

УДК 004.89

Интеллектуальная система контроля бдительности и действий машиниста

**А. А. Володин¹, А. Н. Сычугов¹, Д. И. Урасинов¹, П. А. Денисенко¹,
К. Д. Андреев¹, В. И. Волощук²**

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² Южный федеральный университет, Россия, 344006, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105

Для цитирования: Володин А. А., Сычугов А. Н., Урасинов Д. И., Денисенко П. А., Андреев К. Д., Волощук В. И. Интеллектуальная система контроля бдительности и действий машиниста // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 2. С. 86–99. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-86-99

Аннотация

Цель: в статье рассматривается подход к разработке системы контроля бдительности и действий машиниста с помощью технического зрения и нейросетевых моделей. Основной целью проводимых исследований является повышение безопасности железнодорожного транспорта. **Методы:** сбор данных из различных источников, аннотация, очистка и нормализация данных, обучение нейросети на основе видеозаписей лиц машинистов в различных состояниях и данных об их поведении. Алгоритмы обучения нейросетей на архитектуре сверточных нейронных сетей, методы обучения с учителем, методы сегментации масок и пропорциональное изменение размера области интереса, методы сегментации масок для определения контура объекта на изображении, алгоритмы глубокого обучения, такие как стохастический градиентный спуск и обратное распространение ошибки. **Результаты:** разработана система, которая определяет эмоциональное состояние машиниста на основе видеопотока в реальном времени, обнаруживая признаки усталости или отвлечения, предупреждая о возможных опасных ситуациях. Такой подход позволит оперативно реагировать на риски, которые возникают в процессе управления поездом, что позволяет повысить уровень безопасности движения поездов. **Практическая значимость:** разработанная система контроля бдительности и действий машиниста может быть внедрена на локомотивах или моторвагонном подвижном составе для реального мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: система, машинист, машинное обучение, безопасность, железнодорожный транспорт, анализ данных, нейросеть, аварии, предупреждение.

Введение

Железнодорожный транспорт является одним из важнейших видов транспорта, обеспечивающих перевозку людей и грузов. Обеспечение безопасных перевозок на железнодорожном транспорте всегда было и остается одной из главных задач. Несмотря на постоянное совершенствование техники и внедрение современных систем безопасности, человеческий фактор по-прежнему играет ключевую роль в железнодорожных происшествиях. Статистика показывает, что до 70 % железнодорожных происшествий происходит по вине человека.

Усталость, сонливость, отвлечение от управления — все эти факторы могут привести к трагическим последствиям. Обеспечение безопасности железнодорожного транспорта является одной из важнейших задач [1–2]. Машинист играет ключевую роль в этой системе, и его состояние напрямую влияет на безопасность движения поезда.

В настоящее время существует ряд систем контроля действий машиниста, таких как телемеханическая система контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ), регистратор переговоров локомотивный (РПЛ), комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ), безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК), система контроля внимания «Штурман» (применяется на метрополитене) и ряд других систем. Однако эти системы имеют ряд ограничений: невысокую точность определения состояния машиниста, ограниченную функциональность, сложность установки и не всегда эффективное взаимодействие с другими системами безопасности.

В рамках исследований был выполнен анализ систем контроля бдительности лица, управляющего транспортным средством. Для этого были рассмотрены основные системы, применяющиеся на воздушном, водном и автомобильном транспорте.

На сегодняшний день Международная организация гражданской авиации (ИКАО) не предъявляет обязательных требований к оборудованию пассажирских и грузовых воздушных судов системами контроля бдительности пилотов [3]. Сейчас эта функция возлагается на старшего бортпроводника, а при его отсутствии — на других лиц, сопровождающих воздушное судно.

Специфика морского и речного транспорта заключается в том, что, как правило, число лиц, осуществляющих работу по управлению судном, значительно превышает численность локомотивных бригад, поэтому необходимости в постоянном контроле за бдительностью судоводителя нет. Однако сегодня в мире широко применяется Система контроля дееспособности вахтенного помощника капитана (СКДВП, или BNWAS). Это оборудование, которое контролирует действия вахтенного помощника и автоматически предупреждает капитана или другого офицера, если по любой причине вахтенный становится не способен выполнить свои обязанности. Особенность СКДВП заключается в том, что она способна лишь проинформировать ответственных лиц, а не вмешаться в управление [4].

На автомобильном транспорте (в особенности в грузовом) сегодня применяются оптические ADAS-системы контроля состояния водителя, смысл работы которых заключается в том, что оптический датчик при выявлении признаков засыпания или отвлечения от управления подает сигнал на управляющий блок, который издает звуковой сигнал, и в случае, если внимание водителя не восстановится, остановит транспортное средство [5–6].

Все рассмотренные системы обладают одним критическим недостатком — неспособностью детектировать ключевой отвлекающий фактор, которым сегодня является мобильный телефон [7]. И железнодорожный транспорт не является исключением. Например, причиной одного из последних нарушений безопасности стал мобильный телефон: «11.03.2024 в 05 час. 14 мин. (мск вр.) на ст. Тихоново Куйбышевской ж/д при выполнении маневровых передвижений тепловоза ТЭМ18ДМ № 1214 приписки ТЧЭ Бугульма под управлением машиниста в одно лицо при скорости 20 км/ч допущен проезд маневрового светофора М17 с запрещающим показанием и последующим взрезом стрелочного перевода № 23... После остановки за светофором М5 и смены направления движения машинист, не наблюдая за показаниями светофоров и положением стрелочных переводов, **отвлекся на разговор по мобильному телефону**, допустил проезд маневрового светофора М17 с запрещающим показанием и последующим взрезом стрелочного перевода № 23». Даже при столь невысокой скорости движения машинисту не хватило концентрации и внимания для того, чтобы предупредить нарушение. Ни одна из существующих систем контроля бдительности и действий машиниста сегодня не способна обнаружить момент использования мобильного телефона и, как следствие, снижение бдительности. Для того чтобы повысить уровень безопасности и предупредить машиниста о том, что его внимание сосредоточено на мобильном телефоне, была разработана интеллектуальная система контроля действий машиниста, основанная на методах машинного обучения. Система с помощью видеокамеры, установленной над пультом машиниста, и блока обработки данных определяет состояния машиниста, посторонние предметы (мобильный телефон и другие), отсутствие машиниста на рабочем месте и др. Алгоритмы машинного обучения позволят системе анализировать видеоданные в реальном времени, распознавать признаки усталости или отвлечения и предупреждать машиниста о возможных опасных ситуациях. Рассмотрим принцип реализации такой системы и основные результаты тестирования.

Системы контроля бдительности

Системы контроля бдительности, такие как ТСКБМ [8] и датчики на ухе, используют методы измерения электрического сопротивления кожи запястья и отслеживания пульса и давления машиниста соответственно. Они проводят проверки бдительности и передают информацию дежурным врачам, однако их точность ограничена и они могут давать ложные срабатывания.

Другой тип систем — это системы контроля работоспособности. Например, регистратор переговоров локомотивный РПЛ-2 записывает переговоры между локомотивной бригадой и диспетчером, фиксирует выполнение регламента переговоров и позволяет анализировать действия машиниста в случае происшествия, но не может напрямую влиять на безопасность движения поезда.

Также существуют комплексные системы контроля, например КЛУБ, которые сочетают в себе различные функции и обеспечивают автоматическую остановку поезда перед запрещающим сигналом. Однако они имеют высокую стоимость и требуют сложного технического обслуживания [9].

Системы контроля на основе носимых устройств, такие как тревожные браслеты, измеряют пульс и степень усталости машиниста и подают сигналы тревоги в случае отклонения показателей от нормы, но и они не всегда точны и могут давать ложные срабатывания [10].

В рамках исследования был проведен сравнительный анализ описанных выше систем, результаты которого приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительный анализ систем контроля действий машиниста

Система контроля действий машиниста	Преимущества	Недостатки
ТСКБМ	Отслеживание бдительности и бодрствования машиниста путем подачи сигналов	<ul style="list-style-type: none"> • Не регистрирует параметры движения; <ul style="list-style-type: none"> • не отслеживает давление и пульс локомотивной бригады; • не ведет запись переговоров; • не фиксирует факт использования машинистом предметов, отвлекающих от управления
РПЛ-2	Производит запись переговоров между машинистом и помощником машиниста, между локомотивной бригадой и диспетчером	<ul style="list-style-type: none"> • Не регистрирует параметры движения; <ul style="list-style-type: none"> • не отслеживает давление и пульс локомотивной бригады; • не отслеживает бдительность и бодрствование машиниста; • не фиксирует факт использования машинистом предметов, отвлекающих от управления
КЛУБ	Регистрирует параметры движения, контролирует разрешенную скорость и отслеживает нахождение поезда на перегоне	<ul style="list-style-type: none"> • Не отслеживает давление и пульс локомотивной бригады; <ul style="list-style-type: none"> • не ведет запись переговоров; • не отслеживает бодрствование машиниста; • не фиксирует факт использования машинистом предметов, отвлекающих от управления
«Штурман»	Отслеживание состояния машиниста на линии (давление и пульс)	<ul style="list-style-type: none"> • Не регистрирует параметры движения; <ul style="list-style-type: none"> • не ведет запись переговоров; • не фиксирует факт использования машинистом предметов, отвлекающих от управления

Система контроля машиниста на основе машинного зрения

Система контроля машиниста на основе машинного зрения представляет собой решение, основанное на использовании комплекса моделей машинного обучения для анализа видеопотока с камеры, установленной в кабине локомотива. Эта система разработана с целью непрерывного мониторинга состояния машиниста и предотвращения возможных рисков, связанных с его работоспособностью и вниманием во время управления поездом (рис. 1).

Основные компоненты системы включают:

- камеру для фиксации лица машиниста в реальном времени и датчики состояния транспортного средства;
- блок обработки данных, содержащий нейросеть, способную анализировать и интерпретировать видеоданные;
- систему оповещения, которая предупреждает машиниста в случае выявления признаков усталости, отвлеченности или стресса.

Для эффективного обучения нейросети использован массив данных, включающий:

- видеозаписи лиц машинистов в различных состояниях (уставших, бодрых, отвлеченных и сосредоточенных);
- физиологические показатели машинистов, такие как пульс, давление и дыхание;
- данные о поведении машинистов, включая движения глаз, мимику и позу.

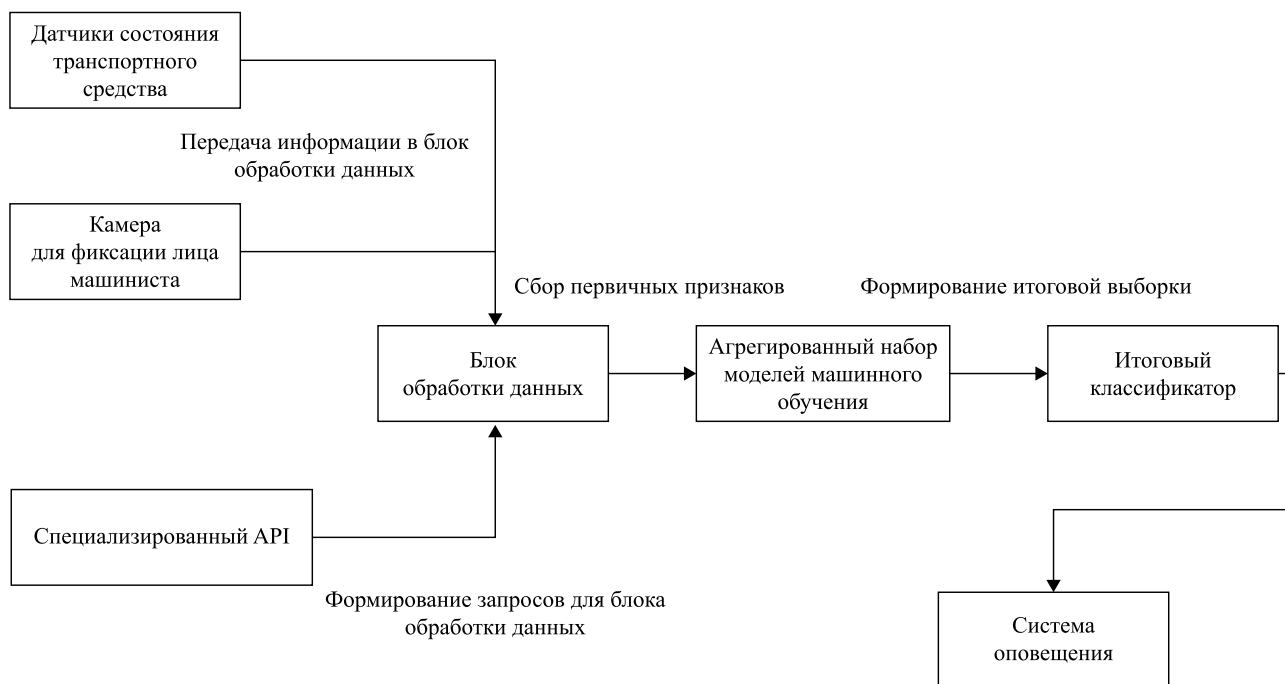


Рис. 1. Структурная схема предлагаемой системы контроля действий машиниста

На основе описанного процесса обучена нейросеть, которая распознает лица машинистов, определяет их эмоциональное состояние, а также выявляет признаки усталости, отвлеченности или стресса. Отчетность формируется в виде csv-файла (или SQL — базы данных), который в дальнейшем подвергается обработке. В результате после каждой поездки формируется отчет, который позволяет анализировать психоэмоциональное состояние машиниста во время работы, степень отвлеченности на посторонние предметы и ряд других факторов. В перспективе такой подход позволит построить более сложные модели, способные прогнозировать возможное снижение работоспособности или накопленной усталости у машиниста.

Процесс машинного обучения

Ключевая задача проекта состояла в разработке модели машинного обучения с учетом анализа визуального потока в реальном времени с целью классификации поведенческих состояний машинистов. Основными приоритетами являются точность классификации, максимально эффективное использование данных с камеры для выявления конкретных состояний машинистов в процессе работы. В проекте применены различные методы машинного обучения для улучшения качества классификации, включая модели XGBoost, CatBoost, «Случайный лес» и другие. Наиболее важными этапами процесса обучения модели стали отбор и анализ признаков, обучение и оценка модели, а также проверка ее производительности.

В результате разработана модель машинного обучения, способная автоматически классифицировать состояния машинистов на основе анализа видеопотока с камер.

В целях аугментации [11] изображений была разработана функция `augment_images`, осуществляющая обработку изображений из указанной директории и сохранение аугментированных версий. В процессе аугментации используется набор преобразований, заданных последовательностью `seq` из библиотеки `imgaug`.

Каждое изображение подвергается нескольким преобразованиям, включая случайное отражение по горизонтали, случайный поворот на заданный угол, случайное размытие и добавление гауссовского шума. Для каждого изображения создается определенное количество аугментированных версий, заданное параметром `augment_count`, которые сохраняются с соответствующими индексами в названии файла.

Основные модели для обработки видеопотока

Для обнаружения поз на изображениях предложена реализация класса `PoseNetDetector`, который использует модель `TensorFlow Lite` [12] для обработки изображений. Для обработки изображения применяется метод `process_image`,

который выполняет следующие шаги: изменяет размер изображения, согласно размерам входных данных модели, преобразует изображение в формат uint8, передает данные в модель, вызывает модель для получения выходных данных и возвращает результат [13].

Также разработаны функции `process_output`, которая обрабатывает выходные данные модели и извлекает координаты ключевых точек обнаруженной позы, и `draw_skeleton` для визуализации скелета позы на изображении (рис. 2).

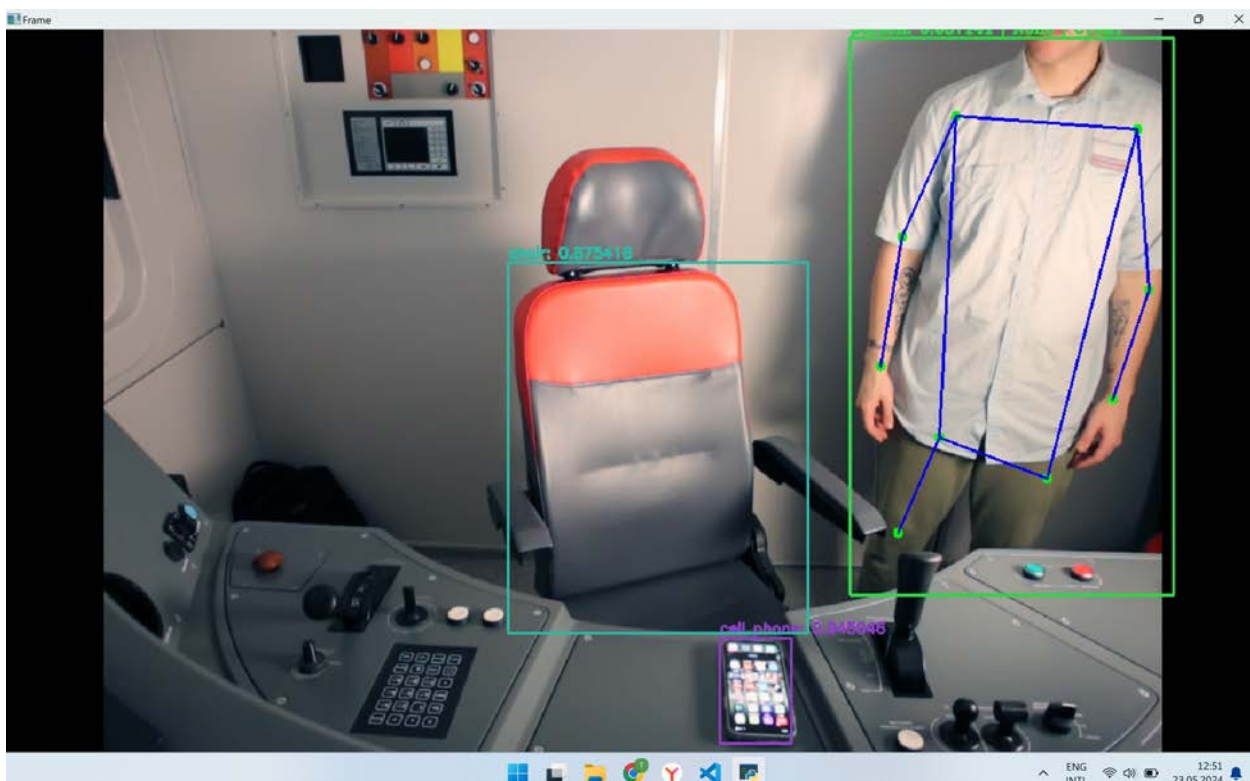


Рис. 2. Пример выделения ключевых точек поз (автор фото А. Н. Сычугов)

Основная функция `detect_poses` выполняет процесс обнаружения поз на изображениях, используя модель `PoseNetDetector`. Для каждого изображения из папки выполняются следующие шаги: извлечение поз, визуализация ключевых точек и скелета на изображении, сохранение обработанного изображения в указанную директорию. Индикатор прогресса выводится с помощью библиотеки `tqdm`.

Процесс распознавания эмоций на фотографиях представляет собой комплексный алгоритмический процесс, включающий в себя несколько этапов обработки изображений и анализа полученных данных. Изображение подвергается анализу на наличие ключевых признаков эмоций, таких как выражение лица, положение глаз, рта и других анатомических особенностей, характеризующих определенное эмоциональное состояние. Для этого применяются методы машинного обучения, такие как сверточные нейронные сети, которые обучаются на больших

наборах данных, содержащих размеченные изображения с указанием соответствующих эмоций.

Одной из наиболее распространенных моделей для распознавания эмоций на фотографиях является модель под названием Convolutional Neural Network for Emotion Recognition (EmoNet) [11], которая состоит из нескольких слоев свертки, слоев пулинга и полносвязных слоев. Она обучается на больших наборах данных, содержащих изображения лиц с разметкой по эмоциональным состояниям. В процессе обучения модель выявляет характеристики, которые наиболее сильно коррелируют с определенными эмоциями.

Процесс работы EmoNet начинается с предварительной обработки изображения, включая масштабирование и нормализацию. Затем изображение проходит через слои свертки и пулинга, которые извлекают признаки изображения на разных уровнях абстракции. Полученные признаки затем подаются на вход полносвязным слоям, которые выдают вероятности присутствия каждой из predetermined эмоций (рис. 3).

EmoNet обладает высокой точностью распознавания эмоций на фотографиях и может успешно определять такие состояния, как радость, грусть, страх, удивление и другие. Эта модель широко применяется в различных областях, включая психологию, медицину и технологии обработки изображений. Пример интерпретации вывода работы EmoNet:

```
[{'box': [1329, 123, 206, 268]}, {'emotions': {'angry': 0.04, 'disgust': 0.0, 'fear': 0.01, 'happy': 0.83, 'sad': 0.02, 'surprise': 0.0, 'neutral': 0.1}}].
```

Формирование и анализ основной обучающей выборки для классификатора

После обработки и интерпретации признаков выполняется процесс формирования обучающей выборки. Наиболее актуальным форматом представления данных для анализа является табличный вариант.

Как правило, после сбора данных необходимо провести первичную очистку, включающую проверку на пропущенные значения, их замену или удаление при помощи соответствующих методов, таких как импутация или интерполяция. Также важно выявить и исключить выбросы, способные исказить результаты обучения, а также обнаружить и удалить дублирующиеся наблюдения. Нормализация данных выполняет масштабирование и стандартизацию данных с целью улучшения сходимости алгоритмов машинного обучения.

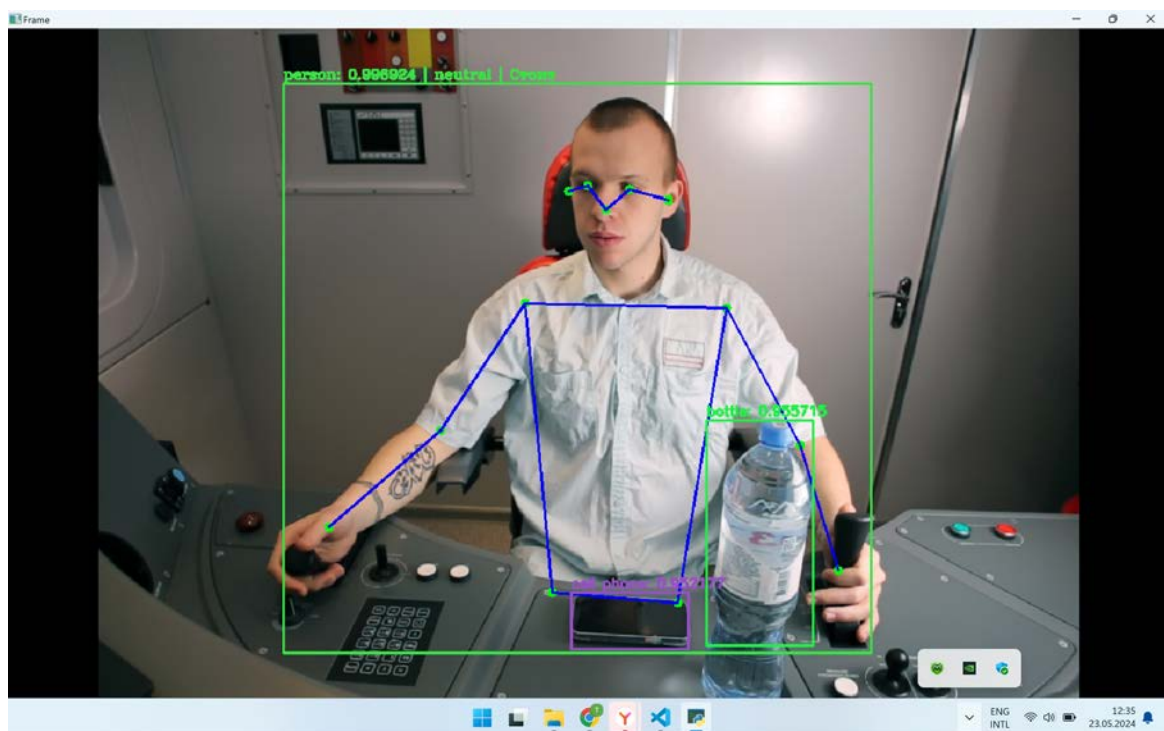
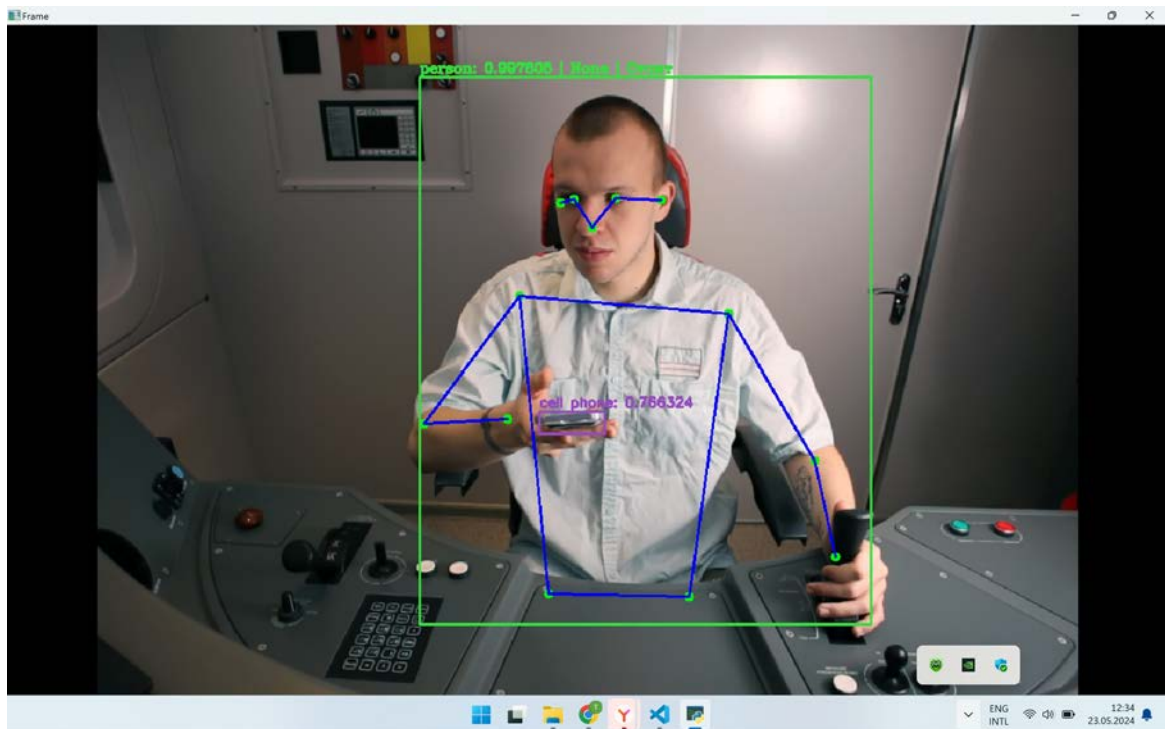


Рис. 3. Пример анализа настроения машиниста (ЕмоNet) и обнаружения посторонних предметов (автор фото А. Н. Сычугов)

ТАБЛИЦА 2. Пример итоговой выборки

Время	Скорость	Ускорение	Положение	Телефон	Разговаривает	Эмоциональное состояние	Температура	Освещение
12:00:00	80 км/ч	1 м/с ²	Стоя	Нет	Нет	Спокойный	20 °С	Ярко
12:01:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Нет	Спокойный	20 °С	Ярко
12:02:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Нет	Спокойный	20 °С	Ярко
12:03:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Телефон в руке	Нет	Спокойный	21 °С	Ярко
12:04:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Телефон в руке	Нет	Спокойный	22 °С	Ярко
12:05:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Да	Спокойный	22 °С	Ярко
12:06:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Да	Счастливый	21 °С	Ярко
12:07:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Нет	Агрессивный	21 °С	Ярко
12:08:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Нет	Спокойный	19 °С	Ярко
12:09:00	80 км/ч	0 м/с ²	Сидя	Нет	Нет	Спокойный	19 °С	Ярко

Итоговая выборка была разделена на обучающую, валидационную и тестовую с учетом стратификации для обеспечения сбалансированного представления классов в каждой выборке, а также перетасовки данных для уменьшения влияния порядка наблюдений. В результате производится извлечение признаков из данных: из видеопотоков извлекаются признаки, такие как распознавание лиц, анализ позы, распознавание эмоций и отслеживание взгляда машиниста; из данных о движении поезда — признаки скорости и ускорения; из данных датчиков — признаки температуры и уровня освещенности в кабине. На рисунке показан отчет о результатах обучения разных классификаторов.

Модели были выбраны на основе их точности, где учитывались только те модели, точность которых превышала 0,76. Модели XGBoost и Random Forest демонстрируют наивысшую точность среди всех рассматриваемых моделей.

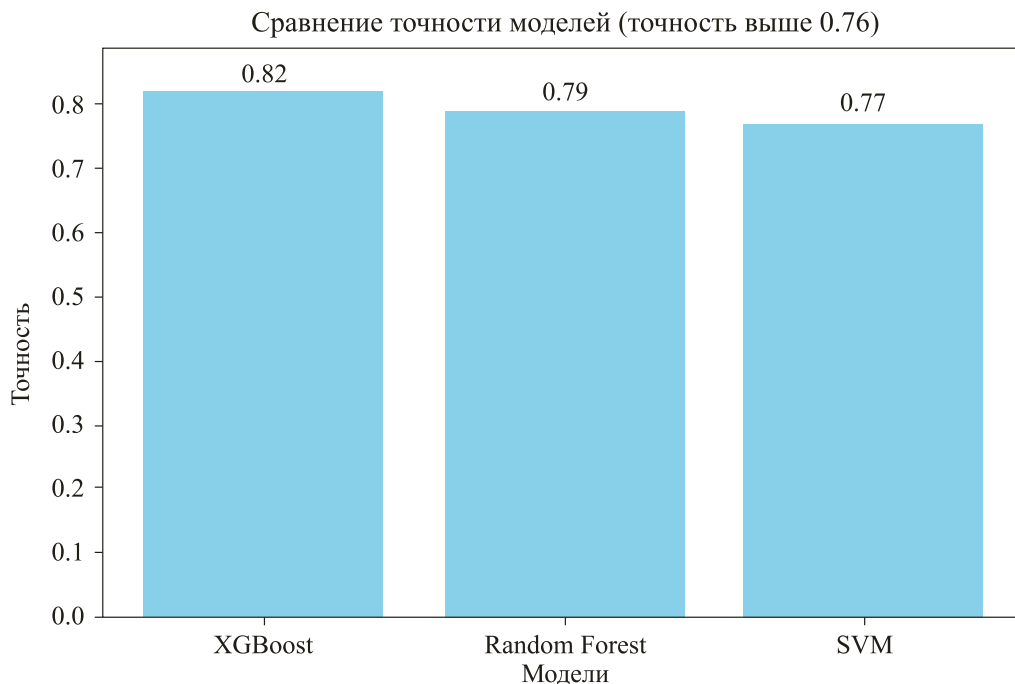


Рис. 4. Сравнение точности классификаторов

Заключение

В результате работы была разработана программа, которая с помощью установленной видеокамеры в режиме реального времени анализирует эмоциональное состояние машиниста, его нахождение на рабочем месте, позу и посторонние объекты, такие как телефон, воду и другие.

Системы контроля бдительности и действий машиниста на основе машинного зрения уже в ближайшее время могут быть интегрированы в общий комплекс систем безопасности.

Библиографический список

1. Щербина Н. В. Регуляция функционального состояния машинистов локомотивных бригад с применением БОС-тренинга: факторный анализ экспериментальных данных // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2021. Т. 19, № 4. С. 28–36.
2. Орлова Н. В. Анализ факторов риска и профилактика нарушений ритма сердца у машинистов локомотивов железнодорожного транспорта // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Анализ риска здоровью — 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. 2021. С. 132.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов DOC 9859, изд. 4 // ICAO, Канада, 2018. 218 с.
4. Комплект оборудования системы контроля дееспособности вахтенного помощника капитана СКДВП: руководство по эксплуатации ННПМ.468214.001РЭ // МРС Электроникс, Нижний Новгород, 2017. 36 с.

5. Бонч-Бруевич В. В., Дементенко В. В., Кремез А. С. и др. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе // Автоматизация в промышленности. 2015. № 2.
6. Самофалов И. В., Нефедьев А. И. Интеллектуальная система контроля психоэмоционального состояния водителя автотранспортного средства // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2020. № 2.
7. Поспелов П. И., Таташев А. Г., Трофименко Ю. В. и др. Подход к исследованию факторов риска совершения нарушений, связанных с использованием смартфонов во время вождения // T-Comm. 2021. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-issledovaniyu-faktorov-riska-soversheniya-narusheniy-svyazannyh-s-ispolzovaniem-smartfonov-vo-vremya-vozhdeniya>
8. Мяктов И. В., Шалев В. С. Усовершенствованная система проверки бодрствования машиниста // Молодежная наука. 2022. С. 241–244.
9. Нероденко А. А. Безопасности движения поездов, оснащенных приборами КЛУБ-У // Проблемы и основные направления развития высшего технического образования. 2022. С. 43–47.
10. Кравчук Д. А. Ультразвуковая система контроля психофизиологического состояния машиниста поезда // Известия Юго-Западного государственного университета. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10. № 1. С. 134–142.
11. Хромов С. К., Кулагин М. А., Сидоренко В. Г. Автоматизация сопровождения пользователей автоматизированных систем управления на базе машинного обучения // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. 2020. С. 74–75.
12. Dai J. Real-time and accurate object detection on edge device with TensorFlow Lite // Journal of physics: conference series. IOP Publishing, 2020. Т. 1651, no. 1. P. 012114.
13. Cui Y. Multi-EmoNet: a novel multi-task neural network for driver emotion recognition // IFAC-PapersOnLine. 2020. Т. 53, no. 5. P. 650–655.
14. Duth P. S., Poojashree B. S. Human Activity Detection Using Pose Net // International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT). IEEE, 2022. P. 1–5.

Дата поступления: 30.04.2024

Решение о публикации: 31.05.2024

Контактная информация:

ВОЛОДИН Анатолий Александрович — доцент кафедры «Электрическая тяга», ФГБОУ ВО ПГУПС

СЫЧУГОВ Антон Николаевич — старший преподаватель кафедры «Электрическая тяга», ФГБОУ ВО ПГУПС

УРАСИНОВ Даниил Игоревич — студент, ФГБОУ ВО ПГУПС

ДЕНИСЕНКО Павел Андреевич — студент, ФГБОУ ВО ПГУПС

АНДРЕЕВ Кирилл Денисович — студент, ФГБОУ ВО ПГУПС

ВОЛОЩУК Вадим Игоревич — техник, Южный федеральный университет

Intelligent system for monitoring locomotive driver alertness and actions

**A. A. Volodin¹, A. N. Sychugov¹, D. I. Urasinov¹, P. A. Denisenko¹,
K. D. Andreev¹, V. I. Vloschuk²**

¹ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

² Southern Federal University, 105, st. Bolshaya Sadovaya, Rostov-on-Don, 344006, Russia

For citation: *Volodin A. A., Sychugov A. N., Urasinov D. I., Denisenko P. A., Andreev K. D., Vloschuk V. I.* Intelligent system for monitoring locomotive driver alertness and actions // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 2. P. 86–99 (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-86-99

Abstract

Objective: the article considers an approach to the development of a system for monitoring the vigilance and actions of the driver using technical vision and neural network models. The main purpose of the research is to improve the safety of railway transport. **Methods:** data collection from various sources, annotation, data purification and normalization, neural network training based on video recordings of drivers' faces in various states and data on their behavior. Neural network learning algorithms based on the architecture of convolutional neural networks, teaching methods with a teacher, mask segmentation methods and proportional resizing of the area of interest, mask segmentation methods for determining the contour of an object in an image, deep learning algorithms such as stochastic gradient descent and error back propagation. **Results:** a system has been developed that determines the emotional state of the driver based on a real-time video stream, detecting signs of fatigue or distraction, warning of possible dangerous situations. This approach will allow you to quickly respond to the risks that arise in the process of train control, which allows you to increase the level of train safety. **Practical significance:** a system for monitoring the vigilance and actions of the driver has been developed and can be implemented on locomotives or motor-car rolling stock for real monitoring and prevention of emergency situations.

Keywords: system, driver, machine learning, safety, railway transportation, data analysis, neural network, accidents, warnings.

References

1. Shcherbina N. V. Regulyaciya funkcional'nogo sostoyaniya mashinistov lokomotivnyh brigad s primeneniem BOS-treninga: faktornyj analiz eksperimental'nyh dannyh // Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki. 2021. T. 19. № 4. S. 28–36. (In Russian)
2. Orlova N. V. Analiz faktorov riska i profilaktika narushenij ritma serdca u mashinistov lokomotivov zheleznodorozhnogo transporta // Materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Analiz riska zdorov'yu — 2021. Vneshnesredovye, social'nye, medicinskie i povedencheskie aspekty. 2021. S. 132. (In Russian)
3. Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnost'yu poletov DOC 9859, izd. 4 / ICAO, Kanada, 2018. 218 s. (In Russian)
4. Komplekt oborudovaniya sistemy kontrolya deesposobnosti vahtennogo pomoshchnika kapitana SKDVP: rukovodstvo po ekspluatatsii NNPM.468214.001RE // MRS Elektroniks, Nizhnij Novgorod, 2017. 36 s. (In Russian)

5. Bonch-Bruevich V.V., Dementienko V.V., Kremez A. S. i dr. Distancionnyj kontrol' boдрstvovaniya voditelya v rejse // *Avtomatizaciya v promyshlennosti*. 2015. № 2. (In Russian)
6. Samofalov I.V., Nefed'ev A.I. Intellektual'naya sistema kontrolya psihoemocional'nogo sostoyaniya voditelya avtotransportnogo sredstva // *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport*. 2020. № 2. (In Russian)
7. Pospelov P.I., Tatashev A. G., Trofimenko Yu. V. i dr. Podhod k issledovaniyu faktorov riska soversheniya narushenij, svyazannyh s ispol'zovaniem smartfonov vo vremya vozhdeniya // *T-Comm*. 2021. № 12 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-issledovaniyu-faktorov-riska-soversheniya-narusheniy-svyazannyh-s-ispolzovaniem-smartfonov-vo-vremya-vozhdeniya>. (In Russian)
8. Myaktov I.V., Shalev V.S. Uovershenstvovannaya sistema proverki boдрstvovaniya mashinista // *Molodezhnaya nauka*. 2022. S. 241–244. (In Russian)
9. Nerodenko A.A. Bezopasnosti dvizheniya poezdov, osnashchennyh priborami KLUB-U // *Problemy i osnovnye napravleniya razvitiya vysshego tekhnicheskogo obrazovaniya*. 2022. S. 43–47. (In Russian)
10. Kravchuk D.A. Ul'trazvukovaya sistema kontrolya psihofiziologicheskogo sostoyaniya mashinista poezda // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Medicinskoe priboroostroenie*. 2020. T. 10. № 1. S. 134–142. (In Russian)
11. Hromov S.K., Kulagin M.A., Sidorenko V.G. Avtomatizaciya soprovozhdeniya pol'zovatelej avtomatizirovannyh sistem upravleniya na baze mashinnogo obucheniya // *Novye informacionnye tekhnologii v issledovanii slozhnyh struktur*. 2020. S. 74–75. (In Russian)
12. Dai J. Real-time and accurate object detection on edge device with TensorFlow Lite // *Journal of physics: conference series*. IOP Publishing, 2020. T. 1651, no. 1. P. 012114.
13. Cui Y. Multi-EmoNet: a novel multi-task neural network for driver emotion recognition // *IFAC-PapersOnLine*. 2020. T. 53, no. 5. P. 650–655.
14. Duth P.S., Poojashree B.S. Human Activity Detection Using Pose Net // *2022 International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*. IEEE, 2022. P. 1–5.

Received: 30.04.2024

Accepted: 31.05.2024

Author's information:

Anatoly A. VOLODIN — Associate Professor of the Department of Electric Traction, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Anton N. SYCHUGOV — Senior Lecturer of the Department of Electric Traction, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Daniil I. URASINOV — Student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Pavel A. DENISENKO — Student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Kirill D. ANDREEV — Student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Vadim I. VOLOSCHUK — Technician, Southern Federal University