

УДК 656.02+351.811.12

**МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ****<sup>1</sup>Наумова Н.А., <sup>2</sup>Зырянов В.В.**<sup>1</sup>*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Краснодар, e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru;*<sup>2</sup>*ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»,  
Ростов-на-Дону, e-mail: rgsu@rgsu.ru*

Проблема оптимального распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети является актуальной задачей. С этой целью в мировой практике успешно применяют Интеллектуальные транспортные системы. Основной целью их развития является возможность оперативного решения проблем снижения числа транспортных заторов, получение динамической информации о наиболее эффективных маршрутах. Определение матрицы корреспонденций с учетом динамических изменений в интенсивности транспортных потоков позволит решать вышеназванные проблемы. Авторами разработан алгоритм определения матрицы пропорционального распределения транспортных средств по дугам. Алгоритм базируется на авторской мезоскопической математической модели распределения потоков по сети. Метод определения матрицы пропорционального распределения транспортных средств по дугам является важнейшим шагом в процедуре динамического определения матрицы корреспонденций.

**Ключевые слова:** матрица корреспонденций, математическая модель, транспортная сеть, транспортный поток, функция транспортных затрат

**THE METHOD OF DYNAMIC CALCULATION  
OF A ORIGIN/DESTINATION – MATRIX****<sup>1</sup>Naumova N.A., <sup>2</sup>Zyryanov V.V.**<sup>1</sup>*Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru;*<sup>2</sup>*Rostov State University of Civil Engineering, Rostov-on-don, e-mail: rgsu@rgsu.ru*

The problem of optimal distribution of traffic flows on the road network is an important task. Around the world, this problem is being solved by applying Intelligent Transportation Systems. The main goal of their development is the ability to effectively address the problems of reducing traffic congestion and obtaining dynamic information about the most effective routes. Definition of origin/destination – matrix with the dynamic changes will allow to solve the aforementioned problems. The authors have developed an algorithm for determining the matrix of proportional distribution of vehicles by arcs (link proportions matrix). The algorithm is based on the author's mesoscopic mathematical model of the flow distribution across the network. The method for the determination of the link proportions matrix is a critical step in the procedure of dynamic determination of origin/destination – matrix.

**Keywords:** origin/destination – matrix, mathematical model, transport network, traffic flow, the function of transport costs

Проблема оптимального распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети является весьма актуальной задачей. С этой целью в мировой практике успешно применяют Интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Предпосылкой для создания ИТС являлась возможность быстро реагировать на изменения в транспортной системе с целью оптимизации ее функционирования. Основной целью развития ИТС в области управления дорожным движением является возможность оперативного решения проблем снижения числа транспортных заторов, вероятности их возникновения, получение в режиме реального времени информации о наиболее эффективных маршрутах [2, 3]. С этой точки зрения определение матрицы корреспонденций с учетом динамических изменений – важная задача, решение которой позволит прогнозировать наиболее вероятные участки возникновения транспортных заторов на улично-дорожной сети.

Исследования по определению динамической матрицы корреспонденций проводятся более 20 лет. С этой целью ряд исследователей (Xuesong Zhou, Hani S. Mahmassani [8]; Nanne J. van der Zipp and Rudi Hamerslag) используют фильтры Кальмана для рекурсивного дооценивания распределения транспортных потоков по сети. Фильтр Кальмана позволяет проводить краткосрочное прогнозирование состояния динамической системы, используя неполные и зашумленные измерения.

**Алгоритм определения динамической  
матрицы корреспонденций**

Для вычисления оценки состояния системы на текущий такт работы фильтр Кальмана использует оценку состояния на предыдущем такте работы и измерения на текущем такте (в виде оценки состояния системы и оценки погрешности определения этого состояния). Итерации фильтра Кальмана делятся на две фазы: экстраполяция и коррекция.

Во время экстраполяции фильтр получает предварительную оценку состояния системы на текущий шаг по итоговой оценке состояния с предыдущего шага (либо предварительную оценку на следующий такт по итоговой оценке текущего шага, в зависимости от интерпретации). Эту предварительную оценку также называют априорной оценкой состояния. В фазе коррекции априорная экстраполяция дополняется соответствующими текущими измерениями для коррекции оценки. Скорректированная оценка также называется апостериорной оценкой состояния либо просто оценкой вектора состояния.

**Алгоритм** рекурсивного определения матрицы корреспонденций [8] представлен ниже.

**1-й шаг.** Получение данных о состоянии распределения потоков от систем видеонаблюдения.

**2-й шаг.** Получение данных о доле транспортных средств  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$ , проходящих по дуге  $i$  в течение наблюдаемого времени  $t$  (относящихся паре «источник – сток» №  $j$  за время убытий  $\tau$ ) по отношению ко всем корреспонденциям данной пары в течение времени  $\tau$ .

**3-й шаг.** Проведение оценки и коррекции матрицы корреспонденций с применением фильтра Кальмана.

**4-й шаг.** Прогнозирование матрицы корреспонденций для следующей итерации (ближайшее будущее).

**5-й шаг.** Переход к новому такту по времени, после чего переход к 1-му шагу.

Подробно каждый шаг алгоритма изложен в работе [8]. Для начала работы алгоритма используются вычисленные заранее (off-line) матрица корреспонденций  $D_{(j,\tau)}$  и матрица пропорционального распределения транспортных средств по дугам  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$  (link proportions). В дальнейшем эти матрицы корректируются в режиме on-line с учетом текущих данных мониторинга транспортной сети и прогнозирования изменений на основе «исторических» данных.

Аналогичная методика с применением фильтра Кальмана предлагается и для определения ежедневных изменений матрицы корреспонденций.

**Алгоритм** рекурсивного определения ежедневных изменений матрицы корреспонденций представлен ниже.

**1-й шаг.** Инициализация – определение исходной матрицы корреспонденций и ковариационной матрицы (матрицы регулярных ежедневных изменений) для первого дня.

**2-й шаг.** Вычисление априорных матрицы корреспонденций и ковариационной матрицы для следующего дня.

**3-й шаг.** Оценка и прогнозирование матрицы корреспонденций для расчетного дня и матрицы, содержащей для расчетно-

го дня оценки векторов изменений в числе корреспонденций по каждой паре «источник – сток» №  $j$ .

**4-й шаг.** Обновление матриц для следующего этапа.

**5-й шаг.** Переход к расчетам для следующего дня.

На 4-м шаге для коррекции матрицы изменений в распределении корреспонденций текущего дня и матрицы ковариации для текущего дня с помощью фильтра Кальмана также используется матрица пропорционального распределения транспортных средств по дугам  $LP_D$ , составленная из матриц  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$ .

#### Метод определения LP-матрицы

Авторами ранее разработана [5] мезоскопическая математическая модель распределения транспортных потоков по сети TIMeR\_Mod (Transportation Intelligent Mesoscopic Real-time Model). Основным ее преимуществом перед существующими аналогами [6] является то, что она базируется на аналитических методах расчета функции транспортных затрат. В аналитической форме функции транспортных затрат учитывается распределение транспортных потоков по каждой полосе движения. Это делает возможным прогнозирование уровня транспортных затрат с краткосрочной задержкой реагирования на изменения схемы организации движения по улично-дорожной сети. В разработанной модели TIMeR\_Mod распределение транспортных потоков по сети проводится с учетом принципа транспортного (потокового) равновесия («equilibrium conditions»), что позволяет адекватно отобразить реальное поведение участников движения при выборе маршрута [1]. При этом достигается достаточная точность расчетов благодаря адекватной гипотезе о виде статистического распределения временных интервалов между транспортными средствами в потоке. Структура модели позволяет в режиме реального времени без дополнительного мониторинга прогнозировать показатели качества организации движения транспортных средств в случае тех или иных изменений (слияние или разделение транспортных потоков, перегруженность отдельных локальных участков сети, появление новых центров притяжения корреспонденций).

Благодаря вышеперечисленной модели TIMeR\_Mod позволяет скорректировать приведенный выше алгоритм определения матрицы корреспонденций на этапе формирования матрицы значений  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$  (link proportions) – доли транспортных средств, проходящих по дуге  $i$  в течение наблюдаемого времени  $t$ . В случае определения этой

матрицы с помощью данных мониторинга на каждом шаге потребуется большое число измерений для каждой из дуг транспортной сети. Причем не уточняются методы идентификации транспортных средств, соответствующих паре «источник – сток» №  $j$ .

При применении модели TIMeR\_Mod возможна следующая корректировка алгоритма при  $k$ -й итерации для определения матрицы  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$ .

*Исходные данные:*

1) используем данные мониторинга для определения  $c_{(i,t)}$  – количества транспортных средств, прошедших по дуге  $i$  за время обследования  $t$ ;

2) используем скорректированную с помощью фильтра Кальмана для данной итерации матрицу  $D_{(j,\tau)}$ ;

3) используем базы данных  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$  для определения текущего распределения интенсивностей по полосам улично-дорожной сети [4].

*Алгоритм формирования LP-матрицы:*

1) выбираем пару  $j$  «источник – сток»;

2) формируем для пары  $j$  множество оптимальных маршрутов (как множество дуг, по которым он проходит) и число транспортных средств, использующих этот маршрут исходя из принципа равновесия [4] при текущих  $A_{STREETS}$  и  $B_{INTERSECTION}$ ;

3) рассчитываем величину  $LP_{(i,t)(j,\tau)}$ , учитывая расчеты шага 2 и данные  $D_{(j,\tau)}$ ;

4) переходим к пункту 1.

### Заключение

Приведенная корректировка алгоритма определения динамической матрицы корреспонденций позволяет оптимизировать существующие методики за счет снижения числа необходимых на каждой стадии натуральных измерений. Формирование LP-матрицы посредством аналитических расчетов, без применения имитационного моделирования или статистических оценок по данным мониторинга, позволит сократить время, необходимое для определения матрицы корреспонденций и снизить требования к ЭВМ. На каждом шаге прогнозирования матрицы корреспонденций при расчете LP-матрицы учитывается первый принцип Вардропа [7], согласно которому каждый участник движения выбирает маршрут с наименьшими транспортными затратами. Это делает результаты расчетов реалистичными.

### Список литературы

1. Гасников А.В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. / под ред. Гасникова А.В. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с. (Gasnikov, A.V. editor, et al, 2010. Introduction into mathematical modeling of traffic flow. Moscow: Moscow Institute of Physics and Technology Press)

2. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем

в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ...докт.техн.наук: 05.22.01. – М., 2012. – 450 с.

3. Зырянов В.В. Развитие систем управления транспортным процессом в городах // Комплексное решение территориальных проблем дорожного движения: сб. научн. трудов МАДИ. – М.: МАДИ, 1983. – С. 57–60.

4. Наумова Н.А., Данович Л.М., Данович Ю.И. Алгоритм определения базы данных распределения интенсивностей транспортных потоков при введении в эксплуатацию новых потокообразующих объектов. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (ч. 2) – С. 273–276.

5. Naumova N., Danovich L. A model of flows distribution in the network. // Life Science Journal, 2014. – № 11(6). – P. 591–597. – ISSN 1097–8135; E- ISSN 2372–613X. [http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1106/091\\_24873life110614\\_591\\_597.pdf](http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1106/091_24873life110614_591_597.pdf)

6. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. – Riga, 2013. – 161 p.

7. Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research. – Proc. Inst. Civ. Eng. Part II, 1952, 1(2). – P. 325–365.

8. Zhou, X., Qin, X., Mahmassani, H.S., 2003. Dynamic origin-destination demand estimation using multi-day link traffic counts for planning applications. Transportation Research Record 1831. – P. 30–38.

### References

1. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskiy E.A., Holodov Y.A., Shamray N.B. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov [Introduction to mathematical modeling of traffic flows]. Moscow, MPhTI, 2010. 362 p.

2. Zhankaziyev S.V. Nauchnyye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektualnykh transportnykh sistem v avtomobilno-dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov [Scientific basis and methodology of formation of intelligent transport systems in road-traffic system of the city and regions]: dis. ...dokt. tekhn.nauk: 05.22.01. M., 2012. 450 p.

3. Zyryanov V.V. Razvitiye sistem upravleniya transportnyim protsessom v gorodakh // Kompleksnoe reshenie territorialnykh problem dorozhnogo dvizheniya: sb. nauchn. trudov MADi. M.: MADI, 1983. pp. 57–60.

4. Naumova N.A., Danovich L.M., Danovich YU.I. Algoritm opredeleniya bazy dannykh raspredeleniya intensivnostey transportnykh potokov pri vvedenii v ekspluatatsiyu novykh potokoobrazuyushchikh ob'yektov. [The algorithm for determining the database of the intensity distribution of traffic with the introduction of new facilities] // Fundamentalnye issledovaniya Fundamental research 2014. no.9 (ch. 2) pp. 273–276.

5. Naumova N., Danovich L. A model of flows distribution in the network. // Life Science Journal, 2014. no.11(6). pp. 591–597. ISSN 1097 8135; E- ISSN 2372 613X. [http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1106/091\\_24873life110614\\_591\\_597.pdf](http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1106/091_24873life110614_591_597.pdf)

6. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.

7. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. Proc. Inst. Civ. Eng. Part II, 1952, 1(2), pp. 325–365.

8. Zhou, X., Qin, X., Mahmassani, H.S., 2003. Dynamic origin-destination demand estimation using multi-day link traffic counts for planning applications. Transportation Research Record 1831, 30–38

### Рецензенты:

Дьяченко Р.А., д.т.н., доцент кафедры информатики и вычислительной техники, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар;

Видовский Л.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар.