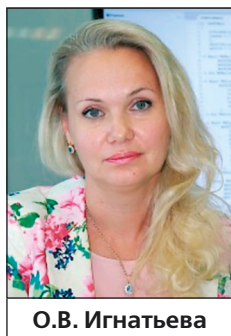


ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассажиРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЭМОЦИЙ ПассажиРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА



З.В. Лященко



О.В. Игнатьева

В статье обоснована необходимость реализации и внедрения проекта, основанного на нейронных сетях, который оценивает эмоции пассажиров железнодорожного транспорта. Преимущество данной системы заключается в возможности улучшения качества пассажироперевозок с помощью анализа информации, полученной с помощью сканера эмоций.

Ключевые слова: нейронные сети, сканер эмоций, интеллектуальная система, система распознавания, информационные технологии

EDN: MLVURL

Главным приоритетным направлением развития железнодорожной отрасли является цифровизация железнодорожного транспорта [1]. Согласно долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года, утвержденной Правительством Российской Федерации и советом директоров ОАО «РЖД», приоритетными направлениями развития являются дальнейшая цифровизация сервисов и услуг, внедрение передовых технических и логистических решений, разработка новейших отечественных высокоскоростных локомотивов и поездов, что станет еще одним шагом к укреплению технологической независимости нашей страны. ОАО «РЖД» продолжает реализацию стратегии цифровой трансформации, которая ориентирована на создание и внедрение отечественного современного

программного обеспечения и развитие цифровых сервисов как для работников железнодорожного транспорта, так и для клиентов ОАО «РЖД» [2].

Информационные технологии используются на железнодорожном транспорте с 1950 года. В результате их успешного применения появилось множество систем и идей, связанных с улучшением работы этой отрасли. Современные технологии помогают улучшить железнодорожную деятельность и сделать ее более эффективной. Транспортные предприятия делают акцент на развитие интеллектуальных технологий (ИТ) в управлении железнодорожными перевозками [3;4].

Сейчас развитие ИТ на железнодорожном транспорте достигло высокого уровня. Для создания новых

Лященко Зоя Владимировна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: информационные системы и технологии, искусственный интеллект, интеллектуальные системы, программирование, базы данных. Автор 56 научных работ, в том числе двух учебников. Имеет один патент на изобретение.

Игнатьева Олеся Владимировна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: информационные системы и технологии, искусственный интеллект, интеллектуальные системы, программирование, базы данных. Автор 62 научных работ, в том числе четырех учебников. Имеет три патента на изобретения.

Шотт Мария Константиновна, студент кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: информационные системы и технологии, искусственный интеллект, базы данных. Автор четырех научных работ.

цифровых технологий или улучшения предшествующих необходимо изменение в подходах. Так, большая линия работ в ОАО «РЖД» ведется в области искусственного интеллекта:

- утверждена концепция применения искусственного интеллекта в ОАО «РЖД»;
- производится интеллектуальная обработка результатов измерений, полученных от технических средств коммерческого осмотра;
- применяется система естественного диалога — автоматический подбор ответов на заданный вопрос пользователя;
- разработано машинное зрение (маневровые локомотивы, беспилотные поезда) [5;6];
- создан интеллектуальный помощник маневрового диспетчера;
- разработаны другие проекты.

Всего на данный момент реализуется 13 крупных проектов. От их реализации компания рассчитывает получить совокупный эффект более 60 млрд рублей.

На данный момент одной из целей интеллектуализации и информатизации инновационного развития транспортной системы Российской Федерации является рост уровня оказания услуг. Актуальной темой является оценка качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте. Качество транспортной услуги — это совокупность свойств и признаков услуги, характеризующая ее полезность и способность удовлетворять определенные потребности пользователей в перемещении. В условиях рыночных отношений и повышения конкуренции на транспортном рынке существенно возрастает влияние уровня качества транспортного обслуживания. В данной статье предлагается решение оценки качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте на основе оценки эмоций пассажиров с использованием технологий искусственного интеллекта.

Распознавание эмоций человека

Задача автоматического распознавания эмоций человека становится все более популярной в современности [7]. Если интеллектуальные системы распознают человеческие эмоции, то они смогут понимать поведение человека. Эмоции — это сильные чувства, которые влияют на повседневную деятельность, такую как принятие решений, память, концентрация, вдохновение, общение, понимание, организация, мышление и др. Было обнаружено, что при межличностном взаимодействии вербальные показатели составляют 7% всех взаимодействий, голосовые — 38%, а мимические реакции — 55% [8]. В результате одним из наиболее важных компонентов идентификации эмоций

является анализ выражения лица. Задача распознавания выражения лица по 2D-фотографиям является очень актуальной сегодня. При таком распознавании важно, чтобы процесс происходил в реальном режиме времени и не зависел от внешних факторов, например, от положения лица или изменения степени освещения.

Техника обнаружения эмоций людей известна как распознавание эмоций [9]. Точность, с которой люди определяют эмоции других, сильно различается. Глубокое обучение и искусственный интеллект используются для правильной и быстрой идентификации эмоций [10]. На данный момент распознавание эмоций осуществляется путем распознавания выражений лица на изображениях и видео, оценки речи в аудиозаписях и анализа информации в социальных сетях [11;12]. Для распознавания эмоций используются измерения физиологических сигналов, таких как сигналы мозга и температура тела, ЭКГ, а также специальные алгоритмы искусственного интеллекта.

Распознавание эмоций пассажиров на железнодорожном транспорте можно использовать для автоматической оценки качества обслуживания и удовлетворенности предоставленных услуг во время поездки. Это может способствовать увеличению продаж и одновременно повышению эффективности маркетинговой стратегии компании ОАО «РЖД». Также глубокое обучение может использоваться системой безопасности для распознавания проблемных клиентов. Кроме того, еще одним применением является использование эмоций в качестве обратной связи для создания персонализированного контента.

Эмоции человека

В 1970 году психолог Пол Экман выделил 6 базовых эмоций: счастье, печаль, отвращение, страх, удивление, злость. Они выражаются в жестах, речи и выражении лица.

Информация об эмоциях может использоваться в различных сферах деятельности. Например, распознавание эмоций можно использовать в маркетинге, чтобы нацелить рекламу на клиентов, которые, вероятно, будут удовлетворены продаваемым товаром или услугой, что будет способствовать увеличению продаж и одновременно повышению эффективности маркетинговой стратегии. Распознавание эмоций может использоваться системой безопасности для выявления проблемных клиентов. Также рекламные компании стремятся узнать эмоциональные реакции клиентов на рекламу, дизайн и продукты. Приложения для образовательных учреждений включают отслеживание ответов учащихся на предмет вовлеченности и интереса к дисциплине или теме. Кроме того, еще

одним применением является использование эмоций в качестве обратной связи для создания персонализированного контента. Идентификация эмоций в реальном времени может обнаружить будущее террористическое поведение человека. Эмоциональное состояние пользователя может быть учтено при создании контента, например, рекламы или предложений. Приложения для здоровья и хорошего самочувствия могут распознавать эмоции, чтобы сообщать об уровне стресса. Степень интереса учащихся к уроку можно отслеживать в процессе образования. Системы могут использоваться для обнаружения агрессивных или раздраженных людей. Затем, прежде чем эти люди совершат преступления, такая информация может быть использована для принятия мер.

Проблемы в распознавании эмоций на лице человека зависят от условий, в которых производится оценка: они могут быть контролируемыми или естественными. В первом случае достигается точность работы около 98% благодаря заранее определенным параметрам, например, ракурс, поза, освещение. Во втором случае эмоции изменяются, достичь такой высокой точности сложно.

Сложности оценивания эмоций:

1. Эмоции субъективны, так как сам человек интерпретирует их по-разному, а также одну и ту же эмоцию каждый человек воспримет по-разному.
2. Непросто собрать общие данные, которые идентифицируют только одну определенную эмоцию. Источники могут быть «необъективны».
3. В зависимости от характера и даже физических качеств люди по-разному выражают свои эмоции.
4. В зависимости от обстоятельств одно и то же выражение лица может отражать самые разные эмоции.
5. Наличие на лице очков, масок и других вещей могут скрывать эмоции на лице человека. Данные факторы затрудняют выполнять эффективную идентификацию и анализ лицевых сигналов автоматическими системами.

Анализ программных решений распознавания эмоций

На текущий момент времени на рынке существует множество видов программного обеспечения для распознавания эмоций. Рассмотрим несколько подобных систем.

Система FaceReader от нидерландской компании Noldus Information Technology позволяет строить зависимости эмоций по временной шкале, предоставляет полную информацию и данные в реальном режиме времени. К недостаткам этой системы можно отнести невысокую точность по сравнению с

конкурентами, всего 89% и ограниченность возраста распознавания, дети до 5–6 лет не обнаруживаются алгоритмом.

FaceVACS-VideoScan — распознает лица в видеоматериалах, сравнивает их с базами данных изображений и мгновенно находит известные лица. В то же время система выполняет анонимный анализ лица, чтобы подсчитывать людей, генерировать демографическую статистику, отслеживать потоки людей во времени и пространстве, находить частых посетителей и обнаруживать скопление людей. Пользователи также могут импортировать записанные видеофайлы, чтобы находить людей, зарегистрированных в базах данных изображений или находить неизвестных лиц на нескольких видео.

Система eMotion Software позволяет определить шесть базовых эмоций (гнев, печаль, страх, удивление, отвращение и счастье) и создавать 3D-модели лица с помощью выявления 12 ключевых областей. Компания Unilever внедрила данный продукт в собственные автоматы по продаже мороженого за улыбку, это получило большую популярность, благодаря данной концепции ушла надобность в рекламе, что сэкономило бюджет компании. Алгоритм имеет коммерческую востребованность из-за невысоких характеристик к вычислительным мощностям.

На данный момент существует множество успешных коммерческих и бесплатных предложений. Производство каждого алгоритма разных компаний строилось на индивидуальности и обозначении целевой аудитории. Дальнейшее развитие алгоритмов однозначно определит потребности компаний и потребителей.

Описание интеллектуальной системы автоматического определения эмоционального состояния человека

Разработка интеллектуальной системы автоматического определения эмоционального состояния человека по различным характеристикам является актуальной, так как автоматическое распознавание эмоций позволяет решить экономические и социальные проблемы. Эмоциональный сканер может найти широкое применение в различных транспортных службах.

Оценка эмоций человека может быть использована для определения качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте. Так называемый сканер эмоций может внедряться на железнодорожные вокзалы для формирования рейтинга сотрудников. Например, при выходе из вагона лицо пассажира сканируется и считывается определенная эмоция. При улыбке человека проводнику добавляются пять

звезд в рейтинг, в обратном случае — одна звезда. Так, например, каждый месяц компания может поощрять лучшего сотрудника согласно рейтингу.

Эмоции человека, которые отражаются на его лице, являются одной из главных возможностей, позволяющих точно оценить отношение человека к определенной ситуации. На данный момент благодаря нейронным сетям эта функция находит все больше способов применения в различных отраслях науки.

В настоящее время создано несколько современных подходов к построению систем распознавания эмоций. Однако в них существуют сложности в повышении точности работы моделей и предпринимаются попытки улучшения качества распознавания эмоций с помощью различных методик.

Большинство экспериментальных исследований на тему распознавания эмоций человека проводятся с использованием набора данных «FER» (face emotion recognition) [13]. Этот набор фотографий «FER» продолжают использовать во многих исследованиях как наиболее объемная имеющаяся в открытом доступе коллекция изображений с эмоциями.

Свёрточные нейронные сети возникли в результате изучения зрительной коры головного мозга. На сегодняшний день они являются самым распространенным способом анализа изображений. Свёрточные нейронные сети с несложной архитектурой показывают точность распознавания эмоций около 60%. Модели, состоящие из нескольких свёрточных нейросетей, показывают точность на тестовых данных около 75%.

Выделяют два подхода к распознаванию эмоций человека, которые основаны на использовании нейронных сетей.

Классический подход к задаче классификации эмоций

Это классификация ключевых точек человеческого лица. Для их получения могут использоваться такие алгоритмы как PDM, CML, AAM, DPM или CNN. Для использования классического подхода важно, чтобы положение лица было выровнено. Альтернативой использованию классического подхода является подход, основанный на свёрточных нейронных сетях.

Классификация эмоций с помощью deep learning
Для данного подхода необходимо использовать сеть с базовой архитектурой, предварительно обученную на ImageNet и переобучить последние несколько слоев.

Для повышения точности системы необходимо анализировать последовательности кадров с помощью подачи высокоуровневых признаков и классифицировать каждый отдельный кадр.

Второй способ заключается в поступлении кадров, которые берутся из видео с некоторым шагом.

В результате исследования, было принято решение, что для реализации автоматического распознавания эмоций пассажиров использовать два алгоритма — это Face recognition и Emotion recognition библиотеки OpenCV. Библиотека OpenCV — это open source библиотека компьютерного зрения, предназначенная для обработки, классификации и анализа изображений, поддерживаемая на различных языках программирования.

Алгоритм обнаружения лица Face recognition

Между считыванием и выводом изображения вызывается один из двух главных алгоритмов — Face Recognition [14]. Его задача — определять и отображать границы найденных в полученном кадре лиц. Работа алгоритма основана на уже обученной XML-модели. Такие файлы представляют собой классификатор лиц. В нашем случае все полученные кадры должны иметь лица фронтальной стороны для их определения. Импортирование XML-модели происходит на стадии загрузки визуального интерфейса и вызывается лишь однажды. Дальнейшее обращение производится с помощью переменной, в которую был сохранен данный файл. При вызове функции обнаружения, OpenCV имеет возможность работать только с изображениями в градациях серого, поэтому любой полученный кадр переводится в другое цветовое пространство. Основной функцией в алгоритме является detectMultiScale (img, i, g). Здесь img является входным кадром в формате GRAY; i — параметром уменьшения кадра; g — отвечает за количество соседей для определения. По сути данная функция является одной из ключевых и позволяет настроить точность алгоритма и его основную задачу, будь то определение одного человека или нескольких в одном кадре.

На выходе получается сформированный ряд чисел, отвечающий за координаты лица в кадре. Имея числовое представление картинки, не составляет труда передать нужные параметры для дальнейшего преобразования. Отрисовкой границ так же занимается OpenCV. Функция rectangle() принимает значения координат x, y, а также ширину и высоту, остальные параметры отвечают за цвет в пространстве RGB и толщину линий (рис. 1). На данный момент приложение выполняет функцию одного определения границ лица и позволяет использовать полученную информацию для различных целей. В данном случае — это определение эмоций внутри имеющихся границ.

Алгоритм распознавания эмоций Emotion recognition

Так как в кадре не всегда находится лицо, то распознавание должно рассматривать вариант возвращения пустых значений. Использование блока try-исхерт упрощает такую задачу. При удачном выполнении первого блока, второй не вступает в работу и наоборот. Библиотека DeepFace имеет огромный список атрибутов, из которых разработчик обращается лишь к определенной части. При отправлении кадра модулю в ответ будет получен кортеж всех эмоций благодаря указанному нужному ключу. Возвращая такой кортеж, в дальнейшем есть возможность обращаться к нему в любом месте кода, пока он не был перезаписан. Если же в кадре не удалось найти лица, блок исхерт обязан вернуть значения, чтобы затем программа выполняла алгоритм правильно. Объявление пустого кортежа предотвращает появление ошибок в дальнейшем (рис. 2).

Библиотека имеет открытый код, а значит предоставляет возможность редактирования и добавления своих эмоций. Загруженные, качественные

XML-модели позволяют расширить список предоставляемых компонентов.

Теперь, когда алгоритм был отработан и имеется доступ к списку полученных эмоций, открывается возможность установить данные значения в определенные для них поля. Ранее говорилось об изначально известных названиях эмоций в виде полей. DeepFace имеет внутри шесть атрибутов, которые установлены в виде QLabel в блоке с информацией. Полученный кортеж содержит имена эмоций в виде ключей и цифровые данные в виде значений. Перебор ключей сравнивается с именами на интерфейсе и в случае успешного совпадения устанавливается значение в соответствующее поле. Таким образом, заполняется список блока информации, не перезаписывая имена, а изменяя их значения. Также стоит ограничить числа с плавающей точкой до одного значения после запятой, для более корректного отображения (рис. 3).

Внешний вид разработанного приложения представлен на рис. 4 (см. стр. 64).

Стоит отметить, что все данные вычисляются в одном потоке. Время обновляется корректно, а зна-

```
def FaceRecognitionAndPaintRectangle(self, img):
    # Преобразование кадра в градации серого
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    # Определение лица по xml модели с кадров в серых тонах
    faces = self.face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 4)
    # Отрисовка контура вокруг лица
    for (x, y, w, h) in faces:
        # Вывод прямоугольной формы лица
        cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (255, 255, 0), 4)
```

Рис. 1. Алгоритм Face recognition

```
def EmotionRecognition(self, img):
    # Создание блока исполнения
    try:
        analyze = DeepFace.analyze(img, actions=['emotion'])
        dominant_emotion_analyze = analyze['dominant_emotion']
        all_emotions_analyze = analyze['emotion']
        return dominant_emotion_analyze, all_emotions_analyze
    # Создание блока исключения для корректной работы
    except:
        dominant_emotion_analyze = 'Эмоции не обнаружены'
        all_emotions_analyze = dict()
        return dominant_emotion_analyze, all_emotions_analyze
```

Рис. 2. Алгоритм Emotion recognition

```
for key, value in all_emotions_analyze.items():  
    value_round = round(value, 1)  
    if key == 'angry':  
        self.ui.label_angry_value_6.setText(str(value_round) + "%")
```

Рис. 3. Пример установки значений кортежа в интерфейс

чения сменяются постепенно. При увеличении функционала необходимо использовать многопоточность для лучшей оптимизации.

Точность алгоритма зависит от внешних факторов, таких как свет, характеристики камеры, разрешение и др. Основной проблемой является аппаратная часть. При должном оборудовании результаты вычислений будут точнее, а аналитика более детальной. Также на скорость вычислений в реальном времени однозначно влияет и сама машина, на которой выполняется алгоритм. При использовании процессора Ryzen 3 задержка в реальном времени составляет около 0,8 секунд, тогда как Intel i3, в тех же условиях, выполняет вычисления за 1,1 секунды.

Тестирование разработанного приложения в различных условиях

Приложение было протестировано в хорошо освещаемом помещении, лицо в анфас, а также перпендикулярно камере. Определение доминирующей эмоции считается показателем свыше 50% от общего значений обнаруженных эмоций. При распределении ниже данного показателя, доминирующей считается эмоция с наибольшим процентом.

Первый тест произведен без преград для распознавания контуров лица, с целью выявления работоспособности в обычном режиме. Пример отработки первого теста представлен на рис. 5.

На рис. 5 эмоции распределились в процентном соотношении, не затрагивая не найденные в кадре. Контур лица определен корректно, излишних искажений не обнаружено.

Второй тест производился на детектирование эмоции «Счастье». Пример отработки второго теста представлен на рис. 6.

При определении эмоции «Счастье» приложение корректно отработало и отдало предпочтение в 99,9%. Контур лица определен корректно, излишних искажений не обнаружено.

Третий тест производился на детектирование эмоции «Зло». Пример отработки третьего теста представлен на рис. 7.

При определении эмоции «Зло», приложение корректно отработало и отдало предпочтение в 57,7%,

эмоции «Отвращение» отдано 29,9%. Контур лица определен корректно, излишних искажений не обнаружено.

Четвертый тест производился с целью выявления контуров лица и определения эмоций объекта в очках. Пример отработки четвертого теста представлен на рис. 8.

Четвертый тест отработал успешно. Контур лица определен корректно, излишних искажений не обнаружено.

Пятый тест производился с целью выявления контуров лица и определения эмоций объектов под углом. Пример отработки пятого теста представлен на рис. 9.

Пятый тест выявил, что при горизонтальном наклоне головы свыше 45 градусов приложение не может определить лицо в кадре. Параметры распределения эмоций принимают последние найденные значения.

Для тестирования разработанного приложения было использовано 1000 изображений, взятых случайно из открытого набора данных FER+ <https://github.com/microsoft/FERPlus>. Набор данных FER+ содержит более 30 тыс. черно-белых фотографий людей, выражающих 8 основных эмоций: злость, отвращение, страх, радость, грусть, удивление, счастье и нейтральная эмоция (0=Angry, 1=Disgust, 2=Fear, 3=Happy, 4=Sad, 5=Surprise, 7=happiness, 8=Neutral). Изображения имеют размер 48 на 48 пикселей.

Для оценки эффективности классификации эмоций разработанного приложения использовались следующие показатели:

- TP — число изображений, когда приложение верно распознало эмоцию;
- FP — число изображений, когда приложение неверно распознало эмоцию.

Далее были рассчитаны проценты верных и неверных срабатываний (таблица).

Таким образом, тестирование показало, что разработанное приложение наиболее точно распознает злость — 69% и страх — 68,5%. А наибольший процент ложных срабатываний выдают эмоции удивление — 53,3% и отвращение — 68,6%. Данное исследова-

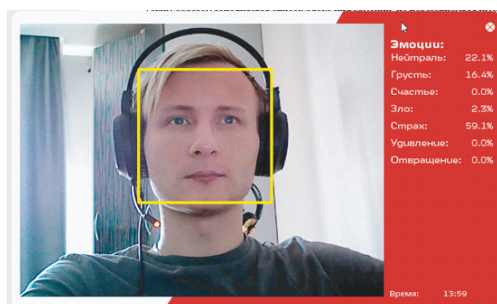


Рис. 4. Интерфейс приложения «сканер эмоций»

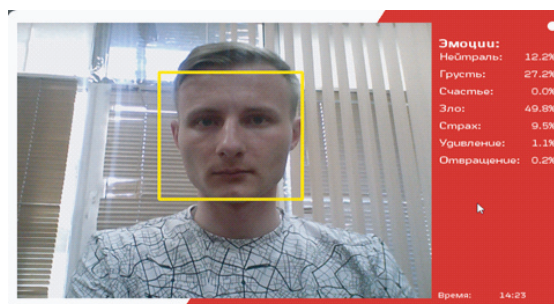


Рис. 5. Пример работы приложения в штатном режиме

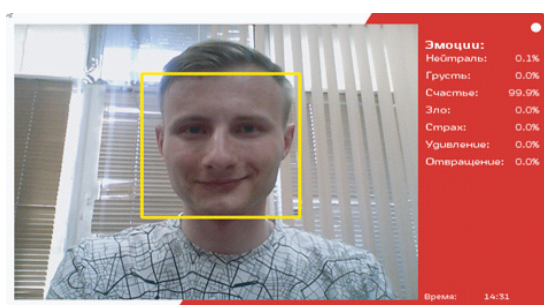


Рис. 6. Пример работы приложения с доминирующей эмоцией «Счастье»

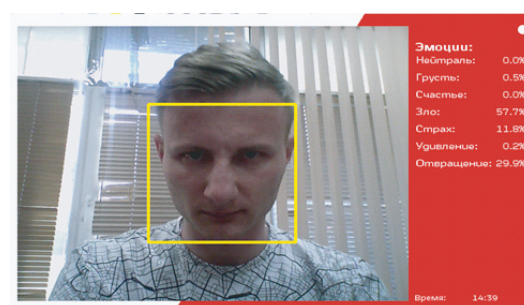


Рис. 7. Пример работы приложения с доминирующей эмоцией «Зло»

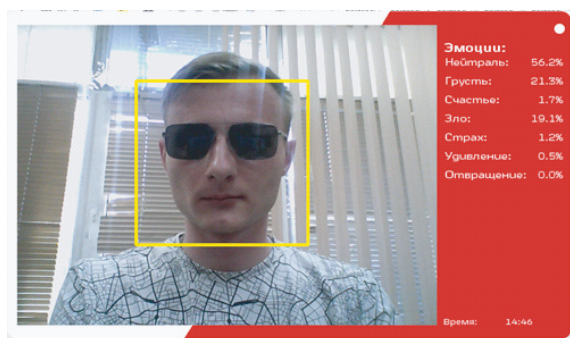


Рис. 8. Пример работы приложения с лицами в очках



Рис. 9. Пример работы приложения с лицами под углом

ние показало, что требуется дальнейшая работа над улучшением работы разработанного программного приложения, особенно в условиях некачественных фотографий, плохой освещенности и других факторов.

Заключение

Железнодорожная отрасль создает новые и улучшает существующие автоматизированные системы, необходимые в различных сферах отрасли. Автоматическая система распознавания эмоций пассажиров на основе технологий искусственного интеллекта может значительно улучшить работу сотруд-

ников железнодорожных компаний, так как после получения результатов рейтинга у многих из них появится мотивация для улучшения своей деятельности. Использование технологий искусственного интеллекта при разработке такой системы распознавания позволяет структурировать данные и ускорить процесс их обработки. При проведении дальнейших исследований, с целью улучшения значений метрик качества обучения, планируется выполнение экспериментальных исследований на других моделях искусственных нейронных сетей с различными оптимизаторами и с предварительно настроенными весами и большим набором данных.

Таблица

Результаты выполненных экспериментов

Эмоция	Количество изображений	ТР	Процент правильного распознавания	ФР	Процент неправильного распознавания
Нейтральная эмоция	297	189	63,63	108	36,36
Грусть	153	99	64,70	54	35,29
Злость	294	203	69,04	91	30,95
Страх	54	37	68,51	17	31,48
Удивление	167	78	46,70	89	53,29
Отвращение	35	11	31,42	24	68,57
Всего	1000		61,7		38,3

Литература

1. Власова, Н. В. Цифровизация как основное стратегическое направление для достижения устойчивой конкурентной позиции ОАО «РЖД» на транспортном рынке / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич. - Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2023. - №1 (77). - С. 127 - 135.
2. Бердышева, Ю. А. Информационные технологии как фактор развития цифровой трансформации железнодорожного транспорта / Ю. А. Бердышева, Е. А. Жаркова. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения : Гуманитарные исследования. - 2023. - №4 (19). - С. 55 - 60.
3. Эйгин, Ю. А. Методика формирования искусственной нейронной сети для актуальных задач железнодорожного транспорта / Ю. А. Эйгин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2006. - № 4. - С. 35 - 36.
4. Швалов, Д. В. Искусственные нейронные сети в задачах распознавания изображений на железнодорожном транспорте: опыт и перспективы применения / Д. В. Швалов, Г. Д. Дагдьян, А. В. Дицков. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2018. - №2 (70). - С. 88 - 96.
5. Ададунов, С. Е. Интеллектуальный поезд - гарантия повышения надежности движения поездов / С. Е. Ададунов. - Текст : непосредственный // Наука и транспорт. - 2009. - №1. - С. 30 - 31.
6. Апатцев, В. И. Особенности применения нейронных сетей при моделировании перевозочного процесса / В. И. Апатцев, М. Г. Лысиков, А. М. Ольшанский. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2014. - № 3. - С. 52 - 55.
7. Жиленков, А. А. Современное состояние и тенденции развития систем распознавания речи, эмоций и верификации по голосу / А. А. Жиленков. - Текст : непосредственный // Искусственные общества. - 2023. - Т. 18, №3. - С. 4.
8. Venkatesan R., Shirley S., Selvarathi M., Jemima T. Jebaseeli. Human Emotion Detection Using DeepFace and Artificial Intelligence. Eng. Proc. 2023, 59, 37. <https://doi.org/10.3390/engproc2023059037>.
9. Chen, Y.; He, J. Deep learning-based emotion detection. J. Comput. Commun. 2022, 10, 57 - 71.
10. Singh, S.K.; Thakur, R.K.; Kumar, S.; Anand, R. Deep learning and machine learning based facial emotion detection using CNN. In Proceedings of the 2022 9th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 23–25 March 2022; pp. 530-535.
11. Распознавание эмоций по распознаванию лица на основе глубоких нейронных сетей / О. П. Тимофеева, С. А. Неимушев, Л. И. Неимушева, И. А. Тихонов. - Текст : непосредственный // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2020. - №1 (128). - С. 16 - 24.

12. Orhan Emre Aksoy , Selda G˘uney, Sentiment Analysis from Face Expressions Based on Image Processing Using Deep Learning Methods, Canakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 2022, Vol. 8, Issue 4, Pages: 736 - 752.
13. FER-2013 face database PL Carrier, A Courville, IJ Goodfellow, M Mirza, Y Bengio, Universit de Montral 3, 2013.
14. Засыпкин, Д. С. Обзор алгоритмов распознавания лица человека в библиотеке OpenCV / Д.С. Засыпкин, Ю.С. Белов. - Текст : непосредственный // E-Scio. -2021. - № 7 (58). - С. 80 - 89.