

- определить оптимальную скорость движения при различных значениях дорожных факторов;
- определить пропускную способность городского маршрута и уровень загрузки по его длине;
- выявить участки магистрали, не имеющие резерва по пропускной способности;
- на основе прогнозирования. планировать распределение транспортных потоков по сформировавшейся УДС, с учетом фактических условий движения;
- принимать решения о возможности размещения в придорожной зоне объектов, обслуживающих уличные парковки,
- составлять рекомендации по оптимизации параметров уличных парковок, с учетом уровня загрузки прилегающих участков магистрали.

Библиографический список

1. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
2. Лобанов Е.М., Сильянов В.В. и др. Пропускная способность автомобильных дорог. М.: изд-во «Транспорт», 1970. – 152 с.

The influence of streets parking for the loading of city roads

Yu.A. Ryabokon, S.M. Hrapova

In this article it is said about the results of experiences of the influences of streets parking on city roads. There is are model of multiple - factor dependency of autos speed from the influence of clutters of movement

Статья поступила 06.06.08

УДК 519.872.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДА НА ОСНОВЕ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Т.А. Мызникова, канд. техн. наук., доц., Д.Ю. Долгушин, аспирант.
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

Аннотация. Рост автомобилизации ведёт к необходимости поиска способов эффективного использования улично-дорожной сети и снижения вредного воздействия на экологическую ситуацию. В статье рассмотрены модели движения автотранспорта на основе клеточных автоматов, позволяющие реалистично отразить динамику дорожного движения. Рассмотрены возможности использования клеточных автоматов для исследования различных аспектов автомобилизации, в частности, для моделирования автотранспортных потоков города.

Ключевые слова: моделирование транспортных потоков, клеточный автомат, многополосное движение, микромоделирование, оптимизация маршрутов движения, исследование заторовых ситуаций.

Введение

Интенсивный рост уровня автомобилизации приводит к необходимости увеличения объёмов транспортного сообщения. Темпы развития улично-дорожной сети, не удовлетворяющие требованиям возросшего автомобильного парка, заставляют искать пути оптимизации потоков транспорта с целью более равномерной загрузки её участков и, как следствие, более быстрого перемещения участников движения.

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.

Ввиду изменчивости транспортной системы, её зависимости от случайных факторов, непредсказуемости поведения водителей, задача оптимизации решается с помощью моделирования.

Современные подходы

к моделированию транспортных потоков

На сегодняшний день существует несколько подходов к моделированию движения автомобильного транспорта, которые можно объединить в следующие группы [2]:

1. Модели-аналоги, или *макроскопические* модели, в которых движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (гидро- и газодинамические модели).

2. Модели следования за лидером, или *микроскопические*, допускают предположение о наличии связи между перемещением ведомого и ведущего автомобилей. По мере развития теории в моделях этой группы учитывалось время реакции водителей, исследовалось движение на многополосных дорогах, изучалась устойчивость движения.

3. *Вероятностные* модели рассматривают транспортный поток как результат взаимодействия транспортных средств на элементах транспортной сети. В связи с жёстким характером ограничений сети и массовым характером движения в транспортном потоке складываются отчётливые закономерности формирования очередей, интервалов, загрузок по полосам дороги и т.п. Эти закономерности носят стохастический характер.

В последнее время приобрели широкое распространение модели транспортных потоков, основанные на *клеточных автоматах*. С помощью расширения диапазона соседних клеток, влияющих на переход автомата в новое состояние, были получены модели, имитирующие реалистичное поведение транспортного потока (ТП) [4, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

В данной статье будет рассмотрено применение концепции клеточных автоматов к моделированию транспортных потоков.

Модели транспортных потоков

на основе клеточных автоматов

Теория клеточных автоматов зародилась в середине XX века в трудах нескольких независимых учёных. Наиболее полно она проработана известным математиком Джоном фон Нейманом. Клеточные автоматы в простейшем виде представляют собой двумерную сетку произвольного размера, состоящую из ячеек. Состояние сетки (конфигурация) обновляется с течением времени, причём состояние каждой ячейки в следующий момент времени зависит от состояния ближайших её соседей – смежных ячеек – на текущей итерации. Количество возможных состояний ячейки конечно [1, 3]. Обновление конфигурации происходит параллельно, в соответствии с определёнными для данной модели правилами.

Первый пример использования концепции клеточных автоматов фон Неймана для моделирования ТП был предложен в работе [5]. В дальнейшем активные разработки продолжены в работах Кая Нагеля и Майкла Шрекенберга [7].

Формулировка исходной модели Нагеля-Шрекенберга для *однопольного движения* заключается в следующем. Пусть имеется одномерная сетка, каждая ячейка которой может быть либо свободна, либо занята автомобилем. Переменные x_n и v_n – координата и скорость n -го автомобиля, соответственно; $d_n = x_{n+1} - x_n$ – дистанция до лидирующего автомобиля. Скорость может принимать одно из $v_{\max} + 1$ допустимых целочисленных значений $v_n = 0, 1, 2, \dots, v_{\max}$. На каждом временном шаге $t \rightarrow t + 1$ состояние всех автомобилей в системе обновляется в соответствии со следующими правилами:

1. *Ускорение*. Если $v_n < v_{\max}$, то скорость n -го автомобиля увеличивается на единицу, если $v_n = v_{\max}$, то скорость не изменяется:

$$v_n \rightarrow \min(v_n + 1, v_{\max}). \quad (1)$$

2. *Торможение*. Если $d_n < v_n$, то скорость n -го автомобиля уменьшается до $d_n - 1$:

$$v_n \rightarrow \min(v_n, d_n - 1). \quad (2)$$

3. *Случайные возмущения*. Если $v_n > 0$, то скорость n -го автомобиля может быть уменьшена на единицу с вероятностью p ; скорость не изменяется, если $v_n = 0$:

$$v_n \rightarrow \max(v_n - 1, 0). \quad (3)$$

4. *Движение*. Каждый автомобиль продвигается вперёд на количество ячеек, соответствующее его новой скорости, после выполнения шагов 1-3:

$$x_n \rightarrow x_n + v_n. \quad (4)$$

Первое правило отражает общее стремление всех водителей ехать с максимальной скоростью. Второе – гарантирует отсутствие столкновений со впереди идущими автомобилями. Элемент стохастичности, учитывающий случайности в поведении водителей и прочие вероятностные факторы, вносится третьим правилом. Четвёртое правило определяет количество ячеек, на которое продвинется автомобиль за одну итерацию.

Рассмотренная модель применима к однопольной дороге, поскольку в ней нет допол-

нительных условий для обгона и перестроения автомобилей. Несмотря на всю простоту модели, с её помощью ведётся исследование заторовых ситуаций на магистралях (например, в работе [6]).

Особый интерес представляют модели, имитирующие поведение ТП *на многополосной дороге*. В работе [8] была продолжена разработка модели ТП с помощью клеточных автоматов. За основу модели взят набор правил для однополосной дороги, дополненный условиями *смены полосы движения*. В новой модели итерации проходят в два последовательных этапа:

1. Сначала осуществляется проверка возможности смены полосы (см. ниже). Происходит перемещение машины вбок, что, строго говоря, не имеет физического смысла, поскольку автомобили не способны двигаться в поперечном направлении, поэтому данный этап имеет смысл лишь в сочетании со вторым. Первый этап реализуется в виде параллельного обновления, при котором каждый водитель принимает решение о перестроении на основе текущей конфигурации.

2. На каждой полосе проводится независимое обновление в соответствии с правилами для однополосной модели. Здесь используется конфигурация, полученная на первом этапе.

Смена полосы осуществляется при выполнении следующих условий:

1. Впереди на расстоянии равном или меньшем, чем безопасное, движется другая машина.

2. На соседней полосе впереди на безопасном расстоянии нет других машин.

3. На соседней полосе позади на безопасном расстоянии отсутствует другая машина, которой текущий автомобиль может помешать при перестроении.

Таким образом, в модели появляются дополнительные параметры для соседней полосы – дистанция до предшественника и до лидера.

Возможность смены полосы при движении привела к появлению интересных побочных эффектов, таких как, например, пинг-понг-смена полосы. Это явление возникает, когда в начальной конфигурации все машины находятся на одной полосе. При достаточно высокой плотности, машины встают друг за другом на безопасном расстоянии, чем выполняют первое условие смены полосы. Поскольку на соседней полосе машин нет, происходит перестроение. Такая последовательность перестроений получила название “кооперативного пинг-понг эффекта”.

Подобные особенности поведения модели исключаются введением элемента вероятности в процесс принятия решения о перестрое-

нии. Данная модель является сравнительно более сложной, но даже такие небольшие изменения в наборе правил приводят к реалистичному отображению поведения автомобилей на двухполосной дороге.

В работе [10] представлена новая модель, отражающая поведение трафика *на двухполосной дороге*, каждая полоса которой используется для движения *в противоположном направлении*.

В основе лежит набор правил для двухполосной дороги, дополненный в части *условий обгона*. Сразу следует отметить, что существует несколько возможных вариантов такой модели – модель с разрешённым обгоном для обоих направлений, либо запрещённым для одной или обеих полос. Мы рассмотрим случай, когда для обеих полос этот манёвр разрешён.

Алгоритм, контролирующий обгон, учитывает определённый набор обстоятельств. Во-первых, водитель не должен замедляться при обгоне. Кроме того, если на пути движется встречная машина, то обгоняющая должна вернуться на свою полосу. В действительности попытка обгона не предпринимается до тех пор, пока водитель не будет уверен, что манёвр может быть завершён. Этот факт отражён в модели с помощью оценки “локальной плотности” – количества машин впереди данного транспортного средства, которое оно собирается обогнать. Если локальная плотность достаточно низка, водитель имеет шанс завершить обгон, и пробует осуществить его.

Движение машин, как и в случае простой двухполосной дороги, рассчитывается в два шага. Сначала водитель принимает решение о смене полосы, затем происходит передвижение машины вперёд.

В зависимости от того, находится ли машина на своей полосе, или движется по встречной, совершая обгон, меняются и правила смены полосы. В первом случае при отсутствии встречных машин и невысокой локальной плотности на своей полосе, водитель принимает решение обогнать. Если решение о смене принимается на встречной полосе, то смена происходит, как только на заданном безопасном расстоянии замечена встречная машина и на “своей” полосе нет препятствий для перестроения. Кроме строго определённых правил смены полосы в модель также вносится вероятностный элемент, поэтому случаи обгона сразу несколькими водителями, движущимися в разных направлениях, исключены.

Модель показывает реалистичное поведение. При невысоких значениях плотности машины по мере необходимости преодолевают

препятствия с помощью обгонов. Высокие значения плотности на обеих полосах ведут к образованию заторов, в этой ситуации водители не предпринимают попыток обгона и движутся по своей полосе вплоть до исчезновения заторовой ситуации.

Естественно предположить, что с помощью обобщения приведённых выше моделей и внесения новых правил можно создать эффект светофора, моделировать перекрёстки, а с помощью внесения элемента вероятности в решение о дальнейшем направлении движения – повороты машин на пересечениях дорог, и, таким образом, отобразить динамику движения автомобильного транспорта в городе.

Построение модели городского движения на основе клеточных автоматов приведено в работах [4, 9, 10].

Модели такого типа представляет собой клеточный автомат, комбинирующий правила для одно- и/или многополосной дороги и включают “переходы” между улицами (переходы выступают в роли ограничителей потока на перекрёстках). Для отображения городской автотранспортной сети используются связи и узлы. Связь представляет собой направленный уличный сегмент – дорогу. Узел соответствует пересечению улиц – перекрёстку. Узлы также выступают в роли основных “узких мест” в городских условиях – светофоров.

Например, в работе [11] машины движутся по простой однополосной дороге и переходят с одной связи на другую. Каждая связь обладает различными характеристиками, такими как длина, скоростное ограничение, количество полос движения, максимальная пропускная способность и т.д. Движение по дороге подчиняется по правилам модели Нагеля-Шрекенберга.

Вероятностные переходы в этой модели городского движения предназначены для создания эффекта светофора на перекрёстках – переходах между связями, – и реализованы в виде “блокирующих” ячеек, размещённых в начале связи, лежащей за перекрёстком. Представлено два типа таких ячеек: случайный и обычный светофоры. Первый пропускает автомобили с определённой вероятностью и в течение случайного числа итераций. Во втором случае используется принцип работы обычного светофора, каждый сигнал которого действует на протяжении заданного интервала времени.

Построенная таким образом сеть позволяет исследовать, к примеру, влияние светофора на пропускную способность сегмента дорожной сети. Полученные при моделировании данные могут служить основой для приблизи-

тельного расчёта времени, требуемого для преодоления пробки из любой её точки.

Более сложная микромодель городского движения была создана в рамках проекта TRANSIMS (аббревиатура от “Transportation Analysis and Simulation System”, или “Система анализа и моделирования перевозок”), разработанного сотрудниками лос-аламосской национальной лаборатории с целью прогнозирования в области транспортного планирования и оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Эта система представляет собой комплекс связанных компонент – синтезатора населения, генератора действий, планировщика маршрутов, модуля микромоделирования, модуля оценки загрязнения. В ней движение машин осуществляется на основе правил, подобных приведённым выше, по заранее заданным маршрутам, оптимизированным с точки зрения минимального времени поездки и включающим т.н. “активности” – узлы в модели, служащие промежуточными остановочными пунктами. Таким образом, каждый “участник” моделирования рассматривается индивидуально, и модель носит агентно-ориентированный характер.

Выводы

Рассмотренные в данной статье модели транспортных потоков на основе концепции клеточных автоматов показывают интересные и реалистичные результаты. Ограничиваемый лишь воображением исследователя набор возможных правил и состояний клеточного автомата предоставляет широкие возможности в моделировании сложного динамического процесса дорожного движения.

Например, при создании модели городского движения представляется целесообразным ввести участки с ограничениями скорости, ввести “битые” ячейки, создающие эффект повреждённого дорожного покрытия и заставляющие водителей снижать скорость. Таким образом, можно создать ещё более реалистичную модель движения в городских условиях, которая может быть использована для исследования заторовых ситуаций и получения данных о влиянии качества дорожного покрытия на формирование потоков транспорта. Это, в свою очередь, может оказаться полезным при определении минимальных по временным затратам маршрутов движения.

Кроме того, можно использовать модель для выявления негативного влияния автотранспорта на состояние воздуха, добавляя характеристики загрязнения для каждого автомобиля и вычисляя общий объём загрязнения на участках дорожной сети.

Оценка негативного экологического влияния автотранспорта, в сочетании с оптимизацией маршрутов по времени, может послужить ин-

струментом для организации равномерной загрузки дорожной сети, что, как результат, положительно отразится на общей экологической картине в городе.

Библиографический список

1. Нейман, Джон фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. Закончено и отред. [предисловие и введ., с. 40-48, написаны] А.В. Бёрксом, Пер. с англ. В.Л. Стефанюка. Под ред. В.И. Варшавского. М. "Мир", 1971. – 384 с.
2. Семёнов В.В. Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса / Семёнов В.В. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 2004. – 44 с.
3. Тоффоли, Томазо, Марглоус, Норманн. Машины клеточных автоматов / Перевод с англ. П.А. Власова, Н.В. Барабанова; Под ред. Б.В. Баталова. – М. "Мир", 1991. – 278 с.: ил. 22 см.
4. Biham O., Middleton A.A., Levine D.: Phys. Rev. A 46, R6124 (1992).
5. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // Math. Comp Simul. – 1986. – V. 28. – P. 297-303.
6. Kerner B. et al, 2002. Cellular automata approach to three-phase traffic theory // J. Phys. A: Math. Gen. 35, P. 9971-10013.
7. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // J. Phys. I France. – 1992. – Vol. 2. – P. 2221-2229.
8. Rickert M., Nagel K., Schreckenberg M., Latour A. Two lane traffic simulations using cellular

automata // Physica A, Volume 231, Number 4, 1 October 1996, P. 534-550(17).

9. Schadschneider A., Chowdhury D., Brockfield E. et al. A new cellular automata model for city traffic [Electronic resource] – Access mode: <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9911312>.

10. Simon P.M., Gutowitz H.A., 1998. A cellular automaton model for bi-directional traffic // Phys. Rev. E 57, P. 2441-2444.

11. Simon P.M., Nagel K., 1998. Simplified cellular automaton model for city traffic // Physical Review E 58, P. 1286-1295.

Cellular automata based modeling of the city traffic flow

T.A. Myznikova, D.Y. Dolgushin

The intensive growth of motorization leads to necessity of search of ways of effective road network use and reduction of negative impact on the environment. In the article we consider the traffic flow models based on cellular automata approach which provide the realistic reflection of the road traffic dynamics. The ways of use of this approach in the research of the different aspects of motorization are considered, in particular, the use of cellular automata for city traffic flow modeling.

Статья поступила 23.05.2008г.

УДК 625.746.533

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.Г. Малофеев, канд. техн. наук, доц., А.С. Фадеева, студентка
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

Аннотация. В статье предлагается методика расчета потерь, связанных с вовлечением в дорожно-транспортные происшествия (ДТП) граждан России. Приводится статистика ДТП и анализ потерь валового внутреннего продукта страны. Показана высокая эффективность мероприятий, направленных на повышение безопасности движения при проектировании нового строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, убыток, валовый внутренний продукт.

Введение

Обеспечение безопасности движения, и высоких транспортных качеств автомобильных дорог, предотвращение дорожно-транспортных происшествий (ДТП), влекущих за собой ранение и гибель людей, является первоочередной задачей

всех дорожных организаций, как проектных, так и эксплуатационных. В результате ДТП уничтожаются народно-хозяйственные ресурсы, влияя тем самым на эффективность экономической системы. Знать ущерб, наносимый народному хозяйству, необходимо для того, чтобы обосновать и