А.В. Золотовицкий, Т.И. Михеева, А.В. Сидоров

МЕТОДЫ РАБОТЫ С ГРАФОВОЙ МОДЕЛЬЮ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ITSGIS

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

В последние годы проблема оптимизации в сложных системах, к которым относятся транспортные системы, становится одной из ведущих в мире. Для транспортных систем характерны связи между элементами, реализованные в виде обмена некоторой субстанцией между элементами. В транспортных системах такой субстанцией является транспортный поток [1]. Транспортную сеть можно рассматривать в виде совокупности двух множеств элементов: «узлы» системы и «потоки» между узлами. Связями в данной трактовке системы будут отношения инциденции узлов и потоков. Такое представление позволяет применить концепции и методы теории графов, как к построению моделей транспортной системы и составляющих ее элементов (транспортная сеть, поток), так и к решению задач маршрутизации [2].

Построение маршрутов в геоинформационной системе ITSGIS является задачей о нахождении кратчайшего пути между двумя удаленными объектами на графе: необходимо найти маршрут кратчайшей длины для двух пунктов – $M_{отпр}$ и $M_{назн}$ – пунктов отправления и назначения между n населенными пунктами, соединенными m дорогами.

Кластеризация графа

Граф транспортной сети состоит из множества узлов (перекрестков), пронумерованных в определенном порядке $\{1,\ldots,N\}$. Каждый i-й узел имеет геометрические координаты (x_i, y_i, z_i). Пусть n_i – количество узлов, из которых можно попасть в узел i непосредственно, $\{k_1, \ldots, k_{ni}\}$ – номера таких соседних (инцидентных) вершин [3]. Совокупность векторов из номеров соседних вершин образуют матрицу из N строк с переменным количеством столбцов (матрица инцидентностей). Аналогичной структурой матрица характеризует количество полос, подходящих в определенном направлении к данной вершине. Введением дополнительных узлов, если необходимо, можно добиться того, чтобы считать ребра транспортной сети (перегоны) прямолинейными, примерно равными по длине. Это процедура определяет дискретизацию графа G. Процедура кластеризации графа заключается в следующем: каждому номеру $\{1, \ldots, N\}$ сопоставим суммарное количество полос, непосредственно входящих в данный узел (кратность узла):

1	2	…	N
m_1	m_2	…	m_N

Руководствуясь этой информацией, построим распределение узлов по кратности, т.е. каждому значению кратности $d \in \{1, \ldots, d_{max}\}$ сопоставим вектор номеров узлов с соответствующей кратностью:

$$D: \begin{cases} 1 & \to \quad \{i_{1,1}...i_{1,k_1}\} \\ 2 & \to \quad \{i_{2,1}...i_{2,k_2}\} \\ ... & \\ d^* = d_{\max} & \to \quad \{i_{d^*,1}...i_{d^*,k_{d^*}}\} \end{cases}$$

где d_k – различные узлы графа, $k1 + k2 + ... + kd^* = N$, т.е. ряд распределения кратности имеет вид:

1	2	…	d^*
k_1	k_2	…	$k_d{}^*$

Величина $V = \sum_{i=1}^{d^*} ik_i$ характеризует ***мощность транспортной сети***.

Рассмотрим *100*p%* разложение V, $0<p<1$

$V=(1-p)V+(1-p)pV+(1-p)p^2V+\ldots=V(1-p)(1+p+p^2+\ldots)$

Пусть

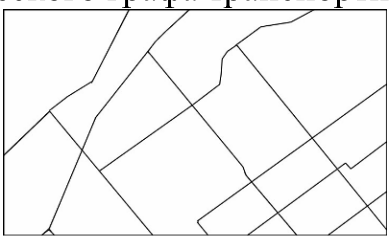
$$d_1 = max \left\{ d \in \{1,...,d^*\} \mid \sum_{i=d}^{d^*} ik_i > (1-p)V \right\}$$

$$d_2 = max \left\{ d \in \{1,...,d^*\} \mid \sum_{i=d}^{d^*} ik_i > (1-p)V(1+p) \right\}$$

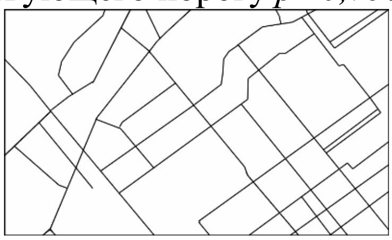
$$d_k = max \left\{ d \in \{1,...,d^*\} \mid \sum_{i=d}^{d^*} ik_i > (1-p)V(1+p+p^2+\ldots+p^{k-1}) \right\}$$

Тем самым, геометрическая модель транспортной сети раскладывается в конечную сумму непересекающихся подграфов: $G_1 \oplus G_2 \oplus ..$

На рисунке 1 показан пример расслоения по количеству полос геометрического графа транспортной сети г. Самары, соответствующего порогу $p=0,75$.



а)



б)

в)

г)

Рис. 1. Расслоение графа г. Самара по уровням *100p=75%*:
а) вершины, соответствующие *1-му* слагаемому разложения;
б) вершины, соответствующие *1 и 2-му* слагаемым разложения;
в) вершины, соответствующие *1-3* слагаемым разложения;
г) вершины, соответствующие *1-4* слагаемым разложения

Клеточное сжатие графа

Процедура сжатия графа выполняется методом клеточной дискретизации. Рассмотрим плоскую транспортную сеть, т.е. координата z всех узлов одна и та же. Область плоскости, где расположен граф G, разбивается на клетки размером $\Delta \times \Delta$ (рис. 2).

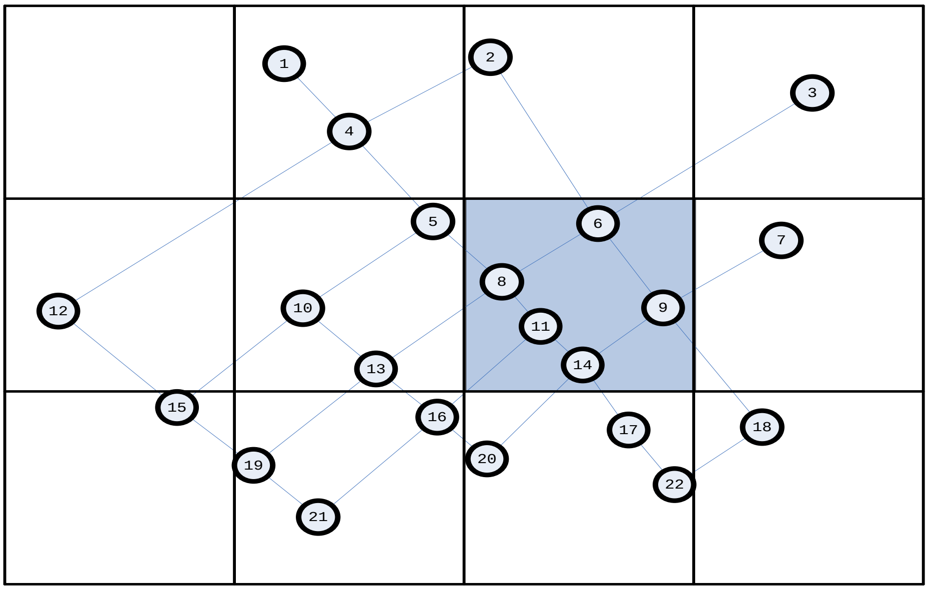


Рис. 2. Разбиение графа транспортной сети на клетки

Соберем все узлы, принадлежащие одной клетке, в центре этой клетки (рис. 3,4), и каждой такой клетке сопоставим 4 инцидентные связи (север – восток – юг - запад), каждая из которых суммирует характеристики ребер, пересекающие соответствующие стороны клетки или соединяющие клетки (длина ребра меньше размера клетки) [4, 5].

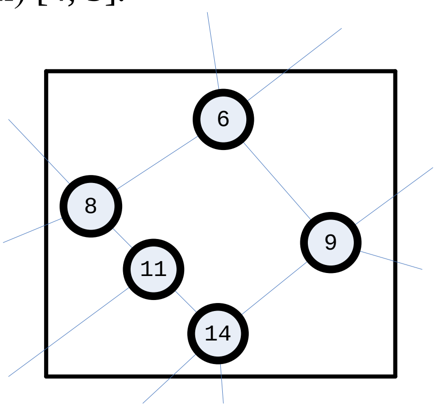


Рис. 3. Клетка транспортной сети

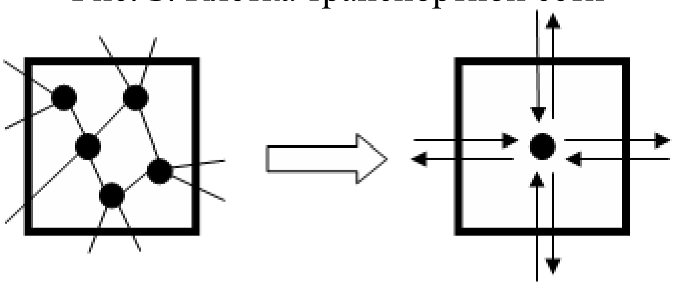


Рис. 4. Процедура сжатия клетки транспортной сети

Линейное сжатие графа

Линейное сжатие графа это способ уменьшения размерности графа за счет объединения нескольких последовательных ребер в одно. Граф G' называется сжатием графа G, если он получен из графа G удалением вершин степени 2 и заменой цепи ребер, инцидентных этим вершинам, одним ребром (рис. 5, 6).

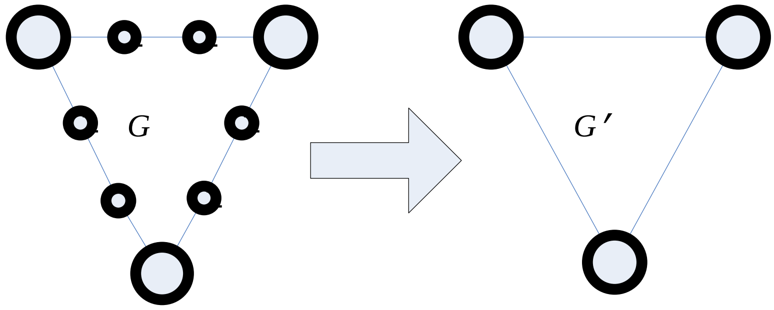
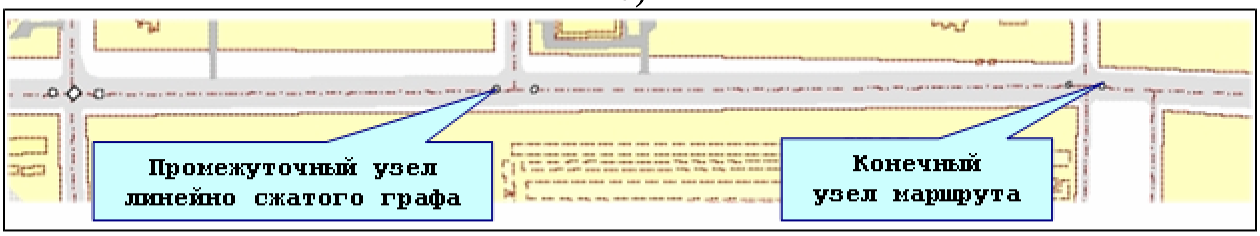


Рис. 5. G' - сжатие графа G

а)

б)



в)

Рис. 6. Сжатие графа ул. Московское шоссе на карте
а) начальный участок от ул. Мичурина до ул. Гагарина
б) промежуточный участок от ул. Аврора до ул. Потапова
в) конечный участок от ул. Димитрова до ул. Ташкентская

Геоинформационная система ITSGIS позволяет строить транспортные маршруты по графу улично-дорожной сети. В системе реализованы алгоритмы уменьшения размерности графа: сжатие и кластеризация. Например, сжатие графа участка улично-дорожной сети Московского шоссе от ул. Мичурина до ул. Ташкентская, который при пороге кластеризации p=0,5 (выбраны основные транспортные участки с интенсивным движением) содержит 72 узла. Для перегонов использовался линейный метод сжатия графа, при котором весовая характеристика ребра суммируется. Для перекрестков использовался метод клеточного сжатия, при котором перекресток представлен одним узлом.

Литература

1. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. – М.: ИНФРА-М, 1998. 408с.
2. Золотовицкий А.В. Применение графовых структур в системе управления дорожным движением / V Всероссийская научная конференция молодых ученых и аспирантов «Новые информационные технологии. Разработка и аспекты применения» //Тезисы докладов.-Таганрог, 2003. С.166.
3. Михеева Т.И., Золотовицкий А.В. Применение теории графов в задачах управления дорожным движением // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Серия: «Актуальные проблемы радиоэлектроники» – Самара: СГАУ, - 2003. С. 20 - 24.
4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2001. 960 с.
5. Вайсфельд В.А., Ексаев А.Р. Геоинформационные технологии и городские инженерные сети – основные принципы интеграции // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 1997. – № 1(8) С. 26.

А.В. Игнатенков, А.М. Ольшанский

О ЖАДНОЙ СТРАТЕГИИ ПРОКЛАДКИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

(ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Самарский государственный университет путей сообщения)

В условиях повышенной изменчивости поездопотоков существенно изменились требования к графику движения поездов, связанные с оперативным перестроением графика в автоматизированном или даже автоматическом режиме. Цель настоящего доклада – предложить подход к построению графика движения поездов на основе «жадных» решений.

График движения поездов – система событий и процессов между ними, выбранная и заданная на многомерном графе путей и станций, включая необходимые условия и ограничения на отношения между элементами графа и категорией процесса.

Он включает в себя следующие элементы:

- точность графика (1 мин. для общего графика, 0,5 минуты для графика с наличием скоростных и высокоскоростных поездов);
- множество раздельных пунктов сети (N станций);