

Обнаружение дорог на аэрокосмических снимках на основе информации о цвете и геометрических признаках

Е.Е. Курбатова¹

¹Вятский государственный университет, Московская 36, Киров, Россия, 610006

Аннотация. Методы обнаружения дорог по изображениям применяются во многих современных системах. В данной работе предлагается автоматический метод обнаружения дорог, который состоит из двух этапов. На первом этапе применяется сегментация по цвету в цветовом пространстве HSV. На втором этапе уточняются результаты предыдущего этапа и удаляются ложно сегментированные области. Для этого используется классификация на основе геометрических признаков. В качестве таких признаков используются четыре параметра: индекс формы (SI), индекс линейности (LI), индекс удлинения (EI), эксцентриситет (Ecc). Решение о принадлежности сегмента к классу дорог принимается на основе сравнения значений геометрических признаков с порогами. Приведены результаты моделирования предлагаемого метода, демонстрирующие эффективность его работы.

1. Введение

Карта дорожной сети используется многими системами, такими как интеллектуальные системы анализа трафика, навигация, мониторинг дорог, планирование городской застройки и т.д. При этом важно, чтобы используемая информация была актуальной. Дороги являются достаточно динамическими объектами, которые могут существенно изменяться со временем, поэтому существующие карты дорог необходимо постоянно обновлять. Автоматические методы обнаружения дорог по аэрокосмическим снимкам позволяют существенно упростить и ускорить процесс обновления карт дорожной сети, сократив или полностью устранив участие человека в этом процессе. Кроме того, такие алгоритмы, работающие в режиме реального времени, позволяют интеллектуальным системам навигации работать без предварительной информации о карте дорог.

Поэтому в последнее время появляется большое количество публикаций по данной теме, особенно, в зарубежных изданиях.

Большинство методов автоматического обнаружения дорог по аэрокосмическим снимкам являются комплексными, они комбинируют несколько известных алгоритмов сегментации и классификации для того, чтобы отделить дороги от других объектов на изображении. Сегментация, как правило осуществляется на основе признака яркости или цвета, а для классификации могут использоваться дополнительные признаки, например, геометрические, текстурные или спектральные.

Среди алгоритмов сегментации, применяемых в системах обнаружения дорог наиболее широко используемыми, являются алгоритмы контурной сегментации [1,2], алгоритм активных контуров [3], алгоритмы на основе морфологических операций [4,5]. Морфологические

операции также широко используются на этапах пред- и постобработки для фильтрации исходного изображения или результата обнаружения.

Для классификации в системах обнаружения дорог применяются различные подходы от простого порогового сравнения до применения классификаторов на основе нейронных сетей. Применение классификаторов с обучением [6-8] требуют наличия предварительно размеченных данных для обучения модели. Подготовка таких данных и обучение модели может занимать значительное время. Методы кластеризации [9,10], такие как k-means или методы на основе поиска разреза по графу не требуют наличия таких предварительных данных, но при этом большинство таких алгоритмов являются итерационными и время их работы может быть значительным. Пороговая обработка [11] является самым простым и быстрым подходом к разделению сегментов на два класса. При этом нужно подобрать такие параметры для классификации, которые наилучшим образом характеризуют класс искомым объектов.

В данной работе предлагается новый подход обнаружения дорог, который использует метод контурной сегментации на основе двумерных цепей Маркова в цветовом пространстве HSV, и набор геометрических признаков для классификации сегментов на два класса – дороги и фон.

2. Описание предлагаемого метода обнаружения дорог

Предлагаемый метод состоит из нескольких этапов (рисунок 1). Первый этап заключается в сегментации исходного изображения на основе информации о цвете. Целью данного этапа является выделение сегментов, которые могут относиться к классу дорог. Однако, при этом могут быть выделены и другие объекты, которые имеют близкие значения цвета с цветом дорог, например, здания, крыши домов, парковки, асфальтированные площадки и т.д. Для уточнения результата сегментации применяется второй этап – обнаружение дорог на основе геометрических признаков найденных сегментов. На основе сравнения значений геометрических признаков с порогами принимается решение о принадлежности сегмента классу дорог.

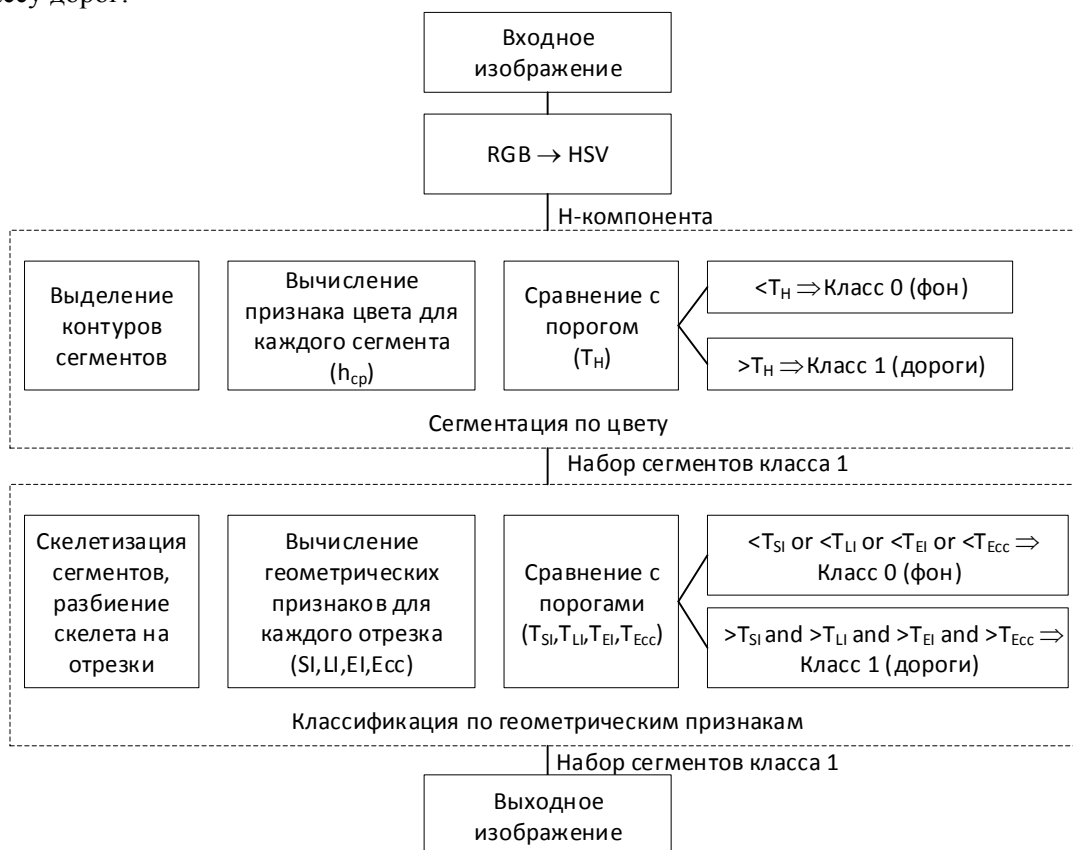


Рисунок 1. Схема предлагаемого метода обнаружения дорог.

2.1. Сегментация на основе информации о цвете

Как правило, дороги имеют постоянный цвет на разных изображениях и отличаются по данному признаку от других объектов. В цветовой модели RGB информация о цвете заключается в комбинации значений трех каналов: красном, зеленом и синем. Поэтому для задач сегментации гораздо удобнее использовать цветовые модели, в которых информация о цвете вынесена в отдельную компоненту. В данной работе выбрано цветовое пространство HSV, в котором осуществляется сегментация по компоненте цветового тона H. Для последующей обработки значения компоненты H приводятся к диапазону от 0 до 255.

Для сегментации используется метод контурной сегментации на основе двумерных цепей Маркова, подробно рассмотренный в предыдущих работах [12,13]. В результате контурной сегментации изображение разбивается на сегменты однородные по цвету. Пиксели с резкими перепадами значения цветового тона отмечаются как границы сегментов. В пределах границ сегмента значение цветового тона изменяется незначительно.

Для каждого сегмента вычисляется среднее значение цвета по формуле (1).

$$h_{cp}^s = \sum_{i=0}^{N_s} H(i)/N_s \quad (1)$$

где s – номер сегмента, N_s – количество пикселей в сегменте s , $H(i)$ – значение цветового тона для i -го пикселя в сегменте s .

Таким образом, изображение представляется в виде набора сегментов, каждый из которых характеризуется средним значением цветового тона, вычисленным по всем пикселям, входящим в данный сегмент. Все сегменты, среднее значение цветового тона которых превышает заданный порог отмечаются, как класс дорог, им ставится в соответствие метка 1. Все остальные сегменты отмечаются меткой 0. В результате сегментации формируется бинарное изображение, на котором белым цветом выделены области дорог.

2.2. Геометрические признаки

Дороги имеют уникальную конфигурацию, которая существенно отличается от всех остальных объектов. Как правило, дороги имеют постоянную ширину и большую протяженность, т.е. их длина значительно превышает ширину. Аналогичными свойствами обладают и реки, но при этом дороги имеют более ровную структуру, меньше ответвлений и изгибов. Кроме того, реки существенно отличаются по цвету, поэтому будут устранены уже после первого этапа сегментации по цвету.

Благодаря таким свойствам дорог уточнить результаты сегментации можно используя геометрические признаки.

В данной работе используется набор из 4 геометрических признаков: индекс формы (SI), индекс линейности (LI), индекс удлинения (EI), эксцентриситет (Ecc).

Индекс формы определяется выражением (2).

$$SI_s = P_s/4\sqrt{A_s} \quad (2)$$

где P_s – периметр сегмента s (определяется как количество точек контура, ограничивающего данный сегмент), A_s – площадь сегмента s (вычисляется как количество точек внутренней области сегмента).

Индекс формы не зависит от размера сегмента, и будет зависеть только от его формы. Для сегментов, форма которых близка кругу, данная характеристика меньше единицы. Для прямоугольных областей больше 1, для квадрата равна единице.

Индекс линейности (LI) представляет собой отношение длины к ширине ограничивающего сегмент прямоугольника.

$$LI_s = L_s/W_s \quad (3)$$

где L_s , W_s – длина и ширина прямоугольника, ограничивающего сегмент s . Поскольку сегменты могут быть ориентированы на изображении по-разному, длиной считается большая сторона ограничивающего прямоугольника, а шириной – меньшая.

Для компактных сегментов, таких как круг и квадрат, индекс линейности равен 1. Чем больше данная характеристика, тем более вытянутым является сегмент.

Индекс удлинения (EI) аналогичен индексу линейности, тоже определяет степень вытянутости сегмента, но определяется не по ограничивающему прямоугольнику, а по эллипсу, который имеет такие же вторые моменты, как и объект, в соответствии с выражением (4).

$$EI_s = L_{major}/L_{minor} \quad (4)$$

где L_{major} , L_{minor} – длины главной и малой осей объекта (измеряются в пикселях).

Для прямоугольного сегмента EI больше единицы, для квадрата и круга равен 1.

Эксцентриситет вычисляется также с помощью эллипса, который имеет вторые моменты, как у сегмента по формуле (5).

$$Ecc_s = F/L_{major} \quad (5)$$

где F – расстояние между фокусами эллипса.

Эксцентриситет принимает значения в диапазоне от 0 до 1 и показывает степень отклонения сегмента от круга. Для круглого сегмента эксцентриситет равен 0, для вытянутой прямоугольной области приближается к 1.

2.3. Скелетизация сегментов

В результате предыдущего этапа сегментации по цвету мы получаем изображение, которое состоит из однородных сегментов, отмеченных как класс дорог. Из-за того, что на изображении большинство дорог связаны друг с другом они могут быть выделены как один разветвленный сегмент. При этом форма этого сегмента может быть сложной и не соответствовать тем геометрическим свойствам, которыми обладает отдельный прямолинейный участок дороги. Кроме того, некоторые объекты, например здания, которые имеют близкие значения цвета и располагаются рядом с дорогой могут быть выделены вместе с дорогой в один сегмент. Это приводит к искажению формы сегмента. Вычисление геометрических признаков сегментов в этих случаях приведет к неверному результату и такой сегмент может быть классифицирован как фон, что в итоге приведет к потере части дороги, которая содержалась в данном сегменте.

Чтобы исключить подобные случаи, сегменты делятся на отрезки и геометрические признаки вычисляются для каждого отрезка в отдельности.

Для того, чтобы разбить сегмент на отрезки используется алгоритм скелетизации, описанный в работе [14]. Скелет является удобным и компактным способом представления сегмента, и соответствует его средней линии. Алгоритм основан на последовательном удалении контурных точек, если удаление точки не приводит к нарушению связности объекта. Возможность удаления контурных точек проверяется на основе ряда условий исходя из 8-связной окрестности элемента. Итерационный процесс удаления завершается, когда не осталось элементов, которые можно удалить. Все оставшиеся элементы составляют скелет сегмента, который соответствует средней линии данного сегмента.

Затем для каждой точки, составляющей скелет сегмента, определяется расстояние до ближайшей граничной точки в восьми направлениях (север, северо-запад, запад, юго-запад, юг, юго-восток, восток, северо-восток). Расстояние определяется в пикселях. Пример вычисления расстояния до контура приведен на рисунке 2. Здесь серым показаны контурные точки, черным – точки скелета, заштрихован пиксел для которого вычислены расстояния.

По набору точек скелета и значениям расстояния до контура в каждой точке скелета можно восстановить форму исходного сегмента. Пример восстановления сегмента по скелету показан на рисунке 3. На рисунке 3а показан исходный сегмент, полученный после сегментации по цвету, на рисунке 3б – скелет данного сегмента, на рисунке 3в – восстановленный сегмент по скелету. Из данного примера видно, что восстановление осуществляется с высокой точностью, визуальной разницы между исходным и восстановленным сегментами нет. Ошибка восстановления составила 4 пикселя.

2.4. Обнаружение дорог на основе геометрических признаков

Найденный скелет используется для разбиения сегмента на отрезки. Отрезком считается участок скелета без разветвлений. Сначала определяются все концевые точки найденного скелета. Концевой точкой считается точка, у которой в 8-связной окрестности только одна

точка является точкой скелета. Затем, начиная с концевой точки, производится процедура построения отрезка. Для этого выполняются следующие шаги:

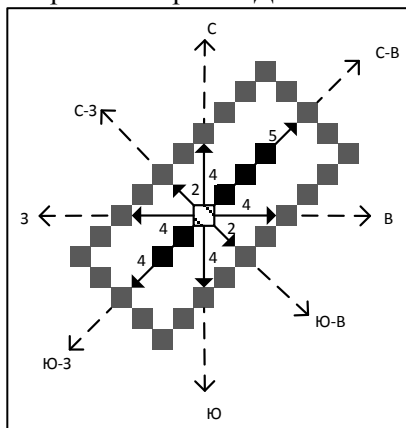


Рисунок 2. Пример вычисления расстояния до контура.

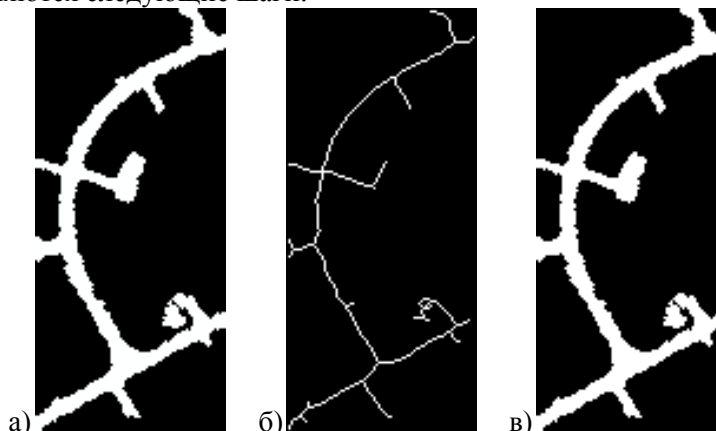


Рисунок 3. Пример восстановления сегмента по скелету и расстоянию до контура.

1. Выбирается следующая за концевой точка скелета. Она отмечается как просмотренная.
2. Для данной точки определяется количество точек скелета в 8-связной окрестности, которые еще не были просмотрены.
3. Если в окрестности только одна скелетная точка, то переходим к данной точке и возвращаемся к пункту 2.
4. Если в окрестности две и более точек скелета (этот случай соответствует разветвлению скелета), или нет точек скелета, кроме уже просмотренных (это соответствует случаю, когда мы достигли другой концевой точки), то процесс построения отрезка завершается.

Пример разбиения фрагмента скелета на три отрезка приведен на рисунке 4. Здесь концевые точки обозначены в виде круга, цифрами указаны номера отрезков.

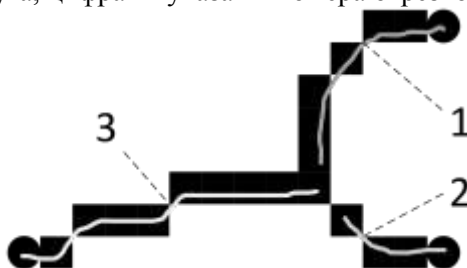


Рисунок 4. Пример разбиения фрагмента скелета на отрезки.

После построения отрезка, используя значения расстояния до контура в каждой точке, составляющей отрезок, восстанавливается форма части сегмента, соответствующая данному отрезку. Для этой части сегмента вычисляются геометрические признаки L (длина отрезка), SI , EI , LI , Ecc , которые сравниваются с заданными порогами и в результате сравнения принимается решение о том, является ли данная часть сегмента дорогой. Если для сегмента выполняется условие (6), то данная часть сегмента остается в классе дорог, если условие не выполняется, то данная часть сегмента удаляется из класса дорог и отмечается как фон.

$$L > 5 \text{ and } SI_s > T_{SI} \text{ and } LI_s > T_{LI} \text{ and } EI_s > T_{EI} \text{ and } Ecc_s > T_{Ecc} \quad (6)$$

где T_{SI} , T_{LI} , T_{EI} , T_{Ecc} – пороговые значения для соответствующих геометрических признаков.

Первое условие в выражении (6) обусловлено тем, что дороги имеют значительную протяженность. Поэтому все отрезки, длина которых меньше 5 пикселей, считаются ложными ветвями скелета и удаляются.

Затем повторяется процесс поиска концевых точек для еще не просмотренных точек скелета и начинается процесс построения следующего отрезка. Если все точки скелета данного

сегмента просмотрены, то процесс разбиения на отрезки завершается и рассматривается следующий сегмент.

За счет такого разбиения сегмента на отрезки, деформированные из-за расположенных рядом объектов части сегмента могут быть выделены в отдельный отрезок и удалены после оценки геометрических признаков.

3. Выбор параметров метода

Параметрами метода являются пороговые значения для первого этапа сегментации по цвету и для второго этапа классификации по геометрическим признакам. Если данные параметры определены и заданы заранее, то метод выполняется полностью автоматически без участия оператора.

Задачу обнаружения дорог можно рассматривать как классификацию сегментов на два класса (дороги и фон). Для выбора порога и оценки качества обнаружения дорог используется ROC-кривая и площадь под ROC-кривой AUC (Area Under Curve), которые часто используются для оценки качества классификации на два класса.

ROC – кривая показывает зависимость доли верно положительных классификаций (TPR – True Positive Rate) от доли ложно положительных классификаций (FPR – False Positive Rate) при варьировании порога.

Для выбора порогов используется набор тестовых изображений из базы Massachusetts dataset [15]. На рисунке 5 показаны ROC-кривые для 5 тестовых изображений при выполнении первого этапа сегментации по цвету. Значения порогов, выбранные по ROC-кривым приведены в таблице 1. Можно видеть, что значение оптимального порога сильно различается для разных изображений, поэтому использовать заранее заданный порог будет не эффективно. В связи с этим для определения порога сегментации по цвету в предлагаемом методе используется метод Отсу [16]. Значения порога, вычисленные с помощью метода Отсу для тех же тестовых изображений, указаны в таблице 1.

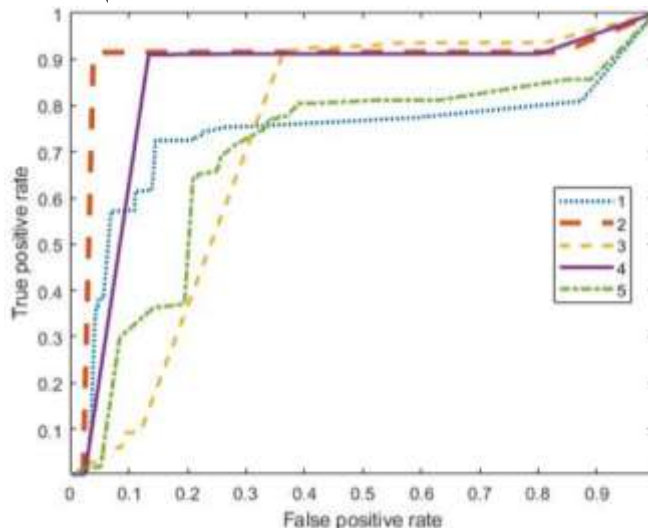


Рисунок 5. ROC-кривые для тестовых изображений при сегментации по цвету.

Таблица 1. Значения порогов для сегментации по цвету.

| Номер тестового изображения | Значение порога по ROC-кривой | Значение порога по методу Отсу |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 84 | 71 |
| 2 | 156 | 105 |
| 3 | 107 | 97 |
| 4 | 156 | 107 |
| 5 | 79 | 99 |

Пороги для геометрических признаков не зависят от изображения, поэтому они найдены экспериментально и задаются постоянными для всех изображений.

Выбраны следующие пороги для геометрических признаков:

$$T_{SI} = 1,7, T_{LI} = 1,4, T_{EI} = 2,2, T_{Ecc} = 0,8.$$

4. Результаты моделирования

На рисунке 6 приведен фрагмент тестового изображения, демонстрирующий обнаружение дорог разработанным методом. Рисунок 6а показывает исходное изображение, рисунки 6б, 6г – результаты сегментации по цвету с оптимальным порогом и порогом, найденным с помощью метода Отсу. Результаты обнаружения дорог после классификации по геометрическим признакам приведены на рисунках 6в, 6д.

Из приведенных результатов видно, что при сегментации по цвету, кроме дорог выделяются также некоторые здания. При использовании автоматически вычисленного порога, количество таких ложных объектов больше, чем при оптимальном пороге. Однако, после классификации по геометрическим признакам, все ложные объекты удаляются, и качество результирующего изображения не отличается, как при использовании оптимального порога.

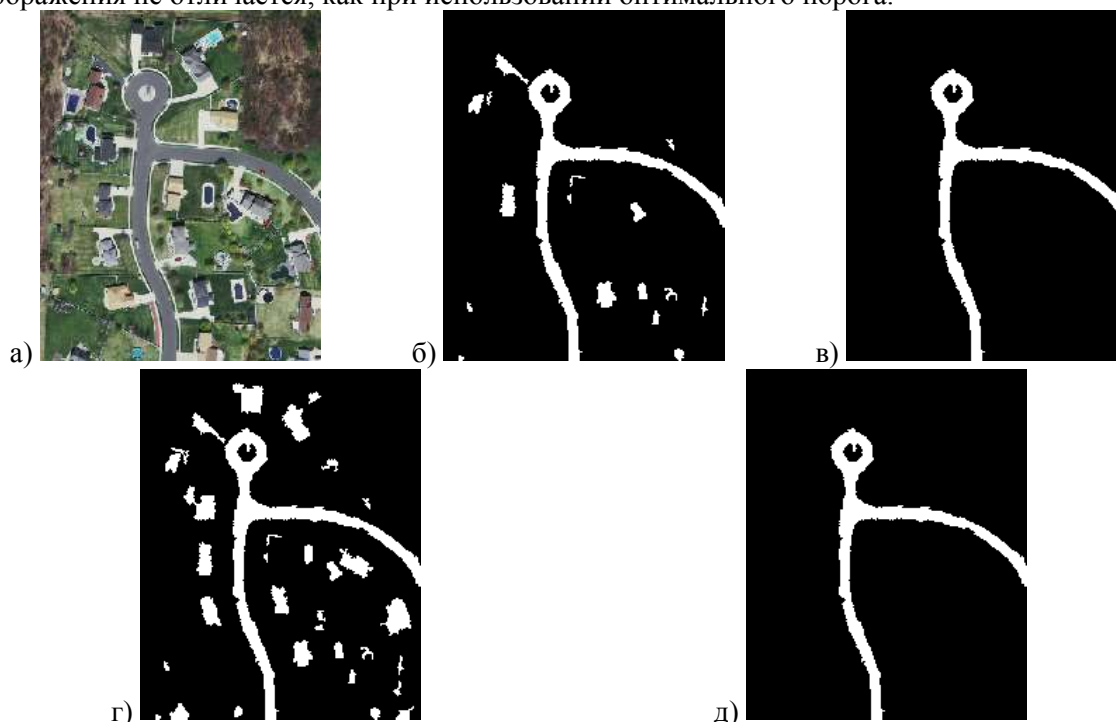


Рисунок 6. Обнаружение дорог разработанным методом.

5. Выводы и направления дальнейшей работы

Предложенный метод обнаруживает дороги на изображении в два этапа с использованием разных признаков. На первом этапе осуществляется предварительная сегментация по цвету. За счет этого этапа можно выделить основные области, содержащие дороги, однако, результаты такой сегментации, как правило, являются избыточными и помимо дорог, на изображении присутствуют другие объекты, имеющие близкое значение цвета. Удаление этих ложных объектов осуществляется на втором этапе на основе использования геометрических признаков.

Настраиваемыми параметрами данного метода являются пороговые значения для сегментации по цвету и классификации по геометрическим признакам. Значение порога для сегментации по цвету необходимо вычислять для каждого изображения. Как показали исследования, допускается использовать на этапе сегментации по цвету отличный от оптимального порог, вычисленный с помощью метода Отсу. Благодаря использованию на

втором этапе геометрических признаков для уточнения результатов сегментации, снижение качества первого этапа сегментации существенно не влияет на качество результата.

Таким образом, при заданных значениях порогов для геометрических признаков и использовании метода Отсу для автоматического определения порога для сегментации по цвету, предлагаемый метод выполняется полностью автоматически и не требует никаких предварительных данных о местности, кроме самого исходного изображения.

Следует также заметить, что на качество сегментации по цвету существенно влияет наличие теней на дорогах, машин, деревьев возле дорог и других объектов. Поэтому дальнейшее развитие данной работы будет направлено на устранение влияния данных негативных факторов на результаты обнаружения дорог.

6. Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-71-00070).

7. Литература

- [1] Kumar, N. Sai. Extraction of roads from satellite images based on edge detection / N. Sai Kumar, B. Sukanya, B. Mohan, G. Prathibha // *International Journal of engineering development and research*. – 2017. – Vol. 5(2). – P. 187-190.
- [2] Hormese, J. Automated road extraction from high resolution satellite images / J. Hormese, Dr. C. Saravanan // *Procedia Technology*. – 2016. – Vol. 24. – P.1460-1467.
- [3] Anil, P.N. A novel approach using active contour model for semi-automatic road extraction from high resolution satellite imagery / P.N. Anil, S. Natarajan // *Second International Conference on Machine Learning and Computing*, Shijiazhuang, 2010.
- [4] Liu, B. Main road extraction from ZY-3 grayscale imagery based on directional mathematical morphology and VGI prior knowledge in urban areas / B. Liu, H. Wu, Y. Wang, W. Liu // *PLoS ONE*. – 2015. – Vol. 10(9). P.1-16.
- [5] Makhlof, Y. Automatic generation of adaptive structuring elements for road identification in VHR images / Y. Makhlof, A. Daamouche // *Expert systems with applications*. – 2019. – Vol. 119. – P. 342-349.
- [6] Singh, P. A two-step deep convolution neural network for road extraction from aerial images // P. Singh, R. Dash // *6th international conference on Signal processing and integrated networks (SPIN)*, 2019. – P. 660-664.
- [7] Alshehhi, R. Simultaneous extraction of roads and buildings in remote sensing imagery with convolutional neural networks / R. Alshehhi, P.R. Marpu, W.L. Woon, M.D. Mura // *ISPRS journal of Photogrammetry and remote sensing*. – 2017. – Vol. 130. – P. 139-149.
- [8] Hong, Z. Road extraction from a high spatial resolution remote sensing image based on richer convolutional features / Z. Hong, D. Ming, K. Zhou, Y. Guo, T. Lu // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – P. 46988-47000.
- [9] Hong, M. A novel FMH model for road extraction from high-resolution remote sensing images in urban areas / M. Hong, J. Guo, Y. Dai, Z. Yin // *Procedia computer science*. – 2019. – Vol. 147. – P. 49-55.
- [10] Manandhar, P. Segmentation based traversing-agent approach for road width extraction from satellite images using volunteered geographic information / P. Manandhar, P. R. Marpu, Z. Aung // *Applied computing and informatics*, 2018.
- [11] Sirmacek, B. Road detection from remotely sensed images using color features / B. Sirmacek, C. Unsalan // *Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST2011*, 2011.
- [12] Medvedeva, E.V. Image segmentation based on two-dimensional Markov chains / E.V. Medvedeva, E.E. Kurbatova – Switzerland: Springer International Publishing, *Computer Vision in Control Systems-2. Innovations in practice*, 2015. – P. 277-295.
- [13] Курбатова, Е.Е. Обнаружение контуров объектов на спутниковых изображениях // *IV Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ)* – Самара: Новая техника, 2018. – С. 760-769.

- [14] Lam, L. Thinning Methodologies – A comprehensive survey / L. Lam, S.-W. Lee, C. Y. Suen // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1992. – Vol. 14(9). – P. 879.
- [15] Mnih, V. Machine learning for aerial image labeling // A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Graduate Department of Computer Science University of Toronto, 2013.
- [16] Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Transactions on Systems man and cybernetics. – 1979. – Vol. 9(1). – P. 62-66.

Road detection in aerial images based on color information and geometry features

E.E. Kurbatova¹

¹Vyatka State University, Moskovskaya 36, Kirov, Russia, 610006

Abstract. Road detection methods are used in many different modern systems. The proposed automatic method for road detection consists of two steps. In the first step, the color segmentation in HSV color space is applied. The aim of the second step is to improve the quality of color segmentation results by removing the false segmented areas. On the second step, the geometry features are used to classify segments into two classes – roads and background. We use four characteristics: shape index (SI), linear index (LI), elongation index (EI), eccentricity (Ecc). The geometry features are compared with the thresholds to classify segments. The presented results show the effectiveness of the proposed method.