

12, декабрь, 2015

УДК 519.87

Сравнительный анализ микроскопических моделей динамики транспортных потоков

*Антипин И. М., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*Научный руководитель: Рудаков И. В., доцент, заведующий кафедрой
«Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
irudakov@bmstu.ru*

Классификация моделей транспортных потоков

Большинство существующих классификаций подходов к моделированию динамики транспортных потоков предполагают выделение классов исходя из масштаба воспроизводимых объектов. Дифференцируют макроскопические и микроскопические модели [1].

Макроскопические модели описывают движение автомобилей в усредненных терминах, таких как плотность, средняя скорость, поток. При таком подходе транспортный поток уподобляется движению жидкости, поэтому модели данного класса также называют гидродинамическими.

Микроскопическими называются модели, в которых явно моделируется движение каждого автомобиля. Такой подход позволяет достичь более точного описания движения автомобилей по сравнению с усредненным макроописанием, однако требует больших вычислительных ресурсов при практических применениях [5].

Микроскопические модели динамики транспортных потоков

В микроскопических моделях основными переменными являются системное время и координаты воспроизводимых автотранспортных средств (АТС). Исходя из того, что пространства значений переменных могут быть непрерывными или дискретными можно выделить три подкласса микроскопических моделей: модели следования за лидером (англ. car-following models), модели решеток связанных отображений (англ. coupled-map lattice

models) и модели с клеточных автоматов.

В моделях следования за лидером время и координаты АТС являются непрерывными величинами. Уравнение динамики в общем виде представляется как:

$$v_n(t) = f(v_n(t), \Delta v_n, \Delta x_n),$$

где $v_n(t)$ – скорость n -го АТС, Δv_n – разница с максимально разрешенной скоростью движения, Δx_n – расстояние до следующего впереди автомобиля. Функция f определяет специфику вида конкретных моделей. К моделям данного класса относятся модель «стимул-отклик», модель избегания столкновений, модель оптимальной скорости.

В основе моделей решеток связанных отображений лежит применение оператора дискретного функционального отображения, переводящего систему из состояния на шаге t в новое состояние $t + 1$, т. е. системное время является дискретной переменной, тогда как координаты и скорости АТС непрерывны. С точки зрения необходимости дискретизации непрерывных величин для проведения вычислительных операций, такой подход более прозрачен, в сравнении с моделями следования за лидером. Среди моделей решеток связанных отображений можно выделить модель Юкава-Кикучи, модель Нагеля-Германа (англ. Nagel-Herman, NH-model), модель Краусса-Вагнера-Гаврона.

Клеточные автоматы позволяют воспроизводить движение АТС. В моделях данного класса и для переменных системного времени, и для координат АТС пространство значений дискретно: имитируемая автодорожная магистраль представляется в виде сетки связанных ячеек, каждая из которых может быть занята АТС; состояние системы изменяется в результате применения правил перехода, определяющих функционирование клеточного автомата. К моделям клеточных автоматов относят базовую модель Нагеля-Шрекенберга, а также различные её обобщения и расширения: модель медленного старта, модель Хелбинга-Шрекенберга, модель стоп-сигнала, модель Кёрнера-Кленова-Вольфа [2, 3, 4].

В таблице дано обобщение свойств моделей трёх рассмотренных подклассов.

Класс	Пространство значений переменных		Описание движения
	Системное время	Координаты АТС	
Модели следования за лидером	Непрерывное	Непрерывное	Система дифференциальных уравнений
Модели решеток связанных отображений	Дискретное	Непрерывное	Операторы функционального отображения
Модели клеточных автоматов	Дискретное	Дискретное	Правила перехода

Для сравнения производительности микроскопических моделей транспортных потоков из различных классов были выбраны: модель оптимальной скорости [1], модель Юкава-Кикучи [1] и модель Нагеля-Шрекенберга [2]. На основе каждой из моделей была построена система, имитирующая движение АТС по замкнутой однополосной магистрали, и проведен ряд экспериментов с различным числом участвующих в движении АТС. С целью получения повторяемых достоверных результатов влияние внешних и внутренних вероятностных факторов было исключено.

Модель оптимальной скорости

Модель оптимальной скорости Ньюэлла предполагает, что для каждого водителя существует некоторая «безопасная» скорость движения, зависящая от дистанции до лидера. Формализация уравнения движения для модели оптимальной скорости выглядит следующим образом:

$$v_n(t + \tau) = V\left(\frac{1}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}\right),$$

где τ – время реакции водителей (время принятия решения).

Модель Юкава-Кикучи

В данной модели оператор функционального отображения, применяемый для обновления состояния системы, имеет вид:

$$v_n(t + 1) = \gamma v_n(t) + \beta \tanh\left(\frac{v^F - v_n(t)}{\gamma}\right) + \tanh(\epsilon\beta),$$

где $v_n(t)$ – скорость n -го АТС, v^F – желаемая скорость движения, β, γ, ϵ – параметры модели.

Модель Нагеля-Шрекенберга

Модель Нагеля-Шрекенберга позволяет имитировать движение АТС по однополосной магистрали. В основе модели лежит применение вероятностного клеточного автомата [2].

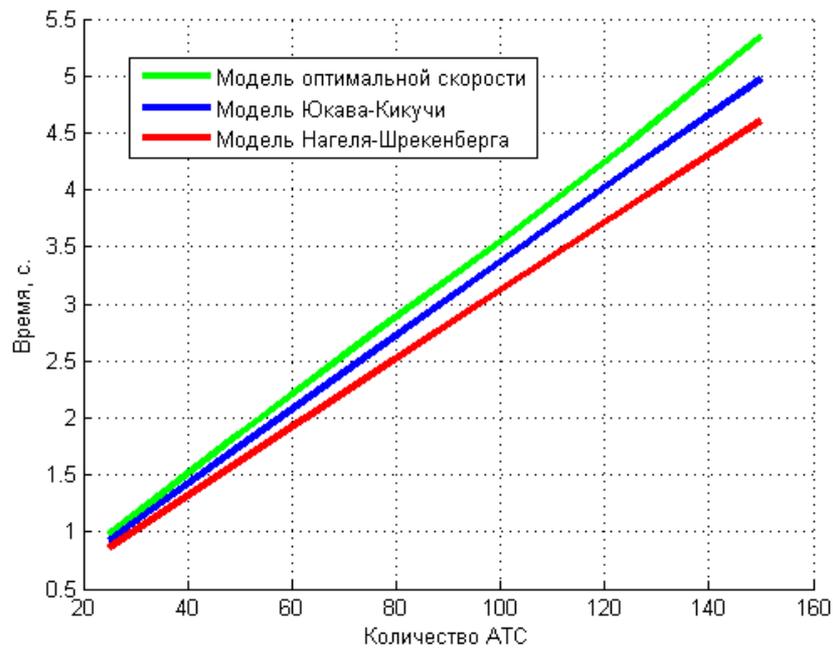
Формализация модели: исследуемая автодорожная магистраль представляется в виде одномерной сетки (массива) ячеек, каждая из которых в любой момент системного времени может быть либо свободна, либо занята АТС. Размер каждой ячейки равен 7,5 метров, что примерно соответствует линейному пространству, занимаемому одним легковым автомобилем в едином потоке. На каждом временном шаге t каждое n -е фигурирующее в имитируемой системе АТС имеет дискретные координату $x_n(t)$ и скорость $v_n(t)$. Координата определяет номер ячейки, а скорость – количество доступных для перемещения на текущем шаге ячеек. Состояние системы обновляется в соответствии с последовательным применением следующих правил:

- *Ускорение* – увеличение скорости: $v_n(t + 1) = \min(v_n(t) + 1, v_{\max})$, где v_{\max} – максимально разрешенная скорость движения;
- *Торможение* – уменьшение скорости для исключения столкновений:
$$v_n(t + 1) = \min(v_n(t + 1), x_{i+1}(t) - x_i(t));$$
- *Случайные воздействия* – с вероятностью P скорость АТС уменьшается на единицу: $v_n(t + 1) = v_n(t + 1) - 1$;
- *Перемещение* – каждое n -е АТС перемещается вперед на $v_n(t)$ ячеек.

Описание экспериментов

Каждая из трёх моделей была использована для имитации движения по замкнутой однополосной магистрали длиной 5 км с равномерно распределенными АТС. Скорость АТС варьировалась в пределах от 0 до 150 км/ч, или же, в терминах модели Нагеля-Шрекенберга, от 0 до 20 ячеек за один шаг модельного времени при стандартном размере ячейки в 7,5 м. Влияние случайных воздействий было исключено, таким образом, в соответствующем правиле в базовой модели Нагеля-Шрекенберга вероятность $P = 0$. Все прочие формулировки соблюдены.

Была проведена серия экспериментов по имитации 3 часов движения различного числа АТС. Графики времени воспроизведения динамики транспортного потока в зависимости от количества АТС, участвующих в эксперименте, приведены на рисунке.



Визуальный анализ графиков на рисунке позволяет сделать вывод о преимуществе модели клеточных автоматов в сравнении с моделями других классов по скорости работы алгоритма на одной и той же вычислительной машине.

Заключение

В работе рассмотрена краткая общая классификация имитационных математических моделей транспортных потоков: показаны основные классы моделей, более подробно исследованы микроскопические модели. Дано описание и проведены численные эксперименты для моделей оптимальной скорости Ньюэлла, модели Юкавы-Кикучи, модели Нагеля-Шрекенберга. Сделан вывод, что при одном и том же количестве АТС, движение которых воспроизводится, модели класса клеточных автоматов (базовая модель Нагеля-Шрекенберга, в частности) дают лучшие результаты по времени работы алгоритма.

Список литературы

1. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и Телемеханика. 2003. № 11. С. 3-46.
2. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // Journal of Physics I France. 1992. T. 2. P. 2221-2229.
3. Nagatani T. Self Organization and Phase Transition in the Traffic Flow Model of a Two-Lane Roadway // Journal of Physics A. 1993. T. 26. P. 781-787.

4. Bando M., Hasebe K., Nakayama A., Shibata A., Sugiyama Y. Structure stability of congestion in traffic dynamics // Jpn. J. Industr. Appl. Math. 1994. Т. 11. Р. 203-223.
5. Антипин И. М. Метод определения параметров транспортного потока дорожной развязки // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 12. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/file/out/651592> (дата обращения: 17.06.2015).