

УДК 004.934.5

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог

¹ Лазарев Д.А., ² Фуников А.Д., ² Болгова Е.В., ² Черноморец А.А., ² Фефелов О.С.

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия
funikov@bsuedu.ru

Аннотация. В данной работе изложены результаты проведения вычислительных экспериментов по применению алгоритмов сегментации к изображениям дорожного покрытия. В ходе проведения исследования показано применение алгоритмов сегментации, таких как алгоритм пороговой сегментации Оцу, алгоритм К-средних, алгоритм сдвига среднего, алгоритм водораздела и алгоритм активного контура в двух случаях: входное изображение предварительно не изменялось и было обработано фильтром Гаусса. Результаты вычислительных экспериментов проиллюстрировали, что в качестве алгоритма поиска двух классов на входном изображении (Negative – травяное покрытие, Positive – дорожное покрытие) целесообразно применять алгоритм сдвига среднего, который показал наибольшую среднюю точность работы алгоритма 0,96.

Ключевые слова: изображение дорожного покрытия, сегментация, фильтр Гаусса, алгоритм К-средних, алгоритм сдвига среднего, точность, полнота

Для цитирования: Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С. 2025. Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог. *Экономика. Информатика*, 52(1): 215–226. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads

¹ Dmitry A. Lazarev, ² Andrey D. Funikov, ² Evgeniya V. Bolgova,

² Andrey A. Chernomorets, ² Oleg S. Fefelov

¹ Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova
46 Kostyukova St, Belgorod 308012, Russia

² Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
funikov@bsuedu.ru

Abstract. This paper presents the results of computational experiments which allow investigating the application of segmentation algorithms for processing the road surface images. The conducted research shows the results of using the segmentation algorithms such as the Otsu threshold segmentation algorithm, the K-means algorithm, the mean shift algorithm, the watershed algorithm, and the active contour algorithm. The paper provides a brief analysis of these algorithms. The results of computational experiments were received for two cases. For the first case, the input image was not previously modified, and for the second, it was processed with a Gaussian filter. The results of computational experiments have illustrated that it is advisable to use the average shift algorithm as an algorithm for searching for two classes in the input image (Negative – grass surface, Positive – road surface). The average shift algorithm showed the highest average accuracy of 0.92. The K-means algorithm also showed fairly good results with average accuracy of 0.88.

Keywords: road surface image, segmentation, Gaussian filter, K-means method, mean shift algorithm, precision, recall

© Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С., 2025

For citation: Lazarev D.A., Funikov A.D., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Fefelov O.S. 2025. On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads. *Economics. Information technologies*, 52(1): 215–226 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

Введение

Одним из важнейших компонентов транспортной инфраструктуры любой страны является система автомобильных дорог. Высокий темп роста протяжённости автомобильных дорог обоснован необходимостью транспортного обеспечения большого количества населённых пунктов. Для обеспечения безопасности движения как в городской среде, так и между населёнными пунктами требуется поддерживать дорожное покрытие в состоянии, пригодном для перемещения транспорта. Различные виды повреждений дорожного покрытия не только затрудняют перемещение транспорта, но и могут становиться причинами дорожно-транспортных происшествий. Для поддержания дорог в пригодном к эксплуатации состоянии необходимо своевременно обнаруживать факты разрушений дорожного покрытия, что становится сложной задачей в условиях, когда системы автомобильных дорог растягиваются на многие тысячи километров [Оценка моделей ML/DL...].

Для решения задачи обработки информации о состоянии дорожного покрытия эффективным подходом является компьютерное зрение, входными данными для которого являются соответствующие цифровые изображения. Изображение дорожного покрытия может быть получено различными способами (фото со спутника, съёмка при помощи БПЛА, съёмка при помощи дорожных лабораторий). Задача компьютерной обработки изображений дорожного покрытия заключается в том, что исходные данные являются однотонными, то есть они не имеют существенно различных областей фона или объекта, которые подлежат сегментации. Чтобы снизить время решения задачи по идентификации объектов (повреждений) в таких изображениях, необходима предварительная обработка данных, при которой из исходного изображения будет извлечена избыточная информация. Под избыточной информацией понимается часть изображения, которая не является дорожным покрытием [Lenin, Rao, Rajesh, 2021]. Ввиду того, что дорожное покрытие имеет различную ширину, на исходные данные часто попадают такие элементы, как части обочин, тротуары и травяное покрытие [Журавлев, Аксенов, 2023]. В рамках данного исследования проведены вычислительные эксперименты с применением различных алгоритмов обработки изображений для сегментации исходного изображения на два класса – дорожное покрытие и иное покрытие, не относящееся к дорожному [Соболь и др., 2019; Васильев, Сеничев, 2020].

Анализ алгоритмов сегментации изображений

Одной из изучаемых задач в компьютерном зрении является задача сегментации изображений. Сегментация – результат разделения изображения на отдельные фрагменты, которые обладают общими свойствами. Основным элементом для компьютерной обработки изображения является пиксель, поэтому свойства для сегментации изображений, как правило, определяются цветом пикселя [Дубенко и др., 2021].

Рассмотрим некоторые алгоритмы сегментации изображений.

Алгоритм сегментации изображения по алгоритму Оцу. Данный алгоритм относится к алгоритмам пороговой обработки изображения, поэтому для вычислений в нём используется порог – признак, при помощи которого область изображения делится на классы. Расчёт порога производится таким образом, чтобы внутриклассовая дисперсия была минимальной. Процесс порогового разделения заключается в сопоставлении показателя яркости каждого пикселя изображения в соответствии с заданным значением порога. Алгоритм Оцу предполагает построение гистограммы изображения для расчёта порога. В данной гистограмме

N приравнивается к количеству пикселей, значение i – уровень яркости, а p_i считается количеством пикселей с уровнем яркости i . Достоинствами алгоритма Оцу является простота реализации и скорость вычислений. Недостатком алгоритма можно считать его чувствительность к неравномерной яркости изображения. Однако в настоящее время проблема учета в алгоритме Оцу проблемы неравномерной яркости решается введением нескольких локальных порогов вместо одного глобального [Лукашик, 2022].

В обработке изображений часто применяется алгоритм К-средних, в котором необходимо задавать априори количество искомых на изображении кластеров (сегментов). Для обработки изображения алгоритмом К-средних необходимо проделать следующие действия:

- 1) выбирается значение k (количество искомых сегментов);
- 2) произвольно назначаются точки данных для всех кластеров;
- 3) вычисляется центр кластеров;
- 4) вычисляется расстояние от точек данных до центра каждого кластера;
- 5) в зависимости от расстояния каждый пиксель изображения присваивается тому или иному кластеру;
- 6) повторно вычисляются центры кластеров;
- 7) шаги 4, 5 и 6 алгоритма повторяются, пока точки данных не перестанут изменять кластеры или пока не достигнуто заданное количество итераций.

Алгоритм сдвига среднего (MeanShift). MeanShift – алгоритм кластеризации данных, который можно использовать для поиска сегментов на изображении. Алгоритм основывается на сходстве в пространстве цветовых характеристик изображения. Алгоритм сдвига среднего имеет ряд преимуществ, таких как автоматическое определение количества искомых кластеров K , возможность работы с кластерами различной структуры, операция сдвиг среднего, которая делает алгоритм устойчивым к выбросам. Также имеется ряд недостатков, таких как высокая вычислительная сложность и зависимость от различных параметров, например, размер области для вычисления сдвига [Айзенберг, 1997].

Сегментация на основе активного контура. Данный алгоритм позволяет выделить сегмент изображения путём создания замкнутой кривой на некоторой области изображения. Активный контур состоит из двух основных компонентов: модели формы и модели энергии. Модель формы представляет собой математическое описание формы объекта, который необходимо выделить. Модель энергии определяет, какие точки на изображении должны быть притянуты или отталкиваться от контура, чтобы определить его конечную форму. Основными этапами работы алгоритма активного контура являются: выбор начального положения на изображении, вычисление энергии контура (состоит из двух частей – внутренней и внешней энергии). Преимуществами алгоритма являются способность выделять объекты со сложными формами и текстурами, а также гибкость алгоритма к различным контурам. К недостаткам можно отнести сложность подбора параметров алгоритма, которые влияют на результат сегментации, и невысокую точность выделения мелких деталей на изображении [Лукашик, 2022].

Алгоритм водораздела. При использовании алгоритма водоразделов для сегментации полутоновое изображение представляется в виде поверхностей уровня, на котором значения пикселей являются высотами. Для построения так называемого «водораздела» используется алгоритм преобразования расстояния, которое заключается в вычислении расстояния до ближайшего пикселя с ненулевым расстоянием в преобразованном бинарном изображении [Алтынбай, Кусаинова, 2024].

Группа алгоритмов сегментации на основе движения. При применении данных алгоритмов поиск сегментов в области изображения производится на основе цветовых и яркостных характеристик пикселей, однако зачастую такой информации недостаточно. В этом случае происходит обработка нескольких кадров (обработка последовательности кадров в видеофрагменте). Такой подход требует большего количества вычислительных

ресурсов, однако наличие нескольких кадров позволяет значительно увеличить качество сегментации фрагментов на изображении [Алтынбай, Кусаинова, 2024].

Оценку работоспособности рассматриваемых алгоритмов обработки изображений предлагается выполнять при помощи специальных метрик: precision и recall [Оценка моделей ML/DL...].

Данные метрики в работе вычисляются для случая классификации изображения на два сегмента – обочина и дорожное покрытие (бинарная классификация). В случае бинарной классификации применим следующие параметры для расчёта метрик работоспособности (табл. 1):

–TP (TruePositive) – объект представляет собой дорожное покрытие и алгоритм его идентифицирует как дорожное покрытие (представляет верно);

–FP (FalsePositive) – объект представляет собой травяное покрытие, алгоритм его идентифицирует как дорожное покрытие (ошибается);

–TN (TrueNegative) – объект представляет собой травяное покрытие и алгоритм его идентифицирует как травяное покрытие (представляет верно);

–FN (FalseNegative) – объект представляет собой дорожное покрытие, алгоритм его идентифицирует как травяное покрытие (ошибается).

Таблица 1
Table 1

Параметры расчёта метрик работоспособности алгоритма
Parameters for calculating the algorithm performance metrics

		Ответ алгоритма	
		0	1
Истина	0	True Negative	False Positive
	1	False Negative	True Positive

Метрика Precision определяется следующим образом [Оценка моделей ML/DL...]:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}. \quad (1)$$

Метрика Precision интерпретируется как доля объектов, которые алгоритм отнёс к Positive и которые действительно являются Positive.

Метрика Recall рассчитывается по формуле (2):

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (2)$$

Метрика Recall характеризуется как полнота работы алгоритма и показывает способность алгоритма обнаруживать класс Positive в целом.

Результаты вычислительных экспериментов

Задачей проведенных вычислительных экспериментов является оценивание их работоспособности для сегментации изображений дорожного покрытия. Для проведения вычислительных экспериментов выбрано 3 изображения дорожного покрытия в различных условиях (рисунки 1а, 2а, 3а) и предварительно оператором проведена разметка изображений. Целью разметки изображений является задание оператором тестовых областей на изображении, соответствующих обочине и дорожному покрытию.

На рисунках 1–3 приведены следующие результаты:

- (а) – исходное изображение;
- (б) – изображение, обработанное фильтром Гаусса;
- (в) – разметка оператором входного изображения;
- (г) – сегментация алгоритмом ОЦУ;

- (д) – сегментация алгоритмом k-средних;
- (е) – сегментация алгоритмом MeanShift;
- (ж) – сегментация алгоритмом активных контуров;
- (з) – сегментация алгоритмом водораздела.

На рис. 1 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1.

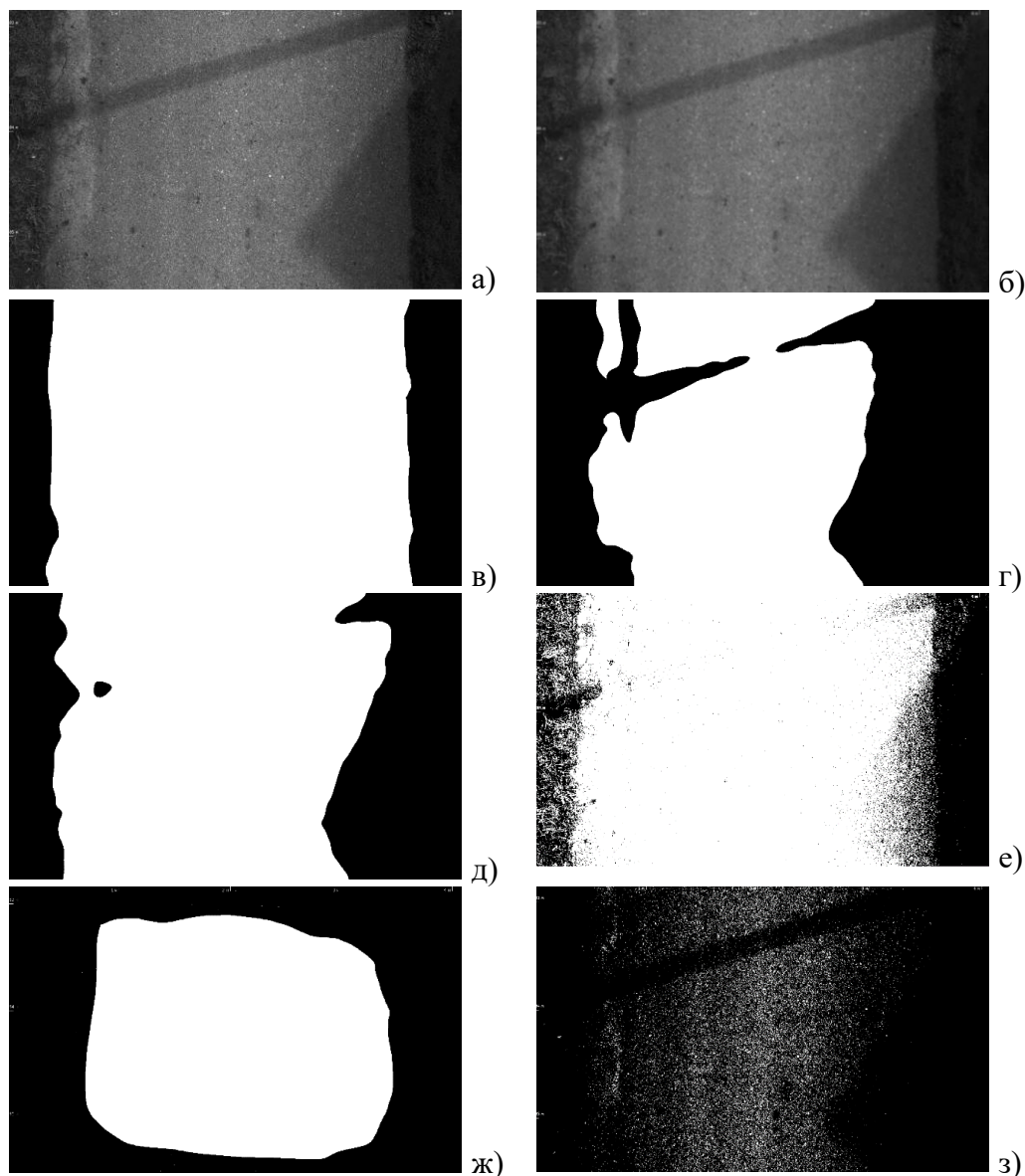


Рис. 1. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1
Fig. 1. Results of computational experiments for image No 1

Для изображения № 1 результаты вычислительных экспериментов представлены в табл. 2. В табл. 2 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусаинова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Для изображения № 2 результаты вычислительного эксперимента представлены в табл. 3. В табл. 3 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусаинова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Таблица 2
Table 2

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1
Results of computational experiments for image No 1

Применяемый алгоритм	Параметры	Исходное изображение	Применён фильтр Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,63	0,65
	Recall	0,98	1
Алгоритм K-means	Precision	0,69	0,82
	Recall	0,99	1
Алгоритм MeanShift	Precision	0,94	0,94
	Recall	0,85	0,85
Алгоритм активных контуров	Precision	0,64	0,64
	Recall	1	1
Алгоритм водораздела	Precision	0,4	0,4
	Recall	1	1

На рис. 2 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2.

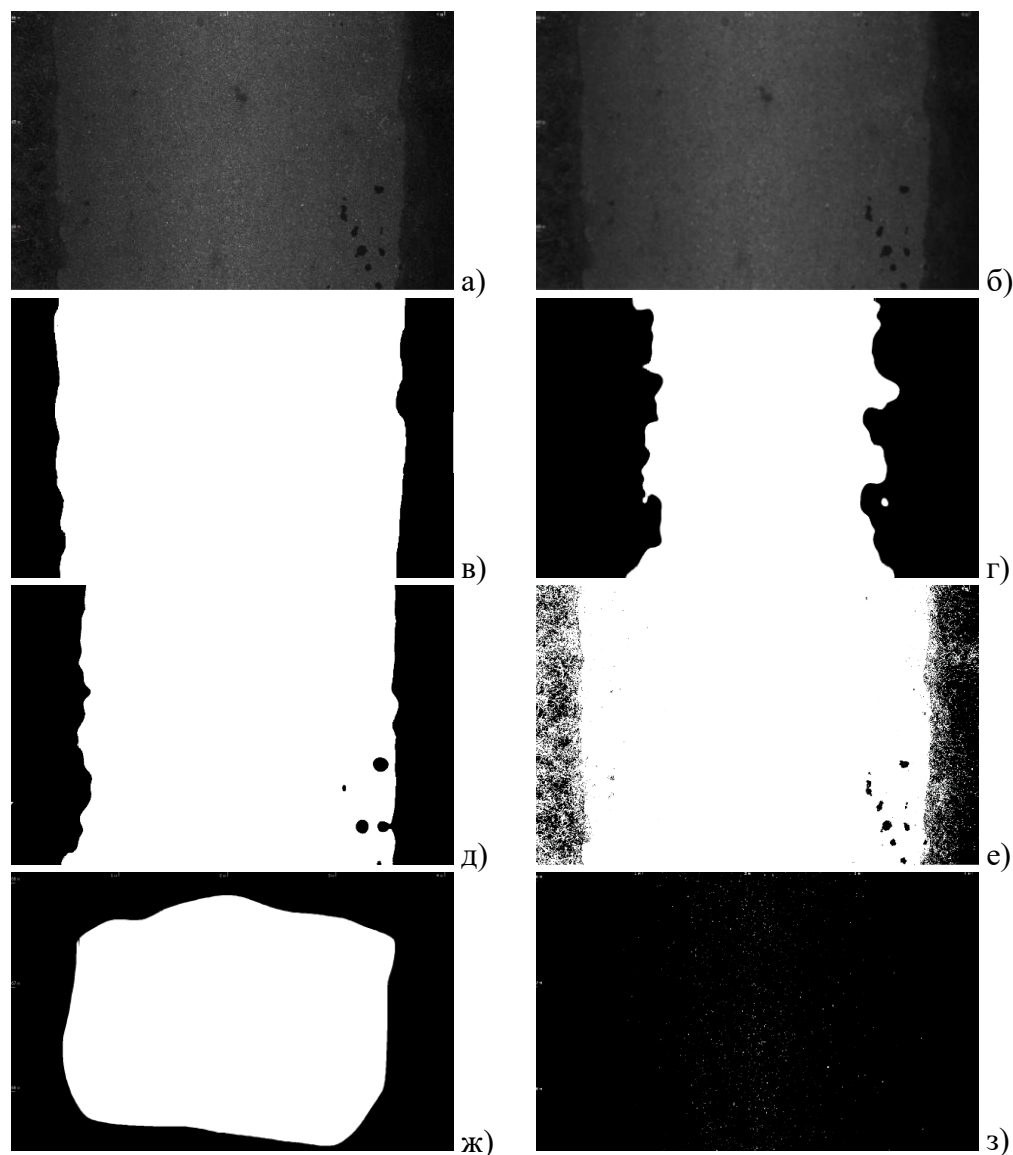


Рис. 2. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2
Fig. 2. Results of computational experiments for image No 2

Таблица 3
Table 3

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2
Results of computational experiments for image No 2

Применяемый алгоритм	Параметры	Без фильтра Гаусса	С фильтром Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,69	0,82
	Recall	0,99	1
Алгоритм К-means	Precision	0,72	0,91
	Recall	0,99	1
Алгоритм MeanShift	Precision	0,96	0,96
	Recall	0,72	0,72
Алгоритм активных контуров	Precision	0,72	0,72
	Recall	1	1
Алгоритм водораздела	Precision	0,02	0,02
	Recall	1	1

На рис. 3 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3.

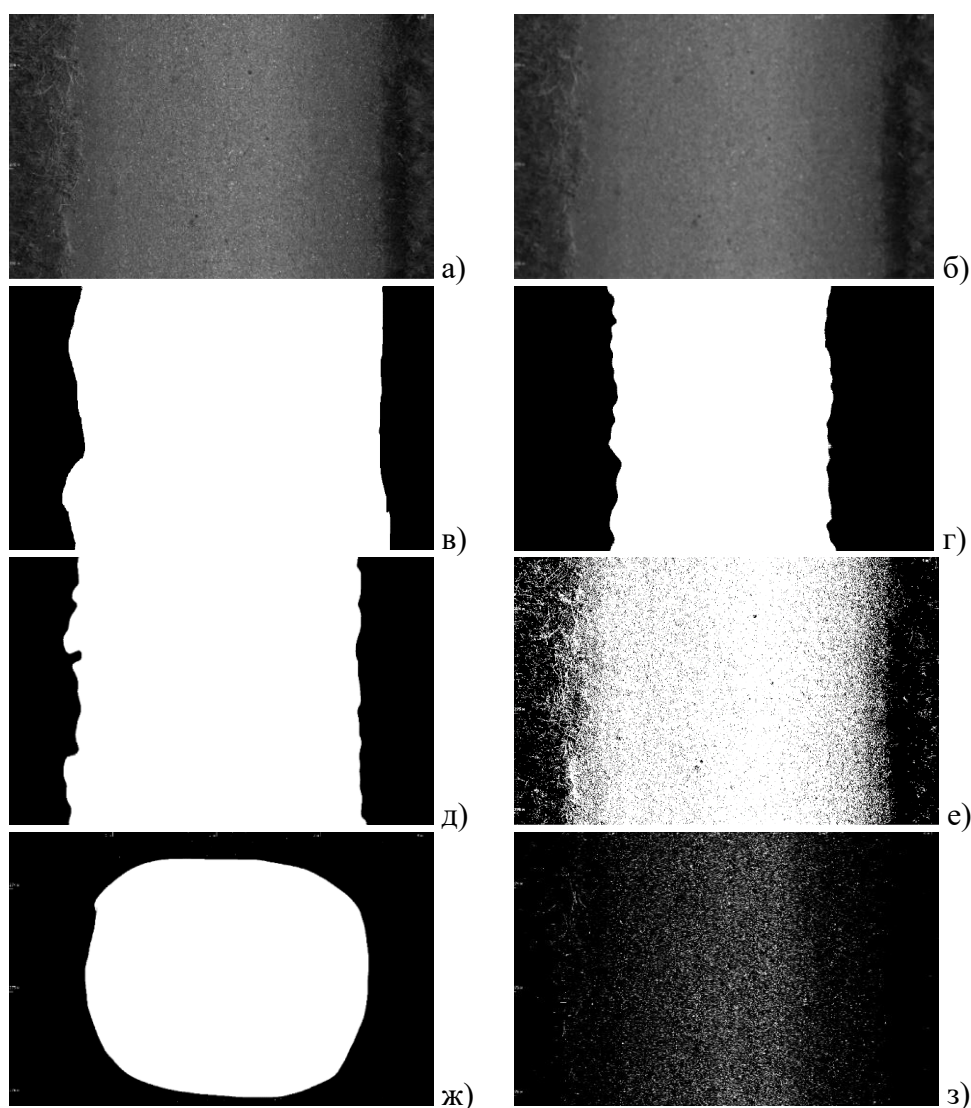


Рис. 3. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3
Fig. 3. Results of computational experiments for image No 3

Для изображения № 3 результаты вычислительных экспериментов представлены в табл. 4. В табл. 4 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусайнова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Таблица 4

Table 4

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3
Results of computational experiments for image No 3

Применяемый алгоритм	Параметры	Исходное изображение	Применён фильтр Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,66	0,7
	Recall	0,93	1
Алгоритм K-means	Precision	0,69	0,92
	Recall	0,92	0,98
Алгоритм MeanShift	Precision	0,88	0,88
	Recall	0,87	0,87
Алгоритм активных контуров	Precision	0,69	0,69
	Recall	1.0	1.0
Алгоритм водораздела	Precision	0,45	0,45
	Recall	0,94	0,94

На рис. 4 представлена гистограмма, иллюстрирующая зависимость значений Recall и Precision от применения анализируемых алгоритмов для сегментации исходных изображений.

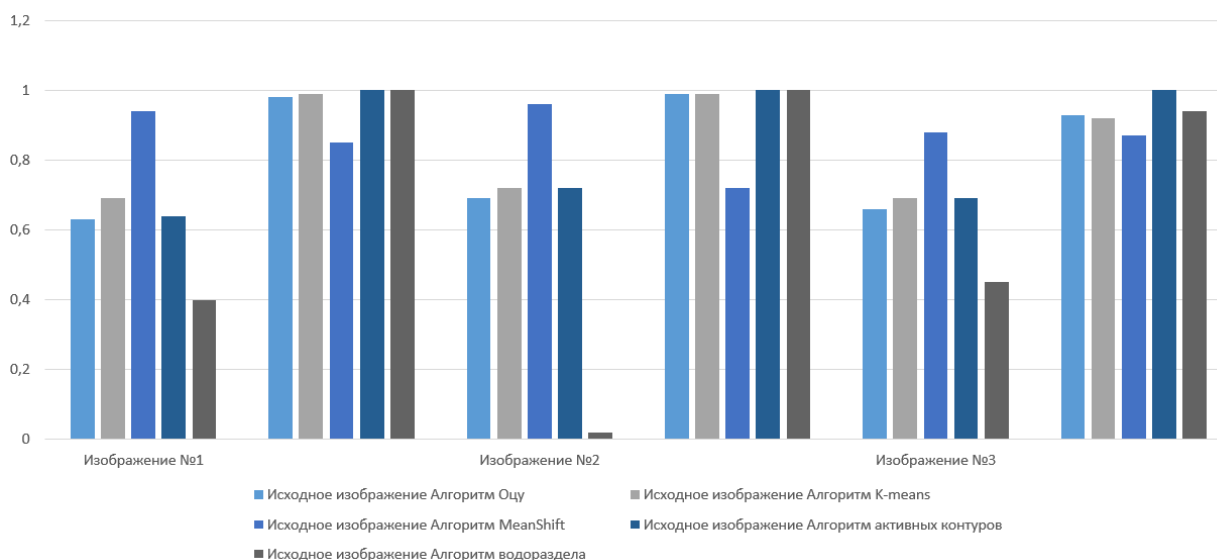


Рис. 4. Сравнение метрик Precision и Recall при обработке исходного изображения различными алгоритмами сегментации

Fig. 4. Comparison of Precision and Recall metrics when processing the original image using different segmentation algorithms

На рис. 5 аналогичная интерпретация результатов вычислительных экспериментов представлена для случая предварительной обработки входного изображения фильтром Гаусса.

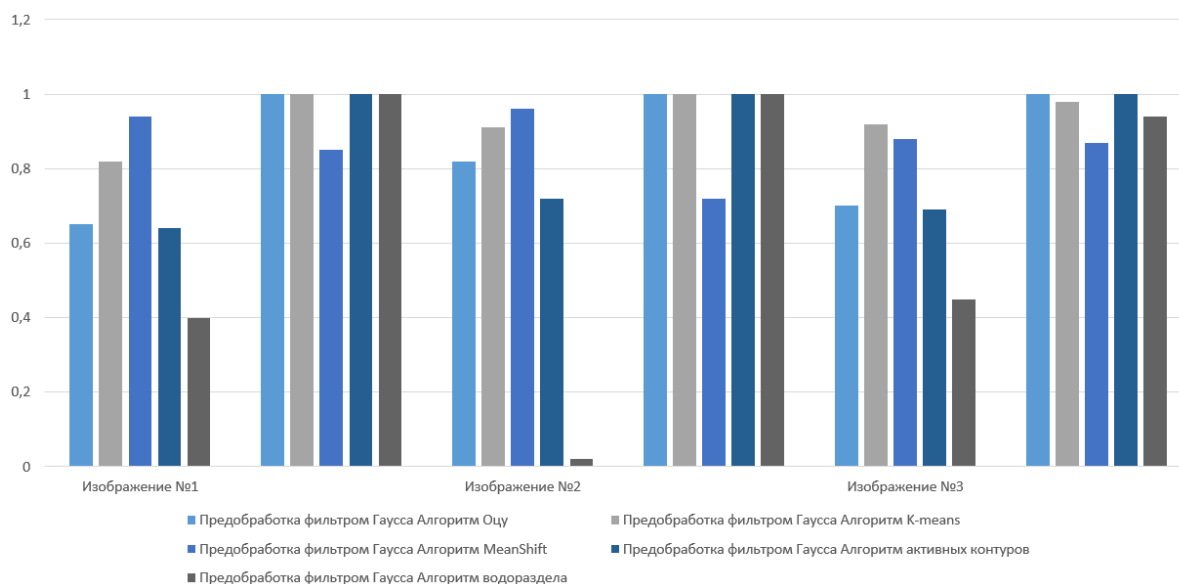


Рис. 5. Сравнение метрик Precision и Recall при обработке размытого изображения различными алгоритмами сегментации

Fig. 5. Comparison of Precision and Recall metrics when processing a blurred image using different segmentation algorithms

Результаты, приведённые в табл. 2–4 и на рис. 4–5, демонстрируют, что при сегментации на изображениях дорожного покрытия метод сдвига среднего имеет некоторые преимущества.

Заключение и выводы

Результаты вычислительных экспериментов продемонстрировали, что алгоритм сдвига среднего (MeanShift) позволяет выделить искомые области как при обработке исходного изображения, так и в условиях предварительного размытия изображения. Для данного алгоритма средний показатель Precision по трём изображениям составляет 0,92. При этом наибольшее полученное значение показателя (0,96) соответствует второму изображению, на котором чистое асфальтовое покрытие полностью закрыто тенью (лесополоса). Также достаточно высокие результаты показывает алгоритм К-средних, который в среднем по трём изображениям имеет показатель Precision равный 0,88. При этом для третьего изображения значение Precision при применении алгоритма К-средних выше, чем для алгоритма сдвига среднего (0,92 и 0,88 соответственно).

Таким образом, результаты проведенных вычислительных экспериментов продемонстрировали, что для сегментации изображений автомобильной дороги в большинстве случаев целесообразно применять алгоритм сдвига среднего.

Список литературы

- Айзенберг И.Н. 1997. Некоторые алгоритмы обработки изображений и их реализация на нейросетях. *Компьютерная оптика*, 17: 134–142.
- Алтынбай А.Н., Кусаинова У.Б. 2024. Эффективная цифровая обработка изображений в информационных системах. *Вестник науки*, 6(75): 1372–1376.
- Брынь М.Я., Баширова Д.Р., Багишян А.Г. 2021. Сравнительная оценка мобильного лазерного сканирования, аэрофотосъемки с беспилотной авиационной системы и съемки с комплексной дорожной лаборатории при выполнении диагностики автомобильных дорог. *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 18(2): 211–221.
- Васильев П.В., Сеничев А.В. 2020. Применение нейросетевых технологий в задаче контроля поверхностных дефектов. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*, 205(1): 33–40.

- Гизатуллин З.М., Ляшева С. А., Морозов О.Г., Шлеймович М.П. 2020. Метод обнаружения контуров на основе весовой модели изображения. *Компьютерная оптика*, 3(44): 393–400.
- Дубенко Ю.В., Дышкант Е.Е., Тимченко Н.Н., Рудешко Н.А. 2021. Метод реконструкции трехмерных сцен, основанный на применении сверточных нейронных сетей, фильтрации по дистанции и с помощью «Октодерева». *Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки*, 4: 43–54. doi:10.21685/2072-3059-2021-4-4
- Дудко И.С., Ефимов А.И., Логинов А.А., Ломтева О.А., Муратов Е.Р. 2015. Автоматизация исследования и отладки алгоритмов и программ обработки изображений. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 9: 87–95.
- Журавлев А.А., Аксенов К.А. 2023. Повышение качества изображений дорожного покрытия на основе подходов морфологической обработки. *Инженерный вестник Дона*, 7(103): 404–413.
- Катаев М.Ю., Карташов Е.Ю., Авдеев В.Д. 2023. Методика обнаружения дефектов дорог с использованием изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов. *Компьютерная оптика*, 3(47): 464–473. doi:10.18287/2412-6179-СО-1209
- Лукашик Д.В. 2022. Анализ современных методов сегментации изображений. *Экономика и качество систем связи*, 2(24): 57–65.
- Мельникова И.С., Дайнеко К.Н. 2016. Выявление дефектов дорожных асфальтобетонных и цементобетонных покрытий тепловизионным методом и автоматизированная обработка результатов контроля. *Вестник Белорусско-Российского университета*, 3(52): 136–145.
- Нгуен Тху Хыонг, Нгуен Тхе Лонг. 2016. Алгоритмическое и программное обеспечение автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия с помощью метода разреза графов и алгоритма случайных лесов. *iPolytech Journal*, 10 (117): 111–118.
- Оценка моделей ML/DL: матрица ошибок, Accuracy, Precision и Recall. URL: <https://pythonru.com/baza-znaniy/metriki-accuracy-precision-i-recall> (дата обращения: 12.12.2024).
- Соболев Б.В., Соловьев А.Н., Васильев П.В., Подколзина Л.А. 2019. Модель глубокой сверточной нейронной сети в задаче сегментации трещин на изображениях асфальта. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*, 1(19): 63–73.
- Чочиа П.А. 2014. Трехмерные и двумерные изображения: модели, алгоритмы и области анализа. *International Journal of Open Information Technologies*, 11(2): 1–9.
- Abd Mukti S.N., Tahar K.N. 2022. Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 3(22): 459–471.
- Lenin Kumar Reddy S., Rao C.V., Rajesh Kumar P. 2021. Road feature extraction from LANDSAT-8 and RESOURCESAT-2 images. *RJES*, 3(21): 6.

References

- Aizenberg I.N. 1997. Nekotorye algoritmy obrabotki izobrazhenij i ih realizaciya na nejrosetyah [Some image processing algorithms and their implementation on neural networks]. *Komp'yuternaya optika*, 17: 134–142.
- Altynbay A.N., Kusainova U.B. 2024. Effektivnaya cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah [Efficient digital image processing in information systems]. *Vestnik nauki*, 6 (75): 1372–1376.
- Bryn M.Ya., Bashirova D.R., Bagishyan A.G. 2021. Sravnitel'naya ocenka mobil'nogo lazernogo skanirovaniya, aerofotos"emki s bespilotnoj aviacionnoj sistemy i s"emki s kompleksnoj dorozhnoj laboratorii pri vypolnenii diagnostiki avtomobil'nyh dorog [Comparative evaluation of mobile laser scanning, aerial photography from an unmanned aerial system and surveying from an integrated road laboratory when performing diagnostics of highways]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*, 18(2): 211–22.
- Vasiliev P.V., Senichev A.V. 2020. Primenenie nejrosetevykh tekhnologij v zadache kontrolya poverhnostnykh defektov [Application of neural network technologies in the problem of monitoring surface defects]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 205 (1): 33–40.
- Gizatullin Z.M., Lyasheva S.A., Morozov O.G., Shleimovich M.P. 2020. Metod obnaruzheniya konturov na osnove vesovoj modeli izobrazheniya [Contour detection method based on a weighted image model]. *Komp'yuternaya optika*, 3(44): 393–400.
- Dubenko Yu.V., Dyshkant E.E., Timchenko N.N., Rudeshko N.A. 2021. A method for reconstructing three-

dimensional scenes based on the use of convolutional neural networks, filtering by distance and using the "Octotree". *News of universities. Volga region. Technical sciences*, 4: 43–54 (in Russian). doi:10.21685/2072-3059-2021-4-4.

- Dudko I.S., Efimov A.I., Loginov A.A., Lomteva O.A., Muratov E.R. 2015. Avtomatizaciya issledovaniya i otladki algoritmov i programm obrabotki izobrazhenij [Automation of research and debugging of image processing algorithms and programs]. *Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 9: 87–95.
- Zhuravlev A.A., Aksenov K.A. 2023. Povyshenie kachestva izobrazhenij dorozhnogo pokrytiya na osnove podhodov morfologicheskoy obrabotki [Improving the quality of road surface images based on morphological processing approaches]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 7(103): 404–413.
- Kataev M.Yu., Kartashov E.Yu., Avdeenko V.D. 2023. Metodika obnaruzheniya defektov dorog s ispol'zovaniem izobrazhenij, poluchennyh s bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Methodology for detecting road defects using images obtained from unmanned aerial vehicles]. *Komp'yuternaya optika*, 3(47): 464–473. doi:10.18287/2412-6179-CO-1209
- Lukashik D.V. 2022. Analiz sovremennyh metodov segmentacii izobrazhenij [Analysis of modern methods of image segmentation]. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi*, 2 (24): 57–65.
- Melnikova I.S., Daineko K.N. 2016. Vyyavlenie defektov dorozhnyh asfal'tobetonnyh i cementobetonnyh pokrytij teplovizionnym metodom i avtomatizirovannaya obrabotka rezul'tatov kontrolya [Detection of defects of road asphalt concrete and cement concrete pavements by the thermal imaging method and automated processing of inspection results]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*, 3(52): 136–145.
- Nguyen Thu Huong, Nguyen The Long. 2016. An algorithm and software for pavement defect automatic detection and classification based on a graph cut method and a random forest algorithm. *iPolytech Journal*, 10(117): 111–118 (in Russian).
- Evaluation of ML/DL Models: Error Matrix, Accuracy, Precision, and Recall. URL: <https://pythonru.com/baza-znaniy/metriki-accuracy-precision-i-recall> (Accessed: 12.12.2024).
- Sobol B.V., Soloviev A.N., Vasiliev P.V., Podkolzina L.A. 2019. Model' glubokoj svertochnoj nejronnoj seti v zadache segmentacii treshchin na izobrazheniyah asfal'ta [Deep Convolutional Neural Network Model for Asphalt Crack Segmentation]. *Perspektivnye inzhenernye issledovaniya (Rostov-na-Donu)*, 1(19): 63–73.
- Chochia P.A. 2014. Trekhmernye i dvumernye izobrazheniya: modeli, algoritmy i oblasti analiza [Three-Dimensional and Two-Dimensional Images: Models, Algorithms, and Analysis Areas]. *Mezhdunarodnyj zhurnal otkrytyh informacionnyh tekhnologij*, 11(2): 1–9.
- Abd Mukti S.N., Tahar K.N. 2022. Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 3(22): 459–471.
- Lenin Kumar Reddy S., Rao C.V., Rajesh Kumar P. 2021. Road feature extraction from landsat-8 and resourcesat-2 images. *RJES*. 3 (21): 6.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 31.01.2025

Поступила после рецензирования 28.02.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 31, 2025

Revised February 28, 2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лазарев Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Lazarev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation and Organization of Motor Transport Traffic, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia



Фуников Андрей Дмитриевич, ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey D. Funikov, Assistant of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Фефелов Олег Сергеевич, ассистент кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Oleg S. Fefelov, Assistant of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia