

УДК 004.9

doi 10.54708/19926502_2024_28410634

Информационная система для анализа транспортной задержки на перекрестках

А.В. Корнилов^а, Е.Ю. Сазонова^б, О.Н. Сметанина^в

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ), г. Уфа, Россия

Аннотация. В условиях постоянно растущей интенсивности дорожного движения, все больший вклад в общее время поездки вносит ожидание на перекрестках, время которого отличается при пересечении перекрестка в прямом направлении и при поворотах на пересекаемую дорогу. Поэтому необходимо как можно точнее учитывать задержки на перекрестках при построении оптимизированных по времени маршрутов движения. В работе предложен метод сбора данных для анализа транспортной задержки на перекрестках, учитывающий направление их проезда, с использованием как данных о средней скорости движения потока на прилегающих участках дорожной сети, получаемых от служб мониторинга трафика картографических сервисов, так и данных анализа движения автомобильного транспорта при помощи системы компьютерного зрения. Разработана реализующая предложенный метод информационная система, выполненная по трехуровневой клиент-серверной архитектуре с сервером данных и сервером приложений, включающая средства сбора, анализа, визуализации и хранения данных о движении автомобильного транспорта на перекрестках.

Ключевые слова: транспортная задержка; мониторинг; перекресток; трекинг; компьютерное зрение; YOLO.

^аkornilov_a_v@mail.ru, ^бekaterina_rassadnikova@mail.ru, ^вsmoljuschka@mail.ru

Введение

В условиях постоянно растущей интенсивности дорожного движения требуется совершенствование логистики пассажирских и грузовых перевозок для сокращения времени в пути и предотвращения дорожных заторов. Задержки при движении автомобильного транспорта вызывают значительные временные и финансовые потери.

По данным сервиса TomTom Traffic Index [1] для наиболее загруженных городов мира, в 2023 году средняя скорость движения автотранспорта в часы пик в Лондоне составляла 14 км/ч, Дублине – 16 км/ч, Лиме – 17 км/ч, Бангалоре (Бенгалуру) и Торонто – 18 км/ч. Эти значения показывают, что проблемы организации дорожного движения, даже несмотря на предпринимаемые для их решения меры, остаются актуальными и в настоящее время.

Работа перекрестков оказывает влияние на функционирование всей городской транспортной инфраструктуры. Так, перекрестки являются одним из мест формирования дорожных заторов, вносящих задержки в движение автомобильного транспорта. Построение модели, прогнозирующей транспортные задержки на перекрестках, позволяет более точно определять время в пути и строить лучше оптимизированные по времени маршруты транспортных средств. Для учета как текущей транспортной ситуации, так и сохранения данных для последующего анализа используются различные методы. Представляет интерес автоматизация визуального изучения движения транспорта при помощи систем компьютерного зрения. Ключевой проблемой при этом является трекинг (отслеживание) транспортных средств в течение всего времени их пребывания в поле зрения камеры наблюдения.

Таким образом, авторами предлагается разработать информационную систему для анализа транспортной задержки на перекрестках, включающую средства сбора, хранения, анализа и визуализации данных о движении автомобильного транспорта.

Разрабатываемая информационная система (ИС) позволит собирать данные об автомобильном трафике и, в перспективе, использовать их для построения модели транспортной задержки.

Анализ предметной области

В литературе термин «задержка» или «транспортная задержка» (transport delay) часто употребляется без уточнения его определения. В Highway Capacity Manual [2] приведено следующее определение задержки: «задержка является важным показателем производительности элементов дорожной системы с (периодически) прерываемым транспортным потоком. Существует несколько типов задержки, но задержка управления (задержка, вызванная наличием устройства управления дорожным движением) является в данном руководстве основным показателем для оценки уровня обслуживания (Level-Of-Service, LOS) на регулируемых и нерегулируемых перекрестках.

Задержка управления включает в себя задержку, связанную с замедлением транспортных средств при приближении к перекрестку, время, потраченное на остановку при подъезде к перекрестку, время, потраченное на движение в очереди, и время, необходимое для ускорения до желаемой скорости».

Пропускная способность перекрестка будет различна при пересечении его в прямом направлении и при поворотах на пересекаемую дорогу, поскольку при выполнении поворотов направо, налево и разворотах водитель обязан пропустить других участников дорожного движения. Пункт 13.1 Правил дорожного движения (ПДД) [3] указывает: «при повороте направо или налево водитель обязан уступить дорогу пешеходам, лицам, использующим для передвижения средства индивидуальной мобильности, и велосипедистам, пересекающим проезжую часть дороги, на которую он поворачивает», согласно п. 13.4 «при повороте налево или развороте по зеленому сигналу светофора водитель безрельсового транспортного средства обязан уступить дорогу транспортным средствам, движущимся со встречного направления прямо или направо», согласно п. 13.5 «при движении в направлении стрелки, включенной в дополнительной секции одновременно с желтым или красным сигналом светофора, водитель обязан уступить дорогу транспортным средствам, движущимся с других направлений». Таким образом, транспортная задержка будет зависеть от интенсивности движения на перекрестке.

На пропускную способность перекрестка влияют предписывающие знаки и разметка, указывающие разрешенные на полосах проезжей части направления движения, а также дополнительные секции светофора, которые разрешают поворот в указываемом секцией направлении.

Также транспортные средства, ожидающие поворот, могут препятствовать движению основного потока или формировать отдельные очереди.

Метод сбора данных

При создании модели транспортной задержки, данные о перемещении автотранспорта на интересующем участке дороги часто собираются исследователями путем непосредственного наблюдения.

В качестве альтернативы непосредственному наблюдению возможно использование массива данных служб мониторинга трафика картографических сервисов, собирающих с устройств пользователей данные систем глобального позиционирования, на основе которых выполняется построение треков движения автомобилей в сопоставлении с картой дорожной сети для вычисления средней скорости движения и загруженности каждого ее участка [4]. Однако, подобные сервисы предоставляют информацию только о средней скорости движения на улицах либо, чаще, об условной степени их загруженности, чего недостаточно для анализа транспортной задержки.

Для разрабатываемой системы предлагается использовать данные сервисов мониторинга трафика о средней скорости на участках дорожной сети, совместно с данными о движении транспорта на перекрестках, полученными путем трекинга автомобилей на кадрах камер видеонаблюдения при помощи системы компьютерного зрения.

Комплексному сравнению существующих методов трекинга посвящена работа [5]. Для задачи анализа движения автотранспорта на перекрестках применимы только методы трекинга, позволяющие в каждый момент времени локализовать местоположение каждого транспортного средства, то есть мультитрекинга (Multi-object Tracking, MOT).

Исторически для задачи мультитрекинга использовалась парадигма трекинга через распознавание (Tracking by Detection, TBD). В этом подходе используется сопоставление распознанных детектором объектов с их треками на основе выделения признаков объектов, пригодных для реидентификации. Использование такой системы на оборудовании с ограниченными вычислительными мощностями представляется затруднительным [6].

Следующим этапом была разработка систем объединенного распознавания и трекинга (Joint Detection and Tracking, JDT). В отличие от TBD, в JDT распознавание и трекинг осуществляются в одном конвейере, что позволяет создавать более быстрые и менее требовательные к ресурсам системы [6].

В дальнейшем для решения задачи трекинга получили развитие двухстадийные и одностадийные детекторы, использующие глубокое обучение. Двухстадийные детекторы, к которым относится семейство R-CNN, на первом этапе выделяют в кадре регионы, а на втором этапе классифицируют объекты, которые в них находятся. Одностадийные детекторы, к которым относятся семейства YOLO, SSD и RetinaNet, одновременно выполняют локализацию и классификацию объектов в кадре [7].

В разрабатываемой информационной системе для трекинга автомобильного транспорта используется модель обнаружения объектов и сегментации изображений в режиме реального времени YOLOv8 фирмы Ultralytics Inc. с одностадийным детектором, использующим глубокое обучение [8], с алгоритмами трекинга BoT-SORT [9] и ByteTrack [10].

Модель задачи

Формальная постановка задачи анализа текущей транспортной ситуации на перекрестке приведена на Рис. 1, декомпозиция задачи – на Рис. 2.

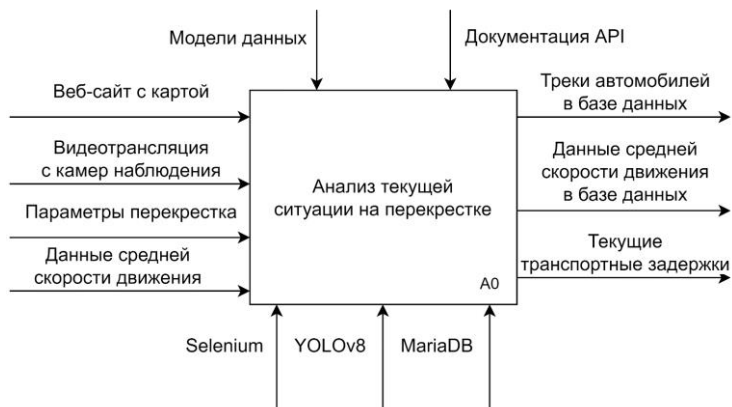


Рисунок 1. Формальная постановка задачи анализа трафика.

Среди функций информационной системы можно выделить подготовку видеопотока для анализа, распознавание и идентификацию транспорта, трекинг транспорта, получение данных о средней скорости потока автомобилей, запись в базу данных.

Подготовка видеопотока включает парсинг маркеров интерактивной карты городского проекта публичных камер видеонаблюдения и получение потокового мультимедиа. Для доступа к веб-сайту с интерактивной картой городского проекта публичных камер видеонаблюдения используется браузер без графического интерфейса пользователя под управлением веб-драйвера Selenium [11].

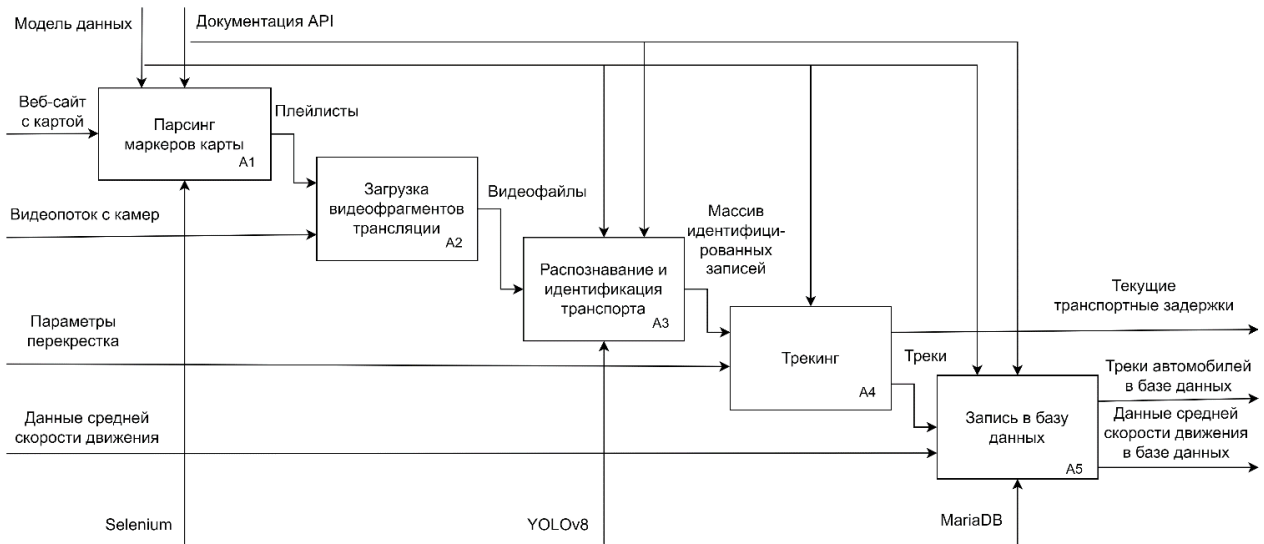


Рисунок 2. Декомпозиция задачи анализа трафика.

Диаграмма размещения ИС

Для информационной системы выбрана трехуровневая клиент-серверная архитектура. При этом подсистемы сбора, обработки и хранения данных представляет сервер данных, а подсистемы контроля и визуализации данных – сервер приложений.

Подобная архитектура позволяет разделить части информационной системы по выполняемым функциям. Пользователи для просмотра текущей дорожной ситуации подключаются к серверу приложений, а сервер данных осуществляет коммуникацию со сторонними сервисами (СУБД, сервисом мониторинга дорожного трафика, дорожными камерами наблюдения, веб-сайтом с интерактивной картой городского проекта публичных камер видеонаблюдения). Все коммуникации выполняются по протоколу HTTP.

Подсистема сбора, обработки и хранения данных размещены на сервере данных вместе с базой данных MariaDB [12]. Подсистема контроля и визуализации данных размещена на сервере приложений. Диаграмма размещения информационной системы – в соответствии с Рис. 3.

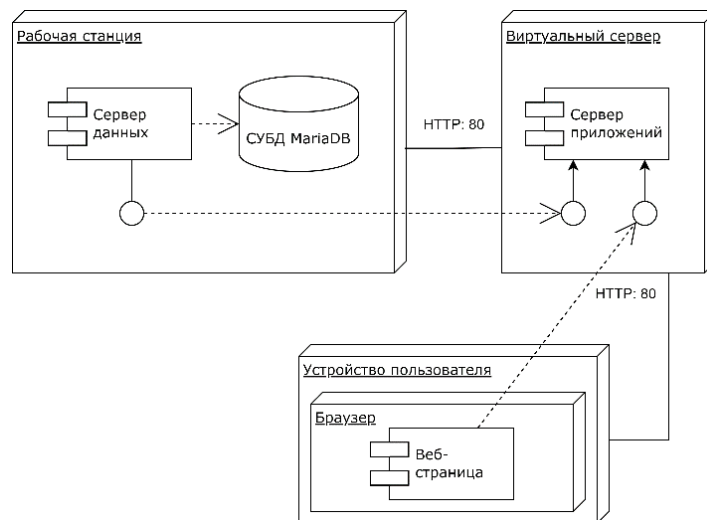


Рисунок 3. Диаграмма размещения информационной системы.

Модель данных ИС

Концептуальная схема данных приведена на Рис. 4, логическая схема данных – на Рис. 5.

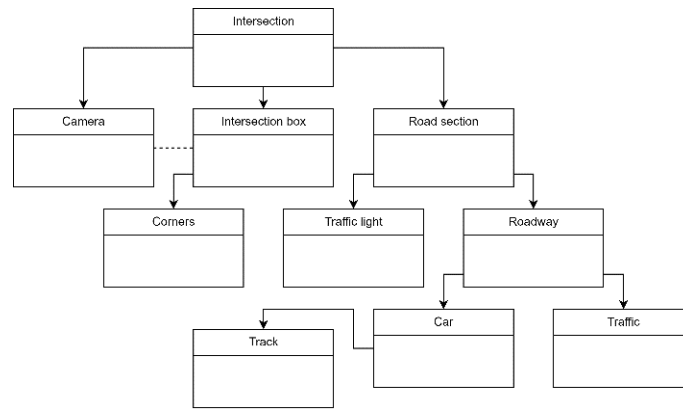


Рисунок 4. Концептуальная модель данных.

Перекресток (intersection) в данной модели – четырехугольное пространство, к ребрам которого примыкают четыре дорожных участка (road section).

Участок дороги имеет две проезжие части (roadway) – одна ведет к перекрестку, вторая – от него.

Проезжая часть, ведущая к перекрестку, оснащена светофором (traffic light), регулирующим возможность проезда автомобилей (car). Время работы зеленого сигнала светофора может отличаться в зависимости от стороны перекрестка.

Перекресток находится в поле зрения камеры наблюдения (camera).

Географические координаты углов (corners) перекрестка, а также их координаты в системе отсчета, связанном с полем зрения камеры, используются для определения положения автомобиля (car) относительно перекрестка.

Траектория движения автомобиля (track) обрабатывается для определения транспортной задержки.

Информация о средней скорости движения на проезжих частях (без разделения на полосы) запрашивается из сервиса мониторинга трафика.

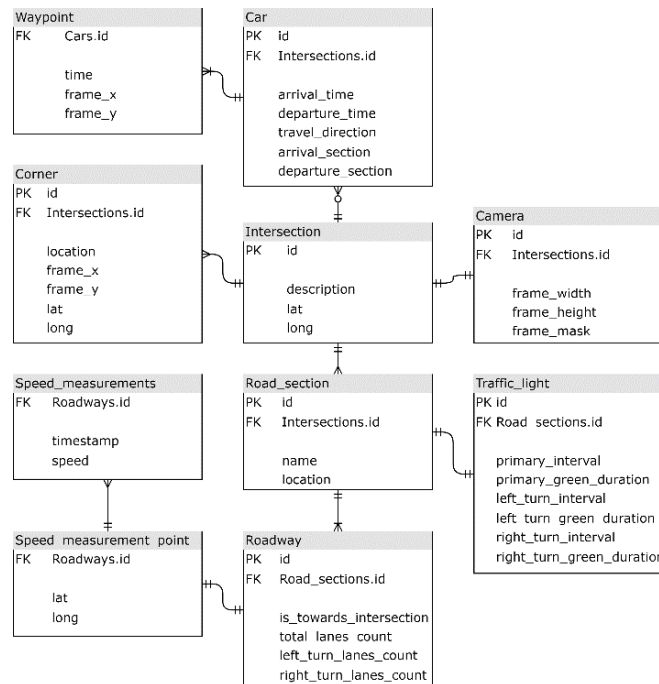


Рисунок 5. Логическая модель данных.

Помимо основных процессов можно еще выделить такое множество процессов, как *вспомогательные процессы*. Вспомогательные процессы включают в себя в первую очередь

процессы *вспомогательного производства*, а также процессы конструкторско-технологической подготовки производства. Кроме того, к вспомогательным процессам относятся также планово-предупредительные ремонтные работы оборудования, относящиеся как к основному, так и к вспомогательному производству. Сущность «Перекресток» (intersection) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id), атрибуты: «Описание» (description), «Широта» (latitude, lat) и «Долгота» (longitude, long).

Сущность «Камера» (camera) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Перекресток», атрибуты: «Ширина кадра» (frame_width), «Высота кадра» (frame_height) и «Битовая маска» (frame_mask).

Сущность «Угол перекрестка» (corner) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Перекресток» (intersection), атрибуты: «Местоположение» (location), «Координата x» (frame_x), «Координата y» (frame_y), «Широта» (latitude, lat) и «Долгота» (longitude, long).

Сущность «Участок дороги» (road_section) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Перекресток» (intersection), атрибуты: «Название» (name), «Местоположение» (location).

Сущность «Светофор» (traffic_light) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Участок дороги» (road_section), атрибуты: «Длина цикла регулирования» (primary_interval), «Продолжительность зеленого сигнала» (primary_green_duration), «Длина цикла регулирования поворота налево» (left_turn_interval), «Продолжительность зеленого сигнала при повороте налево» (left_turn_green_duration), «Длина цикла регулирования поворота направо» (right_turn_interval), «Продолжительность зеленого сигнала при повороте направо» (right_turn_green_duration).

Сущность «Проезжая часть» (roadway) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Участок дороги» (road_section), атрибуты: «Ведет к перекрестку» (is_towards_intersection), «Общее число полос» (total_lanes_count), «Число полос для поворота налево» (left_turn_lanes_count) и «Число полос для поворота вправо» (right_turn_lanes_count).

Сущность «Трафик» (traffic) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Проезжая часть» (roadway), атрибуты: «Скорость» (speed), «Широта» (latitude, lat) и «Долгота» (longitude, long).

Сущность «Автомобиль» (car) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Перекресток» (intersection), атрибуты: «Время появления» (arrival_time), «Время отправления» (departure_time), «Направление проезда» (travel_direction), «Начальный участок» (arrival_section) и «Конечный участок» (departure_section).

Сущность «Точка маршрута» (waypoint) содержит первичный ключ «Идентификатор» (id) и внешний ключ – идентификатор сущности «Автомобиль» (car), атрибуты: «Время» (time), «Координата x» (frame_x), «Координата y» (frame_y).

Реализация информационной системы

Для реализации информационной системы выбран язык программирования Python.

Диаграмма классов сервера данных представлена на рис. 6.

Класс WebService предназначен для отправки POST-запросов с данными трафика на сервер приложений, обработки ответов с управляющими командами.

Класс Manager предназначен для добавления и удаления мониторинга перекрестков.

Класс CameraLinkInspector предназначен для парсинга маркеров интерактивной карты городского проекта публичных камер видеонаблюдения и формирования URL для загрузки плейлистов M3U.

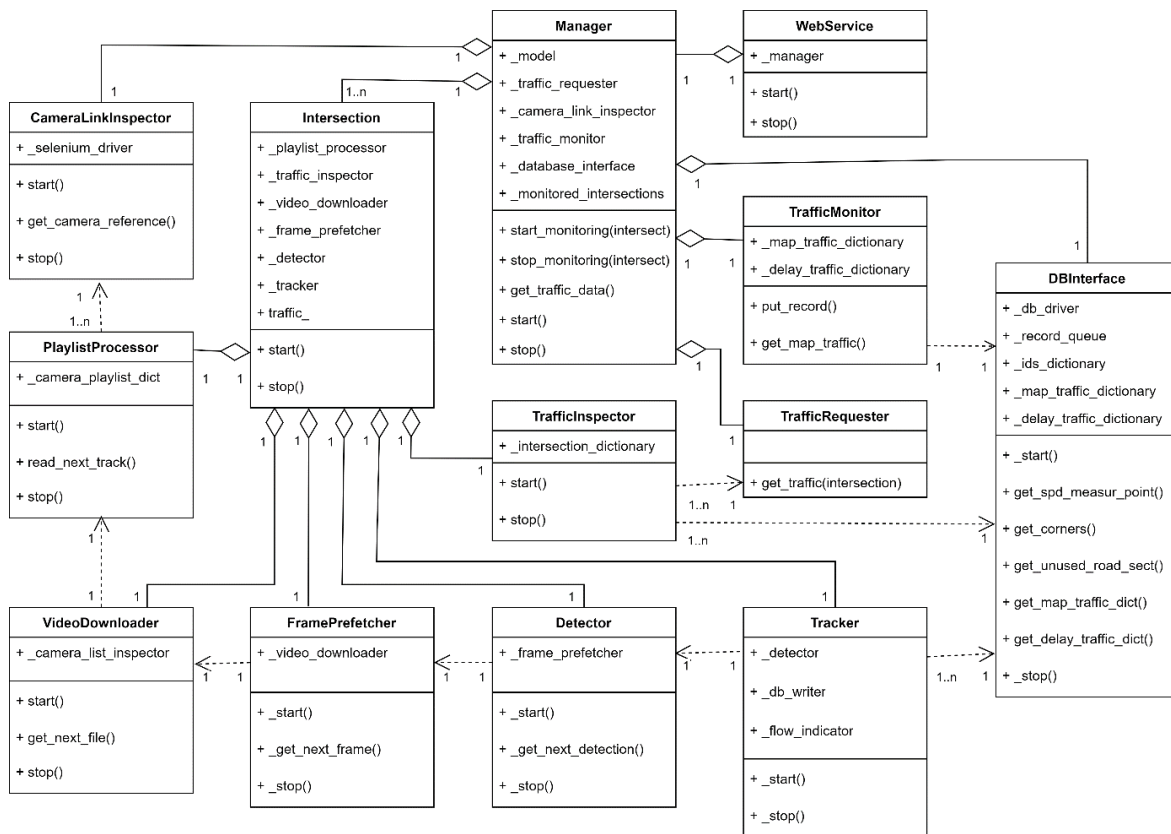


Рисунок 6. Диаграмма классов сервера данных.

Класс DBInterface предназначен для записи в базу данных треков движения транспорта на перекрестках и средних скоростей потоков автомобилей, а также чтения из базы данных параметров перекрестков.

Класс TrafficRequester предназначен для запросов данных о средней скорости потоков автомобилей на участках дорог, прилегающих к перекрестку из стороннего сервиса мониторинга трафика TomTom Flow Segment Data [13].

Класс TrafficMonitor предназначен для аккумуляции данных об осредненной транспортной задержке для каждого перекрестка и каждого направления движения на текущий момент времени.

Класс Intersection служит для создания и управления экземплярами классов PlaylistProcessor, VideoDownloader, FramePrefetcher, Detector, Tracker, TrafficInspector.

Класс PlaylistProcessor предназначен для загрузки и парсинга плейлистов в формате M3U, формирования очереди из видеофрагментов в формате TS.

Класс VideoDownloader предназначен для загрузки видеофрагментов в формате TS, сохранения их на сервере данных и формирования очереди имен файлов для дальнейшей обработки.

Класс FramePrefetcher предназначен для чтения сохраненных файлов видеофрагментов и формирования непрерывного потока кадров видеотрансляции для детектора.

Класс Detector предназначен для распознавания и идентификация автомобильного транспорта в кадрах видеотрансляции и формирования очереди из записей с идентифицированными в кадре автомобилями.

Класс Tracker предназначен для трекинга идентифицированных детектором автомобилей, формирования треков их движения, определения направления движения, отбора треков, пригодных для последующего анализа.

Класс TrafficInspector предназначен для периодических запросов данных о средней скорости потоков автомобилей на участках дорог, прилегающих к перекрестку при помощи вызовов методов класса TrafficMonitor.

Сервер приложений реализован с использованием веб-фреймворка Flask [14] для Python.

Интерфейс информационной системы

Веб-интерфейс ИС приведен на рис. 7. Для визуализации дорожной сети используется JavaScript API [15] сервиса Яндекс Карты. Отображение транспортной задержки осуществляется при помощи HTML-маркеров карты со стрелками и подписями.

Стрелками обозначаются направления движения автомобильного транспорта на перекрестке, числовые подписи стрелок выражают транспортную задержку в секундах. Серый цвет стрелок указывает, что для данного направления отсутствуют данные транспортной задержки. Зеленый цвет стрелок соответствует низкой загрузке направления, желтый – средней загрузке, красный – высокой загрузке.

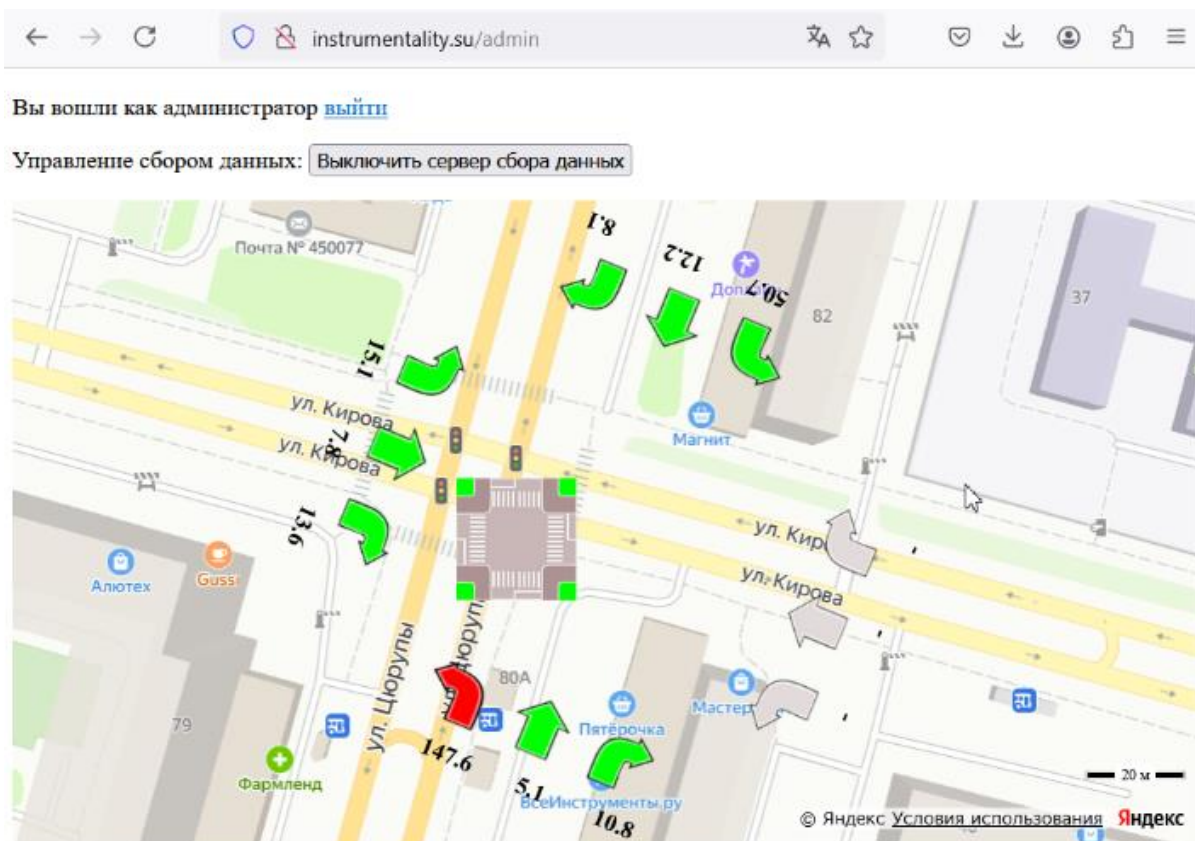


Рисунок 7. Интерфейс ИС.

Заключение

В работе предложен метод сбора данных для анализа транспортной задержки на перекрестках, учитывающий направление их проезда, с использованием как данных служб мониторинга трафика картографических сервисов, так и данных трекинга автомобильного транспорта при помощи системы компьютерного зрения.

Разработана реализующая предложенный метод информационная система, выполненная по трехуровневой клиент-серверной архитектуре с сервером данных и сервером приложений, позволяющая: получать потоковое мультимедиа городского проекта публичных камер видеонаблюдения; при помощи системы компьютерного зрения выполнять распознавание и идентификацию автомобильного транспорта; осуществлять трекинг идентифицированных транспортных средств на перекрестках; получать данных о средней скорости движения на участках дорог, прилегающих к перекрестку из стороннего сервиса мониторинга трафика TomTom Flow Segment Data; определять транспортную задержку отдельно для каждого направления проезда перекрестка; отображать данные транспортной задержки на веб-странице ИС при помощи маркеров Яндекс Карты; сохранять данные для последующего анализа.

Перспективой развития ИС может быть разработка математической модели, основанной на собираемых данных и прогнозирующей транспортные задержки на перекрестках.

Литература:

1. Ranking 2023 [Электронный ресурс] URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/> (дата обращения: 19.06.2024). [Traffic Index [Online]. Available: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/> (accessed 19.06.2024).]
2. HCM 2010: Highway Capacity Manual. Washington, D.C. Transportation Research Board, 2010.
3. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 02.06.2023) О Правилах дорожного движения (вместе с Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения) [Resolution of the Government of the Russian Federation of 23.10.1993 N 1090 (as amended on 02.06.2023) On the Rules of the Road (together with the Basic Provisions for the Admission of Vehicles to Operation and the Responsibilities of Officials to Ensure Road Safety), (in Russian)].
4. Скоро приедем? [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/companies/2gis/articles/674230/> (дата обращения: 28.05.2024) [Will we arrive soon? [Online], (in Russian). Available: <https://habr.com/ru/companies/2gis/articles/674230/> (accessed: 28.05.2024)].
5. Marvasti-Zadeh Seyed Mojtaba, Cheng Li, Ghanei-Yakhdan Hossein, Kasaei Shohreh. Deep Learning for Visual Tracking: A Comprehensive Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 5, pp. 3943–3968, 2022. doi: 10.1109/tits.2020.3046478.
6. Nijhawan Siddharth, Hoshikawa Leo, Irie Atsushi, Yoshimura Masakazu, Otsuka Junji, Ohashi Takeshi. Efficient Joint Detection and Multiple Object Tracking with Spatially Aware Transformer. 2022. doi: 10.48550/arXiv.2211.05654.
7. Lee Youngkeun, Sang-ha Lee, Jisang Yoo, Soonchul Kwon. 2021. Efficient Single-Shot Multi-Object Tracking for Vehicles in Traffic Scenarios. *Sensors* 2021, no. 19: 6358. doi: 10.3390/s21196358.
8. Sohan Mupparaju, Thotakura SaiRam, Ch. Venkata RamiReddy. A Review on YOLOv8 and Its Advancements. *Data Intelligence and Cognitive Informatics. ICDICI 2023. Algorithms for Intelligent Systems*. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-99-7962-2.
9. Nir Aharon, Roy Orfaig, Ben-Zion Bobrovsky. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking. 2022. doi: 10.48550/arXiv.2206.14651.
10. Yifu Zhang, Peize Sun, Yi Jiang, Dongdong Yu, Fucheng Weng, Zehuan Yuan, Ping Luo, Wenyu Liu, Xinggang Wang. ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box. 2022. doi: 10.48550/arXiv.2110.06864.
11. Satish Gojare, Rahul Joshi, Dhanashree Gaigaware, Analysis and Design of Selenium WebDriver Automation Testing Framework. *Procedia Computer Science*, vol. 50, pp. 341-346, 2015. doi: 10.1016/j.procs.2015.04.038.
12. Michael Witham, Isaiah Bender, Rahul Gomes. Comparative Analysis of MariaDB's Performance Efficiency as a Suitable Replacement for MySQL. In *Proceedings of the 2019 Midwest Instruction and Computing Symposium*. Fargo, ND, USA, 5–6 April 2019.
13. Marco Pozzoni, Giulia Ceccarelli, Andrea Gorrini, Lorenza Manenti, Luigi Sanfilippo. TomTom Data Applications for the Assessment of Tactical Urbanism Interventions: The Case of Bologna. *Sustainability*. No. 15(17): 12716, 2023 doi: 10.3390/su151712716.
14. Idris Nuruldemia, Mohd Foozy Cik Feresa, Shamala Palaniappan. A Generic Review of Web Technology: Django and Flask. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*. Vol. 2, pp. 34-40, 2021. doi: 10.30630/ijasce.2.3.29.
15. API Яндекс Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/maps-api/products/js-api> (дата обращения: 28.05.2024) [Yandex Map API [Online], (in Russian). Available: <https://yandex.ru/maps-api/products/js-api> (accessed: 28.05.2024)].

Об авторах:

КОРНИЛОВ Андрей Владимирович, аспирант кафедры ВМиК. Дипл. магистр (УУНиТ, 2024). Исследования в области компьютерного зрения; kornilov_a_v@mail.ru.

САЗОНОВА (РАССАДНИКОВА) Екатерина Юрьевна, доц. каф. вычислительной математики и кибернетики (Уфимский университет науки и технологий). Дипл. экон. -математик (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2011). Канд. техн. наук по системному анализу, управлению и обработке информации (там же, 2015). Иссл. в обл. управления, сист. анализа, интел. обр. данных; ekaterina_rassadnikova@mail.ru.

СМЕТАНИНА Ольга Николаевна, проф. каф. вычислительной математики и кибернетики (Уфимский университет науки и технологий). Дипл. инж.-электрик (Уфимск. авиац. ин-т, 1985). Д-р техн. наук по управлению в соц. и экон. системах (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2012). Иссл. в обл. интелл. поддержки принятия решений; smoljushka@mail.ru.

Metadata:

Title: Information system for analysis of transport delays at intersections.

Author 1: Andrey Vladimirovich Kornilov, Postgrad. student, Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Master's degree in software engineering (UUST, 2024).

Author 2: Ekaterina Yurevna Sazonova (Rassadnikova), Assoc. Prof. of Computational Mathematics and Cybernetics Department (Ufa University of Science & Technologies). Dipl. Economist-Mathematician (Ufa State Aviation Tech. Univ., 2011). Cand. Tech. Sci. on System Analysis, Management and Information Processing (ibid., 2015). Research in the field of management, systems analysis, data mining.

Author 3: Olga Nikolaevna Smetanina, Prof. Computational Mathematics and Cybernetics Department (Ufa University of Science & Technologies). Dipl. Eng.-Electrician (Ufa Aviat. Institute, 1985). Dr. Technical Sciences in social and economic management systems (Ufa State Aviat. Tech. University, 2012). Research in the field of intelligent decision support.

Abstract: Under conditions of ever-increasing traffic intensity, waiting at intersections makes an increasing contribution to the total travel time, which differs when crossing the intersection in the forward direction and when turning onto the road being crossed. Therefore, it is necessary to take into account delays at intersections as accurately as possible when constructing time-optimized routes. The paper proposes a method for collecting data for analyzing traffic delays at intersections, taking into account the direction of their passage, using both data on the average speed of flow in adjacent sections of the road network, obtained from traffic monitoring services of mapping services, and traffic analysis data of automobile transport using a computer vision system. An information system implementing the proposed method has been developed, based on a three-level client-server architecture with a data server and an application server, including tools for collecting, analyzing, visualizing and storing data on the movement of motor vehicles at intersections.

Keywords: transport delay, monitoring, intersection, tracking, computer vision, YOLO.