

УДК 004.932

Мультиспектральная система оценки угроз движения с выводом предупреждений на лобовое стекло

Вязовых Максим Вячеславович

maxvyaz@bmstu.ru

SPIN-код: 7315-0050

Козырев Владимир Дмитриевич

kozyrev_vd@bmstu.ru

SPIN-код: 5447-6845

Кулиева Алена Мурадовна

kulievaam@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача обнаружения потенциально опасных объектов при движении транспортного средства в условиях ограниченной видимости. Предложена мультиспектральная система оценки угроз, использующая телевизионный и тепловизионный каналы наблюдения. В блоке обработки выполняется комплексирование изображений и адаптивный выбор наиболее информативного представления сцены на основе критерия контраста и градиента. Для быстрого реагирования применяется алгоритм обнаружения движения, а для распознавания и классификации объектов — методы глубокого обучения. Решение о выдаче предупреждения принимается на основе времени до столкновения и достоверности распознавания. Предупреждение выводится на лобовое стекло в формате дополненной реальности. Показано, что предложенный подход повышает устойчивость обнаружения опасных объектов и может применяться в беспилотных интеллектуальных транспортных системах и системах помощи водителю.

Ключевые слова: мультиспектральное наблюдение, комплексирование изображений, обнаружение угроз, оценка опасных ситуаций, дополненная реальность, интеллектуальные транспортные системы, тепловизионные изображения

Multispectral threat assessment system for vehicle motion with windshield warning projection

Vyazovych Maxim Vyacheslavovich

maxvyaz@bmstu.ru

SPIN-code: 7315-0050

Kozyrev Vladimir Dmitrievich

kozyrev_vd@bmstu.ru

SPIN-code: 5447-6845

Kulieva Alena Muradovna

kulievaam@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper addresses the problem of detecting potentially hazardous objects during vehicle motion under limited visibility conditions. A multispectral threat assessment system based on visible and thermal imaging sensors is proposed. In the processing module, image fusion is performed and the most informative scene representation is selected using a criterion based on image contrast and gradient characteristics. A motion detection algorithm is used for rapid response to suddenly appearing objects, while deep learning

methods are applied for object recognition and classification. The decision to issue a warning is based on time-to-collision estimation and recognition confidence. The warning is displayed on the vehicle windshield using augmented reality. The proposed approach improves the robustness of hazardous object detection and can be applied in autonomous intelligent transportation systems and driver assistance systems.

Keywords: multispectral sensing, image fusion, threat detection, hazardous situation assessment, augmented reality, intelligent transportation systems, thermal imaging

Введение. Повышение безопасности дорожного движения остается одной из ключевых задач интеллектуальных транспортных систем. Значительная часть дорожно-транспортных происшествий связана с поздним обнаружением опасных объектов, особенно при недостаточной освещенности, неблагоприятной погоде и высокой динамике дорожной обстановки.

Камеры видимого диапазона обеспечивают высокую детализацию сцены, но их эффективность снижается при плохой видимости. Тепловизионные камеры более устойчивы к ухудшению условий наблюдения, однако обычно уступают по пространственной детализации. Использование мультиспектральных систем, объединяющих телевизионный и тепловизионный каналы, позволяет повысить информативность сцены и устойчивость обнаружения объектов.

Постоянное использование комплексированных изображений увеличивает вычислительную нагрузку, поэтому актуальной задачей является адаптивный выбор наиболее информативного представления сцены на основе критерия, учитывающего контраст и градиентные характеристики. В предлагаемой системе для быстрого реагирования на внезапное появление объектов используется устойчивый алгоритм обнаружения движения, а для точного распознавания и классификации — алгоритм глубокого обучения на базе архитектуры YOLOs. Решение о выдаче предупреждения принимается с учетом времени до столкновения и достоверности распознавания. Целью работы является разработка мультиспектральной автоматизированной системы оценки угроз при движении транспортного средства с выводом предупреждений на лобовое стекло в формате дополненной реальности.

Материалы и методы. Предлагаемая система оценки угроз при движении транспортного средства включает сенсорный блок наблюдения, блок обработки изображений, блок распознавания объектов и блок оценки угрозы с выводом предупреждения на лобовое стекло в формате дополненной реальности.

Сенсорный блок содержит телевизионную и тепловизионную камеры. Их изображения приводятся к единому масштабу, разрешению и пространственно согласуются.

В блоке обработки выполняется комплексирование ТВ- и ТПВ-кадров. В предыдущих исследованиях показано, что наилучшее сочетание качества и быстродействия обеспечивают пороговое комплексирование и линейная регрессия, поэтому их линейная комбинация используется для формирования итогового изображения [1].

Выбор наиболее информативного изображения. Для последующего анализа используется наиболее информативное представление сцены. В качестве входных данных рассматриваются ТВ-, ТПВ- и комплексированное изображения. Выбор осуществляется на основе критерия информативности, учитывающего контраст изображения и среднюю величину градиента [2]. Информативность изображения определяется выражением (1):

$$Q = \alpha K + \beta G, \quad (1)$$

где K — глобальный контраст изображения; G — средняя величина градиента яркости; α, β — весовые коэффициенты.

Контраст изображения вычисляется по формуле (2):

$$K = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I_{ij} - \bar{I}|, \quad (2)$$

где I_{ij} — яркость пикселя; $\bar{I}$ — средняя яркость изображения; M, N — размеры изображения.

Градиент изображения определяется как средняя величина модуля пространственного градиента по формуле (3):

$$G = \frac{1}{MN} \sum |\nabla I|. \quad (3)$$

Для дальнейшей обработки выбирается изображение с максимальным значением критерия информативности согласно выражению (4):

$$I^* = \operatorname{argmax}(Q_{TV}, Q_{TPV}, Q_F). \quad (4)$$

Такой подход позволяет адаптивно выбирать наиболее информативный спектральный канал в зависимости от условий наблюдения.

Для быстрого реагирования используется алгоритм обнаружения движения на основе выделения переднего плана. Если площадь движущейся области превышает порог, формируется сигнал предварительного обнаружения препятствия.

Для точного распознавания и классификации объектов используется алгоритм глубокого обучения YOLO. Алгоритм YOLO выполняет детектирование объектов на выбранном изображении и формирует координаты ограничивающего прямоугольника, класс объекта и достоверность распознавания p_c . [3, 4] Полученные данные используются для последующей оценки опасности объекта.

Оценка угрозы. Для оценки опасности используется параметр времени до возможного столкновения — Time-to-Collision (TTC) по формуле (5):

$$TTC = \frac{d}{v_r}, \quad (5)$$

где d — расстояние до объекта; v_r — относительная скорость сближения.

Предупреждение о потенциальной угрозе формируется при выполнении условия (6):

$$TTC < TTC_{crit}; p_c \geq p_{crit}, \quad (6)$$

где TTC_{crit} — критическое значение времени до столкновения; p_{crit} — минимально допустимая достоверность распознавания объекта.

При выполнении пороговых условий предупреждение выводится на лобовое стекло транспортного средства. Визуальное предупреждение включает выделение опасного объекта и указание направления угрозы.

Результаты и обсуждение полученных результатов. Экспериментальная оценка проводилась на наборе мультиспектральных видеопоследовательностей дорожной сцены, включающих дневные, ночные и слабоосвещенные условия, а также сценарии внезапного появления объектов. Обработка выполнялась для кадров 640×480 при частоте 30 кадр/с с использованием OpenCV и методов глубокого машинного обучения на базе архитектуры YOLO. В ходе эксперимента сравнивались ТВ-, ТПВ- и комплексированное изображения. Дополнительно оценивалась устойчивость системы в условиях пониженной видимости.

В предлагаемой системе для последующего анализа использовалось изображение с максимальной информативностью, определяемой критерием, учитывающим контраст и градиентные характеристики. Эффективность оценивалась по вероятности правильного обнаружения P_d , вероятности ложного предупреждения P_f , среднему времени обработки кадра t_{proc} и времени выдачи предупреждения t_{warn} . Результаты экспериментального сравнения приведены в таблице.

Сравнение эффективности различных вариантов обработки изображений

Метод обработки	Вероятность обнаружения P_d	Вероятность ложного предупреждения P_f	Время обработки кадра, мс	Время предупреждения, с
Только ТВ	0,82	0,11	32	1,9
Только ТПВ	0,79	0,09	31	1,8
Компл. изображение	0,88	0,10	35	1,7
Адаптивный выбор канала (предлагаемая система)	0,92	0,08	33	1,5

Полученные результаты показывают, что использование только телевизионного изображения обеспечивает высокую детализацию сцены, но эффективность обнаружения снижается при плохой видимости. Тепловизионный канал более устойчив в сложных условиях наблюдения, однако уступает по пространственной детализации.

Комплексирование позволяет объединить преимущества двух спектральных диапазонов и повысить вероятность обнаружения опасных объектов, но

увеличивает вычислительную нагрузку. Адаптивный выбор наиболее информативного представления сцены обеспечивает рост вероятности правильного обнаружения на 10...13 % по сравнению с использованием одного спектрального канала при сохранении высокой скорости обработки.

Использование алгоритма быстрого обнаружения движения сокращает время реакции при внезапном появлении объектов, а критерий времени до столкновения позволяет формировать предупреждение только в действительно опасных ситуациях, уменьшая число ложных срабатываний.

Заключение. В работе предложена мультиспектральная автоматизированная система оценки угроз при движении транспортного средства, использующая телевизионный и тепловизионный каналы наблюдения и адаптивный выбор наиболее информативного представления сцены на основе критерия, учитывающего контрастные и градиентные характеристики изображения. Архитектура системы включает быстрый алгоритм обнаружения движения для первичного выявления внезапно появляющихся объектов и алгоритм глубокого обучения на базе архитектуры YOLO для их распознавания и классификации. Решение о выдаче предупреждения принимается на основе времени до возможного столкновения и достоверности распознавания.

Экспериментальная оценка показала, что использование мультиспектральных данных и адаптивного выбора информативного канала повышает вероятность обнаружения опасных объектов и снижает вероятность ложных предупреждений при сохранении возможности работы в режиме реального времени. Предложенный подход может применяться в беспилотных интеллектуальных транспортных системах и системах помощи водителю с выводом предупреждений на лобовое стекло в формате дополненной реальности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по государственному заданию FSFN-2025-0015.

Список источников

- [1] Вязовых М.В., Козырев В.Д., Ковтун А.А., Соколовский В.А. Алгоритмы комплексирования телевизионных и тепловизионных изображений для повышения эффективности мультиспектрального распознавания объектов оператором. *Контенант*, 2025, т. 24, № 2, с. 97–109. EDN: KTRJHA
- [2] Козырев В.Д. Алгоритмы предварительной обработки изображения для повышения характеристик распознавания объектов на основе нейронных сетей. *Студенческая научная весна. Всерос. студ. конф.: матер.* Москва, Научная библиотека, 2023, с. 493–495. EDN: WWEQNU
- [3] Вязовых М.В., Козырев В.Д., Ковтун А.А., Вернигор Н.А., Ключев В.А. Нейросетевой алгоритм повышения вероятности распознавания перемещающихся объектов в лидарных системах // *XV Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов*. Москва: НИЯУ МИФИ, 2026. С. 272–273. ISBN 978-5-7262-3224-9.
- [4] Qi C.R., Su H., Mo K., Guibas L.J. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation. *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 652–660. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.00593>