

УДК 004.9

doi 10.54708/22259309_2025_23359

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ СИТУАЦИИ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ

А. В. Корнилов¹, Е. Ю. Сазонова²

¹kornilov_a_v@mail.ru, ²ekaterina_rassadnikova@mail.ru

^{1,2}ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНТ)

Аннотация. Рассмотрены подходы и методы анализа транспортной ситуации на перекрестках в применении к задаче прогнозирования транспортной задержки. Проведен обзор математических моделей транспортной задержки, выявлены недостатки существующих моделей. Сформулированы требования для разработки модели транспортной задержки на основе анализа фактических данных о движении автомобильного транспорта. Предложен подход к сбору данных, включающий как получение информации о средней скорости потока от картографических служб, так и анализ видеопотока с камер наблюдения при помощи системы компьютерного зрения. Выполнено сравнение моделей компьютерного зрения, обученных на восьми датасетах.

Ключевые слова: исследование; моделирование; сравнение; транспортная задержка; перекресток; мониторинг; трекинг; компьютерное зрение; датасет; YOLO.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение движения транспорта на регулируемых перекрестках представляет теоретический и практический интерес. Работа перекрестков оказывает влияние на функционирование всей городской транспортной инфраструктуры.

Построение модели, прогнозирующей транспортные задержки на перекрестках, позволяет более точно определять время в пути и строить лучше оптимизированные по времени маршруты транспортных средств.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей исследования является разработка модели транспортной задержки на регулируемом перекрестке на основе собранных данных в виде:

- треков движения автомобилей;
- количества полос движения с учетом разрешенного направления движения;
- длительности фаз светофора, в том числе дополнительных секций;
- средних скоростей движения потока автомобилей на прилегающих к перекрестку улицах.

ОБЗОР ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Проблемы оценки времени транспортной задержки на перекрестках рассматривались в отечественных и зарубежных исследованиях [1]. Некоторые модели будут приведены ниже.

Модель М. Дж. Бэкманна (1956) [2–3]:

$$d = \frac{C - g}{C \left(1 - \frac{q}{s}\right)} \left(\frac{q_0}{q} + \frac{C - g + 1}{2} \right),$$

где d – средняя задержка на один автомобиль, с;
 C – длина цикла регулирования, с;
 g – эффективная длительность зеленого сигнала светофора, с;
 q – интенсивность потока, автомобилей в час;
 s – интенсивность разъезда из очереди, автомобилей в секунду;
 q_0 – остаточная очередь, шт. автомобилей.

Модель Ф. В. Вебстера (1958) [3–4]:

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5x)},$$

где λ – доля зеленого сигнала в цикле регулирования;

x – степень насыщенности:

$$x = \frac{q}{c},$$

где c – пропускная способность, автомобилей в час.

Регрессионная модель С. Г. Ганим, А. К. Джаббар и Х. С. Моксен (2014) [5]:

$$d = 0,102C + 30,19 \frac{q}{c} + 19,59 \left(1 - \frac{W_e}{W_s} \right),$$

где W_s – общая ширина полос для съезда с основной дороги, м;

W_e – общая ширина полос для движения прямо, м.

Модель Г. Д. Антониади, В. О. Архипова, А. А. Цуприкова (2019) [6]:

$$d = \frac{(c-g)qq_0}{gs^2}.$$

Вышеназванные модели устанавливают связь между временем задержки, разными характеристиками потока автомобилей и длительностью фаз светофора. Однако они сложны для практического использования, поскольку содержат аргументы (такие как степень насыщенности x), величину которых нельзя непосредственно получить или измерить, а также оперируют аргументами (такими как пропускная способность c), вычисление которых основано на предположениях о характере потока. Так, в выражении для пропускной способности с два таких аргумента – разрешенная скорость движения на перекрестке и соответствующий этой скорости интервал между машинами [6]:

$$c = \lambda \frac{V}{\delta} n,$$

где λ – отношение времени зеленого сигнала ко времени светофорного цикла;

V – разрешенная скорость движения на перекрестке, км/ч;

δ – соответствующий этой скорости интервал между машинами, м;

n – число полос движения в одном направлении, шт.

Требуется разработать модель с использованием переменных, которые могут быть получены непосредственно путем измерения или из картографических сервисов и сервисов мониторинга дорожного движения.

МЕТОД СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИ

Часто данные для модели транспортной задержки собираются исследователями путем непосредственного наблюдения и регистрации перемещения транспортных средств на интересующем участке дороги.

Сервисы мониторинга трафика, в свою очередь, имеют доступ к данным о перемещении большого числа транспортных средств, собирая данные системы глобального позиционирования (координат и азимута) с устройств пользователей. Далее выполняется построение треков (траекторий) движения автомобилей и сопоставление треков с картой дорожной сети, вычисление средней скорости и загруженности для каждого ее отрезка [7].

Однако сервисы мониторинга трафика не предоставляют доступ к необработанным данным глобального позиционирования, а только к данным о средней скорости и условной степени загруженности улиц. Этих данных недостаточно для создания модели.

В рамках данного исследования предлагается метод сбора данных, комбинирующий данные о средней скорости на участках дорожной сети, полученные из сервисов мониторинга трафика, и данные анализа движения автомобилей на перекрестке, полученные из видеопотока с камер наблюдения при помощи системы компьютерного зрения.

МЕТОД СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ

Ключевой проблемой при визуальном изучении движения транспортных средств при помощи систем компьютерного зрения является трекинг (отслеживание) объектов в течение всего времени их пребывания в поле зрения камеры наблюдения. Для трекинга потоков автомобильного транспорта применимы только те методы, которые позволяют в каждый момент времени локализовать местоположение каждого транспортного средства, движущегося в потоке, то есть мультитрекинга (Multi-object Tracking, MOT).

В данной работе для решения задач распознавания транспорта и его трекинга используется система YOLov8 фирмы Ultralytics Inc. с одностадийным детектором, использующим глубокое обучение [8].

СРАВНЕНИЕ ДАТАСЕТОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В рамках данного исследования выполнялось количественное и качественное сравнение моделей YOLov8 Nano (наиболее быстрой и нетребовательной к вычислительным ресурсам), обученных на восьми датасетах, среди которых были: Microsoft COCO [9], AISKEYEYE VisDrone [10] Тяньцзиньского университета, PASCAL VOC [11], Google Open Images V7 [12], University of California Berkeley Deep Drive Dataset BDD100K [13].

Для оценки точности распознавания использовались метрики: доля верных ответов (accuracy), точность (precision), полнота (recall), метрики среднего значения точности mAP (mAP50 для коэффициента Жаккара с порогом доверительной вероятности 0,5 и mAP50–95 для IoU, лежащих в интервале 0,5–0,95). Для оценки точности трекинга использовалась метрика консистентности идентификации объектов HOTA [14]. Метрика HOTA рассчитывалась для всех моделей на базе выборки для валидации датасета UC Berkeley BDD100K.

В исследовании проверялось предположение, что уменьшение числа классов в датасете способствует увеличению точности распознавания объектов и их трекинга. Эксперимент показал, что при уменьшении числа классов в обучающей выборке доля верных ответов и точность увеличиваются, также увеличивается и значение метрики HOTA (рис. 1–2).

В исследовании не было выявлено зависимости качества отслеживания объектов от точности их распознавания (рис. 3). Так, наибольшую точность показала модель, обученная на датасете PASCAL VOC (доля верных ответов 84,2 %, метрика mAP50-95 88,3 %), при этом значение метрики HOTA составляет 31,35, что ниже, чем у модели, обученной на датасете UC Berkeley BDD100K (доля верных ответов 68,0 %, метрика mAP50-95: 40,1 %, метрика HOTA – 54,52).

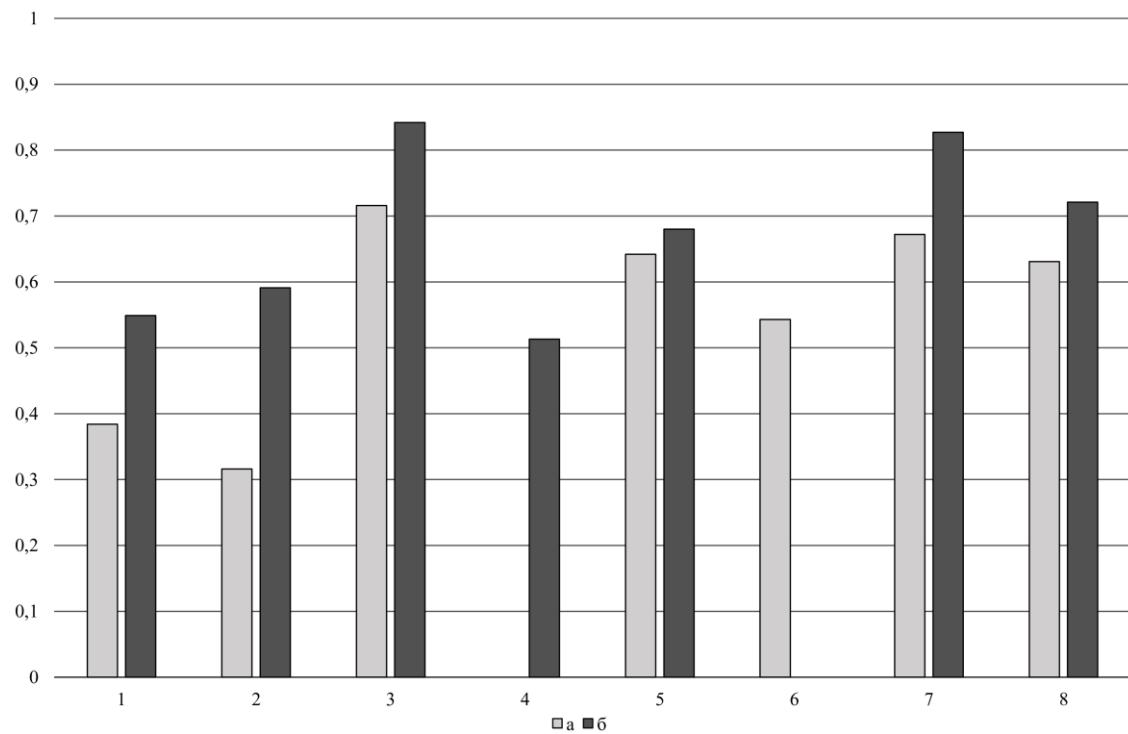


Рис. 1. Доля верных ответов (accuracy):

1 – Microsoft COCO; 2 – AISKEYE VisDrone; 3 – PASCAL VOC; 4 – Google Open Images V7;
 5 – UC Berkeley BDD100K; 6 – VehicleDetection; 7 – Multi-Object-Tracking;
 8 – Car-TrafficLight-Pedestrian;
 а – исходный датасет; б – сокращенный датасет

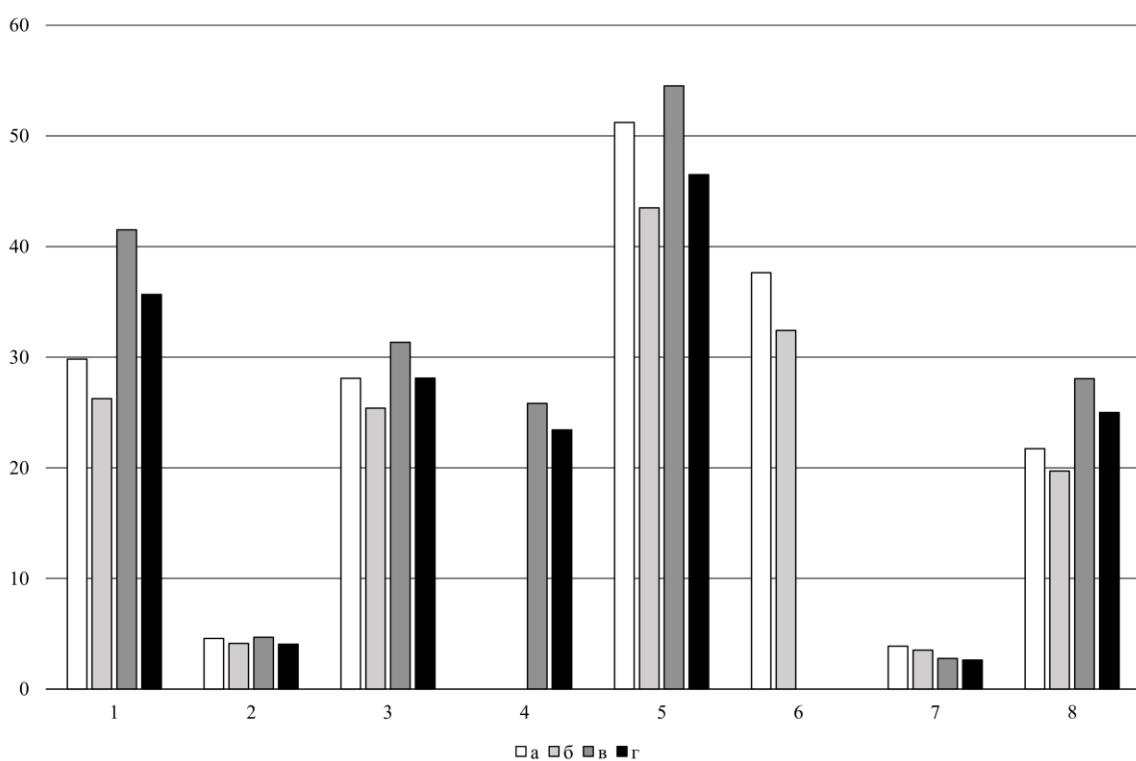


Рис. 2. Метрика НОТА:

1 – Microsoft COCO; 2 – AISKEYE VisDrone; 3 – PASCAL VOC; 4 – Google Open Images V7;
 5 – UC Berkeley BDD100K; 6 – VehicleDetection; 7 – Multi-Object-Tracking;
 8 – Car-TrafficLight-Pedestrian;
 а – исходный датасет, алгоритм BoT-SORT; б – исходный датасет, алгоритм ByteTrack;
 в – сокращенный датасет, алгоритм BoT-SORT; г – сокращенный датасет, алгоритм ByteTrack

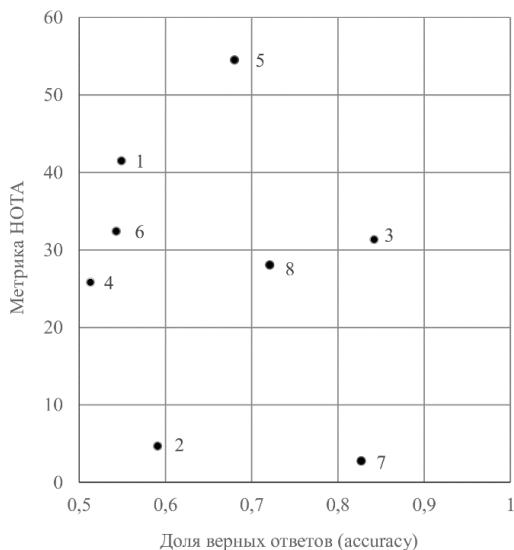


Рис. 3. Распределение: метрика НОТА – доля верных ответов (accuracy):

1 – Microsoft COCO; 2 – AISKEYE VisDrone; 3 – PASCAL VOC; 4 – Google Open Images V7; 5 – UC Berkeley BDD100K; 6 – VehicleDetection; 7 – Multi-Object-Tracking; 8 – Car-TrafficLight-Pedestrian

Для отслеживания движения объектов система Ultralytics YOLOv8 поддерживает два алгоритма трекинга: BoT-SORT [15] и ByteTrack [16]. При оценке отслеживания объектов при помощи метрики НОТА алгоритм BoT-SORT показал существенное преимущество по сравнению с алгоритмом ByteTrack.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были исследованы подходы и методы анализа транспортной ситуации на перекрестках в применении к задаче прогнозирования транспортной задержки. Проведен обзор математических моделей транспортной задержки, выявлены недостатки существующих моделей. Сформулированы требования для разработки модели транспортной задержки на основе анализа фактических данных о движении автомобильного транспорта. Проведен обзор существующих методов мониторинга трафика и предложен комбинированный подход, включающий как получение данных о средней скорости потока от картографических служб, так и анализ видеопотока с камер наблюдения для построения треков движения автомобилей при помощи системы компьютерного зрения. Проведен обзор датасетов и алгоритмов трекинга транспортных средств.

Выполнено сравнение моделей компьютерного зрения, обученных на восьми разных датасетах.

В настоящий момент выполняется сбор данных для разработки модели транспортной задержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sahal A., Chandra S., Ghosh I. A comparison of delay at signal controlled intersections based on different methods // 12th Conference of Transportation Planning and Implementation Methodologies for Developing Countries. Bombay: IIT, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/315382855> (дата обращения: 28.05.2024).
2. Beckmann M. J., McGuire C. B., Winsten C. B. Studies in the Economics of Transportation. New Haven: Yale University Press, 1956 [Электронный ресурс]. URL: <https://cowles.yale.edu/sites/default/files/2022-08/specpub-beckmann-mcguire-winsten.pdf> (дата обращения: 28.05.2024).
3. Akgungör A. P., Bullen A. G. Analytical Delay Models for Signalized Intersections // Proceedings of the Transportation Frontiers for the Next Millennium: 69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers, Las Vegas, NV: 2000 [Электронный ресурс]. URL: https://nacto.org/docs/usdg/analytical_delay_models_for_signalized_intersections_akgungor.pdf (дата обращения: 28.05.2024).

4. Webster F. V. Traffic Signal Settings // Road Research Technical Paper No. 39, Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office. Berkshire, England, 1958.
5. Ganim S. G., Jabbar K. A., Mohsen K. S. Development of Delay Model for Selected Signalized Intersections at CBD in Sulaymaniyah City // Journal of Engineering and Sustainable Development, № 18(5), 2014, p. 294–307 [Электронный ресурс]. URL: <https://jeasd.uomustansiriyah.edu.iq/index.php/jeasd/article/view/965> (дата обращения: 28.05.2024).
6. Антониади Г. Д., Архипов В. О., Цуприков А. А. Математическая модель задержки автотранспорта на регулируемом перекрестке // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://novtex.ru/IT/it2019/it419_web-210-215.pdf (дата обращения: 28.05.2024).
7. «Скоро приедем?»: как оценить время в пути // habr.com, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/2gis/articles/674230/> (дата обращения: 28.05.2024).
8. Comprehensive Tutorials to Ultralytics YOLO // ultralytics.com, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.ultralytics.com/guides/> (дата обращения: 28.05.2024).
9. Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, Lubomir Bourdev, Ross Girshick, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, C. Lawrence Zitnick, Piotr Dollár. Microsoft COCO: Common Objects in Context. 2014. doi: 10.48550/arXiv.1405.0312.
10. Pengfei Zhu, Longyin Wen, Xiao Bian, Haibin Ling, Qinghua Hu. Vision Meets Drones: A Challenge. 2018. doi: 10.48550/arXiv.1804.07437.
11. The PASCAL Visual Object Classes Homepage, 2012 [Электронный ресурс]. URL: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/> (дата обращения: 28.05.2024).
12. Open Images Dataset V7 and Extensions Homepage, 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://storage.googleapis.com/openimages/web/index.html> (дата обращения: 28.05.2024).
13. Yu Fisher, Chen Haofeng, Wang Xin, Xian Wenqi, Chen Yingying, Liu Fangchen, Madhavan Vashisht, Darrell Trevor. BDD100K: A Diverse Driving Dataset for Heterogeneous Multitask Learning // 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp. 2633–2642. 2020. doi: 10.1109/CVPR42600.2020.00271.
14. Luiten Jonathon, Ošep Aljoša, Dendorfer Patrick, Torr Philip, Geiger Andreas, Leal-Taixé, Laura Bastian, Leibe Bastian. HOTA: A Higher Order Metric for Evaluating Multi-object Tracking // International Journal of Computer Vision (2020), vol. 129, no. 2, pp. 548–578. – Springer Science and Business Media LLC, 2020. doi: 10.1007/s11263-020-01375-2.
15. Nir Aharon, Roy Orfaig, Ben-Zion Bobrovsky. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking. 2022. doi: 10.48550/arXiv.2206.14651.
16. 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.

ОБ АВТОРАХ

КОРНИЛОВ Андрей Владимирович, магистрант кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского университета науки и технологий.

САЗОНОВА (РАССАДНИКОВА) Екатерина Юрьевна, доц. каф. выч. математики и кибернетики. Дипл. экон.-мат. (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. поддержки принятия решений при управлении сложными объектами.

METADATA

Title: Analysis of the traffic conditions at intersection

Authors: A. V. Kornilov¹, E. Yu. Sazonova²

Affiliation:

^{1, 2} Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹kornilov_a_v@mail.ru, ²ekaterina_rassadnikova@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (33), pp. 59-64, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract Approaches and methods for analyzing the traffic conditions at intersections are considered in relation to the problem of predicting transport delays. A review of mathematical models of transport delays was conducted, and the shortcomings of existing models were identified. Requirements have been formulated for the development of a transport delay model based on the analysis of actual data on road transport traffic. An approach to data collection is proposed, including both obtaining information about the average flow speed from cartographic services and analyzing the video stream from surveillance cameras using a computer vision system. A comparison was made of computer vision models trained on eight datasets.

Key words: study; modeling; comparison; transport delay; intersections; monitoring; tracking; computer vision; dataset; YOLO.

About authors:

KORNILOV, Andrey Vladimirovich, master's student at the Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Ufa University of Science and Technology.

SAZONOVA (RASSADNIKOVA), Ekaterina Yurevna, Associate Professor of department calc. mathematics and cybernetics. Dipl. economical-mat. (USATU, 2011). Research in region decision support in managing complex objects.