

## УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДОВ

Наумова Н. А., Данович Л. М.

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, Краснодар, Россия (350072, Краснодар, ул. Московская, д.2), e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru*

Разработана математическая модель движения транспортных потоков по улично-дорожной сети городов. Основопологающей при разработке модели являлась гипотеза о распределении интервалов по времени между подряд идущими автомобилями по закону Эрланга  $k$ -го порядка. Модель учитывает интенсивность требований по неконфликтным потокам отдельно в каждом направлении движения, что расширяет область ее применимости. Приняв за основу данную модель, разработаны алгоритмы для управления транспортными потоками городов и реализованы в среде DELPHI. В работе приведены алгоритмы решения следующих практических задач: выбор оптимального маршрута среди нескольких заданных при движении по улично-дорожной сети конкретного населенного пункта; определение оптимального пути между двумя точками населенного пункта; определение оптимальной схемы организации движения на заданном участке улично-дорожной сети; оптимизация движения автотранспортных средств по данному маршруту.

Ключевые слова: математическая модель, транспортный поток, транспортная сеть, управление, оптимизация.

## TRAFFIC CONTROL ON THE CITY ROADS

Naumova N. A., Danovich L. M.

*The Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia (350072, Krasnodar, street Moscovskaya, 2), e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru*

A mathematical model of traffic control on city roads has been worked out. The underlying idea to work out the model is the hypothesis of arranging time intervals between moving vehicles in accordance with Erlang's law of  $k$ -order. We will hold that time intervals distribution in each customer flow obeys the Erlang distribution which makes it possible to describe high density flows. On the basis of this model, algorithms realized in the Delphi medium have been made to control city traffic flows. The paper describes algorithms to solve the following practical tasks: a) optimum route determination among the alternative routes while moving along the roads of the city or town; b) optimum route determination between two points in the city or town; c) optimum route determination on a given part of the city road network; d) vehicle movement optimization along the given route.

**Key words:** mathematical model, network flows, traffic control, optimisation.

**Введение.** Математическая модель движения транспортных потоков, разработанная авторами [2–5], позволяет упрощенно, но с приемлемой точностью моделировать движение автотранспортных средств по улично-дорожной сети. Основопологающей при разработке модели являлась гипотеза о распределении интервалов по времени между подряд идущими автомобилями по закону Эрланга  $k$ -го порядка. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эту гипотезу при интенсивности по одной полосе движения до 300 авт./ч и значении  $k=2$ . Модель учитывает интенсивность требований по неконфликтным потокам отдельно в каждом направлении движения, что расширяет область ее применимости и делает возможным моделирование реорганизаций в изменении структуры сети, не проводя дополнительного сбора данных. Разработанная математическая модель и реализованные на ее основе в среде DELPHI алгоритмы позволяют решать актуальные практические задачи по организации движения на улично-дорожной сети.

Цель исследования: алгоритмизация и программное моделирование практических задач по управлению транспортными потоками в населенных пунктах. Для реализации поставленной цели применялись методы математического моделирования, аппарат теории вероятностей и случайных процессов, методы дискретной математики.

Алгоритмы ключевых модулей «Моделирование нерегулируемого перекрестка» и «Моделирование регулируемого перекрестка» программного комплекса по управлению транспортными потоками в населенных пунктах подробно изложены в работах [2] и [5]. В настоящей статье приведены алгоритмы решения важнейших практических задач по оптимизации распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети.

### **Выбор оптимального маршрута при движении по улично-дорожной сети конкретного населенного пункта**

Вся улично-дорожная сеть города представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются перекрестки. Необходимую для расчетов информацию об улично-дорожной сети конкретного населенного пункта предлагается хранить в двух связанных таблицах базы данных MSAccess: таблица *Streets* и таблица *Intersections* [2; 5].

В качестве отдельных процедур рекомендуется ввести расчет характеристик эффективности организации движения на нерегулируемом и регулируемом перекрестках.

**1-й шаг.** Задается один из возможных маршрутов последовательным перечислением вершин (перекрестков).

**2-й шаг.** Для каждого из перечисленных перекрестков выбираются из базы данных необходимые параметры. Если светофорное регулирование отсутствует, для расчетов показателей эффективности организации движения используем процедуру для нерегулируемого перекрестка, если перекресток регулируемый – процедуру для регулируемого перекрестка.

**3-й шаг.** Для вычисления времени прохождения расстояния между двумя соседними

перекрестками используют формулу:  $t_{cp} = \frac{S}{v_{cp}}$ ,

где  $S$  – расстояние между соседними перекрестками (таблица *Streets*);

$v_{cp}$  – средняя скорость движения автомобилей в потоке ( $v_{cp} = 60$  км/ч – в черте города).

**4-й шаг.** Для каждого из возможных маршрутов рассчитываются следующие показатели:  $K_1$  – длина маршрута (в километрах);  $K_2$  – математическое ожидание числа заторов на маршруте;  $K_3$  – математическое ожидание времени, проведенного в «пробках» на данном маршруте;  $K_4$  – затраченное время при движении по данному маршруту.

**5-й шаг.** Шаги 1–4 повторяются для каждого из возможных маршрутов. Выбирается

наибольшее среди вычисленных значение для каждого из критериев  $K_1, K_2, K_3, K_4$ .

**6-й шаг.** При уровнях значимости соответствующих характеристик  $\alpha_1 = 0,1$ ;  $\alpha_2 = 0,1$ ;  $\alpha_3 = 0,2$ ;  $\alpha_4 = 0,6$  вычисляем интегрированный показатель  $K$  эффективности каждого маршрута:

$$K = \alpha_1 \cdot \frac{K_1}{(K_1)_{\max}} + \alpha_2 \cdot \frac{K_2}{(K_2)_{\max}} + \alpha_3 \cdot \frac{K_3}{(K_3)_{\max}} + \alpha_4 \cdot \frac{K_4}{(K_4)_{\max}}.$$

**7-й шаг.** Оптимальный маршрут выбирается по принципу  $K \rightarrow \min$ .

Для реализации данного алгоритма авторами разработана программа в среде DELPHI 7. На программу получено свидетельство № 2009 96 14 027.

### **Определение оптимального пути между двумя точками населенного пункта**

Для решения задачи отыскания кратчайшего маршрута между двумя пунктами мы будем использовать алгоритм, предложенный Е. Декстром. Он представляет собой итерационную процедуру, в которой каждой вершине присваивается метка, либо постоянная и при этом показывающая «расстояние» от этого узла до выделенного, либо временная, где это «расстояние» оценивается сверху.

Каждой дуге графа соответствует число  $L(x, y)$  – «длина» дуги, если вершины не соединены дугой, то  $L(x, y) = \infty$ . Требуется найти кратчайший путь, соединяющий данные вершины  $s$  и  $t$ .

В ходе выполнения алгоритма окрашивают вершины и дуги графа и вычисляют величины  $d(x)$ , равные кратчайшему пути из вершины  $s$  в вершину  $x$ , включающему только окрашенные вершины:

$$d(x) = \min\{d(x), d(y) + l(x, y)\}.$$

В нашем случае  $L(x, y)$  – время движения от перекрестка  $x$  до перекрестка  $y$  с учетом задержки на перекрестке  $x$ .

Запрос в базу данных удобно выполнить в виде отдельной процедуры. Также в качестве отдельных процедур рекомендуется оформить определение показателей эффективности организации движения на регулируемом и нерегулируемом перекрестках.

Необходимые для работы программы данные будут храниться в двух массивах записей: *MPlus* (данные о перекрестках, имеющих постоянные метки) и *MMinus* (данные о перекрестках, имеющих временные метки). Поля записей следующие:

*Str1* – улица, по которой совершалось движение до данного перекрестка;

*Str2* – улица, пересекающая *Str1*;

*TimeCr* – время движения  $d(x)$  до данного перекрестка от начальной точки маршрута;

*Trassa* – перечень пройденных перекрестков.

В списке констант введем постоянную величину  $XXL = 1000000000$ .

**1-й шаг.** Задаем начало и конец маршрута нажатием соответствующих кнопок на карте населенного пункта. Перекресток – начало пути заносим в массив *MPlus* под номером  $n = 0$  и в массив *MMinus* под номером  $4n$ .

**2-й шаг.** Выбираем из базы данных все перекрестки, смежные с перекрестком №  $n$ , и заносим в массив *MMinus* данные о них под номерами  $(4n+1)$ ,  $(4n+2)$ ,  $(4n+3)$ . В таблице *Streets* базы данных обязательно есть соответствующая строка, если перекрестки  $x$  и  $y$  соседние, и содержатся данные о том, разрешено ли движение из  $x$  в  $y$ .

Если такая строка отсутствует, то  $L(x, y) = XXL$ . Если строка есть, но движение в этом направлении запрещено, то  $L(x, y) = XXL$ .

**3-й шаг.** Рассчитываем время движения от перекрестка №  $n$  до всех смежных с ним, не занесенных в массив *MPlus*.

**4-й шаг.** Выбираем минимальный элемент в поле *MMinus.TimeCr* и заносим данные о соответствующем перекрестке в массив *MPlus* под номером  $(n+1)$ . Из массива *MMinus* данные об этом перекрестке удаляем.

**5-й шаг.** Повторяем шаги 2–4 до тех пор, пока перекресток №  $(n+1)$  в массиве *MPlus* не совпадет с концом маршрута. Если перекресток №  $(n+1)$  в массиве *MPlus* совпал с концом маршрута, то расчеты заканчиваем.

**6-й шаг.** Выводим на экран массив *MPlus* – список перекрестков, через которые пролегает кратчайший маршрут между двумя данными точками населенного пункта.

На программу получено свидетельство № 201061233.

### **Определение оптимальной схемы организации движения на заданном участке улично-дорожной сети**

**1-й шаг.** Перечисляем на карте-схеме перекрестки, входящие в участок, подлежащий реорганизации движения.

**2-й шаг.** После запроса на экран выводятся соответствующие строки базы данных *Streets*.

**3-й шаг.** Вычисляем суммарные часовые задержки на всех перекрестках данного участка. Заносим в массив.

**4-й шаг.** С клавиатуры вносим в базу возможные изменения в организации движения (изменение количества полос для движения в различных направлениях, предполагаемые изменения интенсивностей, введение регулирования движением).

**5-й шаг.** Вычисляем суммарные часовые задержки на всех перекрестках данного

участка для указанного способа организации движения. Заносим в массив.

**6-й шаг.** Выбираем оптимальную схему организации движения. Критерием может быть, например, сумма задержек на всех перекрестках в единицу времени.

На программу получено свидетельство № 2010612332.

### **Оптимизация движения автотранспортных средств по данному маршруту**

Еще одна проблема, которая может быть решена с использованием разработанной автором математической модели, – это оптимизация движения автотранспортных средств по данному маршруту (например, при прохождении федеральной трассы через населенный пункт).

**1-й шаг.** На карте-схеме указываем интересующий нас маршрут, перечислив составляющие его перекрестки.

**2-й шаг.** После запроса на экран выводятся соответствующие строки базы данных *Streets*.

**3-й шаг.** Определяем время движения по данному маршруту с учетом задержек на перекрестках при существующей схеме организации движения. Заносим данные в массив.

**4-й шаг.** С клавиатуры вносим в базу возможные изменения в организации движения (изменение количества полос для движения в различных направлениях, предполагаемые изменения интенсивностей, введение регулирования движением).

**5-й шаг.** Определяем параметр *TimeCr* – время движения по данному маршруту с учетом задержек на перекрестках в случае внесенных изменений в схеме организации движения. Заносим данные в массив.

**6-й шаг.** Повторяем шаги 4–5 для каждой из реально возможных схем организации движения.

**7-й шаг.** Выбираем оптимальный маршрут по критерию  $TimeCr \rightarrow \min$ .

**Заключение.** Разработанная авторами математическая модель функционирования сети построена на предположении о распределении интервалов по времени между поступающими требованиями по закону Эрланга. Этот двухпараметрический закон позволяет описывать достаточно плотные потоки. Адекватность разработанной модели функционирования сети проверена на примере улично-дорожной сети г. Краснодара. Тот факт, что модель учитывает интенсивность требований по неконфликтным потокам отдельно в каждом направлении движения, расширяет область ее применимости. Разработанные авторами алгоритмы для компьютерного моделирования задач управления транспортными потоками, базирующиеся

на данной модели, позволяют решать актуальные практические задачи и автоматизировать управление транспортными потоками в населенных пунктах.

### Список литературы

1. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 2000.– 383 с.
2. Наумова Н. А. Моделирование и программная реализация движения автотранспортных средств по улично-дорожной сети: монография / Н. А. Наумова, Л. М. Данович. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2011. – 80 с.
3. Наумова Н. А., Данович Л. М., Савин В. Н., Булатникова И. Н., Круглова И. А. Математическая модель движения транспортных потоков по улично-дорожной сети // ISSN 0321-2653. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 5. – С. 3–5 .
4. Наумова Н. А., Данович Л. М., Савин В. Н., Булатникова И. Н., Круглова И. А. Модель движения транспортных потоков по улично-дорожной сети и ее программная реализация // ISSN 1815 – 9400. Транспорт Урала: Научно-технический журнал. – 2009. – № 4 (23). – С. 14–18.
5. Домбровский А. Н. Транспортные потоки на улично-дорожной сети городов: моделирование и управление: монография / А. Н. Домбровский, Н. А. Наумова; Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2012. – 124 с.

### Рецензенты:

Атрощенко Валерий Александрович, доктор технических наук, профессор, декан Факультета компьютерных технологий ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар.

Ключко Владимир Игнатьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Вычислительной техники и автоматизированных систем управления ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар.