

УДК 681.3

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Михеева Т.И., Золотовицкий А.В.

Тенденция создания больших городов и регионов с высокой концентрацией населения характерна для всех промышленных стран, поэтому основная масса автомобилей сосредотачивается в пределах городских территорий, вызывая огромные трудности в организации дорожного движения и обеспечении его безопасности. Основными негативными последствиями интенсивной автомобилизации, характерными для многих городов являются: резкое снижение скорости движения, острый дефицит городских площадей для организации кратковременной и длительной стоянки автомобилей, транспортный шум, загрязнение окружающей Среды и, наконец, рост количества дорожно-транспортных происшествий /1/.

Постоянное усложнение дорожно-транспортных условий требует непрерывного совершенствования методов и средств управления движением. Автоматизация управления дорожным движением занимает одно из ведущих мест в комплексе мероприятий, направленных на решение задачи обеспечения нормального функционирования современного города в условиях повышенной автомобилизации /3/.

Автоматизированная система управления дорожным движением - это комплекс технических и программных средств, управляемых человеком и компьютером. Основные задачи современной автоматизированной системы – сбор, хранение и обработка информации о транспортных потоках, состоянии улично-дорожной сети (УДС) и оптимизированное управление дорожным движением /4/.

Автоматизированную систему управления дорожным движением, по специфике решаемых задач можно разделить на уровни.

- Информационный уровень – сбор и хранение информации об УДС города с дислокацией технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) (дорожные знаки, светофоры), разметки и элементов инженерного обустройства дороги.
- Операционный уровень - обработка оперативных данных о состоянии УДС, технических средствах организации дорожного движения, аварийности и др.
- Управленческий уровень – решение задач контроля правильности установки новых ТСОДД, координированного управления, оптимизации управления транспортными потоками и т.п.

Задачи управленческого уровня наиболее трудно поддаются формализации. К ним можно отнести задачи оптимизации управления транспорт-

ными потоками на УДС города в условиях постоянно изменяющихся дорожно-транспортных условий:

- нахождение всевозможных путей между различными пунктами назначения;
- нахождение кратчайшего пути между пунктами УДС;
- определение безопасного маршрута прохождения транспортного потока.

Математическая модель, лежащая в основе автоматизированной системы, может быть построена с применением различных теорий. Например, с использованием принципов объектно-ориентированного программирования. В основе такого подхода лежит принцип описания физических объектов различной природы и взаимодействий между ними /2/.

Объектом управления в разработанной системе является транспортный поток N , движущийся по улично-дорожной сети S .

Сформулируем задачу управления потоком следующим образом: необходимо организовать движение транспортного потока N таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

1. максимальная безопасность движения;
2. максимальная пропускная способность перекрестков.

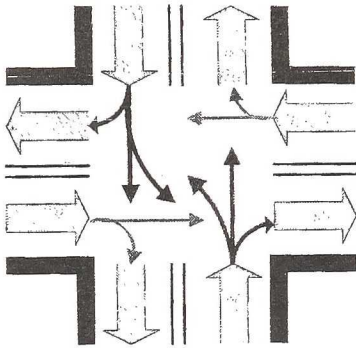
Построим функцию управления

$$F: (N_i, S_i, U) \rightarrow (N_j, S_{i+1}),$$

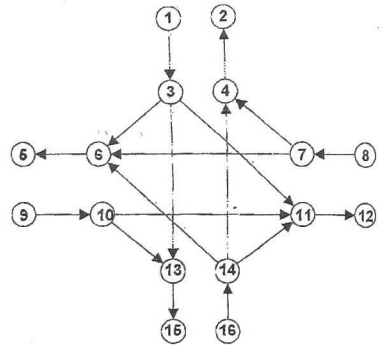
т.е. имея поток N_i на участке схемы S_i и воздействуя на него управляющим органом U , получим другой поток N_j на следующем участке S_{i+1} .

Другой метод построения модели УДС – это применение теории графов.

На рисунке 1.а представлен стандартный X-образный перекресток – пересечение двух улиц с двусторонним движением. На рисунке 1.б показано представление перекрестка в виде графа. Вершиной графа является внешняя граница перекрестка. Ребро показывает направление движения транспортного потока от одной границы перекрестка до другой. Если движение транспорта в каком-либо направлении запрещено, то вершины не соединяются /4/. Таким образом, УДС можно представить **ориентированным графом**. Этот граф является **циклическим**, т.к. существует хотя бы один путь, в котором начальная вершина совпадает с конечной, и при этом данный путь содержит минимум одно ребро. Другими словами, всегда существует путь, по которому можно, выехав из начального пункта, вернуться обратно.



а



б

а) Перекресток УДС с указанием направления движения по проезжим частям;
 б) Представление этого же перекрестка в виде графа
 Рисунок 1

Рассмотрение УДС как последовательности участков и перекрестков позволило представить улично-дорожную сеть, как **простой циклический ориентированный граф**. Дополнительно этот граф является **связным**, т.к. для любых двух точек УДС, существует путь из одной в другую.

Опишем модель УДС в терминах теории графов:

$$G = (V, E),$$

где V - конечное множество,

E - бинарное отношение на V , т.е. подмножество множества $V \times V$. Множество E является множеством вершин, а его элемент - вершиной, а множество V является множеством ребер (участков УДС), а его элемент - ребром [6].

Указанная модель позволяет формализовать некоторые понятия предметной области. Точки начала и конца участка (u_i, u_{i+1}) , представляют собой смежные вершины u_i и u_{i+1} . Пересечение участков есть инцидентность ребер и вершины, представляющей начало заданного участка. Уровень сложности перекрестка можно определить суммарной **степенью** вершин, ограничивающих этот перекресток. Степенью вершины является суммарное количество инцидентных ей ребер. Путь из одной точки УДС в другую, представляется, как путь из вершины u в вершину v и определяется, как последовательность вершин (v_0, v_1, \dots, v_k) , в которой $v_0 = u$, $v_k = v$ и $(v_{i-1}, v_i) \in E$ для всех $i=1, 2, \dots, k$. Таким образом, проезд из одной точки в другую по k участкам дороги можно представить, как путь длины k , состоящий из k ребер. Задача нахождения путей между различными точками УДС, сводится к следующему математическому описанию.

Для заданных $G = (V, E)$, $u, v \in V$ требуется найти вершины $(v_0, v_1, \dots, v_k) \in V$ и ребра $(v_{i-1}, v_i) \in E$, для всех $i=1, 2, \dots, k$, где $v_0 = u$, а $v_k = v$. Если такой путь существует, то будем говорить, что вершина v достижима из u по пути p . Запишем это как $u \xrightarrow{p} v$.

Объект «участок» имеет имманентные свойства, такие как протяженность, ширина проезжей части, полосность и т.д. С другой стороны, рассмотрение транспортного потока, движущегося по этому участку, приводит к появлению дополнительных свойств, являющихся характеристиками этого потока: интенсивность, плотность потока и средняя скорость движения.

С математической точки зрения любые из имманентных свойств объекта можно представить как **вес ребра**. Появление этой характеристики превращает граф во **взвешенный**.

Одной из задач управления дорожным движением является **задача о нахождении кратчайшего пути** между заданными точками. В этой задаче дан ориентированный взвешенный граф $G = (V, E)$ с вещественной весовой функцией $w : E \rightarrow R$, $w(u, v)$ – вес ребра (u, v) , а R – множество вещественных значений весовой функции. **Вес** пути $p = (v_0, v_1, \dots, v_k)$ определим как сумму весов ребер, входящих в этот путь:

$$\omega(p) = \sum_{i=1}^k w(v_{i-1}, v_i).$$

Вес кратчайшего пути из u в v равен

$$\delta(u, v) = \begin{cases} \min \left\{ w(p) : u \xrightarrow{p} v \right\}, & \text{если существует путь из } u \text{ в } v. \\ \infty & \end{cases}$$

Кратчайший путь из u в v – это любой путь p из u в v , для которого $\omega(p) = \delta(u, v)$.

В качестве веса можно брать не только длину участка, но и время, интенсивность движения на участке и другие величины, являющимися критериями оптимальности и обладающие свойством аддитивности. Использование в качестве весовых функций различных характеристик участков УДС приводит к разбиению основной задачи управления дорожным движением на подзадачи с различными критериями оптимальности.

Существует множество алгоритмов и методов решения, приведенных выше задач, такие как поиск в ширину, поиск в глубину, метод Форда-Фолкерсона для нахождения максимального потока в сети, алгоритм Беллмана-Форда для получения путей на графе. Особое внимание при выборе методов решения поставленных задач уделяется их быстродействию, а также форматам хранения исходных данных.

Список использованных источников

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с англ. / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халюерт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии / Пер. с англ. – СПб.: 1997. – 464 с.
3. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1975. – 192 с.
4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2001. – 960 с.
5. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1999. – 255 с.
6. Михеева Т.И., Михеев С.В. Модели наследования в системе управления дорожным движением // «Информационные технологии» 2001 г.

УДК 681.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

Михеев С.В., Михеева Т.И.

При описании организации управления транспортными потоками можно выделить несколько уровней, на каждом из которых решаются определенные задачи. *На первом*, самом нижнем, решаются задачи локального управления, *на втором и третьем* - задачи координированного управления с выработкой управляющих воздействий для сети перекрестков через длительные, по сравнению с локальными, промежутки времени (15-20 мин).

Задачи системного управления транспортными потоками (ТП) взаимосвязаны между собой. В результате решения задачи высокого уровня определяется область ограничений для задач нижнего уровня. На задачи локального управления накладываются ограничения, определяемые на втором уровне переключения светофорных сигналов. На задачи второго уровня накладываются ограничения по циклу, определяемые в результате решения задач синхронизации программ координации. В свою очередь, задачи второго и третьего уровней решаются с учетом ограничений, выработываемых на верхних уровнях.

Конечная задача локального управления - переключение светофорных сигналов в зоне одного перекрестка - может быть разделена на несколько частных задач, решаемых в следующей последовательности /1, 4/:

✓ фазообразование - формирование фаз управления, т.е. совокупностей неконфликтующих направлений, по которым могут двигаться ТС на перекрестке;

✓ компоновка фаз - формирование последовательности включения фаз управления;