

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 004; 629.3.053
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>

Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий



Анатолий Владимирович Постолиит

Компания Smart Information Systems, Москва, Россия.

✉ anat_post@mail.ru.

Анатолий ПОСТОЛИИТ

АННОТАЦИЯ

Матрица корреспонденций является фундаментальной характеристикой транспортной сети, а формирование достоверной матрицы корреспонденций является важнейшей задачей при организации пассажирских перевозок. Она является той основой, на базе которой строится маршрутная сеть общественного транспорта города (региона) и выполняется её оптимизация.

В настоящее время сбор исходной информации для построения матрицы корреспонденций зачастую осуществляется путём натурных обследований: анкетирования населения, учёта перемещения пассажиров по выдаваемым им талонам, использования учёточков в салонах транспортных средств, простого опроса пассажиров. Кроме того, используется математическое моделирование, основанное на статистических данных о количестве жителей в различных районах города, количестве работников на предприятиях и учащихся в учебных заведениях, а также на ранее полученной информации о характеристиках пассажиропотока по определённым маршрутам. Все эти обследования очень дороги, проводятся только раз в несколько лет, дают большую погрешность, из-за чего принимать на основе этих данных решения далеки от оптимальных.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, пассажиропотоки, матрица корреспонденций, искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, компьютерное зрение.

На рынке программно-технических средств имеется масса решений, обеспечивающих автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках. Они базируются на использовании либо инфракрасных датчиков, либо видеокамер. Однако ни одна из этих систем не даёт информации о точках входа-выхода каждого пассажира.

Целью настоящего исследования явилась разработка методов автоматизации получения достоверной информации о поездках пассажиров, на основе которой можно строить актуальные и достоверные матрицы корреспонденций поездок пассажиров. Данная задача может быть решена путём постоянного мониторинга поездок пассажиров с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира.

Описана возможность создания программного обеспечения на основе компьютерного зрения и искусственного интеллекта, что обеспечит автоматизацию сбора первичной информации о перемещении каждого пассажира от места посадки в транспортное средство до выхода из него, то есть автоматизацию формирования данных для построения матрицы корреспонденций поездок пассажиров.

Для цитирования: Постолиит А. В. Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 2 (93). С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-2-5>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Матрица корреспонденций – это базовая таблица, описывающая характер передвижения населения по городу. Она показывает, сколько жителей перемещается из одного района города в другой, и является той базой, на основе которой строится маршрутная сеть, определяется необходимое количество подвижного состава, формируется расписание движения [1; 2].

В современных городах и крупных мегаполисах возводится масса объектов жилой и промышленной инфраструктуры, переносятся предприятия, меняются места приложения труда и проживания, что приводит к динамичному изменению объёмов и направлений транспортных корреспонденций. В этих условиях построение истинных матриц корреспонденций требует абсолютно достоверной информации о реальных перемещениях пассажиров.

На рынке программно-технических средств имеется масса решений, обеспечивающих автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках. В большинстве случаев они основаны на инфракрасных датчиках [3] и видеокамерах в проёмах дверей входа-выхода в транспортное средство [4]. Однако ни одна из существующих систем автоматизации сбора данных о пассажиропотоках не даёт информации о точках входа-выхода каждого пассажира. А именно на этих данных строятся матрицы корреспонденций поездок пассажиров. Из-за отсутствия таких данных матрицы корреспонденций по-прежнему формируют на основе выборочных обследований, опросах населения, на статистических

данных о количестве жителей в тех или иных районах города и количестве работников на предприятиях. Эти данные не отражают реальной картины ежедневной миграции городского населения. Соответственно, принимаемые на основе этой информации решения далеки от оптимальности. Все существующие методы автоматизации учёта пассажиропотоков не позволяют получить данные для построения матрицы корреспонденций поездок.

Исходя из вышесказанного, целью настоящего исследования явилась разработка методов автоматизации получения данных для формирования полной и достоверной матрицы корреспонденций передвижения населения на общественном наземном пассажирском транспорте.

Данная задача может быть решена путём постоянного мониторинга поездок пассажиров с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира. Для фиксации места входа и выхода каждого пассажира предлагается использовать методы компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Недостатки существующих технологий для решения актуальных задач

При решении задачи оптимизации маршрутной сети общественного транспорта следует чётко разделять два понятия: пассажиропоток и матрица корреспонденций перемещения пассажиров. Пассажиропоток в большей степени характеризует общую статистику перемещения пассажиров (количество пассажиров в разное время суток, дни недели, время года и т. п.) с привязкой к оста-



Рис. 1. Матрица корреспонденций поездок пассажиров [1; 2].



Рис. 2. Автоматизированные системы учёта пассажиропотока [4].

новке, маршруту, транспортному предприятию, городу и т. д. Матрица корреспонденций (рис. 1) является количественной характеристикой, которая определяет объём потока пассажиров между каждой парой «точек» [1; 2]. Под «точками» здесь понимаются либо конкретные остановки общественного транспорта, либо условные зоны, которые были получены путём объединения остановочных пунктов в некоторые области (например, районы города).

Матрица корреспонденций является фундаментальной характеристикой транспортной сети, а формирование истинной матрицы корреспонденций является важнейшей задачей при организации пассажирских перевозок. Матрица корреспонденций является той основой, на базе которой строится маршрутная сеть общественного транспорта и выполняется её оптимизация. В свою очередь, грамотно построенная маршрутная сеть позволяет определить необходимое количество подвижного состава на маршрутах, оптимизировать расписание движения, снизить материальные затраты на организацию перевозок и, в конечном счёте, с минимальными затратами удовлетворить потребность населения в транспортных услугах.

Автоматизация учёта пассажиропотоков в настоящее время достаточно глубоко проработана и реализована в виде множества различных технических решений – контактные датчики на ступеньках транспортного средства, инфракрасные датчики [3] или видеокамеры [4] в районе входной двери (рис. 2).

Однако статистические данные о пассажиропотоках на маршрутах не дают возможность построить матрицу корреспонденций поездок пассажиров. Это всего лишь общие данные о входящих и выходящих пассажирах.

На текущий момент автоматизация сбора данных для формирования матрицы корреспонденций пассажиров фактически не реализована. Эта задача решается с достаточно большой погрешностью и с большими затратами на основе специально организованных натуральных обследований. Стоит отметить, что натурные методы обследования зачастую связаны со значительными проблемами организационного, финансового и правового характера, поэтому их применение иногда становится невозможным, особенно в крупных городах, где пассажиропотоки велики. На некоторых видах транспорта (железнодорожный, воздушный, водный) задача формирования матрицы корреспонденций может быть решена на основе анализа купленных билетов, где указаны пункты отправления и прибытия.

Классическим методом получения данных для построения матрицы корреспонденций являются натурные обследования (талонные, анкетирование населения, опрос пассажиров счётчиками поездок и т. п.), а также использование методов математического моделирования [5]. Недостатками натуральных обследований являются значительная трудоёмкость по сбору и обработке данных, низкая достоверность данных из-за человеческого фактора, высокая стоимость обследования, отсутствие статистики повторяемости (невозможно выделить погодные условия, время года, и другие особенности текущего дня). Высокая стоимость и трудоёмкость обследования приводят к тому, что такие обследования проводятся раз в 15–20 лет, что не даёт возможности оперативно корректировать и оптимизировать управленческие решения.

Существуют подходы к автоматизации формирования приблизительной матрицы корреспонденций на метрополитене с использованием мобильных телефонов пассажиров [6]. Операторы сотовой связи могут отслеживать входы и выходы пассажиров, определяя моменты, когда их мобильный абонент переключается на базовую станцию, размещённую в метро (входит) или на базовую станцию в городе (выходит). Такие анонимные данные могут служить основой для формирования

матрицы корреспонденций для каждой пары станций метрополитена. Однако такой подход неприемлем для наземного пассажирского транспорта. Трудности решения этой задачи также связаны с большой размерностью первичной информации и с отсутствием единой методики получения матрицы корреспонденций для города, которая должна включать в себя не только трудовые и учебные передвижения, но и передвижения культурно-бытового характера, а также поездки пенсионеров.

Ежедневно на общественном транспорте работающее население города и учащиеся совершают поездки к местам работы и учёбы. Такие поездки составляют наибольшую долю, поскольку они носят регулярный характер. Однако существуют перемещения неработающих пенсионеров, а также другие перемещения граждан, которые носят культурно-бытовой характер. Эти перемещения так или иначе влияют на загруженность городских маршрутов. Общая матрица корреспонденций поездок, включающая в себя как трудовые, так и культурно-бытовые передвижения, позволит в полной мере описать характер всех передвижений в городе. Для целей оптимизации маршрутной сети такая детализация представляется особенно важной.

Описание предлагаемой технологии

А можно ли автоматизировать процесс учёта поездок с чёткой фиксацией места входа и выхода каждого пассажира? Решить такую задачу на базе инфракрасных датчиков практически невозможно, поскольку они не позволяют идентифицировать объект. А вот на базе видеокамер это вполне реально. В последние годы с развитием свёрточных нейронных сетей (CNN, R-CNN, Mask R-CNN) произошло взрывное развитие нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения. Соответственно появилась возможность разработки принципиально новых автоматизированных систем учёта и анализа пассажиропотоков на базе этих технологий с возможностью формирования достоверной и полной матрицы корреспонденций поездок пассажиров на городском наземном пассажирском транспорте. Разработка такой системы, отсутствующей на рынке программно-технических средств, и является новизной данной работы.

Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных о поезд-

ках пассажиров на общественном транспорте, которая базируется на нейросетевых технологиях, и разработана в рамках данного исследования, представлена на рис. 3.

Программно-технический комплекс, приведённый на рис. 3, состоит из следующих элементов:

- видеокамера, расположенная в верхней части проёма входной двери транспортного средства;
- бортовой мини-компьютер.

Этот комплекс работает следующим образом. Видеопоток в режиме реального времени поступает с видеокамеры в бортовой компьютер и обрабатывается специализированным программным обеспечением. Данное программное обеспечение решает следующие задачи:

- распознаёт пассажиров, которые входят в салон транспортного средства и выходят из него (детектор пассажиров – вид сверху);
- преобразовывает изображение каждого входящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет её;
- фиксирует параметры входа каждого пассажира (дата, время, остановка входа);
- преобразовывает изображение каждого выходящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет её;
- фиксирует параметры выхода каждого пассажира (дата, время, остановка выхода);
- сопоставляет цифровую модель изображения выходящих пассажиров с цифровыми моделями вошедших пассажиров и формирует уникальную пару значений вход-выход для каждого пассажира;
- подсчитывает количество пассажиров: вошедших в салон, вышедших из салона, находящихся в салоне транспортного средства на каждом остановочном пункте.

Полученные таким образом параметры поездки каждого пассажира по завершении работы транспортного средства на маршруте передаются на серверную платформу, где на базе серверного программного обеспечения будет формироваться матрица корреспонденций поездок пассажиров и статистика по пассажиропотокам.

На первый взгляд можно, не используя цифровые модели, просто сопоставлять снимок пассажира на входе со снимком пассажира на выходе. Однако для такого сопоставления нужно обязательно выполнять процедуру нормализации изображений. Но даже после



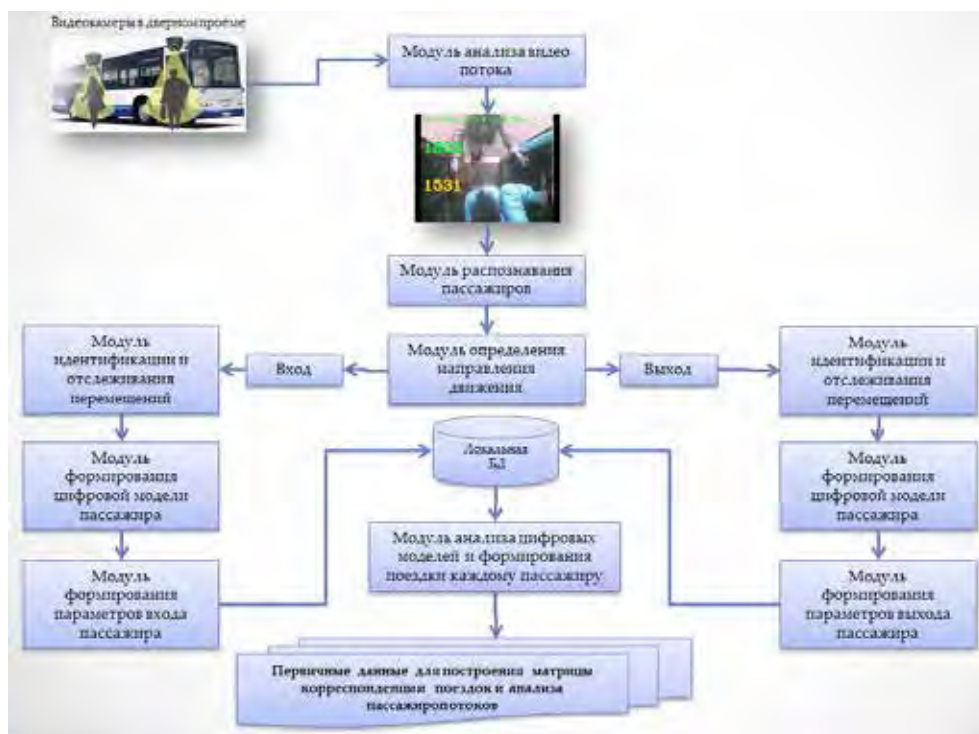


Рис. 3. Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных о поездках пассажиров на общественном транспорте на базе нейросетевых технологий (выполнено автором).

нормализации изображений можно не получить нужного результата, поскольку пассажир может войти прямо, а выйти боком, под каким-либо углом или даже спиной. Нужна многократная циклическая процедура поворота и сравнения изображений, что потребует и дополнительного времени на обработку и может не привести к ожидаемому результату. Кроме того, полное изображение занимает достаточно большой объем оперативной памяти, что также потребует больших временных ресурсов на обработку. Более правильно в этом случае использовать цифровую идентификационную модель изображения. Такие модели строятся на основе выделения на изображениях набора ключевых точек. В качестве основы для таких моделей может использоваться триангуляция Делоне или диаграммы Вороного, которые используются в системах сопоставления и морфинга лиц. Могут быть использованы гистограммы направленных градиентов (HOG дескрипторы особых точек), которые используются в компьютерном зрении для распознавания объектов [7].

В настоящее время с участием автора исследования начата реализация технологии и программных модулей для автоматизации

сбора данных о поездках пассажиров на основе нейросетевых технологий и компьютерного зрения. На рис. 4 приведены примеры формирования цифровых моделей изображений, которые построены на основе гистограммы направленных градиентов. Здесь изображения приводились к одному цвету – градация серого.

Естественно, что цифровая модель занимает в памяти компьютера гораздо меньше места и, кроме того, даёт возможность сравнивать изображения и оценивать их подобие. На рис. 5 представлены примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей.

Как видно из рис. 5, для абсолютно одинаковых изображений коэффициент отличия, рассчитанный на основе цифровой модели, равен нулю. С нарастанием разности между фрагментами изображений характеристика отличий увеличивается. Так во втором ряду один и тот же человек сменил положение головы, и это изменение было зафиксировано в гистограмме. Однако характеристика отличия (14) не превысила порогового значения (19), и изображённые на них объекты можно отнести к идентичным. А вот в третьем ряду характеристика отличия (22) превысила по-

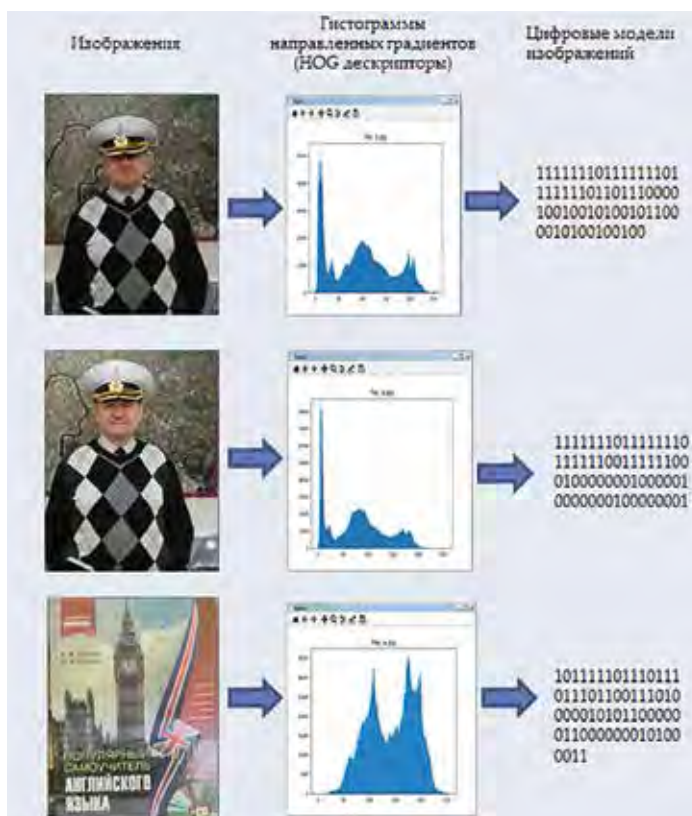


Рис. 4. Цифровые модели изображений на основе гистограммы направленных градиентов (выполнено автором).

роговое значение, что говорит о том, что на изображениях разные объекты (пороговое значение определяется опытным путём). С использованием цифровой модели и правильно подобранного порогового значения можно оценивать сходство или различия объектов на изображениях, то есть для рассматриваемой задачи – найти соответствие между вошедшим и вышедшим пассажиром. С ещё большей точностью можно сопоставлять объекты на изображениях с использованием гистограммы не одного цвета, а гистограмм группы цветов (рис. 6).

Особый интерес для поиска сходства в изображениях представляют методы гомографии, при использовании которых углы поворота и наклона сравниваемых изображений не имеют принципиального значения [8]. Это особенно важно для решения рассматриваемой задачи, поскольку положение пассажира при перемещении в районе камеры над входной дверью не может быть строго фиксированным. На рис. 7 представлен пример визуального сопоставления изображений методом гомографии. Чтобы обеспечить до-

статочную точность распознавания пассажира на входе и выходе, потребуется использовать комбинацию отмеченных выше способов формирования и сопоставления цифровых моделей.

Для того чтобы зафиксировать место входа-выхода пассажира на основе его изображения в видеопотоке, необходимо выполнить следующие шаги:

- распознать силуэт пассажира при его входе в салон транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры входа;
- распознать силуэт пассажира при его выходе из салона транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры входа или выхода;
- для вышедшего пассажира на основе сопоставления цифровых моделей найти параметры входа и сформировать поездку (остановка входа – остановка выхода).

Место (остановка) входа и выхода пассажира может быть определено с помощью



Рис. 5. Примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей (выполнено автором).

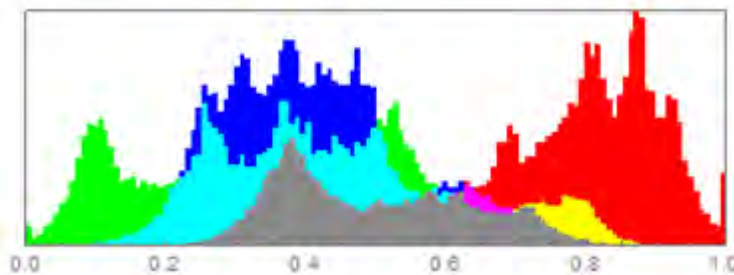


Рис. 6. Пример гистограммы цветов изображения (выполнено автором).

бортовой спутниковой навигационной системы транспортного средства. Синхронизация первичных данных о местах входа-выхода пассажиров с остановочными пунктами могут осуществляться либо на уровне транспортного средства (путём интеграции бортового программного обеспечения двух подсистем), либо на серверной части системы обработки навигационных данных (путём сопоставления времени входа-выхода пассажиров из системы учёта поездок пассажиров со временем проезда остановочных пунктов – данных, получаемых от навигационной системы).

В результате обработки видеоматериалов программное обеспечение формирует обезличенные данные о поездках пассажиров с указанием следующих параметров:

- остановочный пункт, дата и время посадки в транспортное средство;
- остановочный пункт, дата и время выхода из транспортного средства.

Эта информация записывается в бортовой журнал в виде текстового файла. Такой файл, содержащий, например, сведения о 1000 поездок пассажиров, будет занимать в памяти компьютера не более 50 Кб. После завершения работы транспортного средства на марш-



Рис. 7. Визуальное сопоставление изображений методом гомографии (выполнено автором).

руте этот массив данных должен передаваться на стационарный компьютер (или на серверную платформу), где на его основе будет формироваться матрица корреспонденций поездок пассажиров. Кроме того, на основе этого же массива данных можно будет получить и традиционную отчётность о пассажиропотоках.

Решение поставленной задачи основано на использовании нейронных сетей, машинного обучения и различных методов обработки изображений. В связи с этим для разработки программного обеспечения были применены следующие инструментальные средства:

- язык программирования Python;
- специализированные библиотеки для построения нейронных сетей и машинного обучения (Keras [9], PyBrain, Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch с torchvision и др.);
- библиотеки для обработки изображений и работы с матрицами (OpenCV [10], ImageAI [11], NumPy).

Для упрощения создания аналогичных приложений и сокращения программного кода разработана собственная библиотека постобработки изображений (Postoperative Library for Image Transformation – PostoLIT).

На сегодняшний день с использованием этого инструментария реализованы некоторые базовые модули системы компьютерного зрения для решения поставленной задачи, в частности:

- нейронные сети R-CNN для распознавания объектов;
- модули сегментации и кластеризации изображений на основе каскадов Хаара;
- модули распознавания и сегментации экземпляров объектов на базе сетей Mask R-CNN;

- модули распознавания ключевых точек изображения (на основе технологий поиска лицевых ориентиров и элементов лица);

- модули построения цифровых моделей изображений на основе гистограммы направленных градиентов;

- модули сопоставления изображений на основе гомографии и HOG детекторов.

Для кого могут представлять интерес системы автоматизированного сбора данных о поездках с фиксацией места входа-выхода каждого пассажира? В первую очередь, это пассажирские автотранспортные предприятия.

Например, в России, согласно данным аналитического агентства «Автостат», по состоянию на 1 января 2020 года насчитывается порядка 409,9 тыс. автобусов¹, более 8 тыс. трамваев² и 4 тыс. троллейбусов³. Это достаточно большой парк транспортных средств, на которых может использоваться данная система. Такие системы представляют интерес для городских и региональных органов власти, которые обеспечивают организацию транспортного обслуживания населения. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается 85 субъектов и 1117 городов, из них 173 города имеют население свыше 100 тыс. жителей⁴. В России насчитывается 43 крупнейших поставщика информационных систем для транспортных компаний, которые сре-

¹ Российский парк автобусов: основные показатели на начало 2020 года. [Электронный ресурс]: <https://www.avtoestat.ru/infographics/43090/>. Доступ 25.02.2021.

² Состояние трамвайной системы в России. [Электронный ресурс]: <http://www.ipem.ru/news/publications/914.html>. Доступ 25.02.2021.

³ Троллейбусные города России. [Электронный ресурс]: <http://trollcity.narod.ru/stat.htm>. Доступ 25.02.2021.

⁴ Федеральное устройство России. [Электронный ресурс]: <https://mnogofactov.ru/goroda-i-strany/skolko-subektov-v-rf-na-2019-god.html>. Доступ 25.02.2021.



ди прочих программных продуктов разрабатывают и внедряют системы учёта пассажиропотоков⁵. Они смогут использовать разработанные программные модули для встраивания их в свои уже существующие системы учёта пассажиропотоков и в автоматизированные системы оплаты проезда, тем самым расширяя их функциональные возможности. А также создавать новые продукты на основе предложенных программных и технологических решений.

Кроме того, предлагаемый технологический подход и программное обеспечение могут оказаться востребованы не только в транспортной отрасли, но и в других сферах производственной деятельности, где требуется фиксация перемещения объектов, имеющих внешние индивидуальные особенности, где необходима оценка времени обслуживания клиентов, а также оценка эффективности работы персонала сервисных служб. Например, в системах определения времени пребывания покупателей в торговых точках, оценки времени обслуживания клиентов в МФЦ, в поликлиниках, в банках и других организациях. Всё это говорит о перспективах развития и востребованности систем компьютерного зрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерное зрение и искусственный интеллект являются, пожалуй, самыми востребованными направлениями развития информационных технологий.

Существующие системы автоматизации сбора данных о поездках пассажиров не позволяют зафиксировать место входа и выхода каждого пассажира, соответственно на этих данных не представляется возможным построить матрицу корреспонденций.

Уровень достижений в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения позволяет реализовать автоматиза-

⁵ Крупнейшие поставщики ИТ для транспортных компаний 2019. [Электронный ресурс]: https://www.cnews.ru/reviews/it_v_transportnoj_otrasli_2020/review_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245. Доступ 25.02.2021.

Информация об авторе:

Постолит Анатолий Владимирович – доктор технических наук, профессор, директор компании Smart Information Systems, Москва, Россия, anat_post@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 25.02.2021, одобрена после рецензирования 21.04.2021, принята к публикации 23.04.2021.

цию сбора данных о поездках пассажиров на общественном транспорте с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира. С учётом того, что на данный момент на рынке программного обеспечения отсутствуют подобные решения, они имеют весомые конкурентные преимущества и хорошую перспективу практической реализации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Закономерности городского движения (подвижность городского населения, расчёт корреспонденций). Онлайн-презентация. [Электронный ресурс]: <https://ppt-online.org/681708>. Доступ 25.02.2021.
2. Хабаров В. И., Теселкин А. А., Косолапов К. П. Планирование экспериментов для оценки матрицы транспортных корреспонденций. Доклады АН ВШ РФ, июль–сентябрь 2015. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/27479223-Planirovanie-eksperimentov-dlya-ocenki-matricy-transportnyh-korrespondency.html>. Доступ 25.02.2021.
3. Автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков (АСМПП). [Электронный ресурс]: <https://transsensor.ru/catalog/datchiki-irma/asmpp-irma-basic-can>. Доступ 25.02.2021.
4. Infoteh PasCounter – готовое решение для автоматического подсчёта пассажиров. [Электронный ресурс]: <https://pascounter.infoteh.ru/>.
5. Лебедева О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования // Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск, 2014. [Электронный ресурс]: https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva_ref.pdf. Доступ 25.02.2021.
6. Намиот Д. Е., Некраплёная М. Н., Покусаев О. Н., Чекмарёв А. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажиропотоков. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/matritsy-korrespondentsiy-i-analiz-passazhirskih-potokov/viewer>. Доступ 25.02.2021.
7. Yongzheng, Xu; Guizhen, Yu; Yunpeng, Wang; Xinkai, Wu; Yalong, Ma. A Hybrid Vehicle Detection Method Based on Viola-Jones and HOG + SVM from UAV Images. [Электронный ресурс]: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/8/1325/htm>. Доступ 25.02.2021.
8. Basic concepts of the homography explained with code. [Электронный ресурс]: https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial_homography.html. Доступ 25.02.2021.
9. Writing documentation for OpenCV. [Электронный ресурс]: https://docs.opencv.org/master/d4/db1/tutorial_documentation.html. Доступ 25.02.2021.
10. Official English Documentation for ImageAI. [Электронный ресурс]: <https://imageai.readthedocs.io/en/latest/>. Доступ 25.02.2021.
11. Keras tutorial points (simply easy learning). [Электронный ресурс]: https://www.tutorialspoint.com/keras/keras_tutorial.pdf. Доступ 25.02.2021.