

Literatura

1. *Artem'ev N.S.* Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya / N.S. Artem'ev. – М.: Akademiya GPS MCHS RF, 2011. 119 s.
2. *Bulanov B.A.* Organizaciya kompleksnoj sistemy bezopasnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya. Saratov, 2008. 164 s.
3. *Efimov V.* Pozharnaya bezopasnost' obrazovatel'nyh uchrezhdenij // Osnovy bezopasnosti zhizni. 2004. № 7. S. 31–34.
4. *Klepina T.* Pozharnaya bezopasnost' // Osnovy bezopasnosti zhizni. 2003. № 8–9. S. 28–35.
5. *Knyazev P.* Organizaciya i upravlenie processom obespecheniya pozharnoj bezopasnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya: rabochaya programma kursov povysheniya kvalifikacii rabotnikov obrazovaniya // Osnovy bezopasnosti zhizni. 2004. № 9. S. 56–58.
6. *Petrov S.V.* Obespechenie bezopasnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya. Prakticheskoe posobie dlya rukovoditelej i rabotnikov obrazovatel'nogo uchrezhdeniya. М.: EHNAS, 2006. 245 s.
7. *Proshina O.M.* Problema vzaimodejstviya vnutrennih i privlekaemyh special'nyh sluzhb pri pozharah i chrezvychajnyh situacijah v obrazovatel'nyh kompleksah // Problemy tekhnosfernoj bezopasnosti – 2018: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenykh i specialistov. М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2018. S. 40–44.
8. *Proshina O.M.* Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti obrazovatel'nyh kompleksov megapolisov // Sistemy bezopasnosti – 2017: materialy 26-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. S. 419–421.
9. *Proshina O.M., Ryzhenko A.A.* Pozharnaya bezopasnost' obrazovatel'nyh kompleksov megapolisov // Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennyj Godu grazhdanskoj oborony. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharно-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. S. 154–155.
10. RUBEZH: Informacionno-analiticheskij zhurnal. URL: <https://ru-bezh.ru/news/>

DOI: 10.25586/RNU.V9I87.19.02.P.056

УДК 912.648+656.1/5

В.С. Тормозов

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
И КЛАССИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ ПУТЕМ СОКРАЩЕНИЯ ОБЛАСТИ
ПОИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИИ О ДОРОГАХ

Предлагается метод ускорения и увеличения точности алгоритма детектирования и классификации транспортных средств на спутниковых снимках. В основе метода – сокращение области поиска с помощью извлечения и обработки географической информации о расположении дорог на местности. При использовании данного метода значительно сокращается объем данных, обрабатываемых алгоритмами детектирования и классификации, в итоге уменьшаются время выполнения и погрешность этих алгоритмов.

Ключевые слова: спутниковые снимки, обработка изображений, детектирование и классификация, транспортное средство.

V.S. Tormozov

IMPROVING THE OPERATION OF THE DETECTION
AND CLASSIFICATION OF VEHICLES
ON SATELLITE IMAGES BY REDUCING THE SEARCH AREA
USING GEO-INFORMATION ABOUT ROADS

A method is proposed for accelerating and increasing the accuracy of the algorithm for detecting and classifying vehicles on satellite images. The method is based on the reduction of the search area by extracting and processing geographic information about the location of roads on the ground. Using this method significantly reduces the amount of data processed by the detection and classification algorithms, and as a result, the execution time and error of these algorithms are reduced.

Keywords: satellite pictures, image processing, detecting and classification, vehicle.

Введение

При решении задачи распознавания транспортного средства (ТС) на спутниковом снимке сверхвысокого разрешения ключевой является задача ограничения области поиска при большом объеме входных данных (несколько гигабайт). В некоторых работах предлагается обнаружение наземных объектов в области поиска, задаваемой вручную [10]. Однако такой способ ограничения обрабатываемых данных недопустим, когда область поиска значительная и имеет сложную форму. Дорожное полотно на спутниковом снимке города занимает значительную площадь, что сложно задавать при ручном вводе данных о ее форме [12]. В рамках данного исследования предлагается метод автоматического задания дорожного полотна как области поиска ТС.

Обработка и поиск ТС на всем спутниковом снимке достаточно затратны в вычислительном плане. К тому же ТС в таком случае могут быть ложно обнаружены в тех местах спутникового снимка, где их появление невозможно либо не должно быть учтено для оценки параметров транспортного потока. Например, тени на крышах домов могут зрительно напоминать очертания ТС. К тому же, исходя из решаемой задачи, обнаруженные ТС должны быть однозначно соотнесены с конкретным участком дороги. В отличие от современных геоинформационных систем предлагается использовать геопространственную информацию о расположении участков дорог на местности для определения их расположения на обрабатываемых космических снимках. Алгоритм позволяет в автоматическом режиме задавать область поиска ТС на снимке.

Исходя из вышесказанного представляется необходимым ограничить область поиска ТС участком дороги, с которым они должны быть соотнесены. Область поиска может быть сокращена с использованием географической информации об участках дорог в зоне снимка, так как это наиболее точный метод детектирования дорог, использованный в работах, посвященных детектированию ТС на снимках [7; 8; 10]. Таким образом, географическая информация о дорогах извлекается из данных открытой карты улиц (OpenStreetMap – OSM). Необходимой информацией здесь являются координаты отрезков центральной линии дорожного участка и ширина дороги.

Несмотря на то, что посредством данных OSM изображения дорог могут быть детерминированно извлечены со спутниковых снимков, эти данные имеют погрешность до нескольких метров [5; 6]. Поэтому в данной работе для устранения недоучета ТС, которые выходили бы за границы области поиска, область поиска расширяется на расстояние, достаточное для устранения влияния погрешности данных OSM.

Для оценки показателей транспортного потока необходимо извлечение изображений перегонов дороги. Перегон – это участок дорожного полотна, расположенный между двумя перекрестками дороги [1]. Перегон играет важнейшую роль в данном исследовании: именно с ним ассоциируются оцениваемые показатели транспортного потока. Для изображения перегона определяются его координаты на спутниковом снимке. Перегон характеризуется последовательностью прямоугольников, близко расположенных друг к другу и образующих цепочку.

В используемом программном инструменте для цифровой обработки изображений компьютерного зрения (OpenCV) [11] не нашлось готового тривиального метода для извлечения части изображения сложной формы. Поэтому для извлечения изображений перегонов со спутникового снимка в рамках данной работы был разработан оригинальный алгоритм.

Данный алгоритм основан на разработанной интерполированной модели границ перегона. Так как область дорожного перегона на местности может содержать в себе кривые линии, в данной работе область поиска ограничена приближенной [13], т.е. интерполированной, моделью дорожного перегона.

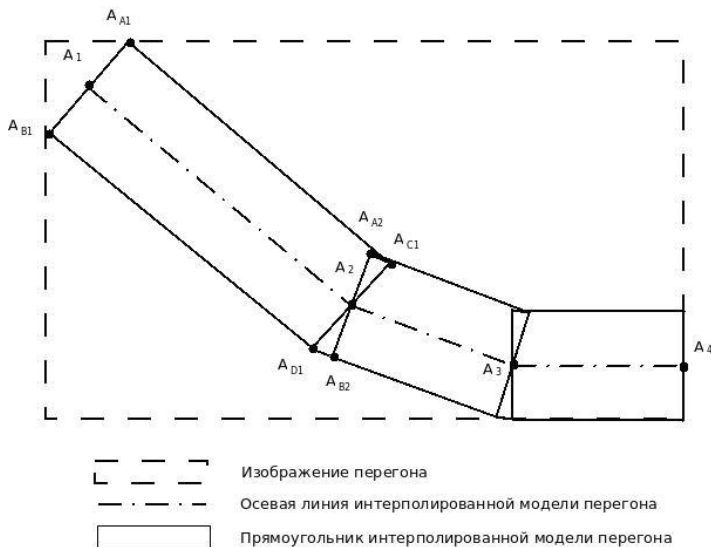


Схема интерполированной модели дорожного перегона и принципов ее построения

В такой модели осевая линия дороги может быть смоделирована ломаной и задана последовательностью образующих ее точек A_1, A_2, \dots, A_n . Вся область перегона строится относительно этой смоделированной осевой линии. Относительно каждого отрезка ломаной строится прямоугольник, ширина которого равна ширине дорожного полотна.

Тормозов В.С. Улучшение работы алгоритма детектирования и классификации...

на перегона на снимке, а отрезок соединяет центры соответствующих отрезков. Таким образом, для формирования области поиска внутри перегона со спутникового снимка извлекается цепочка прямоугольников, соприкасающихся друг с другом центральными точками соседних отрезков.

Географические координаты точек осевой линии интерполированной модели перегона (на рисунке представлена точками A_1, A_2, A_3) и ширина дорожного полотна (на рисунке соотнесена с длиной отрезков $A_{A1}A_{B1}, A_{C1}A_{D1}, A_{A2}A_{B2}$) являются заранее известными параметрами, так как извлекаются из географических данных OSM [2]. Однако для построения интерполированной модели перегона на спутниковом снимке необходимо вычислить соответствующие им координаты точек осевой линии и ширину дорожного полотна на снимке. Для перевода географических координат в координаты соответствующей точки растра на снимке используются формулы

$$x_{\text{спут}} = \frac{x_{\text{геогр}} - x_{\text{спут. нач.}}}{\text{ПР}},$$

$$y_{\text{спут}} = \frac{y_{\text{геогр}} - y_{\text{спут. нач.}}}{\text{ПР}},$$

где $x_{\text{спут}}, y_{\text{спут}}$ – координаты точки растра на снимке;

$x_{\text{геогр}}, y_{\text{геогр}}$ – географические координаты точки;

$x_{\text{спут. нач.}}, y_{\text{спут. нач.}}$ – географические координаты верхнего левого угла области спутникового снимка;

ПР – пространственное разрешение снимка.

Ширина прямоугольников интерполяционной модели перегона на снимке вычисляется по формуле

$$w_{\text{пря.сним.}} = \frac{w_{\text{дор.мест.}}}{\text{ПР}} = |A_{A1}A_{B1}| = |A_{C1}A_{D1}| = |A_{A2}A_{B2}|,$$

где $w_{\text{пря.сним.}}$ – ширина прямоугольников на снимке;

$w_{\text{пря.мест.}}$ – ширина дорожного полотна на местности;

ПР – пространственное разрешение снимка.

Изображения спутниковой съемки могут быть представлены набором снимков – тайлов [4], отображающих соседние прямоугольные регионы на местности. Таким образом, возможна ситуация, когда изображение перегона выходит за границу одного снимка и находится на двух или более соседствующих друг с другом снимках. Координаты точек, формирующих прямоугольники и треугольники цепочки интерполированной модели перегона, преобразуются при выходе значений координат за границы изображения:

если $x < 0$, то $x = w_{\text{л}} + x$,

если $y < 0$, то $y = h_{\text{в}} + y$,

если $x > w$, то $x = x - w$,

если $y > h$, то $y = y - h$,

где x, y – преобразуемые координаты точки;

w, h – ширина и высота текущего изображения;

$w_{\text{л}}$ – ширина левого соседнего изображения;

$h_{\text{в}}$ – высота верхнего соседнего изображения.

По известным координатам цепочки интерполированной модели перегона и значению ширины ее прямоугольников выстраивается модель с перенесением точек растра, находящихся внутри модели, на формируемое изображение перегона.

Таким образом, алгоритм извлечения изображения перегона со снимка состоит из нескольких шагов.

1. Из OSM-файлов извлекаются данные о каждом перегоне исследуемой области: последовательность координат цепочки линии дороги, ширина дорожного покрытия на перегоне, количество направлений движения (два или одно). Если рассматривается перегон с односторонним движением, то также извлекается направление этого движения [9]. Затем эти данные обрабатываются.

2. Для каждого перегона рассматривается цепочка точек (x_p, y_p) , образующих ломаную линию дороги.

3. Рассматриваются все пары соседних точек в цепочке. Из последовательности отрезков, образующих цепочку перегона, извлекается очередной отрезок с координатами (x_i, y_i) и (x_{k+1}, y_{k+1}) , $k = \overline{1, n_{\text{перег } i} - 1}$, $n_{\text{перег } i}$ – количество точек в цепочке i -го перегона. Вычисляются координаты прямоугольников на снимке, интерполирующих часть дорожного полотна, по формулам

$$\Delta x = \frac{w(y_{k+1} - y_k)}{2\sqrt{(y_{k+1} - y_k)^2 + (x_{k+1} - x_k)^2}},$$

$$\Delta y = \frac{w(x_{k+1} - x_k)}{2\sqrt{(y_{k+1} - y_k)^2 + (x_{k+1} - x_k)^2}},$$

$$x_{Ak} = x_k + \Delta x, \quad y_{Ak} = y_k + \Delta y,$$

$$x_{Bk} = x_k - \Delta x, \quad y_{Bk} = y_k - \Delta y,$$

$$x_{Ck} = x_{k+1} + \Delta x, \quad y_{Ck} = y_{k+1} + \Delta y,$$

$$x_{Dk} = x_{k+1} - \Delta x, \quad y_{Dk} = y_{k+1} - \Delta y,$$

где (x_{Ak}, y_{Ak}) – координаты точки k -го прямоугольника на снимке;

(x_k, y_k) , (x_{k+1}, y_{k+1}) – координаты точек текущего отрезка из цепочки перегона.

4. Создается пустое изображение $I_{\text{перег } i}$, в котором в дальнейшем будет строиться изображение рассматриваемого перегона. Изображение перегона заполняется пустыми пикселями, имеющими нулевое значение интенсивности всех каналов. Размеры $I_{\text{перег } i}$ вычисляются по формулам

$$x_{\text{смещ}} = \min(x_{Ak}, x_{Bk}, x_{Ck}, x_{Dk}), \quad k = \overline{1, n_{\text{перег } i} - 1},$$

$$y_{\text{смещ}} = \min(y_{Ak}, y_{Bk}, y_{Ck}, y_{Dk}), \quad k = \overline{1, n_{\text{перег } i} - 1},$$

$$w_{\text{перегон } i} = \max(x_{Ak}, x_{Bk}, x_{Ck}, x_{Dk}) - x_{\text{смещ}}, \quad k = \overline{1, n_{\text{перег } i} - 1},$$

$$h_{\text{перегон } i} = \max(y_{Ak}, y_{Bk}, y_{Ck}, y_{Dk}) - y_{\text{смещ}}, \quad k = \overline{1, n_{\text{перег } i} - 1},$$

Тормозов В.С. Улучшение работы алгоритма детектирования и классификации...

где $x_{\text{смещ}}, y_{\text{смещ}}$ – координаты смещения для преобразования координат пикселей на спутниковом снимке в координаты на изображении перегона $I_{\text{перег } i}$;

x_k, y_k – координаты k -й точки цепочки перегона, \min, \max – функции нахождения минимума и максимума среди координат точек всех прямоугольников перегона, полученных на шаге 3 этого алгоритма;

$w_{\text{перегон } i}, h_{\text{перегон } i}$ – ширина и высота изображения перегона $I_{\text{перег } i}$.

5. Отрисовываются пиксели со спутникового снимка на изображение перегона $I_{\text{перег } i}$ при помощи набора прямоугольников, полученных на шаге 3. Для перевода координат пикселей на спутниковом снимке в координаты на изображении $I_{\text{перег } i}$ перегона, используются формулы

$$x_{\text{перег}} = x + x_{\text{смещ}},$$

$$y_{\text{перег}} = y + y_{\text{смещ}},$$

где $x_{\text{перег}}, y_{\text{перег}}$ – координаты пикселя на изображении перегона;

x, y – координаты соответствующего пикселя на спутниковом снимке;

$x_{\text{смещ}}, y_{\text{смещ}}$ – координаты смещения.

Также выполняется отрисовка пикселей со спутникового снимка на изображение перегона при помощи набора треугольников. Для каждого отрезка цепочки $\forall k = 2, n_{\text{перег } i} - 1$ выполняется отрисовка треугольников $\Delta A_k C$ и $\Delta B_k D$ со спутникового снимка, $A(x_{A_k}, y_{A_k}), B(x_{B_k}, y_{B_k}), C(x_{C_k}, y_{C_k}), D(x_{D_k}, y_{D_k}), A_k(x_k, y_k)$.

6. Если остались перегоны для обработки, то выполнение алгоритма возобновляется с шага 2. Если изображения всех перегонов были извлечены – значит результат получен и выполнение алгоритма прекращается.

Так образуется цифровая модель перегона, представляющая собой последовательность прямоугольников и интерполирующая форму дорожного покрытия, изображенного на спутниковом снимке. Соединение осевых линий прямоугольников образует интерполированную модель средней линии дорожного полотна, разграничивающей два направления дорожного движения. Если в географических данных указывается, что движение одностороннее, то такое разграничение не выполняется. При соединении осевых линий прямоугольников под углом образуются наложения и размыкания соседних углов прямоугольников. Области дорожного полотна, находящиеся между углами соседних прямоугольников, при их размыкании не попадают ни в один прямоугольник. Для их включения в цифровую модель перегона требуется встроить соответствующие равнобедренные треугольники, покрывающие эти области снимка (треугольники $\Delta A_{D1} A_2 A_{B2}$ и $\Delta A_{A2} A_2 A_{C1}$ на рис.). Длина двух сторон треугольников равна половине ширины дороги в этом участке.

В дальнейшем все алгоритмы поиска ТС выполняются на уже извлеченных изображениях перегонов. В результате каждое детектированное и классифицированное ТС ассоциируется с одним из множества извлеченных таким образом перегонов [1].

Экспериментальная оценка качества работы алгоритма сокращения области поиска транспортных средств с использованием географических данных о расположении дорог

В таблице отображены результаты детектирования с алгоритмом сокращения области поиска по географическим данным о дорогах и без алгоритма. Детектирование выпол-

нялось по одному тайлу [4] спутникового снимка центральной части города Хабаровск. Показаны следующие характеристики: общее количество детектированных ТС, количество ложно детектированных объектов, которые не являются ТС (ошибка второго рода [3]), количество ложно не детектированных ТС (ошибка первого рода [Там же]), общее время работы алгоритма детектирования. Также в таблице присутствует точность детектирования – отношение суммы ложно детектированных объектов и ложно не детектированных ТС к общему количеству ТС на изображении. На исследуемом тайле изображено 773 транспортных средства.

Улучшение процедуры детектирования с помощью алгоритма сокращения области поиска

	Количество детектированных ТС	Количество ложно детектированных объектов	Количество ложно не детектированных ТС	Точность детектирования, %	Время работы алгоритма детектирования, с
С сокращением области поиска	751	16	23	95,08	14,2
Без сокращения области поиска	841	68	51	84,61	121,7

Как видно из таблицы, применение разработанного метода сокращения области поиска значительно ускоряет процедуру детектирования и сокращает количество ошибок детектирования объектов.

Заключение

Описанный метод извлекает со спутникового снимка регионы участков дорог в отдельные изображения, в которых перегоны представлены ненулевыми пикселями, а интенсивность остальных пикселей равна нулю. Пиксели с нулевой интенсивностью на изображении представлены черным цветом. Использование таких пикселей на изображении перегона необходимо для того, чтобы определить границы перегонов сложной формы и выполнять детектирование и классификацию ТС только внутри этих границ. Все последующие процедуры обработки данных выполняются над каждым изображением перегона в отдельности.

Литература

1. ГОСТ 32965-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока. Стандартинформ, 2016.
2. Документация OpenStreetMap // Википедия – свободная энциклопедия. Режим доступа: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page (дата обращения: 11.08.2018).
3. Ошибки первого и второго рода // Википедия – свободная энциклопедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ошибки_первого_и_второго_рода_\(статистика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ошибки_первого_и_второго_рода_(статистика)) (дата обращения: 21.08.2018).
4. Тайловая графика // Википедия – свободная энциклопедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тайловая_графика (дата обращения: 21.08.2018).
5. Хороший стиль // Википедия – свободная энциклопедия. Режим доступа: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Хороший_стиль (дата обращения: 10.08.2018).

Тормозов В.С. Улучшение работы алгоритма детектирования и классификации...

6. *Cao C., Sun Y.* Automatic road centerline extraction from imagery using road GPS data // *Remote sensing*. 2014. Vol. 6. No 9. P. 9014–9033.
7. *Chen X.* [et al.] Vehicle detection in satellite images by hybrid deep convolutional neural networks // *IEEE Geoscience and remote sensing letters*. 2014. Vol. 11. No 10. P. 1797–1801.
8. *Eikvil L., Aurdal L., Koren H.* Classification-based vehicle detection in high-resolution satellite images // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009. Vol. 64. No 1. P. 65–72.
9. Key:highway // Википедия – свободная энциклопедия. Режим доступа: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:highway> (дата обращения: 21.08.2018).
10. *Leitlo J.* Detektion von Fahrzeugen in optischen Satellitenbildern. 2011.
11. OpenCV: Open Source Computer Vision // OpenCV. Режим доступа: <https://docs.opencv.org/3.4.3/> (дата обращения: 10.08.2018).
12. *Zhang Q.* [et al.] Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multitemporal Landsat TM data // *International Journal of Remote Sensing*. 2002. Vol. 23. No 15. P. 3057–3078.
13. *Zheng J., Li Q., Cao D.* Analysis on interpolation methods used in geological modeling // *Nonferrous Metals (Mining Section)*. 2012. V. 1. P. 20.

Literatura

1. GOST 32965-2014. Interstate standard. ... Methods of accounting for traffic flow intensity. Standardinform, 2016.
2. Dokumentaciya OpenStreetMap // Википедия – svobodnaya enciklopediya. Rezhim dostupa: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page (data obrashcheniya: 11.08.2018).
3. Oshibki pervogo i vtorogo roda // Википедия – svobodnaya enciklopediya. Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Oshibki_pervogo_i_vtorogo_roda_\(statistika\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Oshibki_pervogo_i_vtorogo_roda_(statistika)) (data obrashcheniya: 21.08.2018).
4. Tajlovaya grafika // Википедия – svobodnaya enciklopediya. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tajlovaya_grafika (data obrashcheniya: 21.08.2018).
5. Horoshij stil' // Википедия – svobodnaya enciklopediya. Rezhim dostupa: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Horoshij_stil' (data obrashcheniya: 10.08.2018).
6. *Cao C., Sun Y.* Automatic road centerline extraction from imagery using road GPS data // *Remote sensing*. 2014. Vol. 6. No 9. P. 9014–9033.
7. *Chen X.* [et al.] Vehicle image in satellite images by hybrid deep convolutional neural networks // *IEEE Geoscience and remote sensing letters*. 2014. Vol. 11. No 10. P. 1797–1801.
8. *Eikvil L., Aurdal L., Koren H.* Classification-based vehicle detection in high-resolution satellite images // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009. Vol. 64. No 1. P. 65–72.
9. Key:highway // Википедия – svobodnaya enciklopediya. Rezhim dostupa: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:highway> (data obrashcheniya: 21.08.2018).
10. *Leitlo J.* Detektion von Fahrzeugen in optischen Satellitenbildern. 2011.
11. OpenCV: Open Source Computer Vision // OpenCV. Access mode: <https://docs.opencv.org/3.4.3/> (appeal date: 08/10/2018).
12. *Zhang Q.* [et al.] There is a multi-temporal Landsat TM data // *International Journal of Remote Sensing*. 2002. Vol. 23. No 15. P. 3057–3078.
13. *Zheng J., Li Q., Cao D.* Analysis on interpolation methods used in geological modeling // *Nonferrous Metals (Mining Section)*. 2012. Vol. 1. P. 20.