

УДК 622:[628.9 + 004.932.2] © Я.В. Попинако✉, М.С. Никитенко, Д.Ю. Худоногов, П.В. Черкасов, С.А. Кизилов, 2024

Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии СО РАН (ФИЦ УУХ СО РАН),
650065, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: popinakoya@gmail.com

UDC 622:[628.9 + 004.932.2] © Ya.V. Popinako✉, M.S. Nikitenko, D.Yu. Khudonogov, P.V. Cherkasov, S.A. Kizilov, 2024

The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry
of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: popinakoya@gmail.com

Экспериментальные исследования зависимости влияния освещенности на качество распознавания лазерной линии машинным зрением*

Experimental researches of illumination dependence on qualitative light line shape detection with machine vision

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-115-171-179>

В статье рассмотрен подход к обнаружению геометрического соответствия заданному объекту системой машинного зрения. Основной целью исследования являлось изучение влияния освещенности на качество распознавания лазерной линии машинным зрением. Объектами исследования являлись видеоизображения системы машинного зрения, а предметом – параметры и методы их обработки. Разработана методика проведения эксперимента, представлены результаты распознавания различных генераторов лазерной линии в полевых условиях при изменяющемся уровне освещенности. Показана последовательность операций обработки видеосцены для наиболее точного обнаружения геометрического соответствия. Сделан вывод, что в задаче распознавания светового маркера, дополняющего видеосцену, при использовании фильтра Кэнни, пороговые значения яркости пикселей не влияют на фоновый шум, при использовании фильтра Лапласа, установка наименьшего значения порогового значения пикселей ведет к появлению разрывов распознаваемых линий, а боль-

ПОПИНАКО Я.В.

Инженер ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
Угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: popinakoya@gmail.com

НИКИТЕНКО М.С.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
Угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия

ХУДОНОГОВ Д.Ю.

Научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
Угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р (Соглашение от 28.09.2022 № 75-15-2022-1199).

ЧЕРКАСОВ П.В.

Инженер ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
Угля и углекислоты Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия

КИЗИЛОВ С.А.

Канд. техн. наук, научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
Угля и углекислоты Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия



шего значения – к появлению мелких объектов в регионе интереса. Полученные результаты в виде алгоритмов обработки видеосцены могут применяться при решении промышленных задач управления движением автономных транспортных средств.

Ключевые слова: автономное транспортное средство, система управления, машинное зрение, световой маркер, распознавание образов, алгоритмы управления, освещенность, функции математической морфологии, лазерная линия.

Для цитирования: Экспериментальные исследования зависимости влияния освещенности на качество распознавания лазерной линии машинным зрением / Я.В. Попинако, М.С. Никитенко, Д.Ю. Худоногов и др. // Уголь. 2024;(115):171-179. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-171-179.

Abstract

The article considers an approach to shape detection for a given object with machine vision. The main purpose of the study was to estimate the illumination effect on the light line marker quality recognition with machine vision. The objects of the study were machine vision images, and the subject was the parameters and methods of their processing. A method of conducting the experiment has been developed, and the results of recognizing various laser line generators in the field at different illumination values are presented. The sequence of video scene processing operations for the most accurate detection of shape detection is shown. It is concluded that in the issue of recognizing a line light marker complementing the video scene, when using the Canny filter, pixel brightness thresholds do not affect background noise, when using the Laplace filter, setting the lowest pixel threshold value leads to the appearance of breaks in detected lines, and a higher value leads to the appearance of small objects in the region of interest. The results obtained in the form of video scene processing algorithms can be used to solve industrial autonomous vehicles traffic control issue.

Keywords

Autonomous vehicle, control system, machine vision, light line projection, image recognition, control algorithm, illumination, mathematic morphology, laser line.

Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the event "Development of a control system for autonomous vehicles based on the projected trajectory of movement" (Agreement No. 075-15-2022-1199 dated September 28, 2022), which is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 No. 1144-r.

For citation

Popinako Ya.V., Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu., Cherkasov P.V., Kizilov S.A. Experimental researches of illumination dependence on qualitative light line shape detection with machine vision. *Ugol'*. 2024;(115):171-179. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-171-179.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритеты освоения технологий добычи угля без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных забоях на базе современной комплексной механизации, а также внедрение автоматизированных систем управления на базе цифровых технологий обозначены в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 г. [1].

В рамках выполнения основных и вспомогательных технологических процессов применение систем машинного зрения (СМЗ) предполагает обработку фото и видеозаписей, выделение зоны интереса и работу с ней в контексте поставленной технической задачи. Чем более высокая частота кадров либо больше количество объектов, подлежащих обработке и анализу, тем более производительное требуется аппаратное обеспечение для реализации технологии.

В то же время в промышленном, в том числе добывающем, секторе встречаются задачи с заранее ограниченной зоной интереса для технических систем, при которых применение многих подходов к обработке графической информации или пространственной ориентации избыточно.

Ранее исполнителями предложен подход к реализации и применению СМЗ, дополненной подсветкой лазерных световых маркеров. Подход предложен для решения нескольких научно-технических задач в горнодобывающей отрасли, в частности измерения производительности качающегося питателя, подающего уголь от выпускного окна секции механизированной крепи на конвейер в технологии отработки мощных пластов с выпуском на забойный конвейер [2], а также прототипирования системы обнаружения препятствий и анализа отклонений дорожного покрытия при движении автономного транспортного средства [3, 4]. В рамках обоих направлений, кроме решения прикладной задачи, научная часть работ была направлена на изучение подходов к снижению обрабатываемой графической информации в условиях недостаточной видимости или детерминированных условиях технологической площадки.

Освещенность является одним из ключевых параметров, влияющих на качество распознавания изображения СМЗ, в связи с чем основной целью исследования являлась разработка методики распознавания машинным зрением проекции лазерной линии при различных уровнях освещенности.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Техническая реализация разработанной методики заключалась в следующем. Изображение проекции линии на поверхности принималось камерой, оцифровывалось и передавалось в программу обработки. В цифровом виде оцифрованное изображение представляет собой двумерную матрицу ячейки (пикселя), которая несет информацию о цвете, значении яркости пикселя, координатах расположения. При этом в случае цветного изображения информация о цвете и яркости представлена тремя значениями для каждой цветовой составляющей – R, G, B или H, S, L. После передачи на ЭВМ изображение обрабатывалось функциями СМЗ, в результате чего могли быть изменены параметры цвета (в случае цветного изображения), а также измерены яркость пикселя (в случае изображения в оттенках серого) или яркости пикселей для каждой цветовой составляющей. Далее на основе анализа координат пикселей и их взаимного расположения устанавливалось геометрическое соответствие заданному объекту. В данном случае заданным объектом являлась линия, определяемая мини-

мальным расстоянием между двумя соседними пикселями. При этом в случае недостаточности значения параметров группы пикселей для установления геометрического соответствия применялись математические морфологические операции, позволяющие изменить параметры соседствующих пикселей до значений, обеспечивающих установление геометрического соответствия.

Задачами исследования являлось определение наиболее эффективных методов обработки видеосцены и геометрического распознавания проекции лазерной линии при различных уровнях освещенности, а также определение зависимости выбора методов достижения максимального геометрического распознавания для различных уровней освещенности.

Для проведения исследований были использованы генераторы лазерных линий, которые закреплялись под регулируемым углом на высоте 1 м над заснеженной поверхностью дороги, как показано на *рис. 1 а, б*. На одном уровне с генераторами линий была закреплена камера высокого разрешения Basler avA1600-50gm.

Линейные и угловые параметры установки следующие: H – высота расположения камеры и генератора линии над поверхностью, C – камера с закрепленными на ней излучателями, K – проекция лазерной линии на поверхность, P – точка направления оптической оси камеры на поверхность, L – расстояние между оптической осью камеры и проекцией лазерной линии, α_1 – регулируемый угол расположения камеры, α_2 – угол обзора камеры вертикальный, α_3 – угол обзора камеры горизонтальный.

Фиксация на одном уровне с генераторами линий обеспечивала наиболее точное получение изображения, в зависимости от угла наклона генератора линии менялась яркость проекции, что могло вести к затруднениям в обработке изображения. Генераторы линии были направлены на поверхность перед углом обзора камеры, изображения проекций линий светового маркера фиксировались камерой и передавались на ЭВМ. Измерение уровня освещенности производилось люксметром eЛайт 03 в лицензионном программном обеспечении для измерения уровня освещенности – Ecolight-AP 1.16.2. Для обработки изображения использовалась программная среда LabVIEW IMAQ. В соответствии с нормативной документацией [5] минимальная допустимая общая освещенность на открытых горных работах составляет 2 лк, такая величина принята за минимальный порог в проведении исследований.

Исследования зависимости влияния освещенности на распознавание машинным зрением геометрического соответствия лазерной линии проводились в различные временные периоды светового дня с интервалами около двух часов в условиях зимнего периода на участке дороги, покрытом укатанным снегом.

Обработка изображения функциями МЗ производилась в несколько этапов. Первым этапом являлось выделение прямоугольной области региона интереса (ROI) проекции лазерной линии, показанной на *рис. 1 в*, длина которой составляла 800 пикселей, а ширина – 140 пикселей. Такие размеры региона интереса были определены сери-

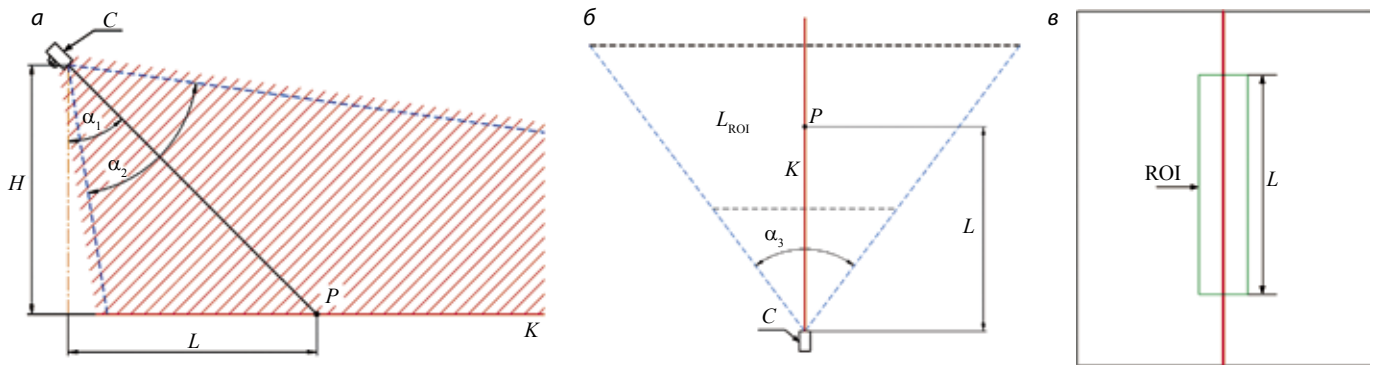


Рис. 1. Расположение камеры и генератора лазерной линии, параметры получаемой проекции: а – вид сбоку; б – вид сверху; в – регион интереса на проекции

Fig. 1. The location of the camera and the laser line generator, the parameters of the resulting projection: а – side view; б – top view; в – region of interest on the projection

ей лабораторных исследований как необходимые и достаточные для дальнейшего применения. В результате натурных измерений определено, что в условиях проведения исследований длина региона интереса L_{ROI} в 800 пикселей соответствует 2323 мм физической проекции линии на поверхность.

После определения региона интереса применялся фильтр обработки изображения, выбор которого зависит от нескольких параметров, таких как:

- однородность поверхности, на которую направлена линия;
- освещенность региона интереса;
- контрастность искомой линии с фоном.

К наиболее распространенным фильтрам обработки изображений относятся дифференциальный, Прюитта, Кэнни, Лапласа и некоторые другие [6, 7, 8, 9]. Выбор соответствующего фильтра позволяет выделить предполагаемые границы контура искомой линии и снизить уровень фонового шума. При условии высокой контрастности линии с фоном используется фильтр Прюитта [9, 10, 11]. Если на регионе интереса присутствуют объекты, геометрически представленные перпендикулярными искомому объекту линиями, используется фильтр Кэнни [12]. Такие объекты убираются последующим применением математических морфологических операций. Если присутствует большое количество фоновых шумов, представляющих мелкие точечные объекты, используется фильтр Лапласа [13], так как при последующей обработке можно отделить такие объекты от проекции линии. В табл. 1 приведены основные критерии выбора фильтра обработки изображения в зависимости от вышеуказанных параметров и внешних условий воздействия на проекцию.

После выбора фильтра и его применения производится определение пороговых значений яркости пикселей в зависимости от однородности линии на изображении. Пороговые значения регулируются по шкале со значениями в диапазоне от 0 до 255 бит, при которых определяется, от какого значения яркости пикселям в регионе интереса присваивается значение ноль [6]. При увеличении уровня освещенности увеличивается количество шума на

изображении, который необходимо удалять. В случае проведенных исследований, определено, что:

- при использовании фильтра Кэнни пороговые значения яркости пикселей не влияют на фоновый шум;
- при использовании фильтра Лапласа установка наименьшего порогового значения пикселей ведет к появлению разрывов линии, установка большего значения – к появлению мелких объектов в регионе интереса;
- фильтр Прюитта наименее подвержен выделению фонового шума, что соответствует низкому уровню пороговых значений.

В результате выбора пороговых значений яркости пикселей бинарное изображение подвергалось морфологической обработке для сохранения целостности геометрии искомой линии и удаления фоновых шумов. Использовались функции математической морфологии: дилатация и эрозия [7]. Для устранения небольших фоновых шумов использовались функции эрозии, при которой пикселям, соседствующим со структурным элементом, присваивалось значение нуля. С помощью комбинирования этих функций с различным структурным элементом возможны удаление фоновых шумов и сохранение формы искомого объекта [7]. Однако при использовании функции эрозии на искомой линии могут образоваться разрывы. Для их устранения используются функции, которые комбинируют эрозию с дилатацией. Дополнительно применяется операция замыкания, которая представляет собой эрозию, дополненную последующей дилатацией с использованием того же структурного элемента. Если на границах искомой линии присутствуют мелкие фоновые шумы в виде объектов, нарушающих однородность, используется функция замыкания, которая представляет дилатацию, дополненную последующей эрозией. Для дальнейшей работы с регионом интереса используется функция «Усреднение значений пикселей», которая использует эрозию на всех структурных элементах изображения до их среднего значения. Таким образом, формируется линия толщиной в один пиксель.

Функция машинного зрения «Обнаружение геометрического соответствия» работает с изображениями в оттенках серого, поэтому после обработки бинарного изобра-

**Критерии выбора фильтра обработки изображения
для обнаружения геометрического соответствия при различных внешних условиях**

Criteria for selecting an image filtering for shape detection under different external conditions

Фильтр обработки изображения	Условия
Фильтр Прюитта	– низкий уровень освещенности – высокая цветовая контрастность линии относительно фона – равномерная поверхность – допускаются фоновые шумы, не схожие по параметрам с искомой линией
Фильтр Кэнни	– низкий уровень освещенности – высокая цветовая контрастность линии относительно фона – равномерная поверхность с минимальными перепадами высот – допускаются фоновые шумы, перпендикулярные искомой линии
Дифференциальный фильтр	– средний уровень освещенности – средняя цветовая контрастность линии относительно фона – допускается неравномерность поверхности – допускаются фоновые шумы, не контрастные фону
Фильтр Лапласа	– высокий уровень освещенности; – допускается низкая цветовая контрастность линии относительно фона – фоновые шумы не должны превышать искомую линию по контрастности с фоном

жения используется математическая функция умножения значений яркости пикселей на 255, таким образом, преобразуется бинарное изображение в изображение в оттенках серого.

Задача обнаружения геометрического соответствия – определить присутствие заданного объекта на изображении и выделить его на видеосцене [14, 15, 16]. Линия проекции светового маркера проходит через все изображение, поэтому максимальная длина в соответствии с длиной региона интереса принята равной 800 пикселям.

Функция обнаружения геометрического соответствия работает с границей объектов в регионе интереса, поэтому в эталонном состоянии результат представлял собой две найденные линии – по правой и по левой границе искомого объекта, как показано на рис. 2.

Соотношение длины распознанной линии к длине линии региона интереса (см. формулу) было выражено в процентах, что позволило получить значения качественного показателя распознавания, обозначенного как $L\%_{ROI}$:

$$L\%_{ROI} = \frac{L \times 100}{L_{ROI}}$$

где: $L\%_{ROI}$ – качественный показатель распознавания прямой линии, L_{ROI} – длина региона интереса, L – длина распознанной системой машинного зрения линии, в пикселях.

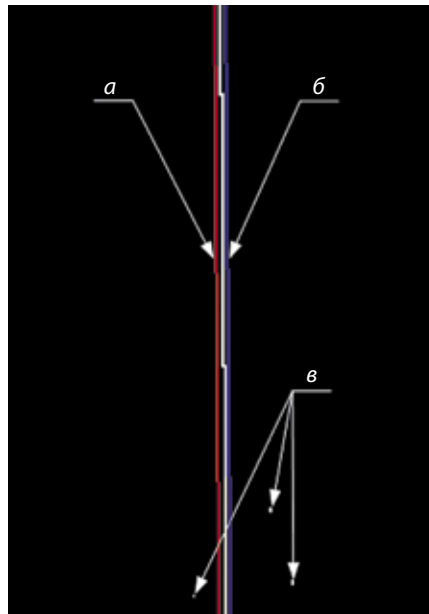


Рис. 2. Результат обнаружения геометрического соответствия: а – обнаруженная левая граница линии; б – обнаруженная правая граница линии; в – фоновый шум, оставшийся после проведения операций математической морфологии, не распознанный как линия

Fig. 2. The result of shape detection: a – the detected left boundary of the line; b – the detected right boundary of the line; c – background noise remaining after performing mathematical morphology not recognized as a line

С учетом опыта проводимых ранее работ, значения 80% и более для $L\%_{ROI}$ приняты достаточными для качественного распознавания линии к длине региона интереса.

При наличии фоновых шумов на линии соответствующая функция машинного зрения может определять геометрическое соответствие фрагментарно. Для устранения деления искомой линии на фрагменты изменялся структурный элемент математической морфологии. В данном случае улучшение результата обнаружения геометрического соответствия достигалось путем увеличения структурного элемента дилатации при использовании фильтра Кэнни, что сглаживало границы линии, как показано на рис. 3.


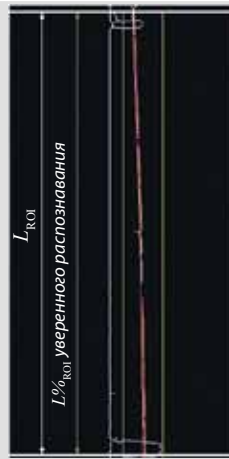



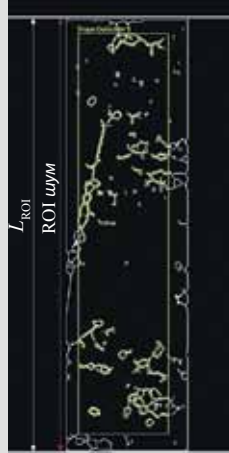
В табл. 2 представлены некоторые наиболее характерные результаты обработки изображений функциями машинного зрения для обнаружения геометрического соответствия проекций лазерных линий. Результаты включают в свой состав:

- наименования генератора лазерной линии, условия проведения исследований;
- указания временного интервала проведения измерения, в часах (для Сибирского региона);
- значения освещенности E в указанный временной интервал, в люксах;

– исходное изображение проекции лазерной линии на поверхности, полученное с камеры в указанный временной интервал, в люксах;

Характерные результаты обработки изображений функциями машинного зрения

Typical results of image processing with machine vision functions

Время*	E, лк.	Исходное изображение	Методы МЗ	Результат обработки методами МЗ	L% _{ROI}
Генератор линии AC100-240V (цвет: зеленый, мощность: 100 мВт, длина волны: 532 нм) полевые исследования					
8:00-10:00	80		Фильтр: Кэнни Пороговое значение яркости пикселей: 1 Функции ММ: – дилатация (структурный элемент крест 3×3); – удаление фоновых пикселей 2 итерации; – дилатация – структурный элемент крест 5×5; – усреднение значений пикселей (структурные элементы на изображении)		98
Генератор линии 650MD-1-0818-CAB (цвет: красный, мощность: 30 мВт, длина волны: 650 нм) полевые исследования					
10:00-12:00	1650		Фильтр: Лапласа Пороговое значение яркости пикселей: 32 Функции ММ: – дилатация (структурный элемент линия 3×3); – удаление фоновых пикселей 2 итерации; – дилатация – структурный элемент крест 5×5; – усреднение значений пикселей (структурные элементы на изображении)		37
Генератор линии LG-H635-7-5 (цвет: красный, мощность: 7 мВт, длина волны: 635 нм) полевые исследования					
12:00-14:00	8000		Фильтр: Лапласа Пороговое значение яркости пикселей: 35 Функции ММ: – дилатация (структурный элемент крест 3×3); – удаление фоновых пикселей 1 итерация; – дилатация – структурный элемент крест 3×3; – усреднение значений пикселей (структурные элементы на изображении)		0

* для справки: зависит от региона проведения исследования и погодных условий

ной интервал. При отсутствии видимости проекции линии на изображении на нем проведены мнимые пунктирные линии соответствующего цвета в предполагаемом месте расположения проекции;

– методы машинного зрения, используемые в обработке изображений: фильтр, пороговое значение яркости пикселей, функции математической морфологии с указанием структурного элемента;

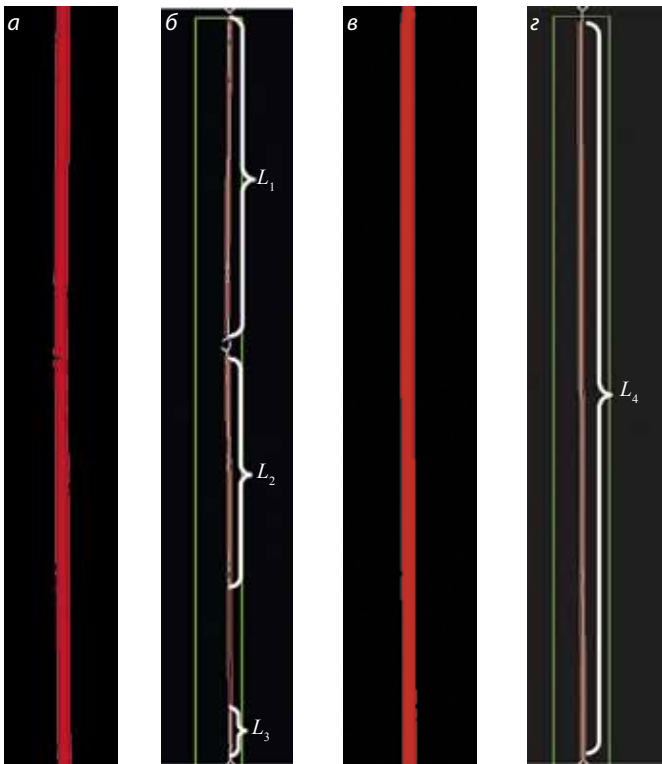


Рис. 3. Результаты обнаружения геометрического соответствия с применением разного структурного элемента: а – структурный элемент дилатации 5×5 ; б – фрагментальное обнаружение геометрического соответствия; в – структурный элемент дилатации 9×9 ; г – обнаружение геометрического соответствия; L_1 – распознанный фрагмент линии 1; L_2 – распознанный фрагмент линии 2; L_3 – распознанный фрагмент линии 3; L_4 – распознанная линия

Fig. 3. The results of the shape detection using a different structural element, where: a – a structural element of dilation 5×5 ; b – fragmentary shape detection; c – a structural element of dilation 9×9 ; d – shape detection; L_1 – recognized fragment of line 1; L_2 – recognized fragment of line 2; L_3 – recognized line fragment 3; L_4 – recognized line

– изображения после обработки методами машинного зрения;

– значения качественного показателя обнаружения геометрического соответствия линии в процентах.

Как видно из результатов обработки изображений, влияние освещенности на качественное распознавание СМЗ проекции лазерной линии играет важную роль в получении качественных характеристик ее определения на заданном участке региона интереса. Освещенность прежде всего влияет на контрастность изображения и воздействует на отражение, рассеивание или поглощение лазерной линии. Результаты экспериментальных исследований влияния освещенности на качество распознавания лазерной линии машинным зрением для всех временных интервалов показаны на рис. 4.

Из графика следует, что наиболее качественное распознавание проекции лазерной линии в зоне региона интереса 2323 мм достигается при мощности лазерного генератора 100 мВт и длине волны 532 нм. Однако такой результат возможен только для времени суток с 8:00 до 10:00, когда освещенность составляла 80 лк, и с 16:00 до 08:00, когда значение освещенности составляло 12 лк.

Таким образом, по результатам полученных зависимостей установлено, что лазерные генераторы линии с характеристиками мощности меньше 100 мВт определяются как непригодные в задачах распознавания машинным зрением прямой лазерной линии для любых уровней освещенности. При этом характеристика длины волны имеет малое значение для качества распознавания.

Из графиков зависимости установлено, что наиболее качественное распознавание прямой лазерной линии в зоне региона интереса 2323 мм достигается при мощности лазерного генератора мощностью 30 мВт с длиной волны 650 нм и 7 мВт с длиной волны 635 нм практически для всех уровней измеренной освещенности. Показатели $L\%_{ROI}$ для генераторов лазерной линии мощностью 30 мВт с длиной волны 520 нм устойчивы для временных интерва-

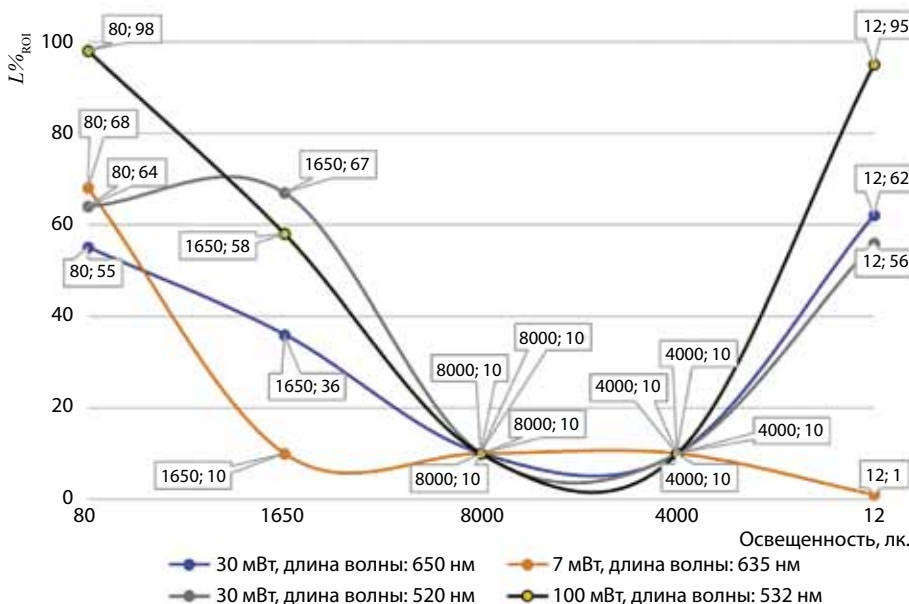


Рис. 4. Зависимости значений качественного показателя распознавания проекций линии $L\%_{ROI}$ от освещенности для четырех лазерных генераторов

Fig. 4. Dependences of the values of the qualitative indicator of shape detection $L\%_{ROI}$ on illumination for four laser generators

лов с 8:00 до 10:00 при уровне освещенности 25 лк и с 16:00 до 18:00 при уровне освещенности 120 лк, а для генератора лазерной линии мощностью 100 мВт с длиной волны 532 нм устойчивы во временном интервале с 8:00 до 10:00 (уровень освещенности 25 лк) и далее с 16:00 (уровень освещенности 165 лк и ниже).

Также представлена в виде структурной схемы (на рис. 5) последовательность выполняемых действий для достижения качественного распознавания прямой линии, выраженной в $L\%_{ROI}$.

Основные варьируемые параметры, влияющие на обнаружение геометрического соответствия прямой линии, являются: фильтры обработки изображения; пороговые значения яркости пикселей; функции математической морфологии.

Алгоритм получения качественного показателя распознавания $L\%_{ROI}$ определяется следующим порядком операций машинного зрения:

- 1) получение изображения с камеры;
- 2) установление региона интереса на изображении;
- 3) выбор методов обработки изображения в зависимости от значения освещенности: фильтр, пороговое значения яркости пикселей, операции математической морфологии;
- 4) выполнение математической операции умножения;
- 5) обнаружение геометрического соответствия в процентах (см. формулу), где 100% – линия, обнаруженная по всей длине региона интереса.

Разработанный способ позволяет определить максимально допустимый качественный показатель $L\%_{ROI}$ для различных уровней освещенности. Такой результат достигается за счет применения метода рекурсивных функций. Когда определяется первое значение $L\%_{ROI}$, очевидно, что его значение может быть меньше принятого граничного значения 80%, а это означает, что необходимо повторить расчеты на основе варьируемых параметров, описанных выше, до достижения качественного распознавания. То есть в случае получения низкого уровня качества распознавания применяемые методы обработки, фильтры, пороговые значения яркости пикселей, операции математической морфологии последовательно перебираются реализующей системой до получения максимального уровня качества распознавания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на основе разработанной методики распознавания машинным зрением проекции лазерной линии при различных уровнях освещенности определено, что в задаче распознавания светового маркера, дополняющего видеосцену,

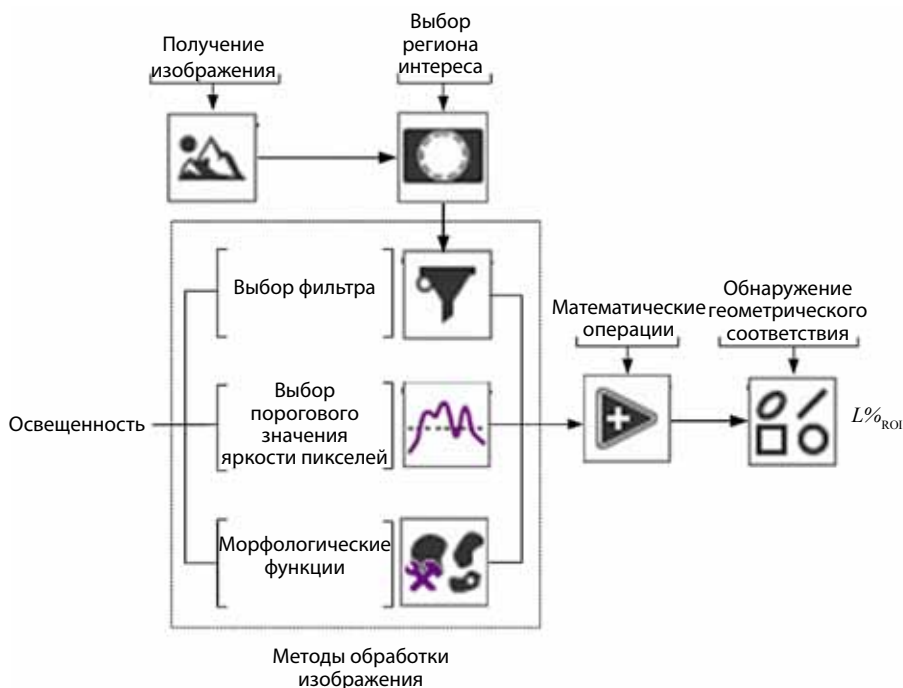


Рис. 5. Последовательность действий для достижения обнаружения геометрического соответствия

Fig. 5. A sequence of actions to achieve shape detection

при использовании фильтра Кэнни пороговые значения яркости пикселей не влияют на фоновый шум. При использовании фильтра Лапласа установка наименьшего порогового значения пикселей ведет к появлению разрывов распознанных линии, установка большего значения – к появлению мелких объектов в регионе интереса. При использовании фильтра Прюитта наименее подвержен выделению фоновый шум, что соответствует низкому уровню пороговых значений.

На основе полученных зависимостей качества распознавания лазерной линии $L\%_{ROI}$ от освещенности для лазеров различного цвета и мощности определено, что в условиях эксплуатации СМЗ наиболее эффективно использовать лазерные генераторы мощностью от 100 мВт с длиной волны от 532 нм. Полученные результаты в виде условий качественного распознавания и алгоритма обработки видеосцены могут применяться при решении промышленных задач управления движением автономных транспортных средств.

Список литературы • References

1. Распоряжение «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года» от 13 июня 2020 г. № 1582-р // Российская газета.
2. Измерение производительности питателя при выпуске угля из подкровельной толщи на основе технологии машинного зрения / М.С. Никитенко, С.А. Кизилов, Ю.Н. Захаров и др. // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 4. С. 264-273. Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Zakharov Yu.N., Khudonogov D.Yu., Ignatova A.Yu. Measurement of feeder performance during coal discharge from an underroof seam using machine vision. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2022;7(4):264-273 (In Russ.).

3. Распознавание препятствий машинным зрением на основе искажения сетки световых маркеров / Д.О. Верховцев, Я.В. Попинако, М.С. Никитенко и др. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2023. № 9. С. 233-238.
Verkhovtsev D.O., Popinako Ya.V., Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu., Kizilov S.A. Recognition of obstacles by machine vision based on distortion of the grid of light markers. *Nauchnye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2023;(9):233-238 (In Russ.).
4. Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu., Popinako Ya.V., Kizilov S.A. Determining the route and roadway condition in front of autonomous vehicle. Third International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science, 2024. <https://doi.org/10.1117/12.3036935>.
5. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых. Приказ Ростехнадзора от 08 дек. 2020 г. № 505. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372372/ (дата обращения: 15.10.2024).
6. Klinger T. Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision. Prentice Hall PTR, 2020, pp. 319.
7. Ханова А.А., Озерова М.И. Обзор методов выделения контуров на изображениях / Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020): сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции (г. Белгород, 24-25 сентября 2020 г.). С. 89-92.
8. Титов И.О., Емельянов Г.М. Выделение контуров изображения движущегося объекта // Вестник Новгородского государственного университета. 2010. № 55. С. 27-31.
Titov I.O., Yemelyanov G.M. Selection of contours of the image of a moving object. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010;(55):27-31 (In Russ.).
9. Chaple G.N., Daruwala R.D., Gofane M.S. Comparisons of Robert, Prewitt, Sobel operator-based edge detection methods for real time uses on FPGA. International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD). IEEE, 2015, pp. 1-4.
10. Zhou R.G., Yu H., Cheng Y., Li F.X. Quantum image edge extraction based on improved Prewitt operator. *Quantum Information Processing*. 2019;18(9):261.
11. Song Y., Ma B., Gao W., Fan S. Medical image edge detection based on improved differential evolution algorithm and Prewitt operator. *Acta Microscopica*. 2019;28(1).
12. Hoang N.D., Nguyen Q.L. Metaheuristic optimized edge detection for recognition of concrete wall cracks: a comparative study on the performances of roberts, prewitt, canny, and sobel algorithms. *Advances in Civil Engineering*, 2018.
13. Imran N., Hameed S., Hafeez Z., Faheem Z., Waseem M., Latif U., Amin M.S. Image Watermarking Approach Using LSB and Laplacian Filter. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, pp. 2129, 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/2129/1/012015.
14. Relf C. Image acquisition and processing with LabVIEW. CRC Press, 2004, pp. 244.
15. Конушин А.С. Компьютерное зрение. ВМК МГУ, 2023.
16. Amit Y., Felzenszwalb P., Girshick R. Object detection. *Computer Vision: A Reference Guide*. Springer International Publishing, 2021, pp. 875-883.

Authors Information

Popinako Ya.V. – Engineer, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch Russian Academy of Science, 650065, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: popinakoya@gmail.com

Nikitenko M.S. – PhD (Engineering), Head of laboratory, Senior Researcher, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 650065, Kemerovo, Russian Federation

Khudonogov D.Yu. – Research Associate, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 650065, Kemerovo, Russian Federation

Cherkasov P.V. – Engineer, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 650065, Kemerovo, Russian Federation

Kizilov S.A. – PhD (Engineering), Research Associate, The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science, 650065, Kemerovo, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024