

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-887-895

Использование комбинированных моделей искусственного интеллекта для контроля техники безопасности в строительстве

Басов О.О., Соболев Ю.И., Тетерников И.А.

Акционерное общество «АСТ», Россия, 123242, Москва, пер. Капранова, д. 3, стр. 2

E-mail: o.basov@acti.ru, y.sobolev@acti.ru, i.teternikov@acti.ru

Аннотация. В статье представлены постановки задач, их условия, ограничения и решения, направленные на выявление нарушений трудовой дисциплины (отсутствие на рабочем месте) и техники безопасности (неношение защитной каски) на строительной площадке. Показано, что обеспечить высокую точность идентификации и трекинга людей, а также классификации защитных касок на них возможно лишь при построении ИИ-архитектуры решения, основанной на комбинировании нейросетевых архитектур и продукционных правил, отражающих условия поставленных задач. При такой комбинации потенциально возможно получение наивысших характеристик точности детекции и распознавания, что продемонстрировано на конкретных примерах.

Ключевые слова: компьютерное зрение, комбинированные модели, строительная площадка, трекинг, защитная каска, трудовая дисциплина, техника безопасности, Yolo8

Для цитирования: Басов О.О., Соболев Ю.И., Тетерников И.А. 2024. Использование комбинированных моделей искусственного интеллекта для контроля техники безопасности в строительстве. Экономика. Информатика, 51(4): 887–895. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-887-895

Using Combined Artificial Intelligence Models to Monitor Construction Safety

Oleg O. Basov, Yuri I. Sobolev, Ilya A. Teternikov

Joint-Stock Company AST, bld 2, 3 Kapranov Ln, Moscow 123242, Russia

E-mail: o.basov@acti.ru, y.sobolev@acti.ru, i.teternikov@acti.ru

Abstract. The article presents the formulation of problems, their conditions, limitations and solutions aimed at identifying violations of labor discipline (absence from the workplace) and safety precautions (failure to wear a safety helmet) at a construction site. The study shows that it is only possible to ensure high accuracy of identification and tracking of people, as well as classification of safety helmets they are wearing when an AI architecture of the solution is built that is based on a combination of neural network architectures and production rules that reflect the conditions of the tasks. This combination potentially allows obtaining the highest characteristics of detection and recognition accuracy, which is demonstrated by specific examples.

Keywords: computer vision, combined models, construction site, tracking, safety helmet, labor discipline, safety precautions, Yolo8

For citation: Basov O.O., Sobolev Yu.I., Teternikov I.A. 2024. Using Combined Artificial Intelligence Models to Monitor Construction Safety. Economics. Information technologies, 51(4): 887–895 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-887-895

Введение

Возрастающее желание как подрядчиков, так и заказчиков по государственным контрактам контролировать процессы проведения строительных работ и сами объекты строительства и реконструкции повсеместно приводит к размещению на таких объектах



систем видеонаблюдения различных сложности и масштаба применения, обеспечивающих возможность наблюдения в любое время и из любого места.

Такая тенденция является вполне обоснованной, поскольку строительная отрасль характеризуется следующими факторами:

- 1) высокой смертностью и травматизмом, вызванными нарушением правил охраны труда (более половины несчастных случаев (55 %) произошли из-за некачественной организации труда);
- 2) увеличением сроков выполнения работ от плановых от 30 % (невыполнение операций по технологической карте);
- 3) превышением бюджетов, вызванным, в первую очередь, внесистемным контролем расхода материалов;
- 4) низким уровнем контроля за строительными материалами;
- 5) слабо автоматизированным контролем выполнения работ специалистами подрядчика, заказчика, авторского надзора, государственного строительного надзора и т. д. [Кузина, 2023].

Значительное число таких факторов, с одной стороны, и возрастающее в геометрической прогрессии число цифровых изображений, получаемых из систем видеонаблюдения, делает «ручные» методы обработки таких данных и принятия решения чрезвычайно трудоёмкими и малоэффективными.

В то же время стремительное развитие технологий искусственного интеллекта [ГОСТ Р 59276-2020], в частности компьютерного зрения, позволяет разрешить указанное противоречие с достаточно высокими точностью и своевременностью, автоматизируя соответствующие процессы принятия решений. В компьютерном зрении обнаружение объектов определяется как локализация объекта на изображении и отнесение области к одной из заранее определенных категорий. Способность обнаруживать объекты в режиме реального времени помогает отслеживать небезопасное поведение работников (например, нахождение на строительной площадке без защитной каски или работа в непосредственной близости от опасного объекта или движущегося объекта), что имеет важное значение для предотвращения потенциальных несчастных случаев [Siyeon Kim, Seok Hwan Hong, Nyodong Kim, Meesung Lee, Sungjoo Hwang, 2023].

Однако решение задачи выявления случаев нарушения трудовой дисциплины и требований охраны труда с использованием инструментария детекции и сегментации объектов на изображениях с видеокamer на строительной площадке не всегда приводит к желаемым результатам. При высокой цене ошибки (травма или гибель рабочего, нарушение сроков строительства и т. п.) такие результаты нивелируются, а решение поставленной задачи может быть достигнуто за счёт использования комбинированных моделей искусственного интеллекта, позволяющих имитировать когнитивные функции человека.

В работе представлены постановки задач, их условия, ограничения и решения, направленные на выявление нарушений трудовой дисциплины (отсутствие на рабочем месте) и техники безопасности (неношение защитной каски) на строительной площадке.

Постановка и решение задачи подсчёта работников

В рамках проведённого исследования в целях контроля трудовой дисциплины требовалось обеспечить автоматическую фиксацию времени прибытия людей на объект и убытия с него. Такая фиксация должна обеспечиваться с использованием единственной камеры системы видеонаблюдения, установленной на проходной строительной площадки.

В качестве факторов, негативно влияющих на качество решения поставленной задачи, выявлены следующие:

- небольшие размеры проходной, определяющие короткую длительность видеопотока, используемого для детектирования людей, а также малое число кадров с полноразмерным отображением человека;

- наличие окна, движение за которым приводит к ложным срабатываниям модели детекции людей (рис. 1а);
- хаотичные движения охранника, выходящего на проходную и тем самым влияющим на результаты подсчёта (рис. 1б).

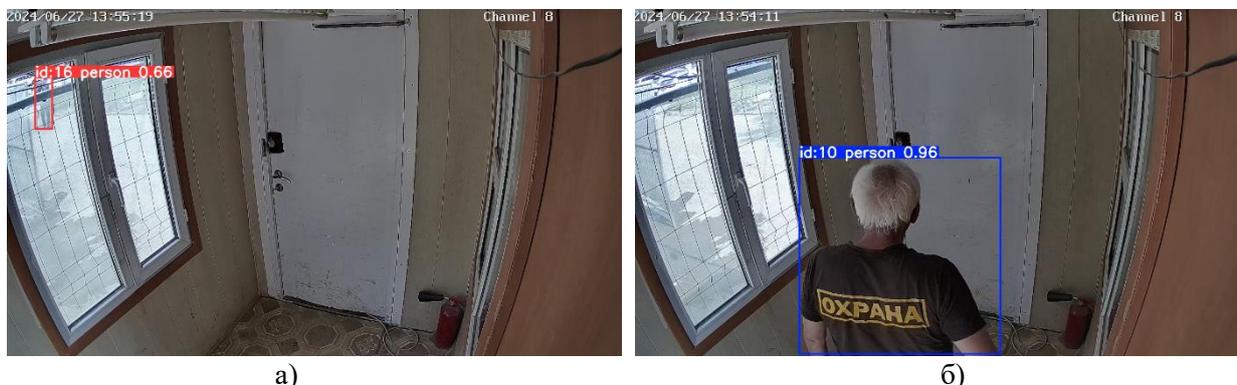


Рис. 1. Факторы, негативно влияющие на качество подсчёта людей на проходной
Fig. 1. Factors that negatively affect the quality of people counting at the checkpoint

Предложенная ИИ-архитектура решения (рис. 2) обладает следующими особенностями, позволяющими компенсировать указанные выше факторы:

- 1) исключение из обработки части кадра, относящегося к окну;
- 2) детекция действий охранника;
- 3) увеличенная частота считывания видеок кадров и трекинг людей;
- 4) дополнительная детекция лица для определения направления движения человека (на строительную площадку или с неё).

В качестве моделей отслеживания (трекинга) людей выбрана BoT-SORT [Aharon, Orfaig, Bobrovsky, 2022], показавшая лучшие результаты работы при анализе видео с частотой 15 кадр/с длительностью около 5 часов (таблица 1). В контрольном примере через проходную (в обоих направлениях) прошёл 531 человек.

Таблица 1
Table 1

Результаты сравнения различных алгоритмов трекинга
Results of comparison of different tracking algorithms

Название алгоритма	Ссылка на источник	Количество людей
StrongSORT	[Du Y., Zhao Z., Song Y., Zhao Y., Su F., Gong T., Meng H., 2022]	542
Deep OC-SORT	[Maggiolino G., Ahmad A., Cao J., Kitani K., 2023]	541
ByteTrack	Zhang Y., Sun P., Jiang Y., Yu D., Weng F., Yuan Z., Luo P., Wenyu Liu, Xinggang Wang	538
BoT-SORT	[Aharon N., Orfaig R., Bobrovsky B.-Z., 2022]	531

Для детекции лица использовалась модель Yolo8s, обученная на датасете SHEL5K [Отгонболд et al, 2022], включающем в себя 6 классов объектов (защитная каска, голова с защитной каской, человек в защитной каске, человек без защитной каски и лицо) и в последующем также использованном для обучения модели распознавания защитных касок.

Результаты натурального эксперимента показали 100-процентную точность детекции людей, перемещающихся через проходную, и направления их движения, позволившего производить подсчёт работников, прибывших на строительную площадку и убывших с неё, и фиксировать соответствующее время.

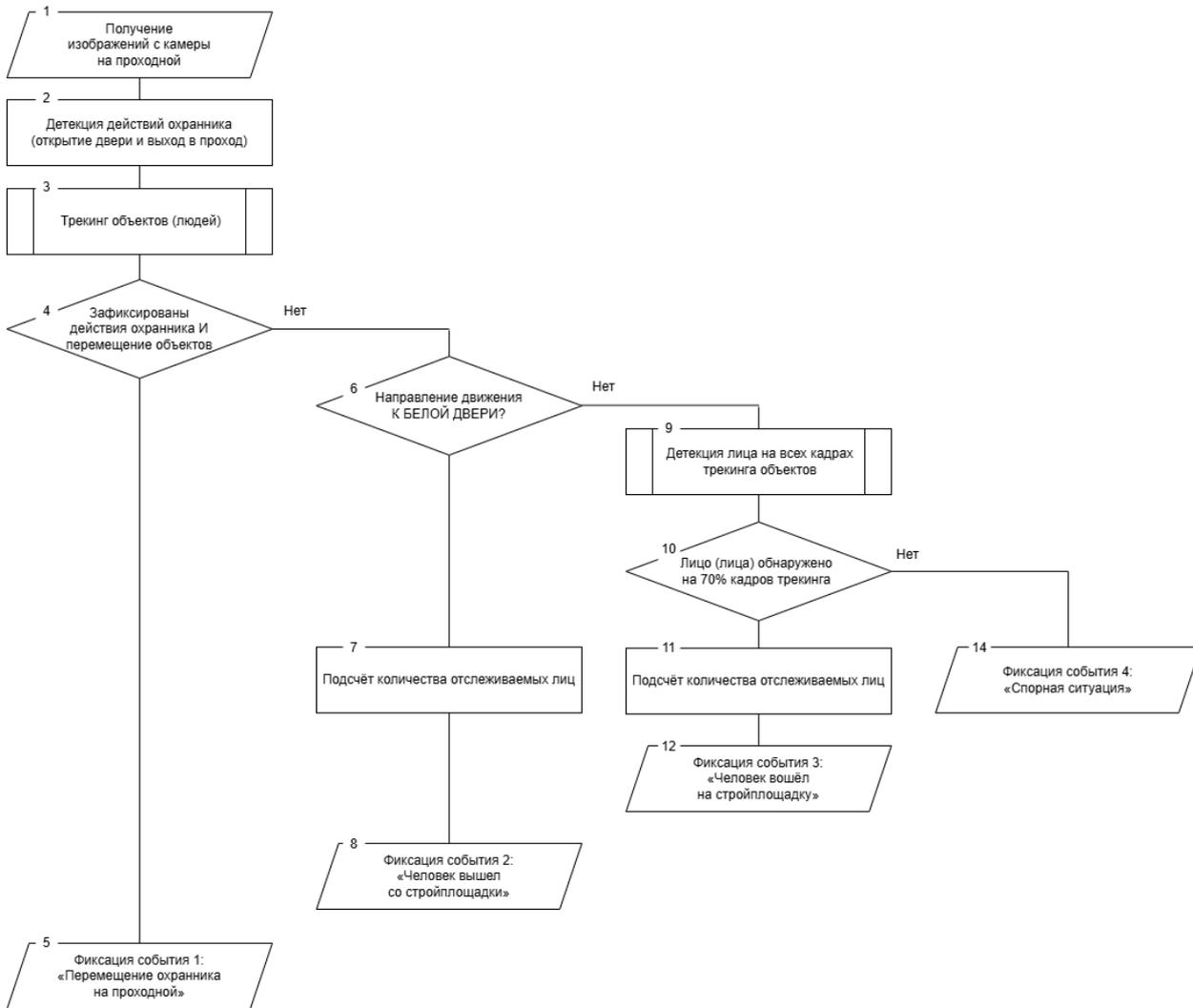


Рис. 1. ИИ-архитектура решения для подсчёта проходящих людей на видеоизображениях
 Fig. 1. AI-architecture of a solution for counting people passing by in video images

Постановка и решение задачи выявления случаев ненашения защитной каски

В рамках проведённого исследования в целях контроля нарушения техники безопасности требовалось обеспечить автоматическую фиксацию случаев, когда работники на строительной площадке перемещались без защитной каски. Такая фиксация должна обеспечиваться с использованием камер системы видеонаблюдения, размещённых по периметру объекта.

В качестве факторов, негативно влияющих на качество решения поставленной задачи, выделены следующие:

- наличие нескольких объектов на одном кадре (рис. 3, а,б);
- низкая точность обнаружения человека (его головы), если он находится в тени или в тёмное время суток (рис. 3в);
- ошибка трекинга людей при их движении в кадре по направлению друг к другу (рис. 3, г,е);
- низкая точность распознавания защитной каски по одному изображению;
- неверная классификация при малом размере головы детектированного человека.



Рис. 3. Факторы, негативно влияющие на качество выявления случаев ненашения защитной каски
Fig. 3. Factors that negatively affect the quality of detection of cases of failure to wear a protective helmet

Предложенная ИИ-архитектура решения (рис. 4) обладает следующими особенностями, позволяющими компенсировать указанные выше факторы:

- для трекинга людей использована модель с реидентификацией целей (ReID, Re-Identification) [Alikhanov, Obidov, 2024]. При этом анализировался разряженный видеопоток (4 кадр/с) длительностью не менее 4 с;

- решение о наличии/отсутствии защитной каски принималось при условии, что человек присутствовал более чем на 50 % кадров видеопотока.

Для детекции наличия/отсутствия защитной каски использовалась модель YoloV8s, обученная на датасетах SHEL5K и Safety-Helmet-Wearing-Dataset¹. В обучающей выборке использовано 11849 изображений, в тестовой – 732. Проверка модели показала (рис. 5), что классы (0) «no_helmet» и (1) «with_helmet» практически между собой не путаются.

Однако было установлено, что при маленьком размере головы она либо не находится, либо неправильно классифицируется наличие/отсутствие защитной каски. В связи с чем в общую ИИ-архитектуру решения включена модель детекции людей на основе YoloV81 [Yunusov et al, 2024]. Экспериментально установлены условия, при которых классификация наличия/отсутствия защитной каски будет ошибочна – если прямоугольник с детектированным человеком имеет высоту, меньшую 100 пикселей и более чем в 2 раза превышающую ширину данного прямоугольника.

Кроме того, модель точно определяет класс (1) «with_helmet» при наличии защитной каски на голове человека. Между тем возникают ошибки классификации для класса (0) «no_helmet», если на голове человека находится не каска, а головной убор (панамы, кепка, бандана) или капюшон.

Для повышения точности классификации исходная модель дообучена на изображениях с людьми, на которых надеты различные головные уборы² [Гусев, 2023.].

Внедрение механизма реидентификации цели и правил принятия решения об идентификации человека, основанных на оценке пройденных расстояний, позволило улучшить качество классификации наличия/отсутствия защитной каски (таблица 2). Её устойчивые результаты, близкие к 99 %, получены в течение светового дня для работников, находящихся на расстоянии не более 20 м от камер системы видеонаблюдения.

¹ <https://github.com/njvisionpower/Safety-Helmet-Wearing-Dataset>

² <https://www.crowdhuman.org/download.html>

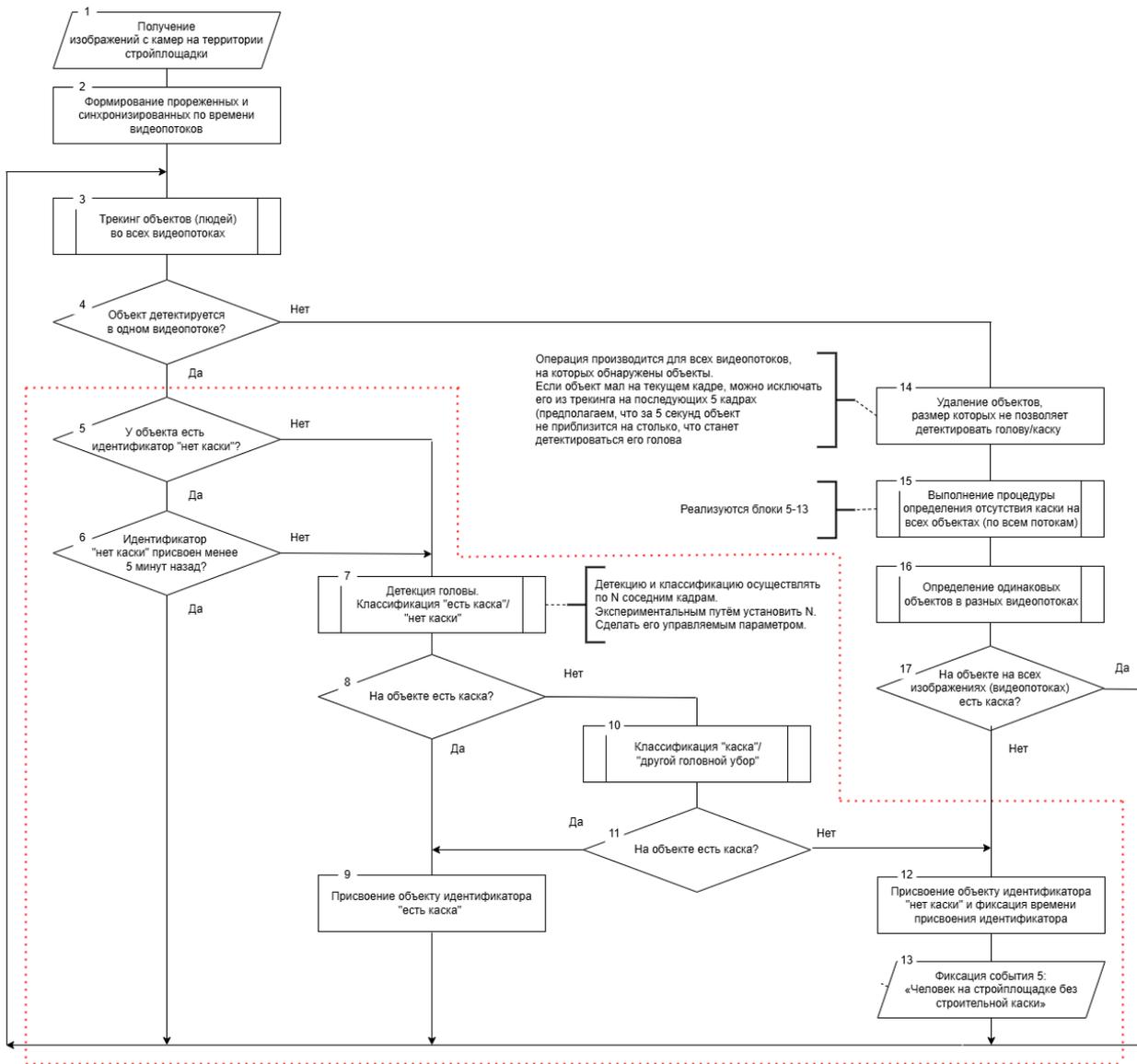


Рис. 4. ИИ-архитектура решения для подсчёта проходящих людей на видеоизображениях
 Fig. 4. AI-architecture of a solution for counting people passing by in video images

Заключение

Проведённое исследование свидетельствует о том, что обеспечить высокую точность идентификации и трекинга людей, а также классификации защитных касок на них возможно лишь при построении ИИ-архитектуры решения, основанной на комбинировании нейросетевых архитектур и продукционных правил, отражающих условия поставленных задач. При такой комбинации потенциально возможно получение наивысших характеристик точности детекции и распознавания, что продемонстрировано на примере задач выявления нарушений трудовой дисциплины (отсутствие на рабочем месте) и техники безопасности (неношение защитной каски) на строительной площадке.

Дальнейшее развитие указанных задач видится в совершенствовании ИИ-архитектуры их решения для обеспечения круглосуточной фиксации случаев нарушения и, как следствие, сбор и дообучение применяемых моделей детекции, трекинга и классификации для работы в условиях недостаточного освещения, сумерек и в ночное время.

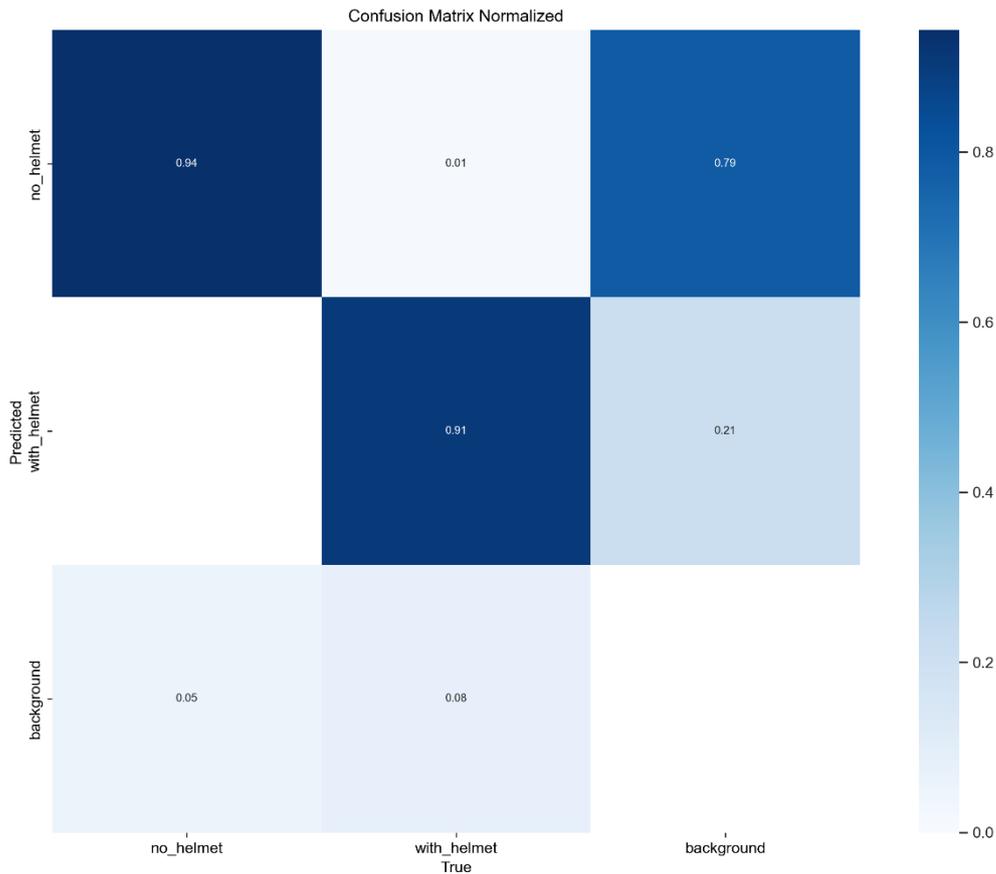


Рис. 5. Матрица ошибок для модели классификации наличия/отсутствия защитной каски
 Fig. 5. Confusion matrix for the helmet presence/absence classification model

Таблица 2
 Table 2

Результаты детекции защитных касок
 Results of detection of protective helmets

Номер эксперимента	Длительность видео	Найдено человек без каски	Не найдено человек без каски	Из них человек с 2 разными ID	Из них человек с 3 разными ID
1	0:10:06	21	0	3	0
2	0:02:00	2	0	0	0
3	0:05:37	4	0	0	0
4	0:04:37	1	0	0	0
5	0:01:01	4	0	0	0
6	0:00:48	3	0	0	0
7	0:05:00	4	0	2	0
8	0:00:30	1	0	0	0
9	0:07:07	3	0	0	0
10	0:07:30	4	0	1	1

Список литературы

ГОСТ Р 59276-2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения. <https://docs.cntd.ru/document/1200177291>
 Гусев А.В. 2023. Автоматизация формирования выборок изображений естественных сцен для обучения и тестирования нейронных сетей. Экономика. Информатика. 50(3):624–632. DOI:10.52575/2687-0932-2023-50-3-624-632



- Кузина О. Н. 2023. Модель управления производительностью труда в строительстве методами искусственного интеллекта. *Научно-технический вестник Поволжья*. 3: 68–73.
- Aharon N., Orfaig R., Bobrovsky B.-Z., 2022. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2206.14651>
- Alikhanov J., Obidov O., 2024. LITE: A Paradigm Shift in Multi-Object Tracking with Efficient ReID Feature Integration. <https://arxiv.org/html/2409.04187v1>
- Du Y., Zhao Z., Song Y., Zhao Y., Su F., Gong T., Meng H., 2022. StrongSORT: Make DeepSORT Great Again. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2202.13514>.
- Maggiolino G., Ahmad A., Cao J., Kitani K., 2023. Deep OC-SORT: Multi-Pedestrian Tracking by Adaptive Re-Identification. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2302.11813>.
- Otgonbold M.-E., Gochoo M., Alnajjar F., Ali L., Tan T.-H., Hsieh J.-W., Chen P.-Y., 2022. SHEL5K: An Extended Dataset and Benchmarking for Safety Helmet Detection. *Sensors*, 22(6), 2315. DOI: 10.3390/s22062315.
- Siyeon Kim, Seok Hwan Hong, Hyodong Kim, Meesung Lee, Sungjoo Hwang. 2023. Small object detection (SOD) system for comprehensive construction site safety monitoring, *Automation in Construction*, Vol. 156. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105103.
- Yunusov N., Islam B.M.S., Abdusalomov A., Kim, W. 2024. Robust Forest Fire Detection Method for Surveillance Systems Based on You Only Look Once Version 8 and Transfer Learning Approaches. *Processes*, 12, 1039. DOI: 10.3390/pr12051039

References

- GOST R 59276-2020. Artificial intelligence systems. Methods of ensuring trust. General provisions (in Russian). <https://docs.cntd.ru/document/1200177291>
- Gusev A.V. 2023. Automation of Sampling of Images of Natural Scenes for Training and Testing Neural Networks. *Economics. Information technologies*, 50(3):624–632 (in Russian). DOI:10.52575/2687-0932-2023-50-3-624-632
- Kuzina O. N. 2023. Model of labor productivity management in construction using artificial intelligence methods. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 3: 68–73. (In Russian).
- Aharon N., Orfaig R., Bobrovsky B.-Z., 2022. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2206.14651>
- Alikhanov J., Obidov O., 2024. LITE: A Paradigm Shift in Multi-Object Tracking with Efficient ReID Feature Integration. <https://arxiv.org/html/2409.04187v1>
- Du Y., Zhao Z., Song Y., Zhao Y., Su F., Gong T., Meng H., 2022. StrongSORT: Make DeepSORT Great Again. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2202.13514>.
- Maggiolino G., Ahmad A., Cao J., Kitani K., 2023. Deep OC-SORT: Multi-Pedestrian Tracking by Adaptive Re-Identification. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://arxiv.org/abs/2302.11813>.
- Otgonbold M.-E., Gochoo M., Alnajjar F., Ali L., Tan T.-H., Hsieh J.-W., Chen P.-Y., 2022. SHEL5K: An Extended Dataset and Benchmarking for Safety Helmet Detection. *Sensors*, 22(6), 2315. DOI: 10.3390/s22062315.
- Siyeon Kim, Seok Hwan Hong, Hyodong Kim, Meesung Lee, Sungjoo Hwang. 2023. Small object detection (SOD) system for comprehensive construction site safety monitoring, *Automation in Construction*, Vol. 156. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105103.
- Yunusov N., Islam B.M.S., Abdusalomov A., Kim, W. 2024. Robust Forest Fire Detection Method for Surveillance Systems Based on You Only Look Once Version 8 and Transfer Learning Approaches. *Processes*, 12, 1039. DOI: 10.3390/pr12051039

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 24.10.2024

Поступила после рецензирования 01.12.2024

Принята к публикации 05.12.2024

Received October 24, 2024

Revised December 01, 2024

Accepted December 05, 2024



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Басов Олег Олегович, доктор технических наук, доцент, руководитель Центра искусственного интеллекта АО «АСТ», г. Москва, Россия

Соболев Юрий Игоревич, ведущий специалист направления информационно-аналитических систем АО «АСТ», г. Москва, Россия

Тетерников Илья Анатольевич, специалист направления информационно-аналитических систем АО «АСТ», г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Artificial Intelligence Center of JSC AST, Moscow, Russia

Yuri I. Sobolev, Leading Specialist in the Information and Analytical Systems Department of JSC AST, Moscow, Russia

Ilya A. Teternikov, Specialist in the Information and Analytical Systems Department of JSC AST, Moscow, Russia