

Новые алгоритмы применения логических операций для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры

Ш. С. Фахми^{1,2}, Н. А. Пономарев¹✉, М. Т. М. Хо¹

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. Представлены новые алгоритмы для улучшения сегментации изображений железнодорожной инфраструктуры с использованием логических операций. Основной акцент делается на разработке эффективных методов выделения объектов – поездов, вагонов, платформ и железнодорожных сигналов, на изображениях.

Предложенные методы позволяют эффективно обрабатывать изображения, удаляя шумы, выделяя объекты и улучшая качество распознавания. Результаты экспериментов подтверждают, что новые алгоритмы позволяют достичь улучшения точности в среднем на 18 % по сравнению с методом активных контуров с вейвлет-преобразованием Хаара и на 14 % по сравнению с алгоритмами, использующими выделение ключевых точек.

Ключевые слова: логические операции, бинаризация, распознавание железнодорожных объектов, сегментация

Для цитирования: Фахми Ш. С., Пономарев Н. А., Хо М. Т. М. Новые алгоритмы применения логических операций для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 9. С. 70–76. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-9-70-76.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

New Algorithms for Applying Logical Operations for the Selection of Railway Infrastructure Facilities

Sh. S. Fahmi^{1,2}, N. A. Ponomarev¹✉, M. T. M. Ho¹

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. The article presents new algorithms for improving the segmentation of railway infrastructure images using logical operations. The main focus is on the development of efficient methods for highlighting objects, such as trains, wagons, platforms, and railway signals in images.

The proposed methods help make it possible to efficiently process images by removing noise, highlighting objects, and improving the quality of recognition. The results of the experiments confirm that the new algorithms can achieve an improvement in accuracy by an average value of 18 % compared to the method of active contours method with wavelet by the Haar wavelet transformation and by 14 % compared to algorithms using keypoint selection.

Keywords: logical operations, binarization, recognition of railway objects, segmentation

For citation: Fahmi Sh. S., Ponomarev N. A., Ho M. T. M. New Algorithms for Applying Logical Operations for the Selection of Railway Infrastructure Facilities // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 9. P. 70–76. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-9-70-76.

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

Введение. Информационные технологии и развитие искусственного интеллекта совершили революцию в различных отраслях промышленности, и железнодорожная инфраструктура не стала исключением [1]. Железные дороги играют важную роль в современной транспортной системе, обеспечивая перевозку грузов и пассажиров на большие расстояния. С ростом потока грузов и пассажиров на железнодорожных маршрутах возникает необходимость в более эффективном управлении и контроле железнодорожной инфраструктуры, а также в обеспечении безопасности движения поездов. В этом контексте применение новых алгоритмов компьютерного зрения становится ключевым подходом к оптимизации и автоматизации систем наблюдения и управления железнодорожным транспортом [2].

Одной из важных задач в области железнодорожной инфраструктуры служит выделение и анализ объектов – поездов, вагонов, платформ и железнодорожных сигналов, на изображениях и видеопотоках. Для решения этой задачи сегментация изображений – процесс выделения объектов интереса на изображениях – становится критически важным элементом [3].

На данный момент существуют следующие основные подходы к сегментации объектов на изображениях [4]:

1. Пороговая сегментация. Этот метод основан на использовании пороговых значений для разделения пикселей на две группы – объекты и фон. Пиксели с интенсивностью или другими характеристиками выше установленного порога относятся к объектам, тогда как пиксели со значениями ниже порога считаются фоном.

2. Регионные алгоритмы. В данной категории методов пиксели со схожими свойствами объединяются в регионы или сегменты. Это может быть достигнуто анализом текстуры, цвета, яркости и других характеристик пикселей. Процесс объединения продолжается до тех пор, пока все пиксели не будут отнесены к определенным регионам.

3. Алгоритмы на основе теории графов. Эти алгоритмы моделируют изображение в виде графа, где пиксели представлены вершинами, а связи между пикселями – ребрами. Алгоритмы, такие, как алгоритм разреза графа или алгоритм минимального разреза, применяются для разделения графа на различные сегменты, которые соответствуют объектам на изображении.

4. Методы активных контуров, или «уровни кривизны». Эти методы используют специальные

кривые или контуры, которые активно изменяют свою форму, чтобы точно выделить границы объектов на изображении.

5. Семантическая сегментация. В данном подходе каждому пикселю на изображении присваивается соответствующий класс или категория объекта. Это позволяет более детально разделить изображения на семантически значимые области.

Целью служат исследование и разработка новых алгоритмов сегментации изображений железнодорожной инфраструктуры с использованием логических операций. Предлагаемые алгоритмы будут направлены на повышение точности и эффективности сегментации, что в итоге приведет к улучшению управления и безопасности железнодорожных систем.

В рамках исследования будут представлены разработанные алгоритмы и результаты их применения для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры на изображениях и видеопотоках, что откроет новые перспективы для автоматизации и оптимизации работы железнодорожного транспорта.

Описание предложенных алгоритмов улучшения сегментации. Первоначальный этап включает применение первичной обработки изображения и определение диапазона значений яркости в RGB-палитре, чтобы выделить интересный объект:

1. Выявление диапазона яркости в цветовой палитре, соответствующего искомому объекту.

2. Выделение всех фрагментов изображения, находящихся в пределах заданного диапазона.

3. Объединение полученных фрагментов и создание итогового изображения для последующей обработки.

4. Применение бинаризации к изображению.

Бинаризация изображения – это процесс, при котором изображение преобразуется в черно-белое, где каждый пиксель может быть только черным или белым. Этот процесс необходим для разделения изображения на передний план (железнодорожная инфраструктура) и фон, что позволяет определить, какие пиксели будут подвергнуты применению логических операций, а какие – нет.

Алгоритм бинаризации. Предлагаемый алгоритм включает следующие этапы обработки изображения:

1. Изображение преобразуется в оттенки серого посредством усреднения значений RGB-каналов каждого пикселя.

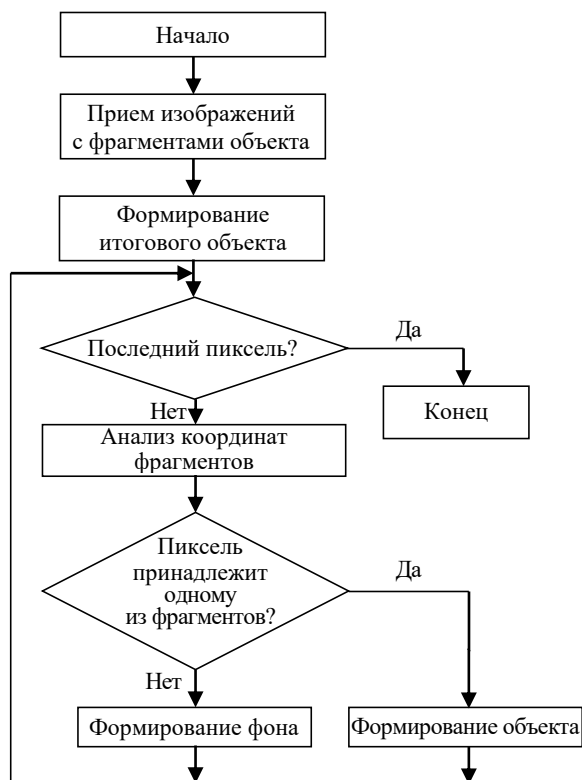


Рис. 1. Блок-схема алгоритма логического ИЛИ
Fig. 1. Block diagram of a logical OR

2. Затем определяется пороговое значение, которое будет служить граничной точкой для разделения пикселей на черные и белые.

3. В процессе сканирования и обхода всех пикселей изображения интенсивность каждого пикселя сравнивается с установленным порогом.

4. Если интенсивность пикселя ниже порогового значения, то он устанавливается в черный цвет, в противном случае – в белый.

В результате данных преобразований получается промежуточное изображение, которое далее будет использоваться для применения предлагаемых алгоритмов сегментации с использованием логических операций.

В рамках данного исследования представлены новые алгоритмы сегментации объектов на изображении. Подход основан на интеграции логических операций, включающих логическое ИЛИ, логическое НЕ, а также исключающее ИЛИ. Эти методы обладают способностью учесть мельчайшие детали объектов, которые требуется выделить, а также определить ненужные части изображения в качестве фона. Предложенные алгоритмы дают значительное улучшение точности и эффективности процесса сегментации, что может иметь практическое применение в области обеспечения безопасности железнодорожного транс-

порта, где точное выделение объектов на изображении играет ключевую роль.

Для исследования введем следующие определения и обозначения:

1) логическая операция – операция, которая выполняется попиксельно на двух или более изображениях с целью получения нового изображения;

2) двумерное изображение – входное изображение, содержащее инфраструктурные элементы и компоненты железнодорожной отрасли, рассматриваемое как двумерная матрица пикселей, где каждый пиксель представляет характеристику или атрибут соответствующего элемента – пути, рельсов, переездов, платформ или других объектов, включая информацию о яркости, цвете или иных важных свойствах.

Алгоритм логического ИЛИ. Данный алгоритм включает основную операцию логического ИЛИ и позволяет свести несколько необходимых фрагментов объекта в единое изображение. Такая операция необходима для сохранения целостности объектов при сегментации, когда этого невозможно достичь при первичной обработке входного изображения.

Алгоритм включает следующее:

1) определение координат пикселей фрагментов рассматриваемого объекта на двумерных изображениях;

2) формирование итогового изображения с соответствующими размерами;

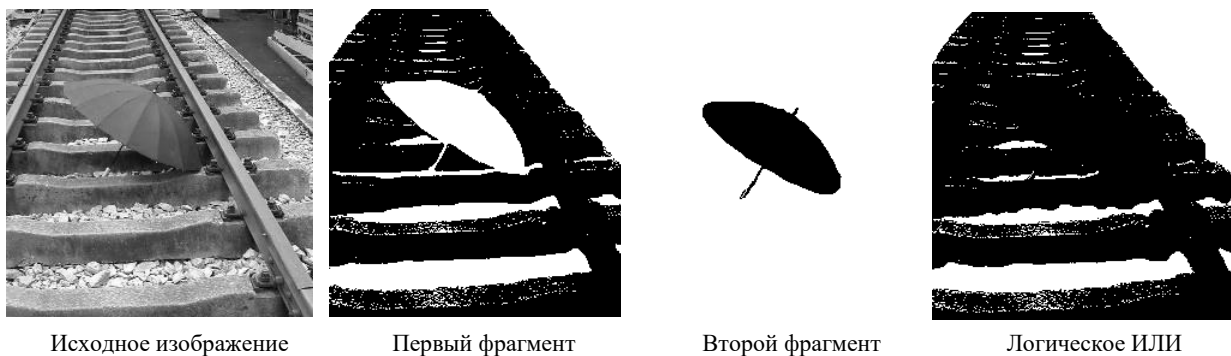
3) определение по координатам пикселей фрагментов объекта соответствующих координат в итоговом изображении;

4) изменение цвета определенных пикселей итогового изображения в черный, остальных – в белый.

Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 1, результат его работы алгоритма – на рис. 2.

Алгоритм логического НЕ. В отличие от алгоритма операции логического ИЛИ, логическое НЕ применяется для удаления лишних объектов после первичной обработки изображения. Благодаря данному алгоритму можно очистить итоговое изображение от шумов и выделить ложные фрагменты интересующего объекта, что позволяет получить точные результаты сегментирования.

Блок-схема алгоритма идентична изображенной на рис. 1, за исключением блока анализа координат фрагментов, в котором для логического НЕ проверяется принадлежность пикселя обоим фрагментам,



Исходное изображение

Первый фрагмент

Второй фрагмент

Логическое ИЛИ

Рис. 2. Применение логического ИЛИ
Fig. 2. Applying a logical OR

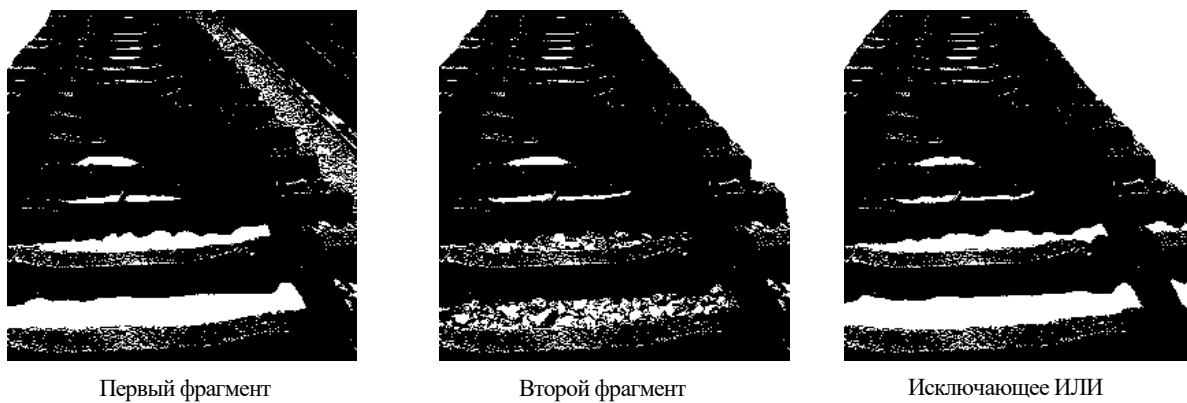


Первый фрагмент

Второй фрагмент

Логическое НЕ

Рис. 3. Применение логического НЕ
Fig. 3. Application of the logical NOT



Первый фрагмент

Второй фрагмент

Исключающее ИЛИ

Рис. 4. Применение исключающего ИЛИ
Fig. 4. Applying The use of an exclusive OR

а итоги проверки инвертированы. Результат его работы показан на рис. 3.

Алгоритм исключающего ИЛИ. Данный алгоритм позволяет получить общие объекты нескольких обработанных изображений, за счет чего можно обозначить все шумы изображения фоном. От операции логического НЕ этот алгоритм отличается подход к обработке пикселей фрагментов, где только пиксели с равными координатами определяются как результат.

Последовательное использование операций исключающего ИЛИ и логического НЕ позволяют

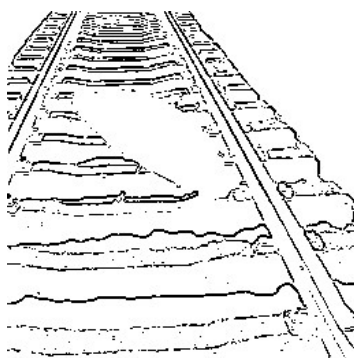
полностью избавиться от шумов и лишних объектов на рис. 1, кроме этапа анализа координат фрагментов. Результаты моделирования работы данной итоговом изображении показаны на рис. 4.

Структура блок-схемы алгоритма подобна логической операции.

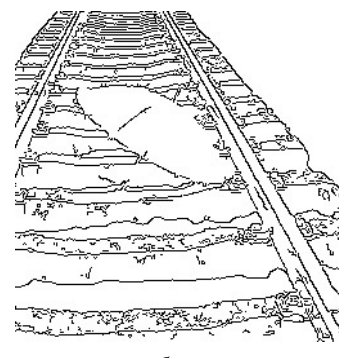
Перечисленные логические операции могут быть объединены и применены последовательно с целью достижения наиточнейших результатов в процессе сегментации и обработки изображений, например:



Исходное изображение



а



б

Рис. 5. Выделение контуров операторами: а – Собеля; б – Кэнни

Fig. 5. Selection of contours by operators: а – Sobol; б – Canny

– логическое ИЛИ и логическое НЕ. Применение логического ИЛИ для объединения двух изображений и последующее использование логического НЕ для удаления лишних объектов или шумов может быть полезно, когда на двух изображениях есть перекрытие объектов и нужно объединить их, удалив при этом ненужные дубликаты или шумы;

– исключающее ИЛИ и логическое НЕ. Применение исключающего ИЛИ совместно с операцией логического НЕ для выделения общих фрагментов на двух изображениях и удаления лишних элементов используется для выделения пересечения или общих элементов с последующим удалением лишних дубликатов или шумов;

– логическое ИЛИ и исключающее ИЛИ. Использование исключающего ИЛИ после логического ИЛИ необходимо для выделения уникальных фрагментов, которые есть только на одном из изображений.

Результаты моделирования алгоритмов улучшения сегментации. В ходе исследования предложенных алгоритмов на различных изображениях, связанных с классификацией объектов железнодорожной инфраструктуры, описанных в [5], был выполнен процесс преобразования цветных изображений в градации серого с последующим произведением сегментации. Используемые методы распознавания подтверждают, что предложенные алгоритмы демонстрируют высокую эффективность и успешно справляются с задачами распознавания объектов на железнодорожных дорогах. На рис. 5 представлены изображения, полученные выделением контуров с использованием операторов Собеля и Кэнни после предварительной сегментации.

Выводы. Результаты проведенного исследования приводят к следующим выводам:

1. Для эффективного применения логических операций к изображениям железнодорожного транспорта требуется предварительная обработка изображений. Этот этап включает формирование диапазона яркости в RGB-палитре и последующую бинаризацию для определения порогового значения, разделяющего пиксели на объекты и фон.

2. Представленные логические операции значительно улучшают процесс сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры. Учитывая их форму, размер и структуру, они позволяют удалять шумы, разрывать связи между объектами и удалять мелкие элементы на изображении, тем самым повышая точность выделения и распознавания.

3. Комбинированное применение предложенных логических операций имеет важную роль в достижении наилучших результатов и повышении точности распознавания объектов на изображениях железнодорожной инфраструктуры, так как позволяет более эффективно и гибко адаптироваться к различным условиям и особенностям данных.

Заключение. В заключение исследования следует подчеркнуть, что разработанные алгоритмы представляют собой эффективные инструменты для анализа железнодорожной инфраструктуры на изображениях. Проведенные эксперименты подтверждают, что эти алгоритмы позволяют повысить точность распознавания железнодорожных объектов в среднем на 18 % по сравнению с широко известным методом активных контуров, примененным к вейвлет-преобразованию Хаара [6], и на 14 % по сравнению с алгоритмами, основанными на выделении ключевых точек [7].

Высокая скорость работы и простота реализации данных алгоритмов делают их эффективными для быстрой сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры на изображениях.

Важная особенность этих алгоритмов состоит в способности эффективно удалять шумы с изображений, что существенно повышает качество сегментации и улучшает общие результаты обработки.

Эти преимущества делают разработанные алгоритмы привлекательными для таких практических приложений, как обнаружение и контроль

железнодорожной инфраструктуры с целью обеспечения безопасности. Кроме того, возможность использования этих алгоритмов в области компьютерного зрения и смежных областях предоставляет значительный потенциал для дальнейшего развития и применения в широком спектре инженерных и технических задач.

Список литературы

1. Фахми Ш. С., Королев О. А., Бородина О. В. Новый алгоритм обнаружения и выделения морских объектов от фона в системах наблюдения // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 3-1 (57). С. 256–264. doi: 10.37220/MIT.2022.57.3.033.
2. Autonomous ship navigation methods: a review / A. Noel, K. Shreyanka, K. G. S. Kumar, Bm Shameem, B. Akshar // Proc. of ICMET. 2019. P. 87–90. doi: 10.24868/icmet.oman.2019.028.
3. Felski A., Zwolak K. The ocean-going autonomous ship-challenges and threats // J. of Marine Sci. and Engin. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 41. doi: 10.3390/jmse8010041.

4. Гонсалес Р., Вудс З. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
5. Новый алгоритм обнаружения дорожных полос / Ш. С. Фахми, Ю. М. Соколов, М. М. Еид, Н. Ю. Пышкина // Информационные технологии. 2022. Т. 28, № 5. С. 270–273. doi: 10.17587/it.28.270-273.
6. Viola P., Jones M. J. Robust real-time face detection // Intern. J. of Comp. Vision. 2004. No. 57. P. 137–154.
7. Гаганов В. Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях // Компьютерная графика и мультимедиа. 2009. № 7(1). URL: <https://masters.donntu.ru/2012/iii/chigarev/library/article3.htm> (дата обращения 07.07.2023).

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. Fahmi Sh. S., Korolev O. A., Borodina O. V. A new algorithm for detecting and separating marine objects from the background in surveillance systems // Marine Intelligent Technologies. 2022. № 3-1 (57). S. 256–264. doi: 10.37220/MIT.2022.57.3.033. (In Russ.).
2. Autonomous ship navigation methods: a review / A. Noel, K. Shreyanka, K. G. S. Kumar, Bm Shameem, B. Akshar // Proc. of ICMET. 2019. P. 87–90. doi: 10.24868/icmet.oman.2019.028.
3. Felski A., Zwolak K. The ocean-going autonomous ship-challenges and threats // J. of Marine Sci. and Engin. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 41. doi: 10.3390/jmse8010041.

4. Gonzalez R., Woods R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. M.: Tekhnosfera, 2005. 1072 s. (In Russ.).
5. Novyi algoritm obnaruzhenija dorozhnyh polos / Sh. S. Fahmi, Yu. M. Sokolov, M. M. Eid, N. Yu. Pyshkina // Information technologies. 2022. T. 28, № 5. S. 270–273. doi: 10.17587/it.28.270-273. (In Russ.).
6. Viola P., Jones M. J. Robust real-time face detection // Intern. J. of Comp. Vision. 2004. No. 57. P. 137–154.
7. Gaganov V. Invariantnye algoritmy sopostavlenija tochechnyh osobennostej na izobrazheniyah // Komp'yuternaja grafika i mul'timedia. 2009. № 7(1). URL: <https://masters.donntu.ru/2012/iii/chigarev/library/artic1e3.htm> (data obraschenija 07.07.2023). (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 T. 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 23.11.2023.

Submitted 11.08.2023; accepted 17.08.2023; published online 23.11.2023.
