

Технический отчет “Моделирование транспортных потоков на основе комплексирования данных из разнородных источников”

В. М. Старожилец
starvsevol@gmail.com

Московский физико-технический институт, ФУПМ, Кафедра интеллектуальных систем

В данной работе исследуются проблема прогнозирования скорости и плотности АТС на Московской кольцевой автомобильной дороге (МКАД) по состоянию её въездов и съездов с использованием данных из Яндекса и Центра Организации Дорожного Движения (ЦОДД). Изложены результаты совместной статьи в вопросе получения функциональной зависимости потока АТС от плотности по фундаментальным диаграммам. Предложены алгоритмы восстановления данных Яндекса с целью получения из них данных о потоке АТС при достаточном из количестве на автомагистрали и при недостаточно количестве данных на въездах и съездах с автомагистрали. Проведены эксперименты на реальных данных с использованием данных алгоритмов.

Ключевые слова: *прогнозирование; МКАД; Яндекс; ЦОДД; фундаментальная диаграмма потока; восстановление данных*

In this paper we study the problem of forecasting traffic speed and density on the Moscow Ring Road as its entrances and exits using data from Yandex and Traffic Centre. The results of a joint article in the issue of obtaining a functional dependence between traffic flow and density based on fundamental diagrams presented here. In the paper we solving the problem of Yandex data recovery to obtain information of traffic flow with sufficient data at a motorway and with insufficient data at the entrances and exits from the motorway. The experiments were provided on real data using these data recovery algorithms.

Key words: *forecasting; Moscow Ring Road; Yandex; Traffic Centre; fundamental diagram; data recovery*

1 Введение

Данная работа посвящена адаптивному управлению автодорогой. В 50-ые годы прошлого века наблюдалось бурное развитие газовой динамики (обобщенные решения законов сохранения, устойчивые разностные схемы расчета решений). Тогда же появились первые макроскопические (гидродинамические) модели, в которых транспортный поток уподобляется потоку «мотивированной» сжимаемой жидкости. В модели Лайтхилла – Уизема – Ричардса (LWR) [2, 6, 9] транспортный поток уподобляется потоку сжимаемой жидкости, и описывается законом сохранения количества автомобилей. При этом в модели постулируется существование однозначной функциональной зависимости между величиной интенсивности транспортного потока автомобилей и его плотностью. Эту зависимость называют фундаментальной диаграммой. В последующие годы класс макро моделей был значительно расширен. В современном макроскопическом подходе транспортный поток описывается нелинейной системой гиперболических уравнений второго порядка (для плотности и скорости потока) в различных постановках [3, 4, 7, 8, 10–13].

Несмотря на то, что с момента появления первых фундаментальных работ прошло более полувека, по мнению ряда известных специалистов в области математического моделирования дорожного движения, проблема образования предзаторных и заторных ситуаций ещё до конца не изучена. Используя терминологию, предложенную Б.С. Кернером [5], можно сказать, что на данный момент нет общепринятого подхода, описывающего поведение движения автотранспорта в области синхронизированного потока. Иначе говоря, если автомобильный поток уподобляется жидкости, то наиболее сложная для моделирования ситуация – это «замерзающая жидкость».

Характерным атрибутом многих современных работ, в которых предлагаются математические модели транспортного потока [10, 11], является проверка предложенных моделей на возможность описания ими трёх фаз Кернера транспортного потока [5], наблюдаемых в многочисленных эмпирических (измеренных) данных. Данная проверка является хорошим тестом на работоспособность предлагаемых моделей. Проблема выбора модели тщательно рассмотрена в Главе 1.

Сегодня, популярный формат данных о поведении транспортной системе в виде GPS-треков автомобилей совместно с данными транспортных детекторов позволяет контролировать и тем самым, уточнять параметры, разрабатываемых моделей и некоторых их важных свойств. Имея информацию о том, как двигаются транспортные потоки, можно получать количественные оценки параметров используемой модели на дорогах транспортной сети. Тем не менее, такой способ по-прежнему остаётся крайне чувствительным к точности (полноте) входных данных. Таким образом мы вплотную подходим к вопросу того, как из объёмных, но неточных, данных, наиболее точно восстановить характеристики дорожного потока.

2 Описание работы

2.1 Построение модели

В первой части работы рассматривается вопрос о выборе модели на основе совместной статьи [1]. По данным дорожных датчиков строится функциональная зависимость $Q(\rho)$ для трёх типов движения — свободного, синхронизированного и заторного потока (в соответствии с терминологией предложенной Б.С. Кернером [5]). Для построения данной зависимости также исследуется вопрос о скорости волн торможения на автомагистрали и оказывается, что данная скорость не зависит от участка автомагистрали, времени суток и сезона.

Окончательно, проводятся экспериментальные расчёты с использованием предложенной модели и традиционной модели LWR, результаты сравниваются с показаниями соответствующего дорожного датчика. Предложенная модель допускает меньше ошибок в сравнении с традиционной.

Данный раздел полностью является переизложением совместной статьи [1].

2.2 Восстановление данных

Так как любую модель нужно идентифицировать, а данных дорожных датчиков для этого недостаточно ввиду их малого объёма, требуется решить задачу восстановления объёмных данных трекового типа. Данная задача разбивается на две подзадачи — вопрос о восстановлении данных на автомагистрали, где данных трекового типа много и вопрос о восстановлении данных на въездах и съездах с автомагистрали, где данных даже трекового типа мало. Для обеих задач в статье предложен алгоритм их решения и представлены результаты вычислительных экспериментов на реальных данных.

3 Заключение

Окончательно, по мотивам совместной статьи [1] в работе была изложена новая методика расчёта характеристик потока АТС, а также продемонстрированы результаты экспериментальной проверки её состоятельности в сравнении с традиционной моделью LWR.

В работе были также изложены два алгоритма восстановления данных на автомагистрали — при большом объёме требующих восстановления данных, и при малом объёме исходных данных на въездах и съездах. Для обоих алгоритмов были поставлены эксперименты на реальных данных с целью проверки их работоспособности. Таким образом на защиту выносятся следующие результаты:

1. Алгоритм восстановления характеристик потока АТС по данным трекового типа с использованием данных дорожных датчиков на автомагистрали.
2. Вычислительные эксперименты на реальных данных с использованием построенного алгоритма восстановления на автомагистрали.
3. Алгоритм восстановления характеристик потока АТС по данным трекового типа и дорожных датчиков с учётом возможных значительных пробелов в них на въездах и съездах с автомагистрали.
4. Вычислительные эксперименты на реальных данных с использованием построенного алгоритма восстановления на въездах и съездах.

Литература

- [1] А.Е. Алексеев, Я.А. Холодов, А.С. Холодов, А.И. Горева, М.О. Васильев, Ю.В. Чехович, В.Д. Мишин, and В.М. Старожилец. Разработка, калибровка и верификация модели движения трафика в городских условиях. Часть I. *Компьютерные исследования и моделирование*, 7(6):1185–1203, 2015.
- [2] Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. *Дж Уизем -М : Мир*, 1977.
- [3] A. Aw and Michel Rascle. Resurrection of "second order" models of traffic flow. *SIAM journal on applied mathematics*, 60(3):916–938, 2000.
- [4] Carlos F. Daganzo. Requiem for second-order fluid approximations of traffic flow. *Transportation Research Part B: Methodological*, 29(4):277–286, 1995.
- [5] Boris S. Kerner. *Introduction to modern traffic flow theory and control: the long road to three-phase traffic theory*. Springer Science & Business Media, 2009.
- [6] Michael J. Lighthill and Gerald Beresford Whitham. On kinematic waves. ii. a theory of traffic flow on long crowded roads. In *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, volume 229, pages 281–345. The Royal Society, 1955.
- [7] Markos Papageorgiou. Some remarks on macroscopic traffic flow modelling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(5):323–329, 1998.
- [8] Harold J Payne. Models of freeway traffic and control. *Mathematical models of public systems*, (4):51–61, 1971.
- [9] Paul I. Richards. Shock waves on the highway. *Operations research*, 4(1):42–51, 1956.
- [10] Florian Siebel and Wolfram Mauser. On the fundamental diagram of traffic flow. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 66(4):1150–1162, 2006.
- [11] Florian Siebel and Wolfram Mauser. Synchronized flow and wide moving jams from balanced vehicular traffic. *Physical Review E*, 73(6):066108, 2006.
- [12] H. Michael Zhang. A non-equilibrium traffic model devoid of gas-like behavior. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(3):275–290, 2002.
- [13] H.M. Zhang. Anisotropic property revisited—does it hold in multi-lane traffic? *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(6):561–577, 2003.