

УДК 656.13.08

А.В. Косолапов

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

При разработке как интегральных систем управления дорожным движением, так и для целей имитационного моделирования функционирования улично-дорожных сетей (УДС) одним из важнейших видов данных, на основе которых должны приниматься решения, является информация о существующем и прогнозируемом распределении транспортных потоков (ТП). Получить такую информацию можно, решая задачу оценки существующей матрицы корреспонденций, в которой значения представлены в виде потоков транспортных средств [1].

В зарубежной теории и практике проектирования транспортных систем, начиная уже с 70-х годов прошлого века, уделялось большое внимание методам восстановления такого вида матриц.

В нашей стране в первую очередь получила развитие теория расчетов пассажиропотоков [2], основанная на прогнозировании пассажирских перевозок методом расчета взаимных корреспонденций транспортных районов. Такой метод описывается на расчет транспортной подвижности населения.

Для прогноза грузовых перевозок предложено учитывать пропускную способность городской сети [3].

Таким образом, принципы и методы восстановления (или, другими словами, прогнозирования) матриц городских корреспонденций по данным интенсивности движения, имеют как научную актуальность, так и на сегодняшний день практическую ценность.

Из-за того, что транспортный поток состоит из отдельных "случайных" автомобилей сложно получить надежные оценки параметров, которые точно отражают макроскопические характеристики такого потока. Так как информация о параметрах дорожного движения имеет вероятностный характер, то необходимо выполнять измерения в течение фиксированных интервалов времени, а затем усреднять эти полученные результаты [4]. Наиболее точно на сегодняшний день можно получать информацию о временных и скоростных параметрах (о значении скорости и времени прохождения отдельных отрезков пути) ТП только при помощи современных технических средств. К таким относятся автоматизированные радионавигационные системы, уже развернутые в ряде городов Российской Федерации, в том числе и в г. Кемерово.

В мировой практике управления транспортом технические средства в совокупности с информа-

ционными технологиями получили название средств телематики. Именно термин "телематика" отражает связь телекоммуникаций с информатикой. Системы, предназначенные для управления транспортными комплексами, созданные на базе средств телематики, получили в мировой практике название Интеллектуальные Транспортные Системы (ИТС).

Стратегическая цель внедрения перспективных информационных технологий в практику управления транспортным комплексом заключается в создании такой интегральной ИТС, которая будет способна осуществить многокритериальную оптимизацию работы, т.е. обеспечить безусловную эффективность транспортного комплекса и выполнение необходимых объемов грузовых и пассажирских перевозок при минимизации таких параметров, как количество транспортных средств, занятых в перевозках, время в пути, транспортные задержки, длина маршрута, число дорожно-транспортных происшествий, негативное воздействие на окружающую среду, затраты на развитие и содержание транспортного комплекса и т.д.

Указания маршрутов отдельным транспортным средствам в реальном времени могут являться многообещающим подходом в ликвидации транспортных заторов на УДС. Динамическая модель распределения ТП является главным элементом в развитии стратегий указания маршрутов движения автомобилей в таких системах. Техника искусственного интеллекта может быть использована для создания динамической модели распределения ТП.

Среди первых моделей динамического распределения ТП были известны модели Merchant и Nemhauser, которые рассматривали динамическую проблему распределения ТП [5]. Их модель обращалась к упрощенному случаю сетей с одним пунктом назначения и формулировкой оптимального распределения ТП по сети. Весь объем моделирования был разделен на равные временные интервалы небольшой длины $\{i | i = 0, 1, \dots, I\}$. Каждой дуге сети $\{j | j = 1, 2, \dots, J\}$ была назначена функция ее стоимости ($h_{i,j}$) и функция выхода g_j . Если x – количество автомобилей, находящихся на дуге j в начале периода времени i , то предполагалось, что стоимость дуги $h_{i,j}(x)$ (т.е. какой-нибудь параметр, описывающий и оценивающий условия перемещения по дуге) снижается и при этом определенное количество автомобилей $g_j(x)$

покидает эту дугу. Две функции $h_{i,j}(x)$ и $g_j(x)$, однако, должны удовлетворять некоторым требованиям. Во-первых, чтобы точно представить транспортный поток, функция $g_j(x)$ должна быть неуменьшаемой, непрерывной и вогнутой. Во-вторых, функция $h_{i,j}(x)$ должна быть неотрицательной, неуменьшаемой, непрерывной и выпуклой для представления вреда, связанного с транспортными затратами.

Обозначая число автомобилей, которые прибывают на дугу j в течение i -го периода времени как $d_{i,j}$, и, принимая, что число автомобилей, входящих в выбранный узел q , известное для каждого периода времени, обозначается как $F_i(q)$, и что объем движения, который прибывает на дугу, не может покинуть эту дугу в том же самом интервале времени, фундаментальное уравнение состояния транспортного потока может быть записано как [5]

$$\begin{aligned} x_{i+1,j} &= x_{i,j} - g_j(x_{i,j}) + d_{i,j} \\ i &= 0, 1, \dots, I-1 \text{ и } j = 1, 2, \dots, J \end{aligned} \quad (1)$$

При этом уравнение сохранения потока в каждом узле определяется как

$$\sum_{j \in A(q)} d_{i,j} = F_i(q) + \sum_{j \in B(q)} g_j(x_{i,j}) \quad i = 0, 1, \dots, I-1, \quad (2)$$

где $A(q)$ – набор дуг, выходящих из узла q ;

$B(q)$ – набор дуг, входящих в узел q .

Поэтому, полная модель может быть записана как

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^a h_{i,j}(x_{i,j}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

приводящая к уравнениям состояния (уравнение (1)), ограничениям сохранения (уравнение (2)), начальному условию

$$x_{0,i} = R_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

и ограничениям неотрицательности

$$d_{i,j} \geq 0, \quad i = 0, 1, \dots, I-1, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

$$x_{i,j} \geq 0 \quad i = 0, 1, \dots, I-1, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

Данная модель является дискретно-временной, нелинейной и невыпуклой. Она не налагает ограничения на пропускную способность дуги.

Первый шаг в формулировке модели должен состоять в определении сети дорог, которую выбирают для моделирования. Эта сеть должна включать в себя основные дороги, а так же место-

положения узлов входа/выхода, где происходят существенные изменения в объеме движения.

Динамические модели распределения ТП предполагают, что возникающий спрос на передвижения, так же как и все внешние входы известны в различные интервалы времени для всего периода моделирования. Поэтому, они должны быть связаны с данными о дорожном движении в реальном времени и обладать возможностью оперативного предсказания интенсивности движения. В этом случае модель будет связана с системой управления движением, использующей датчики интенсивности движения ТП для обеспечения входных данных для динамической модели распределения ТП.

Функциональная формула функции выхода определяется как [5]

$$Y = A \left[1 - e^{-Bx} \right], \quad (7)$$

где A и B – параметры уравнения регрессии.

Эта формула удовлетворяет различным требованиям функции выхода, так как она является неотрицательной, неуменьшаемой и вогнутой.

Используя нелинейный регрессионный анализ, были получены следующие соотношения между интенсивностью движения N , выраженной в автомобилях, проходящих в час по одной полосе, и плотностью q , выраженной в автомобилях, находящихся на одном километре на одной полосе:

$$N = 1375 \left[1 - e^{-q/25} \right] \quad (8)$$

Если принять, что дуги имеют две полосы для движения в разных направлениях (что более применимо), то уравнение (8) может быть записано как

$$N' = 2750 \left\{ 1 - e^{[-(x/l)/50]} \right\} \quad (9)$$

где N' – число автомобилей, выходящих из определенной дуги в час;

x – число автомобилей на этой дуге;

l – длина дуги в километрах.

Таким образом, автор в данной статье предлагает использовать накапливающуюся информацию о моментах времени прохождения маршрутными транспортными средствами опорных точек на улично-дорожной сети г. Кемерово для прогноза транспортной загрузки отдельно взятых улиц с целью выбора маршрута движения для любых возможных пользователей сети дорог по критерию минимального времени проезда по УДС и, в конечном итоге, для возможно более равномерного распределения транспорта по территории города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных – Новосибирск : Наука, 2004. – 267 с.
2. Ефимов И. С. Теория городских пассажирских перевозок : учеб. пособие для вузов / И. С. Ефимов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин – М. : Высш. школа, 1980. – 535 с.

3. Глухарева Т. А. Организация движения грузовых автомобилей в городах / Т. А. Глухарева, Р. В. Горбанев – М. : Транспорт, 1989. – 125 с.
4. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада ; под ред. М. Я. Блинкина : пер. с англ. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.
5. Adel W. Sadek, Brian L. Smith, Michael J. Demetsky. Dynamic Traffic Assignment. Genetic Algorithms Approach. Transportation Research Record 1588 Paper No. 971192 p.p. 95–103

Автор статьи:

Косолапов
Андрей Валентинович
– канд. техн. наук, доц. каф. «Автомобильные перевозки»