

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.93

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-193-209>

Исследование влияния гаммы-коррекции изображения в задаче распознавания объектов на пешеходном переходе

Н. А. Милостная¹, Н. И. Янгляева¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: KhrapovaNI@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Повышение достоверности распознавания объектов на изображении путём исследования влияния гамма-коррекции входного изображения на качество распознавания объектов на нём.

Методы. Предварительная обработка входных изображений, полученных с помощью комплекса видеоФиксации нарушений правил дорожного движения, установленного в городе Курске, включает гамма-коррекцию, преобразования из RGB в градации серого, размытия фильтром Гаусса, выделения границ объектов на основании алгоритма Canny, классификации объектов с помощью алгоритма YOLO.

Результаты. Рассмотрены основные преимущества систем регулирования дорожного движения с адаптивным управлением. Описана структурная схема системы управления пешеходным переходом и этапы предварительной обработки входного изображения, включающие гамма-коррекцию, и их влияние на достоверность детектирования объектов. Проведён расчёт показателя Recall для количественной оценки эффективности детекции при различных значениях гамма-коррекции каждого из рассматриваемых классов: пешеходы ($Recall = 0,46$), автомобили ($Recall = 0,824$), светофоры ($Recall = 0,60$).

Заключение. Результаты серии проведённых экспериментальных исследований доказывают положительное воздействие гамма-коррекции на эффективность распознавания только некоторых классов объектов, таких как светофоры, требуя минимального значения $\gamma \approx 1,5$ (гамма 100) для начала распознавания. Детекция других рассмотренных классов, таких как пешеходы и автомобили, остаётся стабильной при любых значениях гамма из диапазона [0; 200]. Наибольшее количество обнаружений зафиксировано при гамме 20 и 80 для пешеходов и при гамме 60, 100 и 120 для автомобилей.

Ключевые слова: адаптивное управление; интеллектуальный светофор; транспортный поток; пешеходный поток; YOLO; автоматизированная система управления дорожным движением.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» проекта «Приоритет 2030».

Для цитирования: Милостная Н. А., Янгляева Н. И. Исследование влияния гаммы-коррекции изображения в задаче распознавания объектов на пешеходном переходе // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(3): 193-209. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-193-209>.

Поступила в редакцию 16.07.2025

Подписана в печать 22.08.2025

Опубликована 30.09.2025

Investigation of the effect of gamma image correction in the problem of object recognition at a pedestrian crossing

Natalia A. Milostnaya¹, Natalia I. Yanglyaeva¹ 

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

 e-mail: KrapovaNI@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. Improving the reliability of object recognition in an image by investigating the effect of gamma correction of the input image on the quality coefficient of object recognition on it.

Methods. Pre-processing of images obtained using the complex of video recording of traffic violations installed in the city of Kursk includes gamma correction, conversion from RGB to grayscale, blurring with a Gauss filter, highlighting the boundaries of objects based on the Canny algorithm, classification of objects using the YOLO algorithm.

Results. The main advantages of adaptive control traffic control systems are considered. The structural scheme of the pedestrian crossing control system and the stages of input image preprocessing, including gamma correction, and their effect on the reliability of object detection are described. The Recall indicator was calculated to quantify the detection efficiency at different gamma correction values for each of the classes under consideration: pedestrians (Recall = 0.46), cars (Recall = 0.824), traffic lights (Recall = 0.60).

Conclusion. The results of a series of experimental studies prove the positive effect of gamma correction on the recognition efficiency of only certain classes of objects, such as traffic lights, requiring a minimum value of $\gamma \approx 1.5$ (gamma 100) to start recognition. The detection of other classes considered, such as pedestrians and cars, remains stable at any gamma values from the range [0; 200]. The largest number of detections was recorded at ranges of 20 and 80 for pedestrians and at ranges of 60, 100 and 120 for cars.

Keywords: adaptive control; intelligent traffic light; traffic flow; pedestrian flow; YOLO; automated traffic control system.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The work was carried out as part of the implementation of the development program of the South-Western State University under the project «Priority 2030».

For citation. Milostnaya N. A., Yanglyaeva N. I. Investigation of the effect of gamma image correction in the problem of object recognition at a pedestrian crossing. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(3): 193-209 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-3-193-209>.

Received 16.07.2025

Accepted 22.08.2025

Published 30.09.2025

Введение

Адаптивные системы управления светофорами широко внедряются в современных крупных городах [1-4]. Они пришли на смену системам с фиксирован-

ным интервалом смены сигналов светофора, которые не эффективны в условиях высокой интенсивности дорожного движения, провоцируя появления транспортных заторов на перекрёстках.

Адаптивное управление (АУ) – это интеллектуальная система регулировки движения транспорта, основанная на динамическом изменении временных циклов переключения сигналов светофора в зависимости от реальной дорожной ситуации. Система собирает данные с датчиков, установленных вдоль дорог, и анализирует интенсивность транспортного потока, скорость автомобилей, наличие заторов и аварийных ситуаций. На основе полученных данных алгоритм регулирует продолжительность зеленого и красного сигнала таким образом, чтобы оптимизировать пропускную способность перекрестков и минимизировать время ожидания водителей и пешеходов¹ [5, 6, 7].

Корректное управление сигналами интеллектуального светофора возможно при высоком проценте достоверности распознавания объектов [8, 9, 10, 11], участвующих в дорожном движении – транспортных средств и пешеходов, находящихся на рассматриваемом перекрёстке в определённый момент времени.

Распознавание объектов является одной из основных задач компьютерного зрения, широко применяемой в различных областях. Точность распознавания зависит от множества факторов, одним из

которых является качество исходного изображения.

Работа [12] посвящена повышению надёжности систем обнаружения и распознавания дорожных знаков в условиях переменной освещённости. В данной статье предлагается адаптивная архитектура, в которой модуль предварительной обработки на основе нечёткой системы вывода [13, 14] оценивает качество экспозиции входного изображения по каналу освещённости. В зависимости от полученной оценки изображение либо направляется напрямую в детектор, либо проходит этап улучшения яркости с сохранением цветовой информации с помощью специализированной свёрточной нейросети. Такой подход позволяет избежать избыточной обработки и снизить вычислительные затраты, одновременно повышая точность распознавания – на 10–18 % по метрике Recall и на 5–9 % по mAP.

В работе [15] предлагается метод, направленный на решение проблемы обнаружения пешеходов вочных условиях с неравномерной и недостаточной освещённостью. Основная идея заключается в интеграции улучшенного алгоритма Zero-DCE++ для генерации изображений с несколькими уровнями экспозиции, которые затем объединяются с исходным кадром и подаются на вход детектору на основе архитектуры YOLO. Для усиления взаимодействия между модулем улучшения изображения и детектором предложены «многоцелевая функция потерь» и «двухэтапная стратегия оптимизации». Эксперименты на нескольких общедоступных наборах дан-

¹ Патент № 2827781 С2 Российской Федерации, МПК G08G 1/01, G08G 1/08. Устройство управления светофором на основе нечеткой логики: № 2023101536: заявл. 25.01.2023: опубл. 02.10.2024 / М. В. Бобырь, Н. И. Храпова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет".

ных показывают, что описанный метод значительно снижает логарифмически усреднённый показатель пропусков, достигая оптимального баланса между точностью и вычислительной эффективностью.

Однако многие из существующих систем детектирования имеют недостатки, такие как ошибки классификации объектов и их классов, проблемы с сегментацией изображения, а также повышенная чувствительность к шуму и освещённости, что ухудшает качество и детализацию рассматриваемой фотографии.

Ключевую роль в обеспечении точного процесса распознавания объектов играет предварительная обработка изображения, позволяющая устранить недостатки исходных данных и повысить эффективность алгоритмов распознавания [16, 17, 18, 19].

Материалы и методы

Процесс адаптивного управления светофорами включает этапы сбора данных, предобработки полученных изображений, обработки данных в блоке детекции, обработки данных в блоке расчёта времени, формирования управляющих сигналов. Описанные этапы отражены в структурной схеме системы управления пешеходным переходом¹, представленной на рис. 1.

¹ Храпова Н. И. Онтологическая модель нейро-нечёткого управления пешеходным переходом в системе глаз-мозг-компьютер: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2024. 132 с.

Этап предварительной обработки изображения перед основным процессом распознавания позволяет подготовить изображение для лучшего выявления искомых объектов, снижая влияние помех и повышая точность детекции.

Для предварительной обработки исходного изображения используются процедуры преобразования информации, которые направлены на оптимизацию визуального качества изображения путем увеличения четкости, контрастности, яркости и детализации. Представленная процедура позволяет увеличить резкость контуров объектов, устраниТЬ недостатки освещения, удалить артефакты, вызванные плохим качеством съемки, провести цветовую коррекцию и улучшить контрастность объектов на изображении. Рассмотрим основные шаги преобразований.

1. Преобразование значения интенсивности изображения в нормализованную форму. Перед началом гамма-коррекции необходимо привести интенсивность изображения к диапазону [0,1] путем деления всех значений цветов на максимальное возможное значение:

$$I_{norm} = (x, y) = \frac{I(x, y)}{255},$$

где $I(x,y)$ – исходное значение интенсивности пикселя; 255 – максимальное возможное значение интенсивности пикселя; x – положение пикселя в столбце; y – положение пикселя в строке.

2. Применение гамма-коррекций [20], предполагающих применение нелинейной функции преобразования интенсивностей:

$$I_{cor}(x,y) = I'_{norm}(x,y),$$

где $1 < \gamma < 2$.

3. Нормализация к целочисленному формату:

$$I_{fin}(x,y) = I_{cor}(x,y) \times 255.$$

Важным этапом является преобразование изображения из формата RGB в

оттенки серого, что значительно упрощает процесс детекции объектов, сокращая объём обрабатываемых данных, снижая нагрузку на процессор и ускоряя выполнение операций. Использование монохромного изображения улучшает качество работы алгоритма выделения границ объектов.

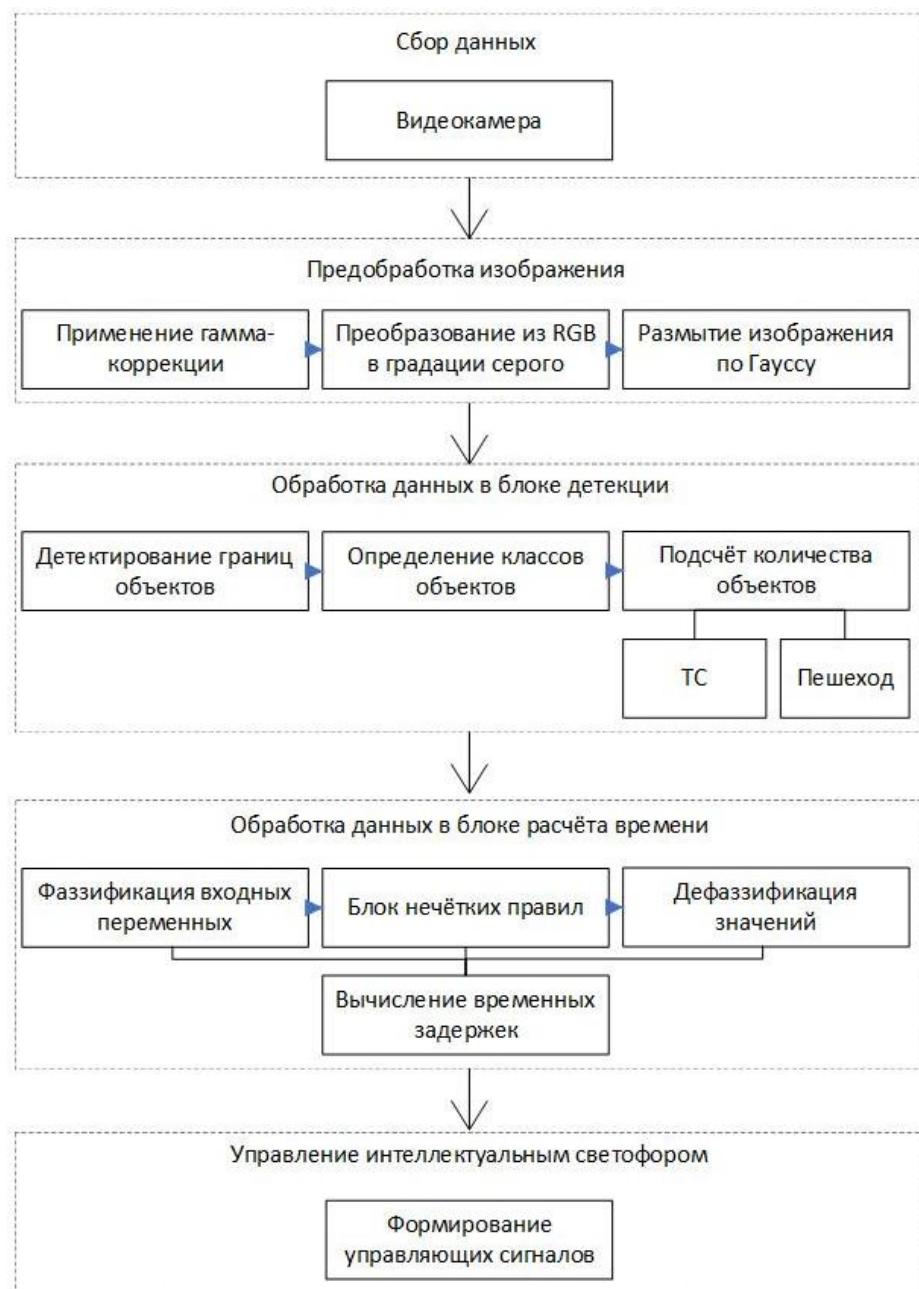


Рис. 1. Структурная схема системы управления пешеходным переходом

Fig. 1. Block diagram of the pedestrian crossing control system

$$I(x,y)_\gamma = \frac{I_{fin}(x,y)R + I_{fin}(x,y)G + I_{fin}(x,y)B}{3} + 1,$$

где $I(x,y)_\gamma$ – интенсивность цвета каждого пикселя; R – интенсивность красной составляющей цвета; G – интенсивность зелёной составляющей цвета; B – интенсивность синей составляющей цвета.

Следующим этапом предобработки является размытие изображения с помощью фильтра Гаусса, основанное на свёртке исходного изображения с двумерной функцией распределения Гаусса. Размытие с применением гауссова фильтра позволяет смягчить мелкие детали и снизить уровень высокочастотного шума, обеспечивая плавные переходы и уменьшение острых краёв.

$$K_{(x,y)} = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 \frac{1}{b} G_m I(x,y),$$

где G_m – матрица Гаусса; b – коэффициент нормировки.

Этап выделения границ объектов важен для точного определения положения, формы и контура объекта, что в дальнейшем позволит провести более точную классификацию объекта и отслеживать его движение. Когнитивная модель принятия решений о существовании границы подробно описана в работе [7].

Классификация объектов – это процесс разделения объектов на категории на основании определенных признаков и характеристик. Современный подход к решению задач классификации базируется на применении глубоких нейронных сетей [21, 22] и технологий машинного обучения [23, 24]. Для определения классов объектов широко используются алгоритмы библиотеки YOLO [25].

Алгоритм YOLO содержит процесс разделения изображения на сетку, расчёт ограничительных рамок и её привязанности к определённому классу. На первом этапе каждый блок сетки предсказывает B ограничивающих рамок с оценкой вероятности объекта внутри рамки:

$$OMS = S \times S \times (B \times 5 + C),$$

где S – размер сетки (количество блоков по вертикали и горизонтали); B – число предсказанных ограничивающих рамок на каждый блок; C – количество классов объектов.

Для оптимизации YOLO используется комплексная функция потерь, состоящая из трёх компонентов:

– ошибка позиционирования границ рамки

$$L_c = \lambda_c \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^B I_o^{ij} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2],$$

где λ_c – весовой коэффициент; I_o^{ij} – коэффициент ожидаемого наличия объекта; i – количество ячеек; j – количество рамок; x_i и y_i – истинные координаты центра рамки; \hat{x}_i и \hat{y}_i – предсказанные координаты центра рамки.

– неверная оценка наличия объекта

$$L_o = \lambda_{no} \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^B (I_o^{ij} - P_o^{ij})^2,$$

где λ_{no} – весовой коэффициент; P_o^{ij} – коэффициент предсказанного наличия объекта.

– классификация объектов

$$L_{cl} = \sum_{i=0}^{s^2} I_o^{ij} \sum_{cl} (p_c - \hat{p}_c)^2,$$

где p_c – истинный класс объекта; \hat{p}_c – предсказанный класс объекта.

Общая функция потерь равна сумме всех компонентов:

$$L = L_c + L_o + L_{cl}.$$

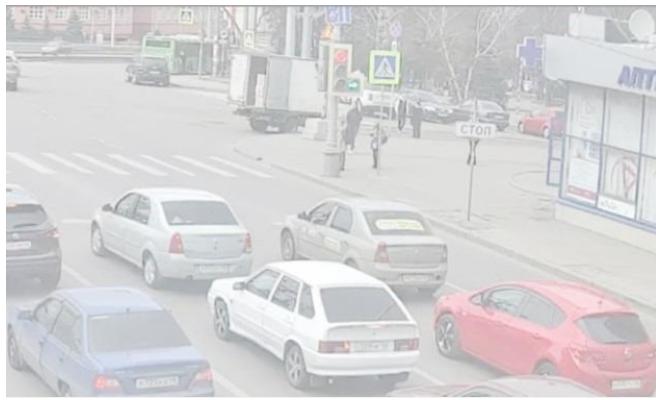
После завершения работы алгоритма YOLO на итоговом изображении найденные объекты выделены рамками, а выходная информация содержит сведения о количестве объектов, принадлежащих к каждому искомому классу.

Результаты и их обсуждение

Для исследования влияния гамма-коррекции на точность детекции объектов алгоритмом YOLOv8 была реализована серия экспериментов с изменением параметра γ в диапазоне от 1 до 2. Для удобства масштабирования и унификации измерений физические значения гаммы были линейно преобразованы в интервал [0; 200], где:

- значение 100 соответствует исходному изображению без коррекции ($\gamma = 1,5$);
- значения ниже 100 (до 20) соответствуют уменьшению гаммы ($\gamma < 1,5$), то есть повышению яркости тёмных участков и снижению контрастности;

Гамма: 20



– значения выше 100 (до 190) соответствуют увеличению гаммы ($\gamma > 1,5$), то есть осветлению светлых участков и повышению контрастности.

На первом этапе проведена проверка исходного изображения: $\gamma = 1,5$, масштабированное значение 100. Затем, начиная с этого значения, параметр гаммы постепенно уменьшался вниз (в сторону более светлых изображений) до значения 20, после чего он постепенно увеличивался вверх (в сторону более темных изображений) до значения 190. На каждом шаге (с шагом 20, за исключением последнего – 190) производилась детекция трёх классов объектов: пешеходов, автомобилей и светофоров. Количество обнаруженных объектов каждого класса фиксировалось как мера точности распознавания при данном значении гаммы.

Экспериментальные исследования проводились на изображении, полученном с комплекса видеофиксации нарушений правил дорожного движения. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 1.

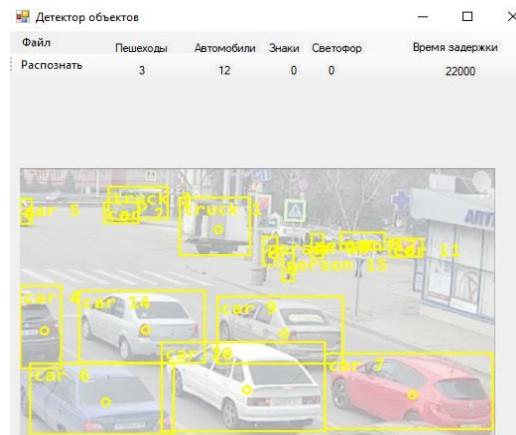
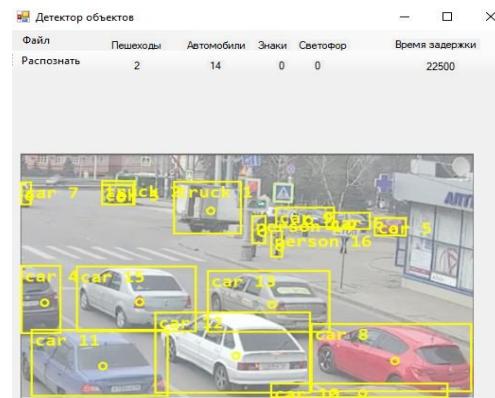
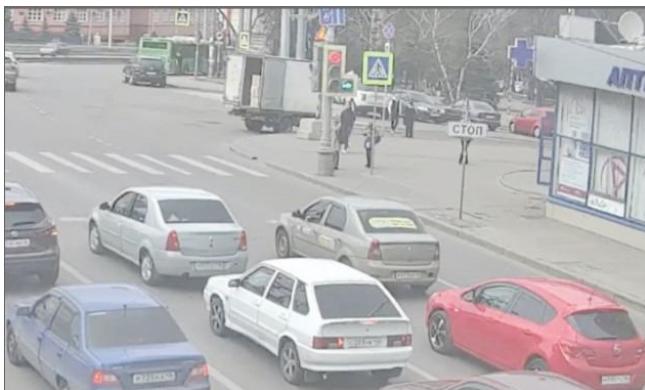


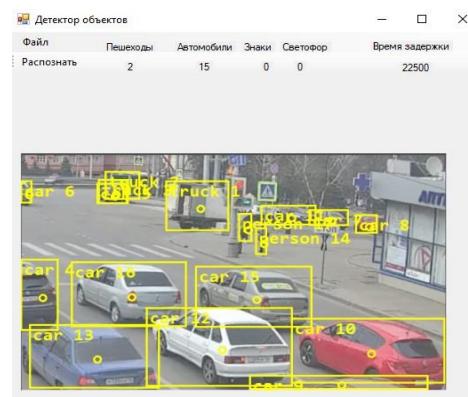
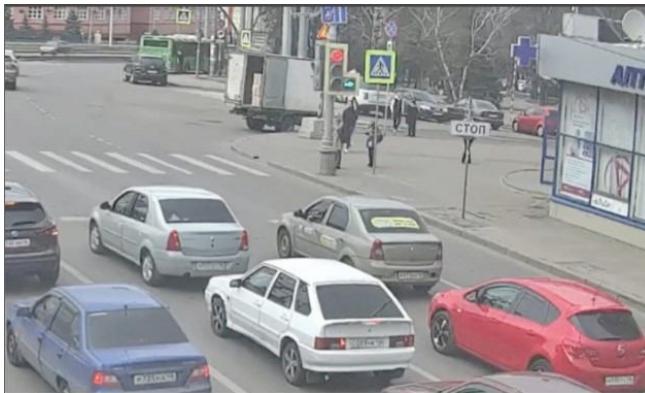
Рис. 2. Результаты гамма-коррекции изображения и детектирования искомых объектов

Fig. 2. The results of gamma image correction and detection of the desired objects

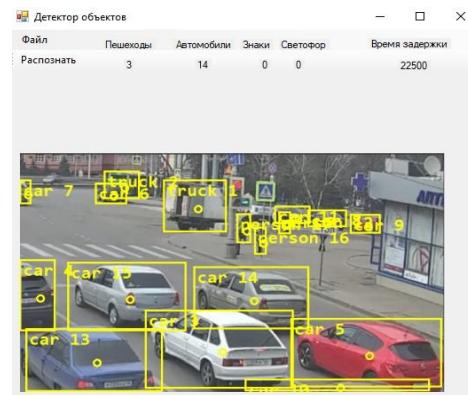
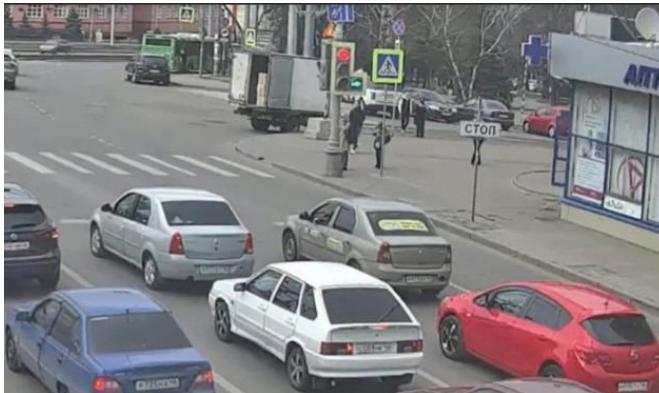
Гамма: 40



Гамма: 60



Гамма: 80



Гамма: 100

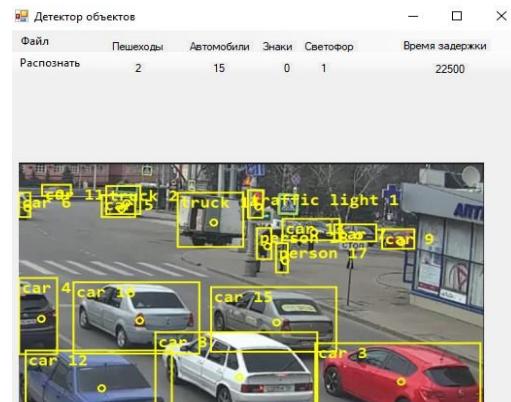
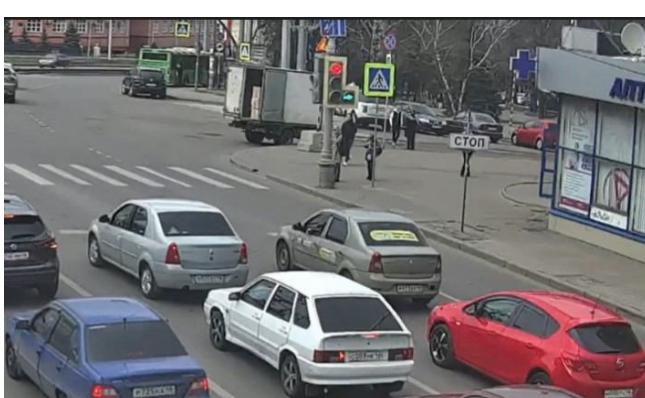
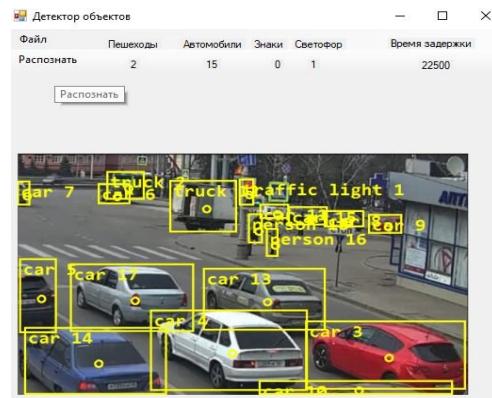
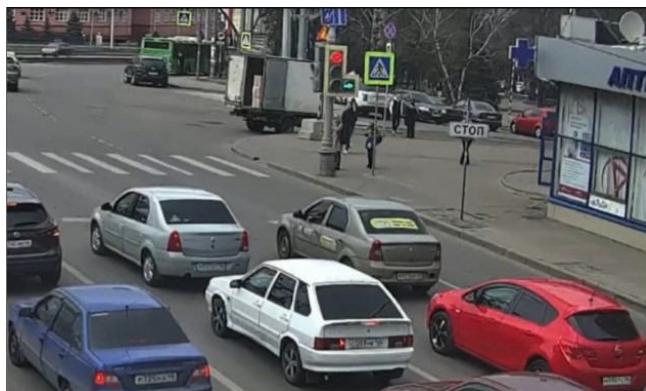


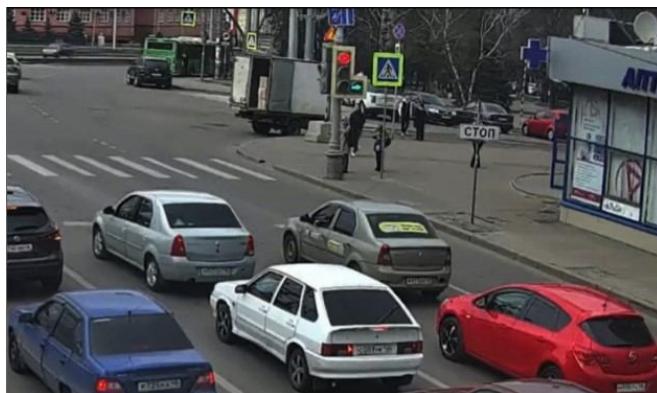
Рис. 2. Продолжение (начало на с. 199, окончание на с. 201, 202)

Fig. 2. Continuation (beginning on p. 199, ending on p. 201, 202)

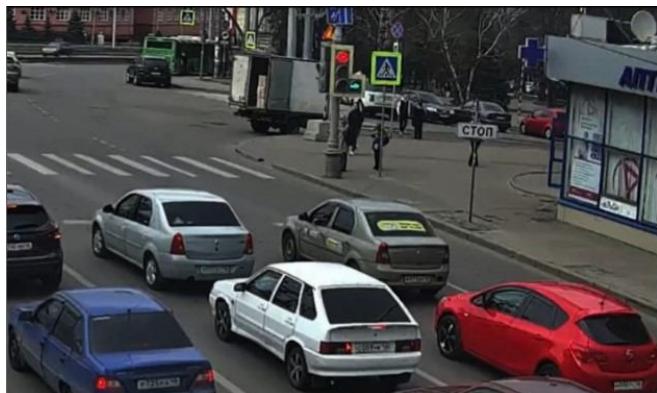
Гамма: 120



Гамма: 140



Гамма: 160



Гамма: 180

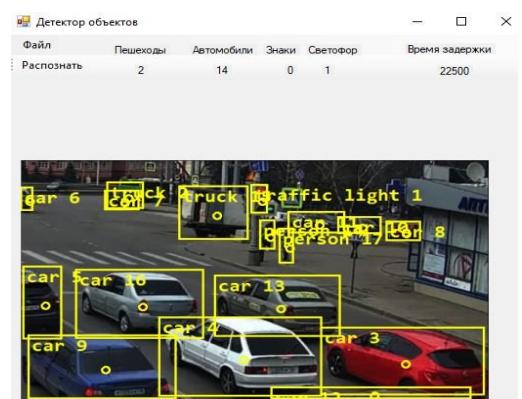
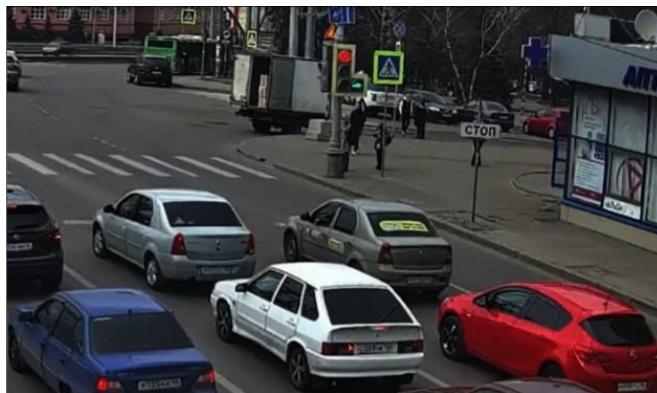


Рис. 2. Продолжение (начало на с. 199, 200, окончание на с. 202)

Fig. 2. Continuation (beginning on p. 199, 200, ending on p. 202)

Гамма: 190

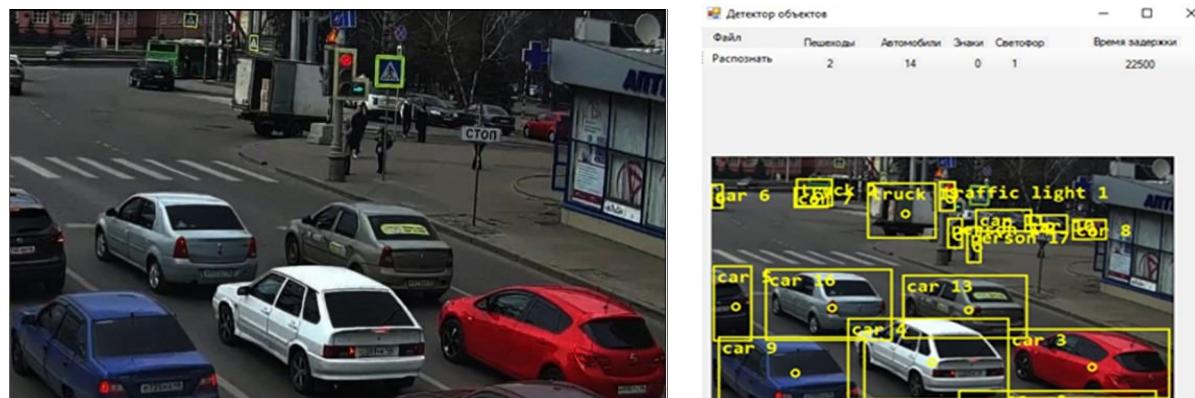


Рис. 2. Окончание (начало на с. 199, 200, 201)

Fig. 2. Ending (beginning on p. 199, 200, 201)

Таблица 1. Результаты распознавания объектов в зависимости от варьирования коэффициента γ

Table 1. Object recognition results depending on the variation of the coefficient γ

Гамма / Gamma	20	40	60	80	100	120	140	160	180	190
Пешеходы	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Автомобили	12	14	15	14	15	15	14	13	14	14
Светофор	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

На основе данных из табл. 1 проведён анализ результатов детектирования объектов:

1. Пешеходы. Количество корректно распознанных пешеходов колеблется в пределах 2–3 экземпляров. Наибольшее количество обнаружений (3) зафиксировано при гамме 20 и 80. При остальных значениях гаммы наблюдается стабильное значение детектирования – 2. Это указывает на слабую зависимость точности детекции пешеходов от параметра гамма в заданном диапазоне.

2. Автомобили. Распознавание автомобилей демонстрирует высокую устойчивость к изменениям гамма-коррекции: количество обнаруженных объектов варьируется в пределах 12–15. Максимальные

значения (15) достигаются при гамме 60, 100 и 120. Незначительное снижение (до 13) наблюдается при гамме 160, что может свидетельствовать о небольшой потере контрастности или яркости, влияющей на детекцию крупных объектов.

3. Светофоры. Данный класс объектов представляет наибольший интерес в рамках исследования. При гамме от 20 до 80 (соответствующим физическим значениям $\gamma \approx 1,1 - 1,4$) светофоры не распознаются (0 обнаружений). Первое успешное распознавание происходит при гамме 100 ($\gamma \approx 1,5$), после чего количество обнаруженных светофоров стабилизируется на уровне 1 при всех последующих значениях гаммы (до 190, соответствующего $\gamma \approx 1,95$).

Таким образом, гамма-коррекция оказывает существенное влияние на способность модели YOLOv8 распознавать светофоры. Критический порог для начала детекции светофоров лежит в районе гаммы 100 (физическое значение $\gamma \approx 1,5$). Ниже этого порога светофоры практически не обнаруживаются, что может быть связано с недостаточной контрастностью или яркостью сигнальных элементов на изображении. При повышении гаммы выше 100 точность распознавания светофоров стабилизируется, однако не увеличивается – модель обнаруживает только один объект данного класса, что может указывать на ограничения в датасете или настройках модели.

Для других классов (пешеходы и автомобили) влияние гамма-коррекции незначительно, что говорит об их более вы-

сокой устойчивости к изменению яркостных характеристик изображения.

Следовательно, для задач, где критически важно распознавание светофоров, рекомендуется использовать гамма-коррекцию с параметром не ниже 100 (в масштабированной шкале), что соответствует физическому значению $\gamma \geq 1,5$.

Для количественной оценки эффективности детекции при различных значениях гамма-коррекции были рассчитаны метрики Recall (полнота детектирования) для каждого класса объектов на основе истинного количества объектов в изображении: 5 пешеходов, 17 автомобилей и 1 светофор. Поскольку в рамках данного эксперимента не анализировались ложные срабатывания (FP), метрика Precision не рассчитывалась, а основной акцент был сделан на Recall – показателе, отражающем долю обнаруженных истинных объектов (табл. 2).

Таблица 2. Результаты расчёта показателя Recall

Table 2. Results of calculation of the Recall indicator

Гамма / Gamma	Recall		
	Пешеходы / Pedestrians	Автомобили / Cars	Светофор / Traffic lights
20	0,60	0,706	0,00
40	0,40	0,824	0,00
60	0,40	0,882	0,00
80	0,60	0,824	0,00
100	0,40	0,882	1,00
120	0,40	0,882	1,00
140	0,40	0,824	1,00
160	0,40	0,765	1,00
180	0,40	0,824	1,00
190	0,40	0,824	1,00
Среднее	0,46	0,824	0,60

Как видно из результатов табл. 2, среднее значение Recall по всем значениям гаммы составляет:

- 0,46 для пешеходов — указывает на низкую стабильность детекции этого класса;
- 0,824 для автомобилей — демонстрирует высокую надёжность модели при распознавании крупных объектов;
- 0,60 для светофоров — отражает критическую зависимость от гамма-коррекции: при значениях $\gamma < 1,5$ (гамма < 100) $\text{Recall} = 0$, а при $\gamma \geq 1,5$ (гамма ≥ 100) $\text{Recall} = 1,0$; что подтверждает пороговое поведение модели в отношении данного класса.

Таким образом, гамма-коррекция оказывает наибольшее влияние на детекцию светофоров, требуя минимального значения $\gamma \approx 1,5$ (гамма 100) для начала распознавания. Для других классов влияние

менее выражено, особенно для автомобилей, которые сохраняют высокий уровень детекции во всём диапазоне.

Выводы

В представленной статье исследовано влияние предварительной обработки входного изображения, включающей гамма-коррекцию, на качество распознавания объектов. В ходе работы проведены экспериментальные исследования, которые доказывают, что гамма-коррекция изображения влияет в разной степени на каждый класс детектируемых объектов. Кorrectное распознавание светофоров возможно только при определённых значениях $\gamma \approx 1,5$, в то время как детекция пешеходов и автомобилей сохраняет высокую степень достоверности при любых значениях во всём диапазоне.

Список литературы

1. Бекларян А. Л., Бекларян Л. А., Акопов А. С. Имитационная модель интеллектуальной транспортной системы «умного города» с адаптивным управлением светофорами на основе нечеткой кластеризации // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17, № 3. С. 70-86.
2. Мясников В. В., Агафонов А. А., Юмаганов А. С. Детерминированная прогнозная модель управления сигналами светофоров в интеллектуальных транспортных и геоинформационных системах // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 6. С. 917-925.
3. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Бачманов М. Д. Оптимизация адаптивного управления светофорными объектами в рамках директивного управления транспортным потоком // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. № 4(47). С. 138-143.
4. Андронов С. А. Сравнение эффективности адаптивных алгоритмов светофорного регулирования в среде AnyLogic // Программные продукты и системы. 2019. № 1. С. 150-158.

5. Бобырь М. В., Храпова Н. И., Ламонов М. А. Система управления интеллектуальным светофором на основе нечеткой логики // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 4. С. 162-176. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176..>
6. Bobyr M. V., Khrapova N. I. A Two-Level Information and Analytical Control System for Intelligent Traffic Lights // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2024. Vol. 58, no. S5. P. S269-S278.
7. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Храпова Н.И. Онтологическая модель управления временем ожидания разрешающего сигнала светофора участниками дорожного движения в зоне пешеходного перехода // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, № 4. С. 124-137. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-124-137>.
8. Емалетдинова Л. Ю., Назаров М. А. Нейросетевой алгоритм распознавания объекта на изображении на основе эталонного контура // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 4. С. 137-141.
9. Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной системы технического зрения / А. В. Вазаев, В. П. Носков, И. В. Рубцов, С. Г. Цариченко // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 2(175). С. 127-139.
10. Медведев М. В., Кирпичников А. П. Система управления беспилотным летательным аппаратом на основе вейвлет-методов обнаружения и распознавания объектов на изображениях // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 19. С. 359-362.
11. Соловьев Ф. С., Тарасов И. Е., Петров А. Б. Распознавание образов и обнаружение контуров объекта на изображении // Инновации в науке. 2019. № 4(92). С. 4-9.
12. Choudhary P., Dey S. FAIERDet: Fuzzy-based Adaptive Image Enhancement for Real-time Traffic Sign Detection and Recognition Under Varying Light Conditions // Expert Systems with Applications. 2023. Vol.295. P. 128795.
13. Бобырь М. В., Кулабухов С. А. Моделирование процесса управления температурным режимом в зоне резания на основе нечеткой логики // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 3. С. 76-82.
14. Бобырь М. В., Милостная Н. А. Анализ использования мягких арифметических операций в структуре нечетко-логического вывода // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 7(133). С. 7-15.
15. Multi-exposure image enhancement and YOLO integration for nighttime pedestrian detection / X. Dai, J. Lan, Z. Chen, B. Wang, X. Wen // Signal Processing: Image Communication. 2025. Vol. 140. P. 117421.

16. Трофименко Я. М., Виноградова Л. Н., Ершов Е. В. Алгоритмы предобработки изображений в системе идентификации лиц в видеопотоке // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 4(91). С. 21-29.
17. Танцевов Г. М., Майков К. А. Исследование алгоритмов предобработки изображения кисти руки, применимых к распознаванию жестовых символов // Cloud of Science. 2020. Т. 7, № 1. С. 61-74.
18. Исследование алгоритмов предобработки изображений для повышения эффективности распознавания медицинских снимков / П. А. Шагалова, А. Д. Ерофеева, М. М. Орлова [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 1(128). С. 25-32.
19. Лагунов Н. А., Мезенцева О. С. Влияние предобработки изображений на качество обучения нейронной сети для их распознавания // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. № 1(46). С. 51-58.
20. Deng G. A generalized gamma correction algorithm based on the SLIP model // Eur-asip Journal on Advances in Signal Processing. 2016. Vol. 2016, no. 1. P. 69.
21. Томакова Р.А., Дзюбин И.А., Брежнев А.В. Метод и алгоритм обучения сверточной нейронной сети, предназначенный для интеллектуальной системы распознавания меланомы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 1. С. 65-83. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-1-65-83>
22. Рябинов А.В., Уздяев М.Ю., Ватаманюк И.В. Применение многозадачного глубокого обучения в задаче распознавания эмоций в речи // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 1. С. 82-109. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-82-109>.
23. Автоматическое распознавание частиц на цифровых изображениях / Е.С. Опарин, М.А. Дзус, Н.Н. Давыдов, К.С. Хорьков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 1. С. 50-66. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-50-66>.
24. Абросимов В. К., Матвеева Ю. Н. Формирование синтетических данных для машинного обучения распознаванию подводных объектов // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11, № 4. С. 256-266.
25. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2015. P. 779-788.

References

1. Beklaryan A. L., Beklaryan L. A., Akopov A. S. Simulation model of an intelligent transport system of a "smart city" with adaptive traffic light control based on fuzzy clustering. *Biznes-informatika = Business Informatics*. 2023; 17(3): 70-86. (In Russ.).
2. Myasnikov V. V., Agafonov A. A., Yumaganov A. S. Deterministic predictive model of traffic light signal control in intelligent transport and geoinformation systems. *Komp'yuternaya optika = Computer Optics*. 2021; 45(6): 917-925. (In Russ.).
3. Zhankaziev S. V., Vorobyov A. I., Bachmanov M. D. Optimization of adaptive traffic light control in the framework of directive traffic flow management. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI) = Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. 2016; (4): 138-143. (In Russ.).
4. Andronov S. A. Comparison of the effectiveness of adaptive traffic light control algorithms in the AnyLogic environment. *Programmnye produkty i sistem = Software products and systems*. 2019; (1): 150-158. (In Russ.).
5. Bobyr M.V., Khrapova N. I., Lamonov M. A. Smart Traffic Light Control System Based on Fuzzy Logic. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(4): 162-176 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-162-176>.
6. Bobyr M. V., Khrapova N. I. A Two-Level Information and Analytical Control System for Intelligent Traffic Lights. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. 2024; 58(S5): S269-S278.
7. Bobyr M. V., Emelyanov S. G., Khrapova N. I. Ontological model for managing waiting time for traffic light signals by road users in a pedestrian crossing zone. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(4): 124-137 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-124-137>.
8. Emaletdinova L. Y., Nazarov M. A. Neural network algorithm for recognizing an object in an image based on a reference contour. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh - MMTT = Mathematical methods in engineering and technology - MMTT*. 2020; 4: 137-141. (In Russ.).
9. Vazaev A.V., Noskov V. P., Rubtsov I. V., Tsarichenko S. G. Recognition of objects and types of the bearing surface according to the integrated vision system. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFU. Technical sciences*. 2016; (2): 127-139. (In Russ.).
10. Medvedev M. V., Kirpichnikov A. P. An unmanned aerial vehicle control system based on wavelet methods for detecting and recognizing objects in images. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*. 2014; 17(19): 359-362. (In Russ.).

11. Solovyov F. S., Tarasov I. E., Petrov A. B. Pattern recognition and detection of contours of an object in an image. *Innovatsii v nauke = Innovations in science.* 2019; (4): 4-9. (In Russ.).
12. Choudhary P., Dey S. Choudhary P. FAIERDet: Fuzzy-based Adaptive Image Enhancement for Real-time Traffic Sign Detection and Recognition Under Varying Light Conditions. *Expert Systems with Applications.* 2023; 295: 128795.
13. Bobyr M. V., Kulabukhov S. A. Modeling the process of controlling the temperature regime in the cutting zone based on fuzzy logic. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin = Problems of mechanical engineering and machine reliability.* 2017; (3): 76-82. (In Russ.).
14. Bobyr M. V., Milostnaya N. A. Analysis of the use of soft arithmetic operations in the structure of fuzzy logic.logical inference. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii = Bulletin of Computer and Information Technologies.* 2015; (7): 7-15. (In Russ.).
15. Dai X., Lan J., Chen Z., Wang B., Wen X. Multi-exposure image enhancement and YOLO integration for nighttime pedestrian detection. *Signal Processing: Image Communication,* 2025; 140: 117421.
16. Trofimenko Ya. M., Vinogradova L. N., Ershov E. V. Algorithms of image preprocessing in the face identification system in the video stream. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Cherepovets State University.* 2019; (4): 21-29. (In Russ.).
17. Dancing G. M., Maikov K. A. A study of algorithms for preprocessing the image of the hand, applicable to the recognition of gesture symbols. *Cloud of Science.* 2020; 7(1): 61-74. (In Russ.).
18. Shagalova P. A., Yerofeyeva A.D., Orlova M. M., et al. Investigation of image preprocessing algorithms to improve the efficiency of recognition of medical images. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva = Proceedings of the Alekseev Russian State Technical University.* 2020; (1): 25-32. (In Russ.).
19. Lagunov N. A., Mezentseva O. S. The influence of image preprocessing on the quality of neural network learning for their recognition. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta = Bulletin of the North Caucasus Federal University.* 2015; (1): 51-58. (In Russ.).
20. Deng G. A generalized gamma correction algorithm based on the SLIP model. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing.* 2016; 2016(1): 69.
21. Tomakova R.A., Dzyubin I.A., Brezhnev A.V. A Method and Algorithm for Training a Convolutional Neural Network Designed for an Intelligent Melanoma Recognition System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2022;12(1):65-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-1-65-83>

22. Ryabinov A. V., Uzdiaev M. Yu., Vatamaniuk I.A. Applying Multitask Deep Learning to Emotion Recognition in Speech. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(1): 82-109 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-1-82-109>.
23. Oparin E.S., Dzus M.A., Davydov N.N., Khorkov K.S. Automatic Particle Recognition Based on Digital Image Processing. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;14(1):50-66. (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-50-66>.
24. Abrosimov V. K., Matveeva Yu. N. Formation of synthetic data for machine learning to recognize underwater objects. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika = Robotics and technical cybernetics*. 2023; 11(4): 256-266. (In Russ.).
25. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2015. P. 779-788.

Информация об авторах / Information about the Authors

Милостная Наталья Анатольевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nat_mil@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3779-9165>

Янгляева Наталия Игоревна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: KhrapovaNI@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7947-1427>

Natalia A. Milostnaya, Dr. of Sci. (Engineering), Senior Researcher of the Software Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nat_mil@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3779-9165>

Natalia I. Yanglyaeva, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Lecturer of Software Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: KhrapovaNI@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7947-1427>