

СИНТЕЗ ТЕМАТИЧЕСКОГО СЛОЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

© 2016 А.А. Федосеев, О.К. Головнин, С.В. Михеев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.11.2016

Рассматривается вопрос построения тематического слоя объектов транспортной сети на базе космических снимков в условиях отсутствия спектральных признаков. В основе метода лежит использование разработанного в результате анализа характерных признаков объектов транспортной сети фильтра, применяемого к исходному изображению в режиме скользящего окна.

Ключевые слова: тематический слой, транспортная сеть, космический снимок, яркость пикселя, СКО значений яркости пикселей.

ВВЕДЕНИЕ

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 [1]. Значительная площадь территории и большое число субъектов Российской Федерации диктуют необходимость разработки и внедрения подходов к решению указанных задач на основе использования материалов космической съёмки, предполагающих построение соответствующих тематических слоёв с изображением объектов интереса [2].

МЕТОД СИНТЕЗА ТЕМАТИЧЕСКОГО СЛОЯ

В основе процесса синтеза тематического слоя элементов транспортной сети (ТрС) на базе космического снимка лежит задача экстрагирования локальных областей, соответствующих объектам класса «Дорога», на этом снимке в условиях отсутствия пространства спектральных признаков (комплект снимка, состоящий из мультиспектрального и панхроматического изображений) или полного их отсутствия (ком-

Федосеев Александр Андреевич, аспирант кафедры информационных систем и технологий.

E-mail: fedoseevale@gmail.com

Головнин Олег Константинович, аспирант, ассистент кафедры организации и управления перевозками на транспорте. E-mail: golovnin@bk.ru

Михеев Сергей Владиславович, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и управления перевозками на транспорте. E-mail: ms140-500@yandex.ru

плект снимка, состоящий из панхроматического изображения). В первом случае целесообразно использовать методы, позволяющие объединять спектральные свойства мультиспектральных изображений с пространственной информацией монохромных изображений [3–6]. Во втором случае резонно сосредоточиться на подходах объектно-ориентированного анализа изображений с использованием априорных знаний о характерных признаках распознаваемых элементов ТрС [7]. Рассмотрим случай отсутствия на изображении спектральных признаков.

Процесс синтеза тематического слоя элементов ТрС на базе комплекта, представленного монохромным (панхроматическим) изображением, основан на оценке распределения значений яркости целевых объектов исходного изображения с использованием данных о характерных признаках этих объектов.

Объекту класса «Дорога» в каждом канале пространственно-спектрального куба соответствует прямоугольная область

$$\tilde{d}_{i}^R = \tilde{d}_{i}^R (\tilde{a}_{i}^R, \tilde{b}_{i}^R, \alpha_{i}^R),$$

где \tilde{b}_{i}^R – ширина области, \tilde{a}_{i}^R – длина области, α_{i}^R – угол поворота области в заданной системе координат.

Совокупность областей, соответствующих объектам класса «Дорога», обозначим

$$\tilde{D}_{i}^R = \{\tilde{d}_{j}^R\}.$$

Пусть $\tilde{L} = \{\tilde{l}_{i}\}$ – множество объектов, не являющихся элементами ТрС. Совокупность областей, соответствующих этим объектам, обозначим $\tilde{D}_{i}^{\tilde{L}} = \{\tilde{d}_{j}^{\tilde{L}}\}$.

Для объекта класса «Дорога», ограниченного областью \tilde{d}_{i}^R , определим следующие основные характерные признаки:

- значительная протяжённость, т.е. ширина

области $\hat{d}_i^{\tilde{r}}$ намного меньше её длины

$$\hat{b}_i^{\tilde{r}} < \hat{a}_i^{\tilde{r}}; \quad (1)$$

- одинаковая ширина на всём протяжении

$$\hat{b}_i^{\tilde{r}} = const; \quad (2)$$

- равномерное распределение функции яркости на участке протяжения, которое означает, что значение среднеквадратического отклонения (СКО) $\sigma[f(x, y)]$ яркости пикселей каждого канала пространственно-спектрального куба, принадлежащих области $\hat{d}_i^{\tilde{r}}$, стремится к нулю:

$$\sigma[f(x, y)] \rightarrow 0, (x, y) \in \hat{d}_i^{\tilde{r}}; \quad (3)$$

- чёткие контуры, т.е модуль градиента $\nabla f(x, y)$ функции яркости на границах области $\hat{d}_i^{\tilde{r}}$ превышает среднее значение градиента $\nabla \bar{f}$ по всему каждому каналу пространственно-спектрального куба:

$$\nabla f(x, y) > \nabla \bar{f}, (x, y) \in \hat{d}_i^{\tilde{r}}; \quad (4)$$

Функция, проверяющая соответствие $\hat{d}_i^{\tilde{r}}$ основным характеристикам объектов класса «Дорога», имеет вид:

$$u_i^{\tilde{r}} = u_i^{\tilde{r}}(\hat{d}_i^{\tilde{r}}) = [(\hat{b}_i^{\tilde{r}} \ll \hat{a}_i^{\tilde{r}}) \wedge (\hat{b}_i^{\tilde{r}} = const) \wedge (\sigma[f(x, y)] \rightarrow 0) \wedge (\nabla f(x, y) > \nabla \bar{f})]. \quad (5)$$

Модель синтеза тематического слоя элемен-

тов ТрС на космических снимках $M_{\tilde{S}^N}$ представляет собой математическое описание процесса построения тематического слоя \tilde{S}^N на основе исходного снимка \tilde{I}

$$M_{\tilde{S}^N} = F_{\tilde{S}^N}(\tilde{I}, \tilde{S}^N).$$

Тематический слой \tilde{S}^N представляет собой множество элементов $\hat{d}_j^{\tilde{r}}$, описывающих отдельные объекты ТрС, для каждого из которых функция (5) имеет положительное значение

$$\tilde{S}^N = \left\{ \hat{d}_j^{\tilde{r}} \in \tilde{S}^N \mid u_i^{\tilde{r}}(\hat{d}_j^{\tilde{r}}) = 1 \right\}_{j=1, K_{\tilde{S}^N}},$$

где $K_{\tilde{S}^N}$ – количество элементов ТрС в тематическом слое \tilde{S}^N .

Пусть выбрана некоторая точка (пиксель) \hat{p} в пределах монохромного (панхроматического) изображения \tilde{I}

$$\hat{p} = (x, y).$$

Для выбранной точки определяется локальная система координат, а также некоторая квадратная область $\hat{d}^{\hat{p}}$ с центром в \hat{p} , заданная длиной стороны $\hat{a}^{\hat{p}}$ (рис. 1):

$$\hat{d}^{\hat{p}} = \hat{a}^{\hat{p}}(\hat{p}).$$

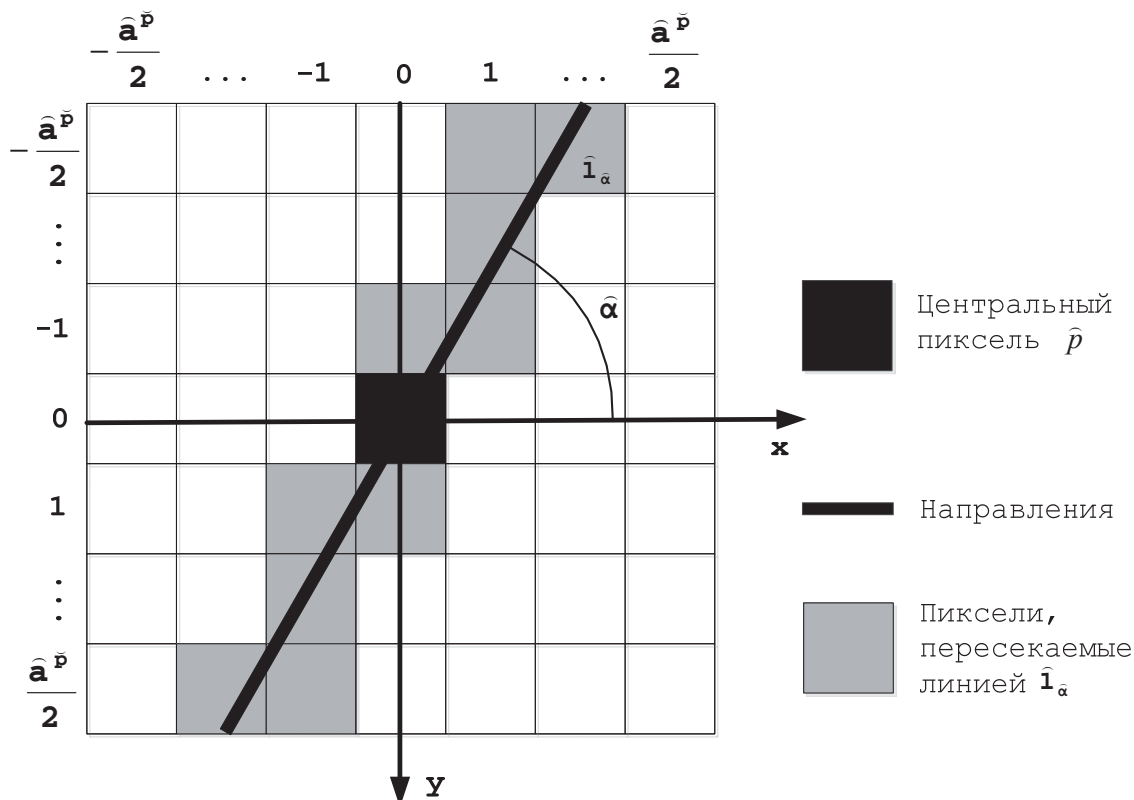


Рис. 1. Иллюстрация процесса определения принадлежности

В пределах области $\hat{d}^{\hat{p}}$ определим направления, вдоль которых производится дальнейшее исследование. Значение шага φ угла поворота соответствующего направления вычисляется следующим образом:

$$\varphi = \frac{\pi}{N_{\varphi}},$$

где N_{φ} – количество секторов, на которое разбивается диапазон значений угла поворота $[0, \pi)$.

Значение шага φ угла поворота соответствующего направления зависит от длины стороны $\hat{a}^{\hat{p}}$ области $\hat{d}^{\hat{p}}$. Так, с ростом длины стороны $\hat{a}^{\hat{p}}$ области $\hat{d}^{\hat{p}}$ значение шага φ уменьшается. Так как в расчёте участвуют только пиксели, определённые пересекающимися их отрезками, построенными в соответствующих направлениях, значение шага φ выбирается таким образом, чтобы учесть все возможные комбинации таких пересечений. Направления, соответствующие повторяющимся сценариям пересечений, подлежат исключению.

Обозначим $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ линию пересечения пикселей области $\hat{d}^{\hat{p}}$ в соответствующем направлении под углом $\hat{\alpha}$ с центром в точке \hat{p} . Обозначим $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ группу пикселей, пересекаемых линией $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ в пределах области $\hat{d}^{\hat{p}}$. Для оптимизации практических вычислений строится таблица всех возможных комбинаций пересечений линией $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ пикселей области $\hat{d}^{\hat{p}}$ в зависимости от угла его наклона $\hat{\alpha}$ и длины стороны $\hat{a}^{\hat{p}}$ области $\hat{d}^{\hat{p}}$.

Если для области $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ функция (5) имеет положительное значение, то эта область может с определённой вероятностью считаться принадлежащей элементу ТрС.

Требуется для каждой точки \hat{p} исходного изображения построить квадратную область $\hat{d}^{\hat{p}}$, в пределах которой для каждой возможной области $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ вычислить значения СКО значений яркости пикселей, входящих в область $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$, и из этих значений определить минимальное для дальнейшего анализа.

Область $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ характеризуется математическим ожиданием $M^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$, дисперсией $D^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$ и СКО $\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$ значений яркости этих пикселей:

$$M^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} = \frac{\sum_{i,j} f(i,j)}{2n}, \quad \frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq i \leq -\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \text{ при } 0 \leq \hat{\alpha} \leq \frac{\pi}{2},$$

$$-\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq i \leq \frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \hat{\alpha} \leq \pi, \quad -\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq j \leq \frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2}; \quad (6)$$

$$D^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} = \frac{\sum_{i,j} [f(i,j) - M^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}]^2}{2n},$$

$$\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq i \leq -\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \text{ при } 0 \leq \hat{\alpha} \leq \frac{\pi}{2},$$

$$-\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq i \leq \frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \hat{\alpha} \leq \pi,$$

$$-\frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2} \leq j \leq \frac{\hat{a}^{\hat{p}}}{2};$$

$$\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} = \sqrt{D^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}}, \quad (8)$$

где $f(i, j)$ – значение яркости пикселя, расположенного в i -ой строке и j -ом столбце области $\hat{d}^{\hat{p}}$, n – число пикселей, пересекаемых линией $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ под углом $\hat{\alpha}$.

Для каждого положения линии $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ относительно оси абсцисс в соответствии с (8) находятся значения СКО $\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$ яркости входящих в область $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ пикселей.

Среди всех полученных значений $\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$ для всех возможных углов наклона линии $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$ относительно оси абсцисс определяется среднее значение $\overline{\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}}$, а также минимальное значение $\sigma_{\min}^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$:

$$\overline{\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}} = \frac{\sum_i \sigma_i^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}}{N_{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}}, \quad i = \overline{0, N_{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}}; \quad (9)$$

$$\sigma_{\min}^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} = \sigma_{\min}^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}(\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}, p) = \min_{\hat{\alpha}}(\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}(\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}, p, \hat{\alpha})), \quad (10)$$

где $N_{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}$ – число областей $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$, образованных пересечением пикселей области $\hat{d}^{\hat{p}}$ линией $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$.

Для всех возможных областей $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$, образованных пересечением пикселей этих областей линией $\hat{l}_{\hat{\alpha}}$, проверка условий (3) и (4) выглядит следующим образом:

$$f(\tilde{I}, \hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}) = [(|\sigma^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} - \sigma_{\min}^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}}| > \hat{T}_{\hat{p}}) \wedge (\sigma_{\min}^{\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}} \rightarrow 0)], \quad (11)$$

где $\hat{T}_{\hat{p}}$ – устанавливаемое пороговое значение, определяющее минимально допустимую разницу модуля градиента функции яркости на границах области объектов ТрС и среднего значения функции яркости контуров объектов на изображении \tilde{I} .

Области $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$, для которых функция (11) положительна, подлежат дальнейшей дополнительной проверке, в соответствии с которой модуль разности значений яркости каждого пикселя области $\hat{d}^{\hat{l}_{\hat{\alpha}}}$ и яркости пикселя \hat{p} не должен превышать

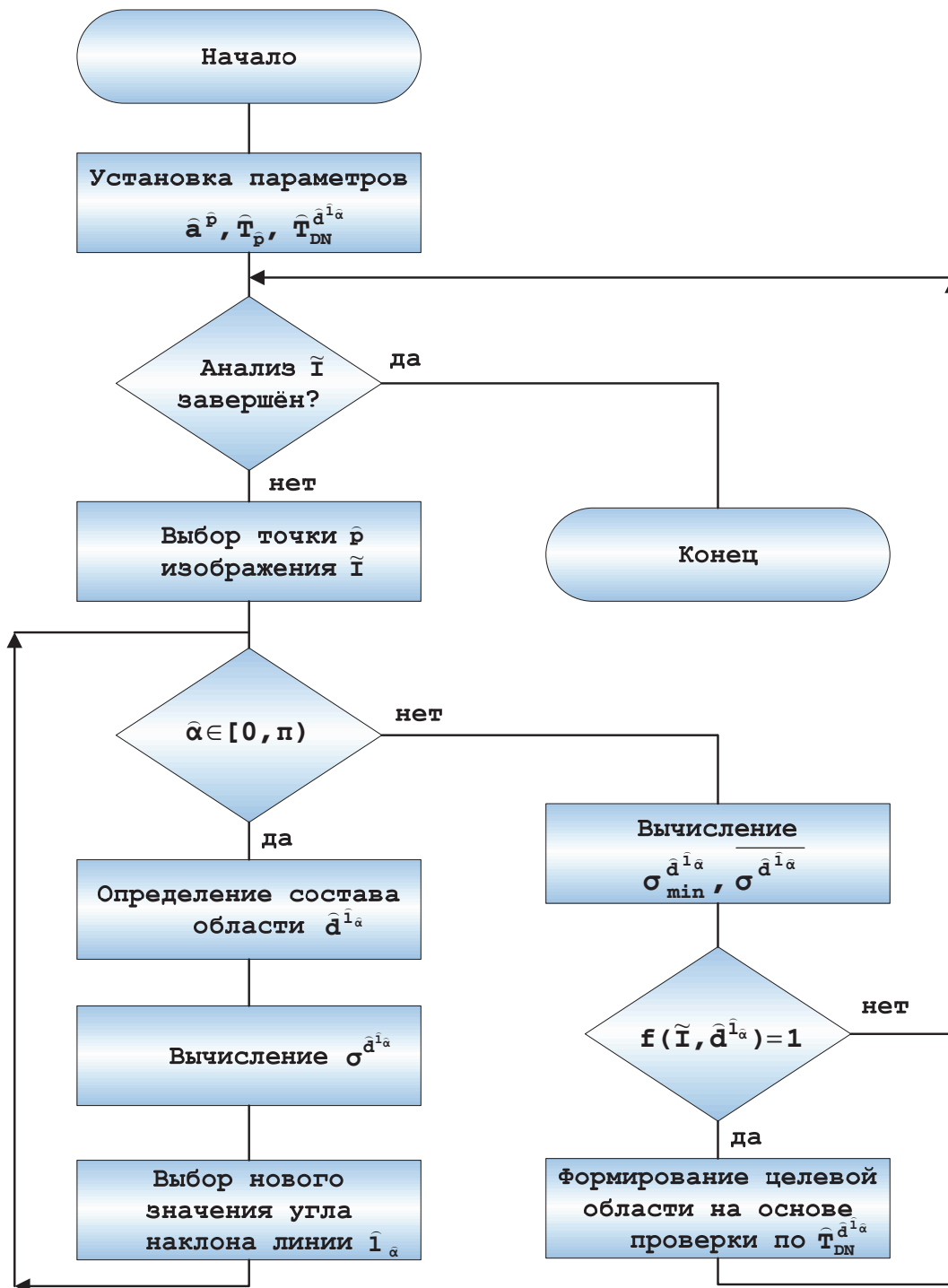


Рис. 2. Схема работы метода экстрагирования элементов ТрС на базе объектно-ориентированного подхода

некоторого порогового значения $\widehat{T}_{DN}^{\widehat{d}^{i\alpha}}$:

$$|DN_i^{\widehat{d}^{i\alpha}} - DN_{\widehat{p}}^{\widehat{d}^{i\alpha}}| < \widehat{T}_{DN}^{\widehat{d}^{i\alpha}}, \quad (12)$$

где $DN_i^{\widehat{d}^{i\alpha}}$ – значение яркости i -го пикселя, входящего в область $\widehat{d}^{i\alpha}$, $DN_{\widehat{p}}^{\widehat{d}^{i\alpha}}$ – значение яркости пикселя \widehat{p} .

Схема работы метода экстрагирования элементов ТрС на базе объектно-ориентированного подхода представлена на рис. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный подход обеспечивает экстрагирование элементов ТрС на космических снимках высокого разрешения в условиях отсутствия спектральных признаков на базе объектно-ориентированного подхода. Получаемые результаты обеспечивают построение тематического слоя элементов ТрС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосеев А.А., Михеев С.В., Головнин О.К. Технология Data Mining в задачах прогнозирования развития транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/107-8153> (дата обращения 08.09.2016).
2. Михеев С.В., Федосеев А.А., Головнин О.К. Учёт мультиколлинеарных атрибутов пространственно-распределённых данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2 (5). С. 1053–1057.
3. Csatho J.F., Schenk A.F. Multi-sensor data fusion for automatic scene interpretation // International archives of photogrammetry and remote sensing. 1998. Vol. 7. Pp. 336–341.
4. Gao J., Wu L. Automatic extraction of road networks in urban areas from Ikonos imagery based on spatial reasoning [Электронный ресурс]. URL: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/290.pdf>.
5. Shrivakshan G., Chandrasekar C. A comparison of various edge detection techniques used in image processing // International journal of computer science issues. 2012. Vol. 9. Issue 5. No. 1. Pp. 269 – 276.
6. 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.
7. 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.

SYNTHESIS OF TRANSPORT NET OBJECTS THEMATIC LAYER

© 2016 A.A. Fedoseev, O.K. Golovnin, S.V. Mikheev

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Method of synthesis of transport net objects thematic layer via remotely sensed images without spectral features is described. Special filter have been developed as the basis of the method.

Keywords: thematic layer, transport net, remotenly sensed space image, pixel brightness, standard deviation of pixel brightness.

Aleksandr Fedoseev, Postgraduate Student at the Informatics Department. E-mail: fedoseevale@gmail.com

Oleg Golovnin, Postgraduate Student, Assistant Lecturer at the Transportation Organization and Management Department. E-mail: golovnin@bk.ru

Sergey Mikheev, Candidate of Technical Sciences, Associate professor at the Transportation Organization and Management Department. E-mail: ms140-500@yandex.ru