



5. Михеева Т.И., Сапрыкин О.Н. Идентификация зависимостей и пространственно-распределенных данных с использованием нейросетевых технологий // Вестник СамГТУ. Сер.: Технические науки. – 2007. – № 1(19) – С. 40–47.

6. Аверкин А.Н., Костюченко О.В., Титова Н.В. Многокритериальный анализ нечетких объектов с кластеризацией экспертных оценок // Нечеткие системы и мягкие вычисления. – 2007. – Т. 2; № 4. – С. 49-62.

7. Прозоров Д.Е., Романов С.В. Множественный доступ с псевдослучайным разделением времени в Manet-сетях с кластеризацией узлов // Телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 14-17.

8. Иванов И.А. Генетический алгоритм для решения задачи совмещения маршрутов с предварительной кластеризацией точек отправления и назначения // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 2; № 17. – С. 15-16.

Т.И. Михеева, А.А. Федосеев

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КОНФИГУРАЦИИ ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва)

Модернизация транспортной инфраструктуры является неотъемлемой частью экономического развития современного государства. Рост числа и протяжённости автомобильных дорог относится к ряду приоритетных мероприятий по модернизации федеральных и региональных транспортных систем. При этом, становится актуальной задача оперативного выявления и учёта изменений объектов сети автомобильных дорог, а также определения характеристик и состояния объектов транспортной инфраструктуры. Значительная площадь территории и большое число субъектов Российской Федерации диктуют необходимость разработки и внедрения подходов к решению указанных задач на основе использования материалов аэрокосмической съёмки (рисунок 1).

Согласно представленной схеме предусмотрена двухуровневая поддержка управления состоянием объектов дорожно-транспортной инфраструктуры на основе информации дистанционного зондирования Земли. Для поиска изменений конфигурации дорожной сети, реализуемого на макроуровне, используются спектральные снимки высокого пространственного разрешения с космических аппаратов типа «Ресурс-П», охватывающие значительные по площади участки земной поверхности. На локально-детальном уровне производится определение характеристик и состояния объектов транспортной инфраструктуры с использованием материалов гиперспектральной съёмки высокого пространственного



разрешения, полученных при помощи беспилотных летательных аппаратов. Результаты интерпретации получаемой информации на каждом из двух уровней заносятся в базу данных. При наличии изменений конфигурации дорожной сети, зафиксированных в результате сопоставления обработанных данных космической съёмки с содержащейся в базе данных информацией, производится актуализация соответствующих данных.



Рисунок 1. Схема поддержки управления состоянием объектов транспортной инфраструктуры на основе информации дистанционного зондирования Земли

Рассмотрим задачу поиска изменений конфигурации дорожной сети, реализуемую на макроуровне. Основу данной задачи составляет подзадача автоматизации процесса экстрагирования элементов сети автомобильных дорог [2].

Пусть на мультиспектральном снимке представлено множество элементов сети автомобильных дорог:  $\tilde{W}_n = \{\tilde{W}_{n1}, \dots, \tilde{W}_{nm}\}$ , где  $m$  – число элементов сети автомобильных дорог.

Каждый из элементов  $\tilde{W}_{ni} \in \tilde{W}_n$  может быть охарактеризован следующими признаками:  $\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}} = \{\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^s, \tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^g, \tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^d\}$ , где  $\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^s$  – набор спектральных признаков элемента  $\tilde{W}_{ni}$ ,  $\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^g$  – набор геометрических признаков элемента  $\tilde{W}_{ni}$ ,  $\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^d$  – набор описательных признаков элемента  $\tilde{W}_{ni}$ .

В отличие от задачи определения характеристик объектов дорожно-транспортной инфраструктуры на основе применения гиперспектральных снимков, где достаточно иметь только набор признаков  $\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^s$ , для экстрагирования сети автомобильных дорог по космоснимкам высокого пространственного разрешения требуется анализ триады  $\{\tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^s, \tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^g, \tilde{F}_{\tilde{W}_{ni}}^d\}$ . Это



объясняется тем, что такие изображения содержат, как правило, ограниченное пространство спектральных признаков. Следовательно, спектральный образ элементов дорожной сети является весьма схожим со спектральным образом ряда других объектов искусственного происхождения, присутствующих в рассматриваемой сцене. Таким образом, данная задача предполагает проведение так называемого объектно-ориентированного анализа снимков [3]. Такой подход позволяет объединять спектральные свойства мультиспектральных изображений с пространственной информацией панхроматических снимков для повышения эффективности экстрагирования основных дорог урбанизированной территории.

Схема предлагаемой технологии представлена на рисунке 2. В качестве исходных данных используется пара комплектов одновременных снимков с космической системы «Ресурс-П», каждый из которых представлен одним панхроматическим (пространственное разрешение 0,7 м) и четырьмя мультиспектральными каналами (синий, зелёный, красный и ближний инфракрасный (ИК), пространственное разрешение 2,1 м). Технология обработки идентична для каждого из комплектов снимков. Сначала производится комплексирование мультиспектрального изображения с панхроматическим. Результирующее изображение представлено в четырёх каналах и имеет пространственное разрешение, соответствующее панхроматическому.

Для предварительного выделения всех возможных объектов, потенциально принадлежащих к классу дорог, производится классификация комплексированного изображения. В качестве инструмента классификации предлагается метод кластеризации k-means, относящийся к категории методов интеллектуального анализа данных [6, 7]. Данный метод хорошо себя зарекомендовал в задаче классификации разнородных объектов на мультиспектральных изображениях [1]. В ходе анализа на данном этапе оператор объединяет множество полученных кластеров в один класс дорог. Стоит отметить, что результаты обработки на данном этапе содержат множество ошибок вследствие наличия в рассматриваемой сцене объектов, которым присущи схожие с дорогами спектральные характеристики.

На этапе выделения контуров на панхроматическом изображении используется один из свёрточных фильтров (фильтры Собеля, Роберта или Кэнни) [4]. При этом, производится настройка оптимальных параметров соответствующего фильтра. Далее следует несколько этапов, направленных на извлечение всех оставшихся пространственных признаков объектов интереса путём исключения элементов, не относящихся к дорогам. Как было указано выше, на классифицированном ранее изображении имеет место наличие объектов, не принадлежащих дорогам. При этом, часть таких объектов связаны с элементами дороги, часть объектов изолирована. Задача исключения изолированных объектов не представляет сложности. Однако исключение связанных с дорогами объектов может повредить структуру выделенной дорожной сети. Для решения данной проблемы используются ранее



выделенные на панхроматическом изображении контуры, позволяющие отделить от дороги лишние объекты. Следующий этап обработки предполагает маркировку объектов по критерию количества связанных в один элемент пикселей. Устанавливается пороговое значение количества пикселей (например, 200), ниже которого объекты исключаются из дальнейшего рассмотрения. Стоит отметить, что проблема ошибочной классификации особенно актуальна для урбанизированных территорий, где имеют место значительные по площади парковочные площадки и большие здания. Размер таких объектов зачастую превышает размер элементов сети автомобильных дорог, а использование описанных выше подходов может оказаться малоэффективным. Для решения проблемы предлагается применение подхода, описанного в [5], на основе текстурного детектора, рассчитывающего значения пикселей в четырёх направлениях вдоль центральных линий в пределах окна фиксированного размера, например, 7×7.



Рисунок 2. Технология автоматизированного распознавания элементов сети автомобильных дорог

Учитывая, что задача идентификации изменений конфигурации дорожной сети на макроуровне не предполагает определение значений ширины дороги, для записи в базу данных используются осевые линии экстрагированной сети дорог. Для получения осевых линий используется алгоритм скелетизации, основанный на определении и соединении множества всех центров, вписанных в фигуру дороги максимальных окружностей.



### Литература

- 1 Csatho, J.F. Multi-sensor data fusion for automatic scene interpretation / J.F. Csatho, A.F. Schenk // International archives of photogrammetry and remote sensing. – 1998. – Vol. 7. – Pp. 336–341.
- 2 Gao, J. Automatic extraction of road networks in urban areas from Ikonos imagery based on spatial reasoning [электронный ресурс] / J. Gao, L. Wu. – Режим доступа: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/290.pdf>.
- 3 Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches / M. Hussain [et al.] // ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. – 2013. – Vol. 80. – Pp. 81–106.
- 4 Shrivakshan, G. A comparison of various edge detection techniques used in image processing / G. Shrivakshan, C. Chandrasekar // International journal of computer science issues. – 2012. – Vol. 9, Issue 5, No. 1. – Pp. 269 – 276.
- 5 Zhang, Y. Texture-Integrated classification of urban treed areas in high-resolution color-infrared imagery // Photogrammetric engineering and remote sensing. – 2001. – Vol. 67. – Pp. 1359 – 1365.
- 6 Михеева, Т.И. Data Mining в геоинформационных технологиях // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2006. – №41. – С. 96-99.
- 7 Федосеев, А.А. Кластеризация гиперспектральных данных мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Т.И. Михеева, А.А. Федосеев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т.16, №4(2). – С. 404–408.
- 8 Михеева Т.И., Золотовицкий А.В. Применение теории графов в задачах управления дорожным движением // Актуальные проблемы радиоэлектроники. Сер. «Вестник СГАУ». – Самара, 2003. – С. 20-24.

А.А. Осьмушин, Т.И. Михеева, О.Н. Сапрыкин

### МНОГОАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ НЕШТАТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва)

Задача восстановления улично-дорожной сети (УДС) после нештатных изменений (инцидентов) актуальна в связи со значительным ростом количества транспортных средств и существенным увеличением транспортных задержек [1].

При возникновении нештатного изменения необходимо выявление его характеристик с целью принятия решения о мерах реагирования. К таким мерам относятся адаптивное управление транспортными потоками в области влияния инцидента, оптимизация порядка устранения инцидентов, информирование ответственных дорожных служб и водителей транспортных средств.

Одной из задач восстановления сети от нештатных изменений является определение области влияния инцидента, т.е. подграфа УДС, на котором



инцидент вызывает существенный рост транспортных задержек. Адаптивное перераспределение транспортных потоков требуется только в области влияния нештатных изменений. Применение адаптивного управления не только в области влияния приведет к перегрузке водителей транспортных средств управляющими воздействиями, изменяющимися при малейших изменениях транспортной сети.

В основе метода определения областей влияния нештатных изменений лежит сбор и обработка статистических данных, полученных в процессе моделирования транспортных потоков города. Средством моделирования, используемым в работе, является многоагентная система моделирования транспортных потоков *MATSim* [2].

Перечень исходных данных, необходимых для моделирования:

- граф УДС населённого пункта;
- перечень точек тяготения, характеризующих места приложения труда, культурно-бытовые объекты и т.п.;
- адресный план города с количеством жителей в каждом здании;
- цепи корреспонденций для каждого агента, имитирующего реального водителя транспортного средства.

Граф УДС населённого пункта и множество точек тяготения для г. Самара экстрагируются из открытой картографической системы *OpenStreetMap* [3] с помощью следующего алгоритма:

1. Экспорт данных с сайта *openstreetmap.org*. Выборка данных ограничивается интервалом координат 53,1237 - 53,2829 северной широты и 50,0674 - 50,4224 восточной долготы в системе координат *WGS84*. Рассматриваемые границы города показаны на рисунке 1. Данные экстрагируются в формате *OSM XML*. Файл данных содержит набор точек, дуг и полигонов. Каждый объект, описанный в файле данных, является точкой, дугой или полигоном. В качестве атрибутов используются координаты и дополнительные характеристики, позволяющие сортировать объекты по типу (фрагмент УДС, здание, остановка общественного транспорта, организация и т.п.) и получать дополнительные данные об объектах (количество полос на проезжей части, максимальная разрешённая скорость движения, пропускная способность, название и тип организации и т.п.).

2. Выборка из полученного файла *OSM* данных, характеризующих УДС. На этом этапе отбираются только те объекты, которые несут информацию о графе УДС – дуги и узлы, а также их атрибутивные данные. Объекты в файле *OSM* хранятся с использованием сферической системы координат *WGS84*. Требуемая для моделирования движения в г. Самаре система координат – плоская система координат *EPSG:2651* (Пулково-95, 3-градусная зона 17). Преобразование координат осуществляется разработанным в среде *Eclipse* программным модулем, основанным на базе модуля *NetworkEditor* свободно распространяемого пакета моделирования транспортных потоков *MATSim*. Визуализация полученной модели УДС города Самара в виде карты представлена на рисунке 2.