемых в компании / О.В.Шадымова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2(17). С. 77-8.

N.H.Nasser

THE FEATURES OF MODELING OF TRAFFIC FLOWS

Voronezh Institute of High Technologies

The paper deals with the analysis of the peculiarities of modeling of traffic flows. Carry out the separation of models from simulation (simulate) the movement of traffic flows in 4 classes, based on what methods for modeling details. The first is the simplest kinematic model is then given her clarification. It is noted that in the revised model as soon as there is a need to change lane, the test is carried out - whether there will be a danger for moving vehicles or for those vehicles with which it interacts. Provided that a promising approach is the use of simulation.

Keywords: traffic, modeling, algorithm, program.

REFERENCES

1. Choporov O.N. Metody analiza znachimosti pokazateley pri klassifikatsionnom i prognosticheskom modelirovanii / O.N.Choporov, A.N.Chupeev, S.Yu.Bregeda // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vol. 4. No. 9. pp. 92-94.
2. Bregeda S.Yu. Formalizovannoe opisanie transportnykh potokov na gorodskikh avtomagistralyakh / S.Yu.Bregeda, V.L.Burkovskiy, O.N.Choporov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vol. 4. No. 10. pp. 63-66.
3. Bregeda S.Yu. Programmnyy kompleks modelirovaniya i upravleniya transportnymi potokami na gorodskikh territoriyakh / S.Yu.Bregeda, V.L.Burkovskiy, O.N.Choporov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vol. 4. No. 10. pp. 130-134.
4. Bregeda S.Yu. Upravlenie transportnymi potokami na osnove adaptivnoy svetofornoy signalizatsii / S.Yu.Bregeda, V.L.Burkovskiy, O.N.Choporov // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie. 2009. No. 2. S. 110-115.
5. Bregeda S.Yu. Upravlenie transportnymi potokami na reguliruemyykh perekrestkakh gorodskoy dorozhnoy seti / S.Yu. Bregeda, V.L.Burkovskiy, O.N.Choporov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vol. 4. No. 10. pp. 32-35.
6. Dryu A. Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi. / A.Dryu // Transport, 1972, 424 p.
7. <http://www.ieeecss.org/columns/October2007/Oct2007VisSimProductSpotlight.pdf>.
8. <http://spkurdyumov.ru/uploads/2013/08/Semenov.pdf>.
9. Bando M, Hasebe K. Phenomenological study of dynamical model of traffic flow. J. Phys. I France, 1995; 5: 1389-1399.

10. <https://usp.hse.ru/data/2016/03/16/1127570673/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf>.
11. <http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/Ning.Wu/pdf/Impact%20of%20traffic%20regulation%20on%20lane%20flow%20-%20distribution%20and%20capacity%20of%20motorways.pdf>.
12. http://epa.oszk.hu/02500/02537/00027/pdf/EPA02537_acta_technica_jaurine_nsis_2015_02_145-152.pdf.
13. Fomina Yu.A. Printsipy indeksatsii informatsii v poiskovykh sistemakh / Yu.A.Fomina, Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2010. No. 7. pp. 98-100.
14. Filipova V.N. O nekotorykh innovatsiyakh, ispol'zuemykh v turisticheskom biznese / V.N.Filipova, Yu.A.Pivovarova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. No. 10. pp. 202-206.
15. L'vovich I.Ya. Primenenie metodologicheskogo analiza v issledovanii bezopasnosti / I.Ya.L'vovich, A.A.Voronov // Informatsiya i bezopasnost'. 2011. Vol. 14. No. 3. pp. 469-470.
16. Shadymova O.V. Klassifikatsiya ARM, ispol'zuemykh v kompanii / O.V.Shadymova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2(17). pp. 77-8.