

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ МЕГАПОЛИСА

Куфтинова Н.Г.

Современные процессы урбанизации ведут к последовательному росту городов вплоть до формирования предельных территориальных образований, которые называют мегаполисами [1, 2, 10]. Мегаполисам свойственна масса проблем, среди которых наиболее масштабными являются транспортные проблемы. Избыточное использование легковых автомобилей для городских передвижений в условиях увеличения количества и дальности поездок населения приводят к перегруженности улично-дорожной сети мегаполиса и фактическому коллапсу транспортных потоковых процессов [10].

Транспортный путь любой конфигурации может быть представлен как граф $L=(N,A)$, где N – множество узлов сети, A - множество дуг.

Узлы транспортной сети представляют собой места принятия решений (места выгрузки, стоянки и т.п.). Дуги представляют собой отрезки транспортного пути ТС, не содержащие узлов.

Обозначим $q_n=|N|$ - количество узлов и $q_a=|A|$ - количество дуг в транспортной сети. Представим сеть в виде списка инцидентности: инцидентность дуг, где для каждой дуги представлены номера узлов, которыми она заканчивается; инцидентность узлов, где для каждого узла указаны номера прилегающих к нему дуг.

Каждый узел $n_i \in N$ транспортной сети описывается следующими параметрами [1 – 10]:

$$\{x, y, F_a, U_n, M, C_n\} \quad (1)$$

i – номер узла, $i=1,2, \dots, q_n$;

x, y – координаты узла транспортной сети;

F_a – список дуг, прилегающих к данному узлу.

U_n – тип узла (01- 99);

M – множество ТС, которым разрешен доступ к данному узлу;

C_n – состояние узла.

Введем необходимые в дальнейшем понятия и определения.

Узел транспортной сети $n_i \in N$ будем называть конечным (граничным) узлом, если существует единственное i , такое, что $i=1,2, \dots, q_n$.

Узел транспортной сети N_i будем называть транзитным (промежуточным) узлом, если существует только два индекса i_1 и i_2 такие, что $i_1 = 1$ и $i_2 = 1$.

Узел транспортной $n_i \in N$ будем называть транспортным узлом, если существует более двух индексов i_{q_n} , $n > 2$, таких, что $q = 1$.

Каждая дуга $a_j \in A$ транспортной сети описывается параметрами:

$$\{l, F_n, e, C_a\} \quad (2)$$

j – номер узла, $l=1,2, \dots, q_n$;

l – длина дуги;

F_n – список узлов, прилегающих к данной дуге.

e – тип дуги (ориентированная);

C_a – состояние дуги.

Маршруты w длины g от узла n_{i1} к узлу n_{ig} определим как последовательность узлов $w_i = \{n_{i1}, \dots, n_{ig}\}$, по которым должно проследовать ТС для достижения узла n_{ig} из узла n_{i1} .

По транспортной сети L перемещается ТС. Каждое ТС $v_k \in V$ определяется следующими параметрами:

$$\{N_p, S, T, C_v\} \quad (3)$$

k – номер ТС, $k=1,2, \dots, q_n = |V|$;

V – множество всех ТС;

N_p – количество грузов на ТС;

S – скорость ТС;

T – время транспортировки грузов;

C_v – состояние ТС.

Состояние ТС C_v включает следующие параметры:

$$\{c_v, p_v\} \quad (4)$$

c_v – вид состояния ТС (свободно и т.д.);

p_v – местоположение ТС в транспортной сети.

Местоположение ТС в транспортной сети задается номером узла или номером дуги, на котором находится ТС, и признаком, обозначающим, дуга это или узел.

Пусть Z – множество грузов или заявок, сопровождаемых в данный момент автоматизированной системой.

Каждая заявка $z_l \in Z$ описывается параметрами:

$$\{p_z, d_z, t_z, c_z\},$$

l – номер заявки, $l=1,2, \dots, q_z = |Z|$;

p_z – место нахождения груза;

d_z – место доставки груза;

t_z – срок доставки груза;

c_z – состояние заявки.

Места транспортировки грузов задаются номерами узлов, которые имеют тип источник-цель грузов.

Итак, модель транспортной сети $M = \{L, V, Z\}$. (5)

Состояние модели может быть записано на языке предикатов и использоваться в имитационном моделировании процесса транспортировки продукции.

Введем в рассмотрение неупорядоченное множество P транспортных узлов, связанных множеством дуг (путей). Переход с одного транспортного узла к другому требует затрат времени и ресурсов, обозначим его через матрицу стоимости дуг C .

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_N\},$$

где N - количество узлов в рассматриваемой транспортной сети региона, $i = \overline{1, N}$.

Поскольку, множество P всегда конечно, то существует взаимно однозначное соответствие $P \Leftrightarrow M$, где $M = \{1, \dots, N_p\}$ - множество индексов транспортных узлов.

Тогда, топологию транспортной сети на множестве P можно задать квадратной матрицей T размерность $N_p \times N_p$:

$$T = \{t_{ij} : i = j = \overline{1, N}\}, \quad (6)$$

$$\text{где } t_{ij} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$$

1, если узлы i, j связаны между собой транспортной коммуникацией и между ними нет промежуточных узлов; 0 - в противном случае.

В силу определения (6) матрица T является симметричной $t_{ij} = t_{ji}, \forall i, j = \overline{1, N}$, а её диагональные элементы равны нулю $t_{ij} = 0$.

Очевидно, что матрица T на множестве P определяет связный неориентированный граф $G = (P, C)$, где множество пар вершин P задается матрицей T в соответствии с правилом:

$$[(p_i, p_j) \in P] \Leftrightarrow (t_{ij} = 1) \quad (7)$$

Из условия (7) следует, что введенная матрица T по отношению к графу $G = (P, C)$ является матрицей инцидентности.

Введем необходимые в дальнейшем понятия и определения.

Узел транспортной сети p_i будем называть конечным (граничным) узлом, если существует единственное j такое, что $t_{ij} = 1$.

Узел транспортной сети P_i будем называть транзитным (промежуточным) узлом, если существует только два индекса j_1 и j_2 такие, что $t_{ij_1} = 1$ и $t_{ij_2} = 1$.

Узел транспортной сети p_i будем называть транспортным узлом, если существует более двух индексов $j_k, k > 2$ таких, что $t_{ijk} = 1$.

В соответствии с приведенными выше определениями множество узлов транспортной сети допускает следующее разбиение: $S=S_r \cup S_T \cup S_{\Pi}$

где S_r - множество конечных (граничных) узлов;

S_T - множество транспортных узлов;

S_{Π} - множество промежуточных (транзитных) узлов.

На определенном выше графе $G = (P, C)$ транспортной сети построим функцию, задаваемую матрицей C^0 :

$$C^0 = \begin{Bmatrix} C_{ij} \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

c_{ij} – стоимость дуги между узлами i и j , если $t_{ij}=1$, 0 – в противном случае.

Тогда, упорядоченное подмножество множества M , (кортеж)

$$\{p_1, \dots, p_n\}, \forall k: p_k \in M_p \quad (9)$$

задает путь, соединяющий узлы i и j в рамках рассматриваемой транспортной сети, если:

$$p_1=i; p_n=j; \forall k = \overline{i, n-1}: t_{k,k+1}=1 \quad (10)$$

Заметим, что если $\{p_1, \dots, p_n\}$ - путь, соединяющий узлы i и j транспортной сети, то $\{p_n, \dots, p_1\}$ - путь, соединяющий узлы j и i .

Под стоимостью между узлами i и j транспортной сети вдоль пути $\{p_1, \dots, p_n\}$ в дальнейшем будем понимать величину

$$C_{ij}^{\{p_1, \dots, p_n\}} = \sum_{k=1}^{n-1} C_{p_k, p_{k+1}}^0, \quad (11)$$

при выполнении условий (9) и (10).

Множество всех путей, соединяющих узлы i и j в рамках рассматриваемой транспортной сети, обозначим как:

$$\Pi_{ij} = [\{p_1, \dots, p_n\}: p_1=i; p_n=j; \forall k = \overline{i, n-1}: t_{k,k+1}=1] \quad (12)$$

Под наименьшей стоимостью дуги между узлами i и j транспортной сети в дальнейшем будем понимать величину, определяемую следующим образом:

$$c_{ij} = \min_{\{p_1, \dots, p_n\} \in \Pi_{ij}} C_{ij}^{\{p_1, \dots, p_n\}} \quad (13)$$

В интересах построения модели транспортной сети мегаполиса, задаваемой графовой моделью (6), определим матрицу наименьших стоимостей:

$$C = \{c_{ij}: i, j = \overline{1, N_p}\} \quad (14)$$

Стоимость дуги может выражаться затратами времени к ресурсам. Поэтому в зависимости от информации о стоимости дуги можно выделить два основных типа транспортных сетевых моделей: модели с учетом только временных характеристик (ограничение на ресурсы не накладывается) и модели с учетом временных и ресурсных характеристик.

Модели первого типа не являются оптимизационными. Но, не смотря на это, их применение в системе оценки эффективности транспортной сети региона позволит эффективно решить существенные проблемы, а именно найти минимальное время, в течение которого может быть выполнен весь комплекс процесса транспортировки для данной топологии, и определить календарные сроки начала и окончания каждого этапа, обеспечивающей выполнение всего комплекса транспортировки в найденное минимальное время.

Модели второго типа относятся к задачам распределения ресурсов. Эти задачи являются оптимизационными. В зависимости от принятого критерия оптимальности и характера ограничений они могут быть разбиты на две основные группы:

- задачи минимизации сроков наступления завершения транспортировки при соблюдении заданных ограничений на использование ресурсов;
- задачи оптимизации некоторого показателя качества использования ресурсов при заданных сроках выполнения комплекса управления технологическим процессом.

Предлагаемые модели являются системными: в них действия отдельных узлов транспортной сети анализируются с учетом их взаимных связей. Они позволяют получить многостороннюю оценку эффективности производственной деятельности транспортной сети на текущий период на основе ограниченного числа исходных параметров.

Список информационных источников

- [1] Ведынский, А.С. Исследование операций в транспортных системах: идеи схемы методов оптимизации планирования. М.: Мир, 1992. - 584с.
- [2] Вельможин, А. В. Теория транспортных процессов и систем. / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. - М.: 1998. - 167 с.
- [3] Имитационное моделирование в пакете PTV-VISION при управлении транспортировкой продукции промышленных предприятий Куфтинова Н.Г., Польшун М.Б., Чаудхари Р.Р., Снеткова О.Б., Ефименко Д.Б // В мире научных открытий. - Красноярск: НИЦ, 2012. №2.6(26). С. 29- 33.
- [4] Ostroukh, A.V. Automation of Planning and Management of the Transportation of Production for Food Processing Industry Enterprises / A.V. Ostroukh, N. G. Kuftinova // Automatic Control and Computer Sciences. - 2012. - Vol. 46. - No. 1. - P. 41 – 48.
- [5] Остроух А.В. Автоматизация и моделирование работы предприятий по строительству промышленных объектов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06: защищена 07.04.09: утв. 19.06.09. - М., 2009. - 357 с.

- [6] Остроух А.В. Автоматизация и моделирование работы предприятий по строительству промышленных объектов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. - М., 2009. - 43 с.
- [7] Остроух, А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности [Текст] / [ред. А.В. Остроух] - М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. - 240 с. - ISBN 978-5-94385-056-1
- [8] Остроух, А.В. Особенности реализации автоматизированной информационно-аналитической системы центра планирования перевозок строительных грузов [Текст] / А.В. Остроух, И.А. Кузнецов // Вестник МАДИ(ГТУ) – 2008. - Вып. 1(12). - С. 92-96.
- [9] Остроух, А.В. Процессно-ориентированный подход к автоматизации планирования и управления транспортировкой продукции предприятий промышленности [Текст] / А.В. Остроух, Н.Г. Куфтинова // Вестник МАДИ – 2010. - Вып. 4(23). - С. 62-66.
- [10] Остроух, А.В. Имитационное моделирование управления транспортными потоками в мегаполисе [Текст] / А.В. Остроух, Н.Г. Куфтинова // Автотранспортное предприятие. - 2010. - №12. - С. 41-42.