

Новый оператор выделения контуров объектов железнодорожной инфраструктуры

Ш. С. Фахми^{1,2}, **Н. А. Пономарев**^{1✉}, **М. Т. М. Хо**¹

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

² Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, Санкт-Петербург, Россия

✉ samos.gik@mail.ru

Аннотация. Представлен новый оператор выделения контуров объектов железнодорожной инфраструктуры на изображениях. Акцентируется внимание на разработке последовательных этапов алгоритма, включая сглаживание фильтром Гаусса, адаптивное разбиение на регионы и бинаризацию изображения, а также подавление неконтурных элементов. Оператор демонстрирует эффективность в улучшении точности выделения контуров железнодорожных объектов – поездов, вагонов, платформ и сигналов. Предложенные методы позволяют обрабатывать изображения, удалять шумы и выделять объекты, что ведет к повышению качества распознавания. Результаты моделирования показывают, что новый оператор способствует значительному улучшению точности выявления неисправностей по сравнению с альтернативными методами.

Ключевые слова: бинаризация, выделение границ, региональный алгоритм, сегментация, удаление шумов, определение железнодорожных объектов

Для цитирования: Фахми Ш. С., Пономарев Н. А., Хо М. Т. М. Новый оператор выделения контуров объектов железнодорожной инфраструктуры // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 10. С. 77–83. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-10-77-83.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

New Operator for Outlining Railway Infrastructure Objects

Sh. S. Fahmi^{1,2}, **N. A. Ponomarev**^{1✉}, **M. T. M. Ho**¹

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

² Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

✉ samos.gik@mail.ru

Abstract. Presents a new operator for selecting the contours of railway infrastructure objects in images. The study focuses on the development of successive stages of the algorithm, including smoothing with a Gaussian filter, adaptive partitioning to regions and image binarization, as well as suppression of non-contour elements. The operator demonstrates efficiency in improving the accuracy of contouring of railway objects such as trains, cars, platforms and signals. The proposed methods to process images, remove noise and select objects, thus increasing the overall quality of recognition. The simulation results show that the new operator contributes to a significant improvement in the accuracy of fault detection compared to alternative methods.

Keywords: binarization, boundary detection, regional algorithm, segmentation, noise removal, railway object detection

For citation: Fahmi Sh. S., Ponomarev N. A., Ho M. T. M. New Operator for Outlining Railway Infrastructure Objects // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 10. P. 77–83. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-10-77-83.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение. Изображения с железнодорожной инфраструктурой играют важную роль во многих аспектах железнодорожной деятельности, включая инженерное обследование, техническое обслуживание, безопасность и управление инфраструктурой [1]. Контурные данные – контуры рельсов, свитков, стрелочных переводов и других элементов ЖД, имеют критическое значение для автоматической обработки и анализа изображений с целью обнаружения дефектов, проведения инвентаризации и оптимизации железнодорожных систем. К важным задачам в области железнодорожной инфраструктуры относятся выделение и анализ объектов – поездов, вагонов, платформ и железнодорожных сигналов – на изображениях и видеопотоках.

Новые методы выделения контуров на изображениях с ЖД-инфраструктурой помогут значительно улучшить эффективность и надежность процессов обследования и контроля состояния железнодорожных элементов. Они обнаруживают дефекты или повреждения рельсов с более высокой скоростью и точностью, что в свою очередь предотвращает аварии и снижает затраты на техническое обслуживание. Также интеграция новых алгоритмов способствует инновациям в ЖД-отрасли, ведь их внедрение дает возможность разрабатывать более точные методы обследования и обслуживания, что позволяет создавать комплексные решения для управления железнодорожной инфраструктурой и оптимизировать использование ресурсов.

На этом плюсы новых алгоритмов выделения контуров на изображениях с железнодорожной инфраструктурой не заканчиваются. Они также могут быть использованы для автоматизации процессов инвентаризации и классификации элементов железных дорог. Это позволит создать цифровые карты и базы данных с более высокой степенью детализации, что немаловажно для эффективного планирования и управления железнодорожной сетью [2].

Кроме того, автоматическим выделением контуров на изображениях можно создать системы реального времени, способные отслеживать изменения состояния элементов железных дорог и предупреждать о возможных проблемах или повреждениях. При этом системы реального време-

ни позволяют предотвращать непредвиденные отказы и снижать вероятность аварий, что увеличивает безопасность использования железнодорожной инфраструктуры.

Цель данных исследований состоит в создании нового алгоритма для выделения контуров объектов железнодорожной инфраструктуры на изображениях. В результате разработки ожидается увеличение точности и производительности процесса выделения контуров объектов ЖД-инфраструктуры на изображениях.

Будет представлен разработанный оператор и продемонстрированы результаты его применения для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры на изображениях. Это важный шаг в направлении автоматизации и оптимизации работы железнодорожных систем.

Описание предложенного оператора. Оператор выделения объектов железнодорожной инфраструктуры состоит из четырех основных этапов, обобщенная блок-схема которых представлена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная блок-схема оператора
Fig. 1. Generalized block diagram of operator

Входное изображение преобразуется в градиент серого посредством вычисления среднего значения RGB-каналов для каждого пикселя, с ним осуществляются дальнейшие преобразования.

Для исследования введем следующие определения и обозначения:

1) двумерное изображение – входное изображение, содержащее инфраструктурные элементы железнодорожной отрасли, рассматриваемое как двумерная матрица пикселей, где каждый пиксель представляет информацию о значении его яркости в градации серого цвета;

2) фильтр Гаусса – математический оператор, применяемый для сглаживания изображения [3]. Он использует функцию Гаусса для вычисления взвешенного среднего значения пикселей в окрестности каждого пикселя и заменяет исходное значение этим средним значением;

3) разбиение на регионы – процесс разделения изображения на несколько непересекающихся и обычно неперекрывающихся областей или регионов, которые содержат пиксели с общими характеристиками [4];

4) бинаризация изображения – процесс преобразования градаций яркости в изображении в два значения: черный и белый, установкой порогового значения или иных условий;

5) подавление неконтуров – техника, используемая в обработке изображений и компьютерном зрении для устранения лишних результатов обнаружения или сегментации, которые могут возникнуть после применения операторов обнаружения границ или контуров [5].

Алгоритм сглаживания фильтром Гаусса. Данное преобразование используется для уменьшения общей зашумленности изображения и осуществляется по следующей формуле:

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}},$$



Исходное изображение

где x, y – координаты точки; σ – стандартное отклонение, определяющее степень размытия изображения.

Цель сглаживания фильтром Гаусса – устранить шумы и мелкие детали на изображении, чтобы получить более чистое и размытое изображение. Это особенно важно при работе с изображениями, полученными в условиях низкой освещенности или с помехами. Кроме того, фотографии, сделанные с использованием широкоугольного объектива, могут иметь резкие или искаженные края. Данный алгоритм помогает смягчить такие эффекты и улучшить качество изображения.

Результат применения фильтра Гаусса представлен на рис. 2.

Регионный алгоритм. Предлагаемый алгоритм включает следующие этапы обработки изображения:

1. Изображение подвергается разбиению на регионы по параметру яркости пикселей. Количество регионов адаптивно для каждого изображения. Максимальное значение яркости делится на заранее заданное количество регионов. Затем каждый пиксель изображения относится к соответствующему диапазону яркости, определяющему регион, которому он принадлежит.

2. В изображении осуществляется удаление пикселей из одного региона до достижения границ с другими регионами.

В результате данного преобразования удается определить примерные границы объектов на изображении для их использования в следующих этапах оператора. Пример работы алгоритма показан на рис. 3.

Алгоритм бинаризации изображения. Бинаризация изображения, полученного в результате работы регионного алгоритма, – это необходимый шаг



Результат сглаживания

Рис. 2. Сглаживание фильтром Гаусса

Fig. 2. Smoothing with a Gaussian filter



Рис. 3. Применение регионального алгоритма
Fig. 3. Application of the regional algorithm

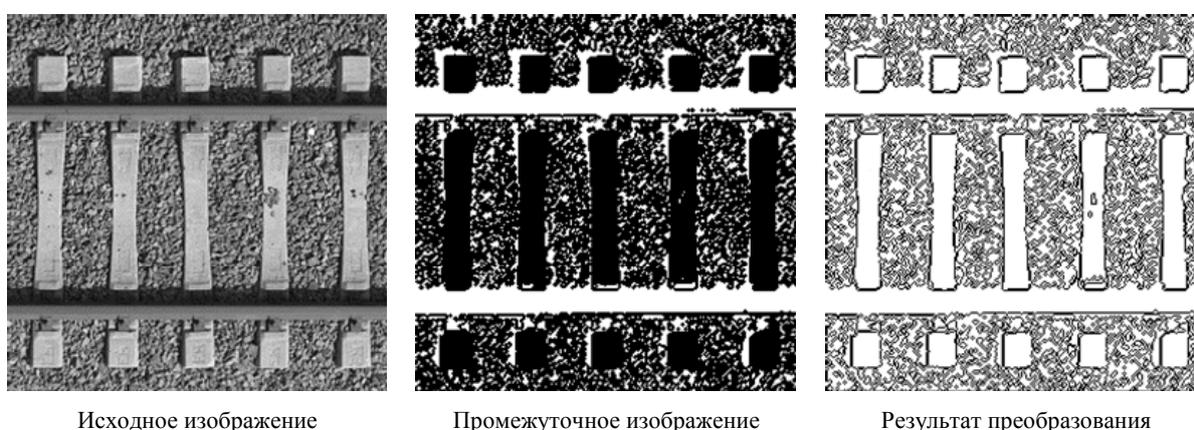


Рис. 4. Подавление неконтуров
Fig. 4. Suppression of non-contours

для увеличения точности и быстродействия описанных далее преобразований. Ее условием служит значение яркости каждого пикселя, где пиксели с немаксимальным значением этого параметра отмечаются черным цветом, остальные же – белым.

Полученное бинарное изображение можно использовать с алгоритмами, применяющими логические операции [6].

Алгоритм подавления неконтуров. Принцип данного преобразования заключается в поиске и удалении пикселей, которые не представляют собой части границ объектов. Для этого проверяются пиксели, расположенные по четырем сторонам от текущего, и если они принадлежат одному и тому же объекту, целевой пиксель считается фоновым и удаляется из обрабатываемого изображения.

Основной результат применения алгоритма заключается в получении чистых и четких контуров объектов на изображении, что способствует повышению точности и надежности их последующего анализа и распознавания относящихся к ним объектов. Алгоритм подавления неконтуров

представляет неотъемлемый шаг в разработанном операторе выделения контуров объектов железнодорожной инфраструктуры.

Результат работы алгоритма представлен на рис. 4.

Результаты моделирования алгоритмов улучшения сегментации. В ходе исследования предложенного нового оператора выделения контуров на различных изображениях, связанных с классификацией объектов железнодорожной инфраструктуры, описанных в [7], была проведена проверка эффективности заявленного оператора. Сначала цветные изображения были преобразованы в оттенки серого, а затем последовательно применены все вышеописанные шаги. Полученные результаты демонстрируют повышение точности и эффективности выделения объектов железнодорожной инфраструктуры, что способствует улучшению обслуживания и обеспечивает безопасность движения поездов. Представленный алгоритм открывает новые перспективы для совершенствования системы управления железно-

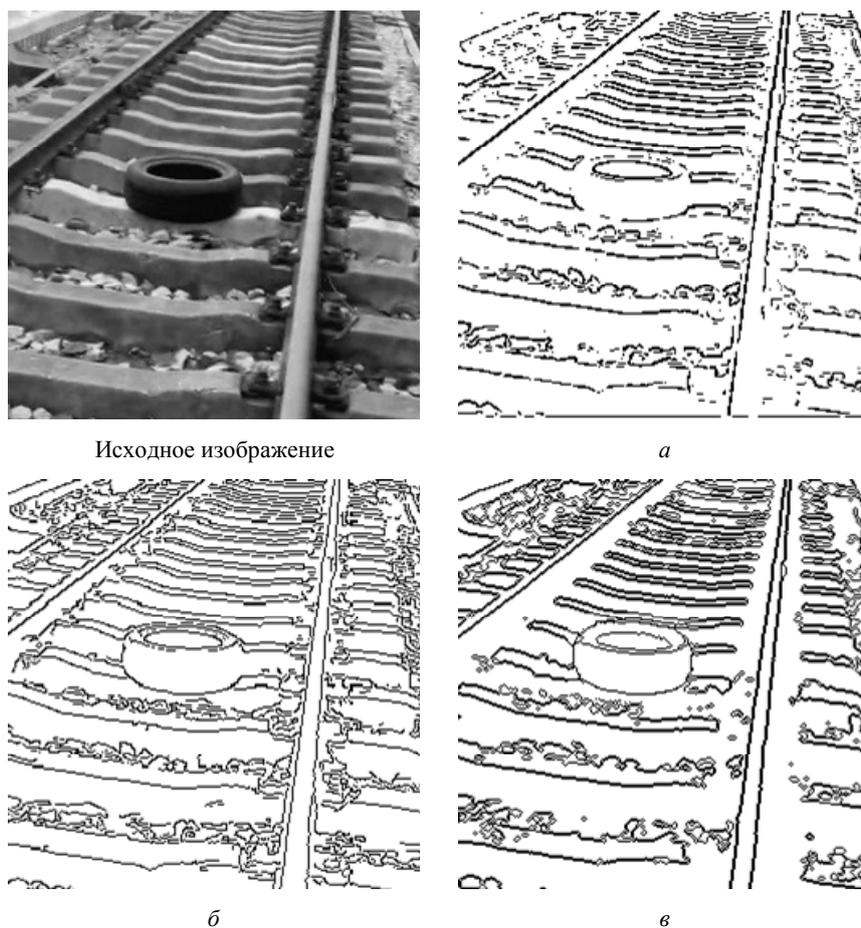


Рис. 5. Выделение контуров операторами: *a* – Собеля;
б – Кэнни и *в* – предложенного в работе
 Fig. 5. Selection of contours by operators: *a* – Sable;
б – Canny and *в* – proposed in the work

дорожным транспортом, снижения операционных затрат и повышения производительности железнодорожных перевозок. На рис. 5 представлены изображения, полученные после выделения контуров с использованием операторов Собеля, Кэнни, а также предложенного оператора.

Выводы. Результаты проведенного исследования приводят к следующим выводам:

1. Этап применения фильтра Гаусса для сглаживания входного изображения эффективно снижает влияние шумов и подготавливает изображение для более точного обнаружения контуров. Гауссовский фильтр удаляет высокочастотные компоненты изображения, что способствует сглаживанию резких переходов яркости и шумовых помех. Это позволяет улучшить качество выделения контуров объектов и предотвратить ложные обнаружения, вызванные случайными вариациями яркости на изображении.

2. Адаптивность регионального алгоритма эффективно определяет примерные границы объектов на изображениях, полученных при разных

условиях освещенности и зашумленности, так как количество и границы регионов изменяются в зависимости от яркости пикселей. Такая универсальность делает его надежным и точным инструментом для обработки разнообразных изображений, связанных с железнодорожной инфраструктурой, что повышает общую эффективность процесса обработки данных.

3. Заданная оператором последовательность применения описанных алгоритмов эффективно повышает точность выделения границ объектов железнодорожной отрасли, что обеспечивает совершенствование автоматизации и оптимизации работы систем безопасности на железнодорожных путях. Более того, предложенный оператор перспективен в улучшении алгоритмов компьютерного зрения и анализа изображений в области его применения.

Заключение. Подводя итог проведенного исследования, следует отметить, что разработанный оператор выделения контуров объектов на изображениях, связанных с железнодорожной отраслью, демонстрирует значительное улучшение в

определении границ этих объектов. В результате экспериментов, проведенных на описанной коллекции изображений, подтверждается, что предложенный оператор способствует значительному повышению точности распознавания железнодорожных объектов, в среднем на 12–15 % по сравнению с другими широко используемыми методами – методы активных контуров и градиентного выделения [8, с. 15–18].

Кроме того, во время проведения экспериментов были отмечены следующие достоинства данного оператора:

– скорость выполнения и быстрота реализации содержащихся в нем алгоритмов, которые

способствуют своевременному обнаружению неполадок на железнодорожных путях;

– эффективное устранение шумов, связанных с недостаточной освещенностью или погодными условиями;

– адаптивность к различным сценариям.

Перечисленные преимущества открывают возможность применения этого оператора в области компьютерного зрения и связанных с ним областях, что обладает перспективой дальнейшего развития при решении разнообразных инженерных и технических задач.

Список литературы

1. Noel A., Shreyanka K., Gowtham K. Autonomous navigation methods: a review // Proc. of the Conf. Proc. of ICMET OMAN. Muscat, Oman, 2019. P. 99–132.
2. Мотыко А. А. Метод формирования панорамного изображения в телевизионной системе транспортного мониторинга // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. № 2. С. 74–84.
3. Dongyoun K., Chandan K., Shafqat A. Sh. Efficient object detection model for real-time UAV Application January 2021 // Comp. and Inform. Sci. 2021. No. 14(1): 45. URL: https://www.researchgate.net/publication/348689833_Efficient_Object_Detection_Model_for_Real-time_UAV_Application (дата обращения 07.07.2023).
4. Clement R. P., Wren A. Genetic algorithms and bus-driver scheduling // Intern. Conf. for Comp.-Aided Transport Scheduling, Lisbon, Portugal, 1993. P. 34–56.
5. Розенберг Е. Н., Уманский В. И., Дзюба Ю. В. Цифровая экономика и цифровая железная дорога в транспорте Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5 (72). С. 45–49.
6. Фахми Ш. С., Пономарев Н. А., Хо М. Т. М. Новые алгоритмы применения логических операций для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. № 9. С. 70–76.
7. Когнитивные транспортные видеосистемы / Ш. С. Фахми, И. Г. Малыгин, С. М. Егоршев, Ю. Е. Крылов // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 1 (50), № 4. С. 142–154.
8. Меженин А. В. Методы и средства распознавания образов и визуализации. СПб.: ИТМО, 2012. 129 с.

Информация об авторах

Фахми Шакиб Субхиевич – д-р техн. наук, профессор кафедры САПР, доцент СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: shakeebf@mail.ru

Пономарев Никита Алексеевич – студент гр. 9308 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: samos.gik@mail.ru

Хо Минь Туан Миневич – студент гр. 9308 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: tuaniman5@gmail.com

References

1. Noel A., Shreyanka K., Gowtham K. Autonomous navigation methods: a review // in Proc. of the Conf. Proc. of ICMET OMAN. Muscat, Oman, 2019. P. 99–132.
2. Motyko A. A. Metod formirovanija panoramnogo izobrazhenija v televizionnoj sisteme transportnogo monitoringa // Izv. vuzov Rossii. Radioelektronika. 2011. № 2. S. 74–84. (In Russ.).
3. Dongyoun K., Chandan K., Shafqat A. Sh. Efficient object detection model for real-time UAV Application January 2021 // Comp. and Inform. Sci. 2021. No. 14(1):45. URL: https://www.researchgate.net/publication/348689833_Efficient_Object_Detection_Model_for_Real-time_UAV_Application (data obraschenija 07.07.2023).
4. Clement R. P., Wren A. Genetic Algorithms and Bus-Driver Scheduling // Intern. Conf. for Computer-Aided Transport Scheduling, Lisbon, Portugal, 1993. P. 34–56.
5. Rozenberg E. N., Umanskij V. I., Dzub Ju. V. Cifrovaja jekonomika i cifrovaja zheleznaja doroga v transporte Rossijskoj Federacii // Transport Rossijskoj Federacii. 2017. № 5 (72). S. 45–49. (In Russ.).
6. Fahmi Sh. S., Ponomarev N. A., Ho M. T. M. Nove algoritmy primenenija logicheskikh operacij dlja vydelenija ob#ektov zheleznodorozhnoj infrastruktury // Izv. SPbGjeTU «LjeTI». 2023. № 9. С. 70–76. (In Russ.).

7. Kognitivnye transportnye videosistemy / Sh. S. Fahmi, I. G. Malygin, S. M. Egorshv, Ju. E. Krylov // Morskoe intellektual'nye tehnologii. 2020. T. 1 (50), № 4. S. 142–154. (In Russ.).

8. Mezhenin A. V. Metody i sredstva raspoznavanija obrazov i vizualizacii. SPb.: ITMO, 2012. 129 s. (In Russ.).

Information about the authors

Shakeeb S. Fahmi – Dr Sci. (Eng.), docent, Professor of the Department of Computer-Aided Design Systems of Saint-Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: shakeebf@mail.ru

Nikita A. Ponomarev – student of gr. 9308 of Saint-Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: samos.gik@mail.ru

Minh Tyan M. Ho – student of gr. 9308 of Saint-Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: tuaniman5@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11.08.2023; принята к публикации после рецензирования 17.08.2023; опубликована онлайн 19.12.2023.

Submitted 11.08.2023; accepted 17.08.2023; published online 19.12.2023.
