

*Д. В. Овчинников<sup>1\*</sup>, Е. А. Шевченко<sup>1</sup>, П. А. Уфилин<sup>1</sup>*

## **Применение нейронных сетей в системах умных светофоров: выбор оптимальной архитектуры для анализа дорожного трафика**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: danilovchinnikov04@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается применение нейронных сетей для анализа дорожного трафика в системах умных светофоров. Проводится обзор популярных архитектур нейронных сетей, таких как YOLO, SSD и Faster R-CNN, и обосновывается выбор YOLO как оптимальной архитектуры для решения задач обнаружения, подсчета и определения скорости автомобилей. Описывается, как YOLO может быть использован для решения этих задач, а также как полученные данные могут быть использованы для системы управления светофорами. В статье также обсуждаются перспективы развития и дальнейшие исследования в области умных светофоров, включая интеграцию с другими элементами интеллектуальной транспортной инфраструктуры и решение дополнительных задач анализа дорожного трафика.

**Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, адаптивное управление, умные светофоры, анализ дорожного трафика, нейронные сети, обнаружение транспорта

*D. V. Ovchinnikov<sup>1\*</sup>, E. A. Shevchenko<sup>1</sup>, P. A. Ufilin<sup>1</sup>*

## **Application of neural networks in smart traffic light systems: selection of optimal architecture for traffic analysis**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: danilovchinnikov04@gmail.com

**Abstract.** The article proposes the use of neural networks for the analysis of road traffic in medium-sized smart traffic lights. We review popular neural network architectures such as YOLO, SSD, and Faster R-CNN, justify the choice of YOLO as a robust scheme for solving problems of vehicle detection, counting, and speed determination. It describes in detail how YOLO can be used to solve these problems, as well as how the resulting data can be used for adaptive control of traffic lights. The article also discusses development prospects and further research in the field of smart traffic lights, including integration with other elements of intelligent transport infrastructure and solving additional problems of traffic analysis.

**Keywords:** intelligent transport systems, adaptive control, smart traffic lights, traffic analysis, neural networks, vehicle detection

### ***Введение***

В связи с активным развитием городской инфраструктуры и увеличением количества автомобилей на дорогах, эффективное управление дорожным движением становится все более актуальной задачей. В следствии этого, интеллектуальные системы управления выходят на передний план как средство оптимизации транспортного потока и улучшения безопасности на дорогах [1-4].

Проект «Умные светофоры» представляет собой единую систему взаимодействия между камерами видеонаблюдения, которые собирают информацию о текущем положении на перекрестке, нейронной сети, которая анализирует данную информацию и соответственно светофоров, которые в свою очередь подстраиваются под текущую ситуацию на дороге, максимизируя пропускную способность автомобилей и минимизируя задержки водителей и пешеходов. Для этого система должна собрать данные о количестве транспортных средств на каждой полосе, их скорости, наличии пешеходов и других факторах. На основе этой информации система принимает решения о длительности сигналов светофора для каждой фазы, а также о порядке переключения фаз [5, 6].

Одной из ключевых задач в обеспечении работы умных светофоров является точное определение текущей ситуации на дороге, включая количество автомобилей, их скорость, а также другие параметры транспортного потока в режиме реального времени. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- точное распознавание объектов(автомобилей) на видеопотоке полученных с камер;
- автоматический подсчет количества автомобилей на перекрестке и на каждой полосе движения;
- определение скорости движения автомобилей для последующего анализа дорожного трафика.

Целью работы является выбор оптимальной архитектуры нейронной сети для решения поставленных задач в рамках проекта.

### ***Методы и материалы***

Для реализации проекта необходима эффективная архитектура нейронной сети, способная справляться с поставленными задачами распознавания и подсчета количества автомобилей, а также определение их скорости.

Были рассмотрены и протестированы популярные архитектуры, используемые для данных задач такие, как YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector) и Faster R-CNN [7-9]. Проведен анализ различных характеристик и аспектов, выделены преимущества и недостатки для каждой архитектуры [10]. Далее представлена оценка главных характеристик (рис. 1).

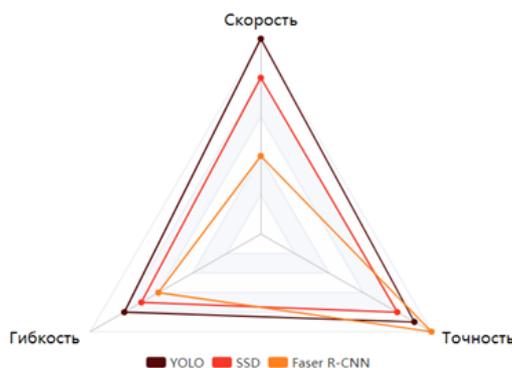


Рис. 1. Обзор главных характеристик архитектур

Сравнивая различные архитектуры нейронных сетей, можно сделать вывод, что YOLO является оптимальным выбором в рамках проекта. Данная архитектура демонстрирует хорошую точность и высокую скорость обработки, благодаря однократному проходу по изображению, что позволяет мгновенно реагировать на изменение дорожной ситуации [11, 12].

Одним из ключевых преимуществ YOLO является производительность, которая, в зависимости от мощности вычислительных ресурсов, позволяет обрабатывать десятки кадров в секунду, что дает возможность системе оперативно адаптировать сигналы светофора к текущей интенсивности движения [13].

За исключением вышесказанных преимуществ, можно выделить еще несколько таких, как хорошая гибкость, которая позволяет адаптироваться под любые задачи и аппаратные устройства, и активная поддержка со стороны разработчиков и сообщества, что делает данную архитектуру перспективным выбором для долгосрочных проектов [12].

Для интеграции YOLO необходимо рассмотреть процессы системы, в особенности те, в которых будет участвовать данная архитектура, такие как:

- сбор данных;
- обнаружение объектов и расчет информации;
- передача данных для анализа;
- принятие решений;
- передача команд на светофоры.

Первым шагом является сбор данных о текущей дорожной ситуации с помощью камер видеонаблюдения. После чего, полученные данные, обрабатываются нейронной сетью YOLO, которая распознает автомобили, подсчитывает их количество и оценивает скорость в сочетании с дополнительными алгоритмами отслеживания такими, как Deep SORT. После сбора информации необходимо передать данные в аналитическую модель, которая будет анализировать текущую дорожную ситуацию. Затем аналитическая модель принимает решение, а уже система передает сигналы на светофор.

Благодаря высокой популярности YOLO, уже существует большое количество готовых решений. Одним из таких является VehicleDetectionTracker, который представляет собой мощную модель, использующую YOLO для эффективного обнаружения и отслеживания транспортных средств. Однако, после тестирования, результаты показали, что данную модель, необходимо дообучить, используя данные, собранные в конкретной географической области.

После распознавания объектов, модель отмечает каждое транспортное средство ограничивающей рамкой, затем производится подсчет всех рамок с меткой «Car», чтобы узнать общее количество машин на перекрестке. Для подсчета автомобиля на каждой полосе, изображение делится на сегменты, соответствующие полосам движения, и анализируется в каком сегменте находится каждая рамка [14].

Для обеспечения точного подсчета используется алгоритм Deep SORT (Simple Online and Realtime Tracking). Он помогает отслеживать движение авто-

мобилей в последовательных кадрах, исключая повторное распознавание одного и того же автомобиля в разных кадрах [15, 16].

Использование алгоритма Deep SORT помогает не только в корректном подсчете автомобилей, но и позволяет рассчитать их скорость. Это достигается путем анализа изменения положения транспортного средства в кадрах, зная временные интервалы и смещения можно рассчитать скорость с точностью до нескольких километров в час [17].

### ***Результаты***

Подведя итоги, можно сделать вывод о том, что архитектура YOLO является оптимальным выбором в рамках проекта «Умные светофоры», так как она демонстрирует высокую скорость и точность обработки изображений, а гибкость и адаптируемость данной архитектуры делает её универсальным инструментом для городской среды.

### ***Обсуждение***

Результаты подтверждают, что YOLO полностью соответствует требованиям проекта, её возможность быстро обрабатывать видеопоток в режиме реального времени важна для своевременного реагирования на изменение дорожной ситуации, минимизации задержек и оптимизации транспортного потока.

Использование современных технологий для управления дорожным движением открывает множество перспективных направлений для дальнейшего развития. Например, система может быть использована для обнаружения нарушений правил дорожного движения, анализа поведения водителей и прогнозирования аварийных ситуаций.

### ***Заключение***

Проект «Умные светофоры» представляет собой перспективное направление в области управления дорожного движения, основанное на использовании современных технологий нейронных сетей. Выбор архитектуры YOLO, а также её интеграция с другими системами и алгоритмами поможет создать более эффективную и безопасную дорожную сеть, улучшая качество жизни для всех участников дорожного движения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Белянский, С. С. Дорожные пробки как важный фактор функционирования городов / С. С. Белянский, Е. Н. Лепяхова // Университетская наука - региону : Материалы V-й ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых Северо-Кавказского федерального университета, Ставрополь, 04–22 апреля 2017 года / Под редакцией Л.И. Ушвицкого, А.В. Савцовой. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-информационный центр "Фабула", 2017. – С. 155-158.
2. Недвижай, С. В. Дорожные пробки как важный фактор функционирования городов / С. В. Недвижай, С. С. Белянский // Европейский форум молодых исследователей : сборник статей, Петрозаводск, 22 октября 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019. – С. 185-188.

3. Витолин, С. В. Влияние изменений интенсивности дорожного движения на качество функционирования проблемных регулируемых перекрестков / С. В. Витолин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 159–166.
4. Ананьев, Е. И. Организация одностороннего движения как метод увеличения пропускной способности улично-дорожной сети города / Е. И. Ананьев, Н. Ю. Залукаева, В. С. Горюшинский // Транспортное дело России. – 2017. – С. 66-72.
5. Шепелев, В. Д. Прогнозирование и управление пропускной способностью полосы на регулируемом перекрестке / В. Д. Шепелев, В. А. Городокин, И. С. Слободин, К. В. Хазюков // Вестник ЮУрГУ. Серия "Экономика и менеджмент". – 2021. – Т. 15, № 2. – Челябинск. – С. 182–189.
6. Муравьев, Е. М. Применение интеллектуального подхода к автоматизации трафика в городе / Е. М. Муравьев, Л. В. Лапина, Д. О. Савельев // В сб.: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях. – Комсомольск-на-Амуре, 2023. – С. 238-241.
7. Миниахметов, Э. Ф. Сбор и обучение нейронной модели для использования на перекрестках // В сб.: XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых). Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов. – Казань, 2023. – С. 2464-2470.
8. Сеницын, И. С. Использование нейронных сетей для определения дорожной обстановки / И. С. Сеницын, М. В. Сулицкий, Д. С. Парыгин, В. А. Джагаев, В. Н. Серякова // Системный анализ в науке и образовании. – Дубна. – 2022. – № 2. – С. 17-22.
9. Колбасов, С. Ю., Орлов, Ю. К. Сравнение эффективности современных сверточных нейронных сетей для задачи обнаружения объектов // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020): сборник материалов XI Международной научно-технической конференции в рамках VI Международного Научного форума Донецкой Народной Республики. – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2020. – С. 317-321.
10. Тотменина, Е. А. Исследование алгоритмов для решения задачи видеодетектирования участников дорожного движения / Е. А. Тотменина, О. В. Андреева // Информационные системы и технологии ист-2021 : сборник материалов XXVII Международной научно-технической конференции Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, 23–24 апреля 2021 года / Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 586-594.
11. Ковалевский, В. А. Обзор алгоритмов машинного обучения, применяемых в системах видеонаблюдения для задачи обнаружения объекта / В. А. Ковалевский, А. С. Вавилова // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 2. – С. 254-259.
12. Замалиев, Б. Д. Безопасный город: обнаружение объектов в городских условиях / Б. Д. Замалиев, Р. Р. Сайтов, Э. М. Зиляев, А. Р. Салимов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK - 2023 : Сборник материалов, Казань, 20–22 сентября 2023 года / Сост. Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов. Под общей редакцией Р.Н. Минниханова. – Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2023. – С. 148-157.
13. Жимоедов, А. Е. Алгоритм подсчёта автотранспортных средств по визуальным данным / А. Е. Жимоедов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 10–14 апреля 2023 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2023. – С. 172-174.
14. Копылов, С. В. Применение компьютерного зрения для подсчета интенсивности и анализа транспортного потока / С. В. Копылов, Я. В. Федоров, В. И. Петров // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее : сборник научных статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 18–20 октября 2023 года. – Красно-

яск: Инженерно-строительный институт ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 2023. – С. 48-52.

15. Кручинин, А. Ю. Сложность распознавания при разработке программного обеспечения для видеомониторинга / А. Ю. Кручинин // Программные продукты и системы. – 2023. – № 1. – С. 123-129.

16. Пеньковой, М. А. Определение траектории движения объектов в видеопотоке / М. А. Пеньковой // XI Конгресс молодых учёных : Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 04–08 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет ИТМО", 2022. – С. 359-364.

17. Ду, К. Отслеживание объектов дорожной сцены в реальном времени на основе алгоритма SORT / К. Ду, А. В. Бобков // Наука, технологии и бизнес 2022 : Материалы IV Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых, Москва, 27–28 апреля 2022 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – С. 244-249.

© Д. В. Овчинников, Е. А. Шевченко, П. А. Уфилин, 2024