

М. В. ЯШИНА

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);

Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ);

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва

Д. А. АФАНАСЬЕВА, В. О. ВАНИН

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва

## ВЕКТОРНЫЙ МЕТОД ВИДЕО-РАСПОЗНАВАНИЯ ТРЭКОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТКОМ

*Транспортная инфраструктура является неотъемлемой частью современных городов и регионов. В последнее время сильно увеличился список городов, близких к исчерпанию возможностей экстенсивного развития транспортных сетей. Этот факт свидетельствует о важности качества проектирования автомобильных дорог, эффективности их функционирования и безопасности движения, оптимизации маршрутной сети транспорта. Решение ряда таких задач невозможно без математического моделирования.*

**1. Введение.** Транспортная инфраструктура является неотъемлемой частью современных городов и регионов. За последнее время список городов, близких к исчерпанию экстенсивного развития транспортных сетей, сильно увеличился. Данный факт показывает важность качества проектирования автомобильных дорог, эффективность их функционирования и безопасности движения, оптимизация маршрутной сети транспорта. Решение ряда подобных задач невозможно без математического моделирования. Для эффективного управления потоками транспортной сети города и выбора оптимальных решений по проектированию транспортных сетей необходимо учитывать широкий спектр характеристик потока. Возникающие трудности связаны с нестабильностью транспортного потока и противоречивостью критериев качества управления движением. Развитие перечисленных выше идей привело к разработке модели транспортных потоков мегаполиса, созданной исследовательской группой под руководством проф. А.П. Буслаева на примере г. Москвы [1].

**2. Модель Москвы.** Динамическая модель транспортных потоков представлена в [1]. Транспортная сеть представлена в виде ориентированного нагруженного графа, с ребрами ограниченной длины для обеспечения регулярности численной схемы.

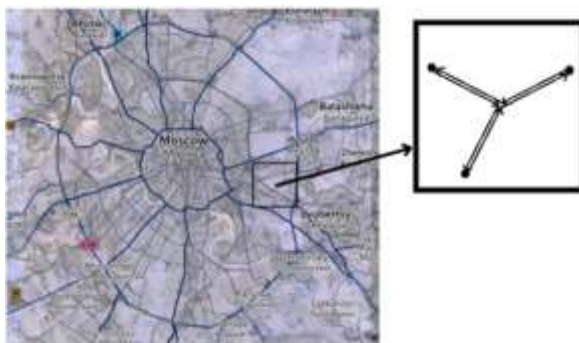


Рис. 1. Граф на карте Москвы

Исходный ориентированный граф  $G$  представляет собой совокупность множества вершин  $v_i \in V^0$  и ребер  $e_i \in E^0$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $j = 1, \dots, M$ . В алгоритме динамической модели применяются способ задания графа, использующий матрицу смежности. Полную информацию о составляющих элементах графа представляет набор следующих объектов:

- 1)  $N$  – число вершин графа  $G$ , целое положительное число;
- 2)  $X$  и  $Y$  – векторы  $X \in RN$ ,  $Y \in RN$ , задающие географические координаты вершин графа  $G$ ; так что пара  $(x_i; y_i)$  – координаты вершин  $v_i \in R^2$ ;

3)  $A$  – матрица смежности графа  $G$ , описание которой представлено ниже. Рассмотрим матрицу смежности ориентированного графа  $G$ .  $B = \|b_{ij}\|$ , где  $1 \leq i \leq N$ ,  $1 \leq j \leq M$  и элемент которой равен

$$b_{ij} = \begin{cases} s - & \text{число дуг, выходящих из вершины } v_j \text{ в } v_i \\ 0, & \text{если вершины } v_j \text{ и } v_i \text{ не являются смежными} \end{cases}$$

Граф транспортной сети строится таким образом, что число  $s$  у всех смежных вершин равно 1. Поэтому целесообразно информацию о структуре графа представить в виде следующей матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1s_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{21} & \dots & \dots & a_{2s_2} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & \dots & \vdots & & \\ a_{n1} & a_{ns_2} & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $s_i$  – число вершин, из которых можно попасть в вершину  $v_i$ ;  $a_{ij}$  – номер вершины, из которой можно попасть в вершину  $v_i$ .

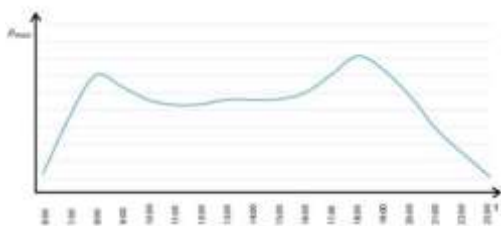


Рис. 2. Заданная функция источника на входном ребре

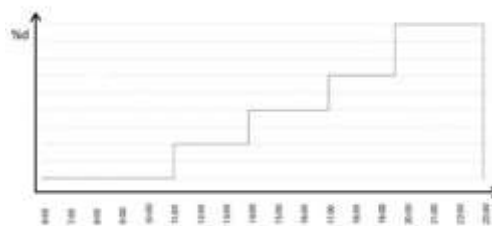


Рис. 3. Заданная функция стока на ребре в спальном районе

**3. Видеофайлы с открытых камер.** Всего пару десятков лет назад для получения видеофайлов нужно было записывать их с помощью специального оборудования. Но сейчас в городе Москве развернута интеллектуальная система для анализа интенсивности. В открытом доступе находятся веб-сервисы, которые транслируют изображения городских панорам, сельской местности, городские улицы, а также движение транспорта. В данной работе рассматриваются веб-камеры, которые передают изображения движения транспорта.

**4. Трэк автомобиля.** Трэкком называется кривая, которая состоит их компонент векторов оптического потока.

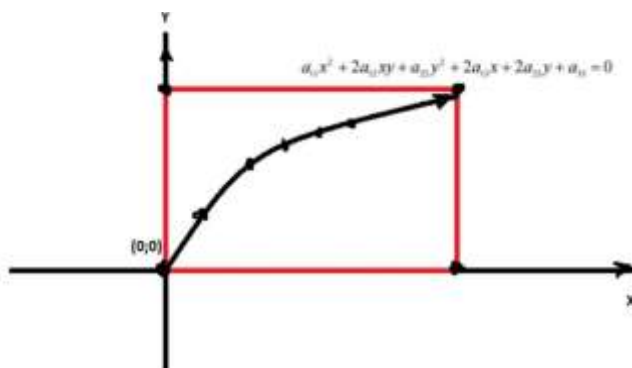


Рис. 4. Граф на карте Москвы

На рис. 4. представлен фрейм с перемещением единичного пикселя по кривой. Координаты каждой такой точки записываются в массив и хранятся в текстовом файле. С каждым перемещением пикселя на  $n+1$  шаг создается 1 вектор с координатами:  $(x_{n+1} - x_n; y_{n+1} - y_n)$

**5. Алгоритм Лукаса–Канаде.** Алгоритм Лукаса–Канаде позволяет определять координаты вектора оптического потока и разрешать систему уравнений:

$$\begin{cases} I_x(q_1)V_x + I_y(q_1)V_y = -I_t(q_1) \\ I_x(q_2)V_x + I_y(q_2)V_y = -I_t(q_2) \\ \dots \\ I_x(q_n)V_x + I_y(q_n)V_y = -I_t(q_n) \end{cases}$$

где решением системы будет являться вектор  $V(x;y)$ , содержащий значения координат по главным осям координат изображения. После получения трэков происходит наложение на схему перекрёстка.

Таким образом, разработан алгоритм обработки трэков для получения матрицы перемешивания транспортных потоков на перекрестке для модели потоков Москвы [1]. Алгоритм будет являться модулем системы для автоматизированного создания матриц в динамике по видеофайлу.

**6. Сравнение с ПО TrafficData Land.** Компания «Траффик Дата» является российским разработчиком программного обеспечения для видеоанализа транспортных потоков. С помощью данного программного приложения с наземными камерами осуществляется обработка собранного материала, позволяя нам получить следующие данные:

- 1) Количество транспортных средств, входящих в поток;
- 2) Количество транспортных средств, выходящих из потока;
- 3) Состав потока с подробным распределением по 18 видам категорий транспорта;
- 4) Интенсивность транспортного потока;
- 5) Скорость автомобилей.

Расстановка створов (детекторов) на видеопотоке:



Рис. 5. Положение трэков в TrafficData



Рис. 6. Алгоритм Лукаса–Канаде

**7. Заключение.** Таким образом, с помощью векторного метода видео-распознавания были получены траектории движения автотранспортных средств на перекрестке. Полученные результаты смогут поспособствовать снижению трафика на перекрестках и нахождению оптимальных вариантов управления им. Разработанный алгоритм обработки трэков позволит создавать матрицу перемешивания в динамике по входящему потокам видеофайлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. М.: ИНФРА-М, 1998. 408 с.
2. Plyer A., Le Besnerais G. Champagnat F. Massively parallel Lucas Kanade optical flow for real-time video processing applications. *J Real-Time Image Proc* 11, 713–730 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11554-014-0423-0>
3. Pospelov P.I., Lavrov O.S., Yashina M.V., Vanin V.O., Savchenkova Yu.S. VideoBased Method of Markovian Matrix Recovery for Road Intersection Control (2022) DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744090
4. Lukanin V.N., Buslaev A.P., Novikov A.V., Yashina M.V. Traffic flows modelling and evaluation of energy-ecological parameters. Part II. *International Journal of Vehicle Design* (2003) 33(4) 400-421.
5. Kozlov V.V., Buslaev A.P., Bugaev A.S., Yashina M.V., Schadschneider A., Schreckenberg M. Preface. In the book: *Traffic and Granular Flow 2011* (2013).

M.V.Yashina (Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; Moscow Technical University of Communications and informatics; Moscow Aviation Institute (Research University), Moscow), D.A.Afanasyeva, V.O.Vanin (Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow)

**Vector method of video recognition of vehicle tracks for intersection control**

Transport infrastructure is an integral part of modern cities and regions. Recently, the list of cities close to the exhaustion of the extensive development of transport networks has greatly increased. This fact shows the importance of the quality of road design, the effectiveness of their functioning and traffic safety, optimization of the route network of transport. Solving a number of such problems is impossible without mathematical modeling.