

Кластеризация графа улично-дорожной сети города

Т.И. Михеева
Факультет информатики
Самарский государственный
аэрокосмический университет
Самара, Россия
e-mail: mikheevati@its-spc.ru

В.А. Ключников
Факультет информатики
Самарский государственный
аэрокосмический университет
Самара, Россия
e-mail: klyuchnikov.vladimir@gmail.com

А.В. Сидоров
Факультет информатики
Самарский государственный аэрокосмический университет
Самара, Россия
e-mail: a.sidorov163@mail.ru

Аннотация¹

Рассматривается решение задачи разделения улично-дорожной сети города на транспортные районы с помощью различных алгоритмов кластеризации в среде геоинформационной системы. Разбиение узлов транспортной сети на кластеры выполняется с помощью иерархического агломеративного метода Уорда. В качестве альтернативного подхода к кластеризации узлов на графе рассматриваются процедуры построения и усечения минимального дерева Штейнера.

1. Введение

В условиях непрерывного развития городов, увеличения уровня автомобилизации и глобального перехода на новый уровень информатизации необходимо решение транспортных проблем с помощью современных средств и подходов. Одним из таких подходов является математическое моделирование транспортных потоков с помощью программно-аналитических комплексов (ПАК). С помощью различных ПАК возможно решать широкий спектр транспортных задач.

Одной из основных транспортных задач, требующих реализации (решения) для каждого города, является моделирование загрузки улично-дорожной сети. Решение данной задачи происходит в несколько этапов и требует создания различных типов математических моделей, а также использования индивидуального подхода для каждого этапа.

Подготовка исходных данных для моделирования загрузки улично-дорожной сети является основополагающим этапом, от точности и качества проведения которого зависят все последующие результаты. Одной из задач, необходимых для подготовки исходных данных для моделирования является задача разделения графа улично-дорожной сети на транспортные районы.

2. Геоинформационная система ITSGIS

ITSGIS – это геоинформационная система (ГИС) с многослойной электронной картой города. ГИС ITSGIS обеспечивает работу с различными геообъектами транспортной инфраструктуры (дороги, дорожные знаки, светофоры, световые опоры, остановки общественного транспорта, дорожные ограждения, дорожная разметка, искусственные дорожные неровности) [1]. Кроме этого ITSGIS позволяет формировать и редактировать граф улично-дорожной сети (рисунок 1).

Система позволяет:

- отображать карты распространенных форматов;
- редактировать карту с помощью базовых графических примитивов;
- гибко настраивать пользовательский интерфейс;
- разрабатывать разнообразные модули («плагины»), расширяющие систему.

ITSGIS имеет трехуровневую архитектуру:

1. Сервер БД (уровень хранения данных) реализован на СУБД PostgreSQL с геопространственным расширением PostGIS. Физически сервер БД находится на облачном хранилище, что обеспечивает его высокую скорость работы, стабильность и надежность хранения данных.

Труды четвертой международной конференции
"Информационные технологии интеллектуальной
поддержки принятия решений", 17 - 19 мая, Уфа,
Россия, 2016

- Сервер приложения (уровень обработки данных) использует технологию передачи данных между приложениями Windows Communication Foundation (WCF), обеспечивая надежный и безопасный обмен данными между сервером приложения и клиентами. Физически сервер приложения работает на вычислительных мощностях облачного сервиса.
- Клиентская часть (уровень представления данных) реализована на технологии .Net.

Обеспечивает визуализацию данных, ввод и редактирование информации, формирование необходимых ведомостей и отчетов.

ITSGIS является хорошо масштабируемой, так как серверы БД и приложения находятся на облачных сервисах. Благодаря этому вычислительная мощность может быть легко увеличена, и вычислительная мощность автоматически распределяется между серверами.

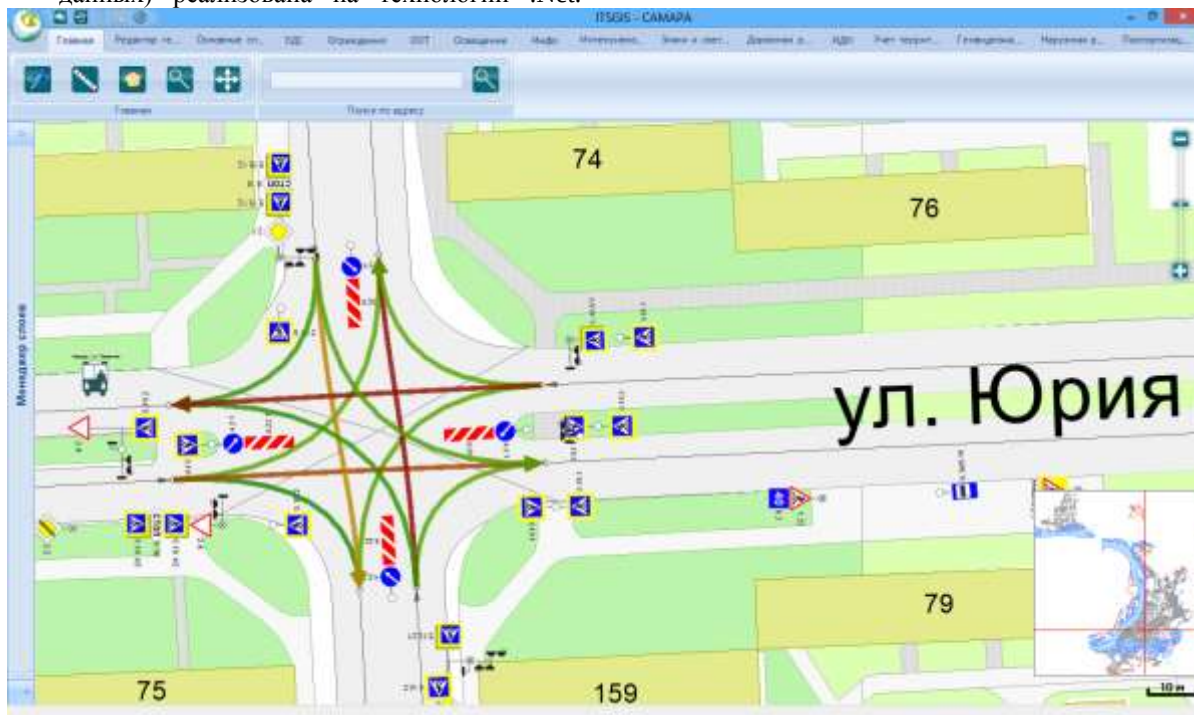


Рис.1. Пользовательский интерфейс ГИС ITSGIS

2. Иерархический алгоритм кластеризации Уорда

Пусть $\{S_1, \dots, S_n\}$ – векторное представление кластеризуемых узлов. Поскольку число кластеров для задачи анализа узлов улично-дорожной сети заранее неизвестно, то для проведения кластерного анализа выбираем иерархический агломеративный метод Уорда. Одно из его достоинств состоит в том, что нет необходимости задавать число кластеров перед кластеризацией. Метод является наилучшим по результатам экспериментального сравнения на представительном наборе модельных задач и дает возможность получения кластеров с минимальной внутрикластерной вариацией [2].

Сначала каждый объект считается отдельным кластером. Для одноэлементных кластеров естественным образом определяется функция расстояния $R(\{x\}, \{x'\}) = \rho(x, x')$.

Затем запускается процесс слияний. На каждой итерации вместо пары самых близких кластеров U и V образуется новый кластер $W = U \cup V$. Расстояние от нового кластера W до любого другого кластера S

вычисляется по расстояниям $R(U, V)$, $R(U, S)$ и $R(V, S)$, которые к этому моменту уже должны быть известны:

$$R(U \cup V, S) = \alpha_U R(U, S) + \alpha_V R(V, S) + \beta R(U, V) + \gamma |R(U, S) - R(V, S)|.$$

Алгоритм кластеризации на основе иерархического агломеративного метода Уорда состоит из следующих шагов [3]:

- 1) Создать первичный набор кластеров, каждый из которых содержит один элемент набора кластеризации $K_t = \{\{S_1\}, \dots, \{S_n\}\}$, $t = 1$, где S_i – объект кластеризации, t – номер итерации;
- 2) Для всех $t = 2, \dots, n$, где t – номер итерации:
- 3) найти в K_{t-1} два ближайших кластера U, V

$$(U, V) := \arg \min_{U \neq V} R(U, V), \quad R_t = R(U, V),$$

где $R(U, V)$ расстояние между кластерами U, V ;

4) Изъять кластеры U и V , добавить слитый кластер $W = U \cup V : K_t = K_{t-1} \cup \{W\} \setminus \{U, V\}$;

5) Для всех $S_i \in K_t$ вычислить расстояние

$$R(W, S) = \frac{|S||W|}{|S| + |W|} \rho^2 \left(\sum_{w \in W} \frac{w}{|W|}, \sum_{s \in S} \frac{s}{|S|} \right).$$

В качестве функции расстояния для определения близости узлов графа улично-дорожной сети выбрана классическая евклидова метрика:

$$\rho(s, s') = \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - s'_i)^2}.$$

3. Процедуры построения и усечения дерева Штейнера

Алгоритм построения и усечения дерева Штейнера также можно использовать для выделения центров кластеризации [4].

Пусть $G = (V, E)$ – неориентированный граф, в котором каждое ребро $ij \in E$ имеет неотрицательную реальную стоимость, и пусть N – множество концевых узлов (вершин) графа, $N \subseteq V$. Дерево T , выделяемое в графе G , называют деревом Штейнера, если оно содержит все концевые узлы графа $V(T) \supseteq N$. Требуется найти такое дерево Штейнера T , стоимость которого $c(T) = \sum_{ij \in E(T)} c(ij)$ минимальна среди всех деревьев Штейнера для графа G . Оптимальное решение T является минимальным деревом Штейнера, оно же – минимальное остовное дерево.

Для получения минимального остовного дерева используем алгоритм Прима:

- 1) найти пару узлов (i, j) с наименьшим ρ_{ij} и соединить их ребром;
- 2) пока в выборке остаются изолированные точки
- 3) найти изолированную точку, ближайшую к некоторой неизолированной;
- 4) соединить эти две точки ребром.

Для усечения дерева Штейнера строят сеть расстояний $D_G(N)$, где N – выделенное указанное множество концевых узлов, и затем находят минимальное остовное дерево M в $D_G(N)$. Заменяя каждое ребро $v-w$ в M кратчайшим путём $v-w$ в G , получают новый подграф T' в G . В результате находят минимальное остовное дерево T' , последовательно удаляя любые узлы Штейнера первой степени.

Полученное дерево представляет собой минимальный маршрут, соединяющий все заданные узлы. Для выделения транспортных районов к полученному минимальному дереву Штейнера применяется процедура его усечения. На рис. 2 показано усечение минимального остовного дерева, полученного из графа улично-дорожной сети города Самары, с целью выделения 26 кластеров. Усечение производится последовательным удалением наиболее длинных рёбер полученного дерева.

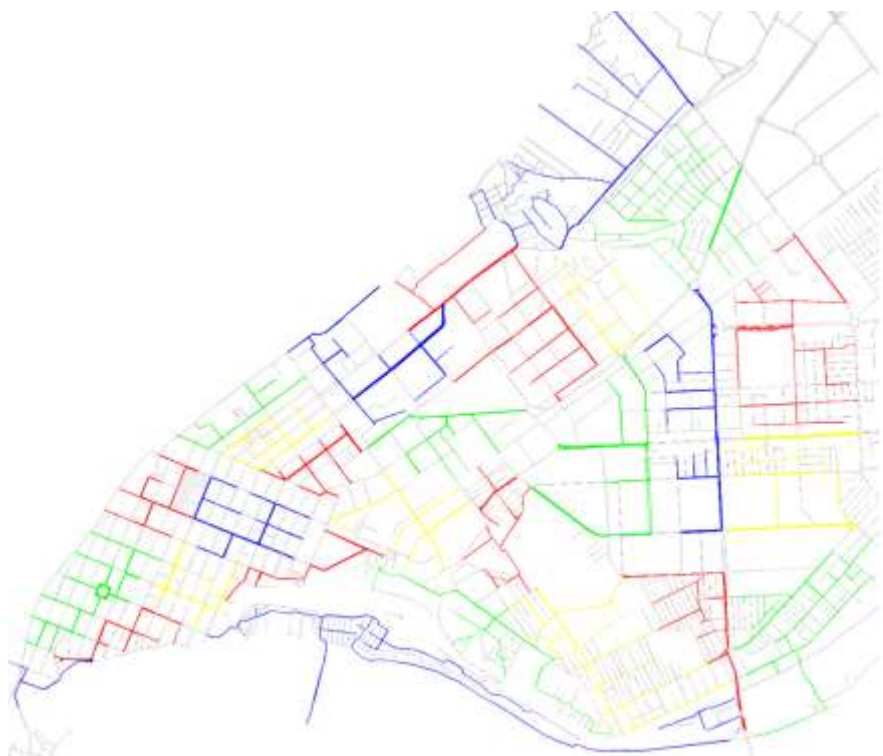


Рис. 2. Результат кластеризации графа улично-дорожной сети

4. Заключение

Решена задача разделения улично-дорожной сети города на транспортные районы с помощью различных алгоритмов кластеризации графа улично-дорожной сети. Разбиение узлов транспортной сети на кластеры выполняется с помощью иерархического агломеративного метода Уорда. В качестве альтернативного подхода к кластеризации узлов на графе использован алгоритм построения и усечения минимального остовного дерева. Алгоритмы реализованы в ГИС ITSGIS.

Список используемых источников

1. Сидоров А.В., Имамутдинов А.Н., Ключников В.А. Веб-ориентированная модель интеллектуальной транспортной геоинформационной системы ITSGIS // Известия
2. Lam B. A new cluster validity index for data with merged clusters and different densities/ Lam B., Yan H. // Systems, Man and Cybernetics: IEEE International Conference. – 2005. – Vol. 1. – P. 798-803.
3. Дюрбан Б., Оделл П. Кластерный анализ. Пер. с англ. Е.З. Демиденко – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
4. Солнцева, М. О., Кухаренко, Б. Г. (2013). Применение методов кластеризации узлов на графах с разреженными матрицами смежности в задачах логистики. // Труды МФТИ –М., 2013, Т. 6, № 3 – С.75-83.