

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ ПАРКОВОК УНИВЕРСИТЕТА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Иброхимзода Фирдавс Бахромжон огли¹, Таджиходжаева Эльвира
Рашидовна²

¹Магистрант направления Data Science, Ташкентского международного университета “Tashkent International University of Education”

²Ташкентский международный университет “Tashkent International University of Education”

E-mail: ¹M25003@tiue.uz

E-mail: ²t414@tiue.uz

DOI: 10.61587/mmit.tiue.uz.v1i1.433

Аннотация. В статье рассматривается разработка интеллектуальной системы мониторинга и прогнозирования заполняемости парковочных мест на территории университетского кампуса. Предложена архитектура на основе YOLOv8 для детектирования в реальном времени и двухслойной LSTM-сети для краткосрочного прогнозирования. Точность детектирования составила 96,8%, коэффициент детерминации прогностической модели на горизонте 1 час — $R^2=0,961$. Описана архитектура программного обеспечения и результаты опытной эксплуатации.

Ключевые слова: машинное обучение, LSTM, YOLOv8, прогнозирование парковок, компьютерное зрение, IoT, умный кампус.

PREDICTING UNIVERSITY PARKING OCCUPANCY USING MACHINE LEARNING METHODS

Ibrokhimzoda Firdavs Bakhromjon ogli¹, Tadjikhodjaeva Elvira Rashidovna²

¹Master's Student in Data Science, Tashkent International University of Education

²Tashkent International University of Education

E-mail: ¹M25003@tiue.uz

E-mail: ²t414@tiue.uz

Abstract. This paper presents the development of an intelligent system for monitoring and predicting parking lot occupancy on a university campus. An architecture based on YOLOv8 for real-time detection and a two-layer LSTM network for short-term forecasting is proposed. Detection accuracy reached 96.8%, and the coefficient of determination for the 1-hour forecast horizon is $R^2=0.961$. The software architecture and pilot deployment results are described.

Keywords: machine learning, LSTM, YOLOv8, parking occupancy prediction, computer vision, IoT, smart campus.

Введение

Рост числа автомобилей на территории университетских кампусов создаёт серьёзную проблему для большинства высших учебных заведений. Ежедневно студенты, преподаватели и сотрудники тратят значительное время на поиск свободного парковочного места, что увеличивает транспортную нагрузку и снижает общий уровень комфорта образовательной среды.

Традиционные методы управления парковками — ручной мониторинг, примитивные счётчики и шлагбаумные системы — не обеспечивают оперативного реагирования и не позволяют заблаговременно прогнозировать загруженность. В связи с этим актуальной становится задача создания интеллектуальной системы, способной в режиме реального времени отслеживать состояние мест и прогнозировать их заполняемость.

Цель работы — разработка модели и программного обеспечения для определения наличия свободных мест на университетских парковках и прогнозирования их заполняемости на основе методов машинного обучения.

Обзор существующих подходов

Анализ актуальной научной литературы позволяет выделить три основных направления в автоматизации управления парковками. Первое — применение компьютерного зрения и свёрточных нейронных сетей (CNN) для классификации занятости мест по кадрам с видеокамер [1]. Второе — использование встроенных датчиков (ультразвуковых, инфракрасных, магнитных), обеспечивающих высокую точность, однако требующих затратной инфраструктуры [2]. Третье — прогнозирование на основе исторических временных рядов с применением алгоритмов Random Forest, XGBoost и рекуррентных сетей LSTM [3].

В настоящей работе предлагается гибридный подход, объединяющий видеоаналитику на базе YOLOv8 для мониторинга в реальном времени с прогностической LSTM-моделью, что позволяет достичь высокой точности как текущего детектирования, так и краткосрочного прогнозирования.

Архитектура системы

Разработанная система объединения трехсторонних модулей: сбор данных, анализ и прогнозирование, а также визуализация и оповещение. Такое разделение обеспечивает независимость компонентов, масштабирование и позволяет заменять модули без перенастройки всей системы.

Модуль сбора данных включает в себя сетевые IP-камеры высокого разрешения и IoT-датчики активности, размещённые непосредственно над каждым машиноместом. Камеры обеспечивают визуальный контроль всей территории на парковке, так как датчики фиксируют состояние места у верхнего этажа и независимо от условий освещённости ситуации. Данные передаются на центральный сервер по протоколу MQTT с частотой обновления раз в 30 секунд, что обеспечивает актуальность информации при умеренных изменениях в сети.

Модуль анализа реализован в виде двух компонентов. Первый отвечает за обнаружение в первое время на основе YOLOv8, дообученной на собственном датасете из 15 000 размеченных изображений парковки университета. Во всем мире осуществляется краткосрочное прогнозирование с помощью LSTM-моделей, включающих временные ряды продолжительности на 7 предшествующих дней с учетом сменных факторов: времени суток, дней недели, расписания занятий и погодных условий. Совместное использование обоих компонентов позволяет системе не только фиксировать текущее состояние, но и заблаговременно информировать пользователей о ожидаемых изменениях.

Модуль визуализации и оповещений, представленный веб- и мобильными приложениями, отображающий актуальную интерактивную карту парковки и прогнозируемую работоспособность на 1, 2 и 3 часа вперед. При выполнении заданных пороговых значений система загруженности автоматически рассылает push-уведомления подписанным пользователям, что позволяет водителям скорректировать время выезда заблаговременно.

Таблица 1. Сравнение методов прогнозирования заполняемости парковок

Метод	Точность (%)	Время обучения	Применение
Random Forest	87,4	Малое	Краткосрочный прогноз
XGBoost	89,1	Малое	Краткосрочный прогноз
LSTM (1 слой)	91,3	Среднее	Временные ряды
LSTM (2 слоя)	94,7	Большое	Временные ряды
YOLOv8 + LSTM	96,8	Очень большое	Комплексный анализ

Прогностическая модель на основе LSTM

Основу прогностического блока составляет двухслойная рекуррентная нейронная сеть LSTM, выбранная для возможности эффективно улавливать долгосрочные зависимости во временных рядах и устойчиво работать при наличии пропусков в данных. Входной вектор включает процент заполнения последних 48 временных шагов с интервалом 30 минут, день недели в одном горячем кодировании, время суток, признак определения расписания по расписанию, а также температуру воздуха и наличие погодных условий. Использование календарных и погодных условий позволяет повысить точность прогноза в нестандартных условиях — праздниках, дождливых днях и сессионных периодах.

Архитектура сети организована следующим образом: первый LSTM-слой содержит 128 нейронов с dropout=0,2, второй — 64 нейрона с dropout=0,2, после чего следует полносвязный выходной уровень активации ReLU, формирующий прогнозируемость на 1, 2 и 3 часа вперед одновременно. В качестве функции потерь используется MSE, оптимизатор — Адам с начальной скоростью обучения lr=0,001. Регуляризация посредством отсева, переобучение и обеспечивает устойчивость модели при вариативности входных данных.

Модель обучения на данных за 8 месяцев в разбивке 70/15/15 для обучающей, валидационной и тестовой выборок соответственно. В ходе тестирования были достигнуты следующие метрики: $R^2=0,961$, MAE=3,2%, RMSE=4,7%, что соответствует высокому уровню точности для задач краткосрочного прогнозирования загруженности. Прогноз на 1 час рассчитывает наилучшие показатели, тогда как на горизонте 3 часов R^2 составляет 0,924, что по-прежнему остается приемлемым результатом.

Результаты экспериментальной проверки

Эксперимент проводился с октября 2023 по февраль 2024 года на парковке Ташкентского международного университета образования. YOLOv8 достигла точности классификации 96,8% днём и 93,1% ночью при дополнительном освещении. Среднее время обработки кадра — 47 мс на NVIDIA Jetson Nano.

Таблица 2. Метрики точности прогностической LSTM-модели

Горизонт прогноза	MAE (%)	RMSE (%)	R^2
1 час	3,2	4,1	0,961
2 часа	5,7	7,3	0,934
3 часа	8,4	10,6	0,897

Результаты подтверждают высокую точность модели при краткосрочном прогнозировании. Снижение точности при горизонте 3 часа объясняется нарастающей неопределённостью поведения пользователей парковки.

Программное обеспечение

На основе разработанной модели создано ПО с трёхзвенной архитектурой: серверная часть на Python (FastAPI), веб-клиент на React.js и кроссплатформенное мобильное приложение на Flutter. Поскольку СУБД использует PostgreSQL с расширениями TimescaleDB, сохраняющими временные ряды, что обеспечивает обеспечение обработки потоков телеметрии без снижения производительности при накоплении исторических данных. Все серверные компоненты контейнерируются через

Docker Compose, что позволяет кардинально развёртывать и масштабировать при добавлении новой камеры.

Серверная часть осуществляет прием и предобработку видеопотоков с IP-камеры и данных с датчиков, делает вывод YOLOv8 со скоростью до 20 кадров в секунду и прогнозирование надежности через LSTM с горизонтом до 3 часов. Для клиентов используются REST API, документированные через OpenAPI/Swagger, фоновые задачи агрегации данных, реализованные на базе Celery и Redis. Служба push-уведомлений (FCM/APNs) информирует пользователей о внешних местах по подпискам.

Клиентские интерфейсы — веб- и мобильные — предоставляют единый набор функций: интерактивную карту с цветовой индикацией в первое время (зеленый — свободно, красный — занято), почасовой прогноз надежности с доверительным интервалом, историческую статистику по дням, неделям и времени суток, а также предварительное резервирование места с таймером удержания. Мобильное приложение поддерживает iOS и Android на единой кодовой базе и реализует офлайн-режим с кэшированием последнего известного состояния парковки. Нагрузочное тестирование подтвердило стабильную работу при 500 одновременных соединениях со временем ответа API менее 120 мс.

Заключение

В работе представлена интеллектуальная система прогнозирования работоспособности университетских парковок, объединяющая методы компьютерного и временного анализа данных. Разработанный гибридный подход на основе YOLOv8 и LSTM-сети обеспечивает точность определения эффективности средств на уровне 96,8% при коэффициенте определения $R^2=0,961$ при прогнозировании загруженности вперед на один час. Данные показатели подтверждают точность и надежность предлагаемых решений.

Система прошла опытные условия в реальном университетском кампусе. В процессе тестирования была подтверждена ее практическая эффективность: среднее время обработки кадра составило менее 50 мс, что обеспечивает работу в реальном режиме времени. Веб-интерфейс системы получил положительные оценки со стороны администрации парковки и водителей, сократив среднее время освобождения свободного места на 34%.

Разработанная программная архитектура отличается модульностью и масштабируемостью: добавление новых камер и парковочных зон не требует переобучения базовой модели. Применение технологии потоковой обработки данных обеспечивает стабильную работу системы при одновременном подключении нескольких видеопотоков.

Дальнейшее развитие системы предполагает несколько приоритетных мероприятий. Во-первых, интеграция с действующей системой электронных пропусков университета позволяет персонализировать прогнозы и резервировать места для нижних категорий пользователей. Во-вторых, внедрение механизма динамического ценообразования на основе прогнозируемой загруженности создает стимулы для более равномерного распределения автомобильного потока. В-третьих, применение сети федеративного обучения открывает возможность для формирования единого парка Диптихов нескольких университетов без передачи цифровых данных на центральный сервер, что полностью соответствует современным требованиям информационной безопасности.

Результаты работы обеспечивают практическую инновационность предлагаемого предложения и создают основу для создания интеллектуальной транспортной системы образования.

Список литературы

1. Nurullayev S., Cho S.-W. Generalizable Occupancy Detection Using Convolutional Neural Network and Transfer Learning // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23, No. 2. — P. 815. DOI: 10.3390/s23020815
2. Stolfi D.H., Alba E., Yao X. Predicting Car Park Occupancy Rates in Smart Cities // *Sensors*. — 2020. — Vol. 20, No. 5. — P. 1370. DOI: 10.3390/s20051370
3. Camero A., Toutouh J., Stolfi D.H., Alba E. Evolutionary Deep Learning for Car Park Occupancy Prediction in Smart Cities // *Computational Intelligence: International Joint Conference*. — 2021. — P. 386–401.
4. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // *Neural Computation*. — 1997. — Vol. 9, No. 8. — P. 1735–1780. (Cited 2024 as foundational reference)
5. Jocher G., Chaurasia A., Qiu J. Ultralytics YOLOv8 [Software]. — 2023. — URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
6. Islam M.A., Ullah M.S., Noor J. Smart Parking System Using IoT and Machine Learning // *IEEE Access*. — 2022. — Vol. 10. — P. 13041–13053. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3146312