

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗОНИ ПАРКУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі розроблено та досліджено систему автоматизованого моніторингу стану зони паркування автомобілів із використанням методів комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж. Система забезпечує отримання відеоданих від камер спостереження, виявлення транспортних засобів у кадрі, локалізацію та розпізнавання автомобільних номерних знаків, а також визначення зайнятості паркувальних місць у режимі реального часу. Для детектування об'єктів обрано архітектуру YOLOv11, а контроль зайнятості реалізовано на основі орієнтованих обмежувальних рамок (OBB) і полігонального представлення зон паркування. Розпізнавання символів номерних знаків виконано засобами Tesseract OCR із попередньою обробкою зображень бібліотекою OpenCV; навчання моделі здійснено на платформі PyTorch. Працездатність системи підтверджено експериментальним тестуванням на реальних відеозаписах паркувальних майданчиків; середня точність виявлення транспортних засобів та визначення зайнятості місць склала 89 %.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, згорткові нейронні мережі, YOLOv11, розпізнавання номерних знаків, ANPR, моніторинг паркування, орієнтовані обмежувальні рамки, OpenCV, Tesseract OCR.

## Abstract

This work presents the design and study of an automated system for monitoring the state of a car parking zone using computer-vision methods and convolutional neural networks. The system acquires video data from surveillance cameras, detects vehicles in the frame, localizes and recognizes vehicle licence plates, and determines the occupancy of parking spaces in real time. The YOLOv11 architecture is chosen for object detection, while occupancy control is implemented using oriented bounding boxes (OBB) and a polygonal representation of parking zones. Plate characters are recognized with Tesseract OCR after image pre-processing performed with the OpenCV library; the model is trained on the PyTorch framework. The system was validated by experimental testing on real footage of parking lots; the average accuracy of vehicle detection and occupancy determination reached 89 %.

**Keywords:** computer vision, convolutional neural networks, YOLOv11, licence plate recognition, ANPR, parking monitoring, oriented bounding boxes, OpenCV, Tesseract OCR.

## Вступ

Стрімке зростання кількості транспортних засобів ускладнює ручне відстеження та контроль їх руху, що робить актуальними завдання організації систем доступу, моніторингу транспортних потоків та контролю стану паркувальних зон. Особливої гостроти проблема паркування набуває у великих містах, де історична інфраструктура не розрахована на сучасний рівень автомобілізації, а пошук вільного місця створює додаткове навантаження на дорожню мережу та є джерелом заторів. Тому виникає потреба у спеціалізованих автоматизованих системах, здатних виконувати розпізнавання номерних знаків і контроль зайнятості паркувальних місць.

Сучасні технології комп'ютерного зору та машинного навчання дають змогу використовувати наявну інфраструктуру камер відеоспостереження для оптимізації міського транспорту. На відміну від однофункціональних сенсорів (індукційних петель, ультразвукових та магнітних датчиків), відеоаналітичні рішення є гнучкішими, простішими для масштабування й інтеграції та здатні одночасно контролювати декілька паркомісць, що зумовлює актуальність їх дослідження й розробки.

**Мета роботи** — вдосконалення методів виділення та розпізнавання автомобільних номерних знаків і контролю паркувальних зон із застосуванням сучасних підходів, зокрема згорткових нейронних мереж, що забезпечує автоматичне виявлення транспортних засобів та визначення зайнятості паркувальних місць у режимі реального часу.

Для досягнення мети вирішено такі задачі:

- проаналізувати сучасні технології розпізнавання номерних знаків і засоби контролю стану паркувальних зон;
- дослідити існуючі алгоритми виділення та розпізнавання номерів і обґрунтувати вибір нейромережевої архітектури;
- розробити алгоритмічну послідовність виявлення транспортних засобів і розпізнавання номерних знаків;
- реалізувати програмний засіб для автоматизованого контролю зайнятості місць паркування;
- виконати навчання нейронної мережі, тестування системи та аналіз отриманих результатів.

### Загальні відомості та обґрунтування вибору технологій

Розпізнавання номерних знаків (Automatic Number Plate Recognition, ANPR) є однією з ключових технологій інтелектуальних транспортних систем. Типовий алгоритм охоплює попередню обробку зображення, локалізацію номерного знака, сегментацію та нормалізацію символів, їх оптичне розпізнавання й перевірку результату. Задача ускладнюється впливом зовнішніх чинників — умов освітлення, погоди, забруднення чи часткового перекриття символів, — що потребує застосування адаптивних алгоритмів обробки зображень.

Серед сучасних архітектур детектування об'єктів проаналізовано двоступеневі (R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN) та одноступеневі (SSD, YOLO) детектори. Одноступеневі моделі виконують локалізацію та класифікацію за один прохід мережею, що забезпечує роботу в реальному часі. На основі порівняння швидкодії й точності для реалізації обрано архітектуру YOLOv11, яка використовує безанкерний підхід до локалізації та модуль C2f, що підвищує ефективність вилучення ознак. Для реалізації системи обрано такі засоби:

- YOLOv11 — для детектування транспортних засобів і номерних знаків у режимі реального часу;
- орієнтовані обмежувальні рамки (OBB) — для точної локалізації об'єктів за різних ракурсів спостереження та зменшення впливу перспективних спотворень;
- OpenCV — для попередньої обробки зображень (фільтрація шумів, бінаризація, підвищення контрасту й різкості, корекція геометричних спотворень);
- Tesseract OCR — для оптичного розпізнавання символів номерного знака з використанням білого списку допустимих символів;
- PyTorch — як фреймворк для навчання нейронної мережі з апаратним прискоренням на GPU;
- серверна апаратна платформа (GPU Nvidia RTX 3070, CPU AMD Ryzen 7 5700, IP-камери Hikvision DS-2CD2043G2-IU) — для повного контролю над даними та стабільної роботи в реальному часі.

### Архітектура системи

Архітектура системи включає три логічні рівні:

- Рівень отримання даних: IP-камери відеоспостереження, мережевий комутатор і медіаконвертер, які формують та передають цифрові відеопотоки високої якості.
- Рівень обробки (сервер): нейронна мережа YOLOv11 для виявлення транспортних засобів, модулі попередньої обробки (OpenCV) і розпізнавання символів (Tesseract OCR), а також база даних для збереження результатів.
- Рівень візуалізації: веб-інтерфейс оператора, що відображає кількість вільних і зайнятих місць, рівень заповненості майданчика та швидкість системи (FPS).

Збір інформації здійснюється цифровими IP-камерами, відеопотік від яких локальною мережею надходить на сервер, де виконуються детектування об'єктів, розпізнавання номерних знаків та визначення стану кожного паркомісця. Узагальнену структурну схему системи наведено на рисунку 1.

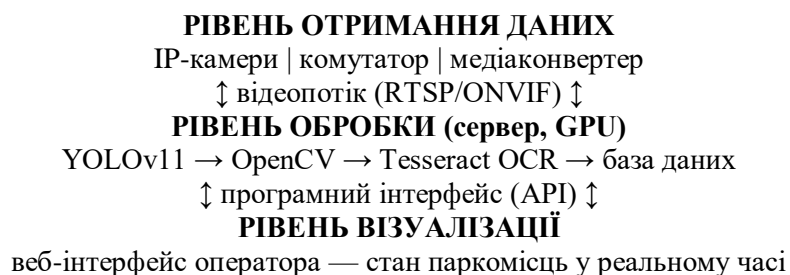


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Функціональні модулі:

- Модуль виявлення номерних знаків: локалізація транспортних засобів і виділення областей інтересу (AOI) засобами нейронної мережі.
- Модуль попередньої обробки: зменшення шумів, бінаризація, підвищення контрасту й різкості, масштабування виділеного фрагмента.
- Модуль розпізнавання символів: аналіз підготовленого зображення засобами Tesseract OCR і формування текстового рядка номерного знака.
- Модуль реконструкції символів: автоматичне виправлення типових помилок розпізнавання за структурою номерного знака.
- Модуль збереження результатів: занесення розпізнаних номерів, кадрів та службової інформації до реляційної бази даних з доступом через API.
- Модуль розмітки та контролю зон: полігональне визначення паркомісць і автоматичне оцінювання їх зайнятості.

### **Результати роботи системи**

У результаті розробки створено працюючу програмно-апаратну систему, яка:

- забезпечує повний цикл обробки — від отримання відеоданих до визначення зайнятості паркувальних місць;
- виконує виявлення транспортних засобів і розпізнавання номерних знаків засобами YOLOv11, OpenCV та Tesseract OCR;
- використовує орієнтовані обмежувальні рамки та полігональне представлення зон для коректної локалізації об'єктів за різних ракурсів;
- відображає статистику завантаженості майданчика та результати аналізу у режимі реального часу через веб-інтерфейс.

Нейронну мережу навчено впродовж 50 епох із застосуванням методів аугментації даних; протягом навчання спостерігалось стабільне зменшення функції втрат, а показник mAP50 досяг значення 0,9712. Перевірку працездатності виконано шляхом тестування на 25 відеозаписах із реальних паркувальних майданчиків за різних умов зйомки, зокрема з горизонтальним та повернутим розташуванням номерних знаків.

За результатами експериментів середня точність виявлення транспортних засобів і визначення зайнятості паркувальних місць склала 89 % при використанні орієнтованих обмежувальних рамок, що на 3 % перевищує показник класичного підходу (86 %). Розроблена система також продемонструвала перевагу над програмним аналогом з відкритим кодом CarParkingSpaceDetection, для якого середня точність визначення стану паркомісць становила 71 %. Встановлено, що точність роботи зростає при розміщенні камери на більшій висоті та знижується в нічний час, що може бути усунено донавчанням мережі на відповідних наборах даних.

### **Висновки**

Розроблено та досліджено систему автоматизованого моніторингу стану зони паркування автомобілів на основі методів комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж. Виконано аналіз сучасних методів виявлення й розпізнавання об'єктів, за результатами якого як базову модель детектування обрано архітектуру YOLOv11, що забезпечує оптимальне співвідношення швидкодії та точності у режимі реального часу.

Запропоновано підхід до контролю зайнятості паркувальних місць на основі орієнтованих обмежувальних рамок і полігонального представлення зон, що дозволив підвищити точність локалізації транспортних засобів за різних ракурсів спостереження. Реалізовано програмний засіб моніторингу та інструмент розмітки паркувальних зон, виконано навчання нейронної мережі та комплексне тестування системи. Експериментально підтверджено середню точність 89 %, що перевищує як класичний підхід, так і програмний аналог з відкритим кодом.

Отримана функціональна модель може застосовуватися як основа інтелектуальних систем управління паркувальними майданчиками і може бути вдосконалена шляхом розширення навчального набору даних, адаптації до складних погодних умов та впровадження механізмів автоматичного формування зон паркування.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Ultralytics YOLO11 Documentation. Ultralytics. URL: <https://docs.ultralytics.com/>

2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 779–788.
3. Bradski G. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools. 2000.
4. Smith R. An Overview of the Tesseract OCR Engine. Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 2007. P. 629–633.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge: MIT Press, 2016. 800 p.

**Савицька Людмила Андріївна** — доцент кафедри обчислювальної техніки, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [savytska.liudmyla@vntu.edu.ua](mailto:savytska.liudmyla@vntu.edu.ua).

**Луценко Владислав Вікторович** — студент групи 2СП-22б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [vladyslav.lutsenkoo@gmail.com](mailto:vladyslav.lutsenkoo@gmail.com).

**Колесник Ірина Сергіївна** — кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Savytska Liudmyla Andriivna** — Associate Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Lutsenko Vladyslav Viktorovych** — student, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Kolesnyk Iryna Serhiivna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.