

## КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ВЕЛОСИПЕДИСТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У роботі розроблено комп'ютерну систему моніторингу та оцінки безпеки руху велосипедистів, що автоматично визначає наявність шолома на основі методів комп'ютерного зору та глибинного навчання.*

**Ключові слова:** комп'ютерна система моніторингу, комп'ютерний зір, безпека руху, нейронна мережа, глибинне навчання.

### *Abstract*

*The paper develops a computer system for monitoring and assessing the safety of cyclists, which automatically determines the presence of a helmet based on computer vision and deep learning methods.*

**Keywords:** computer monitoring system, computer vision, traffic safety, neural network, deep learning.

### Вступ

У сучасних містах кількість велосипедистів невідомо зростає, проте рівень їхньої безпеки істотно залежить від дотримання правил дорожнього руху та використання індивідуальних засобів захисту, насамперед шолома. Це зумовлює потребу у впровадженні автоматизованих технічних рішень, які в реальному часі здатні виявляти велосипедистів у відеопотоці та визначати факт наявності/відсутності шолома, формуючи об'єктивні кількісні індикатори ризику. Сучасні методи комп'ютерного зору та глибинного навчання забезпечують необхідний баланс між точністю та швидкодією для роботи на бюджетних GPU і дають змогу масштабувати моніторинг з окремих камер до міських підсистем відеоспостереження.

Метою роботи є збільшення швидкодії та точності розпізнавання об'єктів на зображенні під час відеозйомки дорожнього руху із застосуванням нейронних мереж. Методи дослідження передбачають аналіз літератури, підготовку та аугментацію даних, трансферне навчання і тренування детектора YOLOv8 у PyTorch, метричне оцінювання на валідаційних підбірках, а також порівняльний експериментальний аналіз альтернативних архітектур. Отримані висновки покажуть, чи можливо збільшити точність та швидкість розпізнавання об'єктів на зображенні під час відеозйомки дорожнього руху

### Загальні відомості

Комп'ютерна безпекова інфраструктура для велосипедистів базується на розумінні того, що більшість критичних травм припадає на область голови, а правильне використання шолома суттєво знижує ризик тяжких наслідків ДТП. Сучасні дослідження демонструють, що автоматизований моніторинг шоломів за відеопотоком може стати ефективним інструментом підтримки правил дорожнього руху та планування безпечної інфраструктури.

Завдяки розвитку комп'ютерного зору та глибокого навчання з'явилась можливість аналізувати потоки з міських камер у режимі реального часу та автоматично виявляти учасників руху, їхню траєкторію та факт використання захисного спорядження. Такі системи

перетворюють «сирі» відеодані на статистику щодо інтенсивності руху, рівня дотримання правил та типових небезпечних ситуацій для велосипедистів.

Задача розпізнавання шолома на голові велосипедиста формулюється як задача детекції та класифікації об'єктів: модель повинна локалізувати велосипедиста на кадрі, виділити область голови та визначити клас «шолом» / «без шолома». Для цього найчастіше використовують згорткові нейронні мережі та архітектури одноетапної детекції, зокрема сімейство YOLO, яке поєднує високу швидкодію з достатньою точністю для аналізу відеопотоку.

У низці сучасних робіт запропоновано системи автоматичного виявлення порушень шоломного режиму, які працюють у реальному часі на базі YOLOv5/YOLOv7/YOLOv8 та додаткових технік аугментації чи генерації даних. Такі підходи демонструють високу точність в умовах складного трафіку, змінного освітлення та часткових оклюзій, що підтверджує доцільність використання подібних архітектур для задач моніторингу безпеки велосипедистів [1].

У межах комп'ютерної системи моніторингу та оцінки безпеки руху велосипедистів детектор «шолом/без шолома» інтегрується в модуль обробки відеопотоку, який виконує відстеження об'єктів, підрахунок порушень та формування аналітичних звітів. На основі зібраних даних можна оцінювати частку захищених шоломом велосипедистів, виявляти ділянки з підвищеним ризиком та обґрунтовувати заходи з підвищення безпеки у концепції «розумного міста».

### Архітектура YOLOv8

Архітектура YOLOv8 є модульною та складається з трьох основних частин: backbone для виділення ознак, neck для багатомасштабної агрегації та head для безпосередньої детекції об'єктів. У порівнянні з попередніми версіями YOLO вона орієнтована на більшу гнучкість і підтримує різні задачі (детекція, сегментація, класифікація), зберігаючи роботу в режимі реального часу.

У ролі backbone використовується модифікований CSPDarknet з новим модулем C2f (Cross Stage Partial BottleNeck with 2 convolutions), який прийшов на зміну C3 з YOLOv5. C2f покращує протікання градієнтів і дозволяє ефективніше перевикористовувати ознаки, а шар SPPF (Spatial Pyramid Pooling – Fast) додатково підсилює інваріантність до масштабу, що важливо для об'єктів різного розміру. [2]

Neck поєднує в собі FPN та PAN: зверху вниз передаються високорівневі семантичні ознаки, а знизу вверх — детальні просторові, що забезпечує якісну багатомасштабну ф'юзію. Така комбінація дозволяє моделі краще виявляти як великі, так і дрібні об'єкти, зокрема велосипедистів і їхні шоломи в насичених дорожніх сценах.

Головна частина (head) в YOLOv8 є анкер-фрі та «розділеною»: окремі гілки відповідають за об'єктність, класифікацію та регресію координат боксів. Відмова від anchor boxes спрощує призначення міток, зменшує кількість прогнозів і прискорює NMS, а розділення гілок зменшує конфлікт між класифікацією та локалізацією, що позитивно впливає на точність і швидкодію. Схему архітектури моделі YOLOv8 наведено на рис. 1.

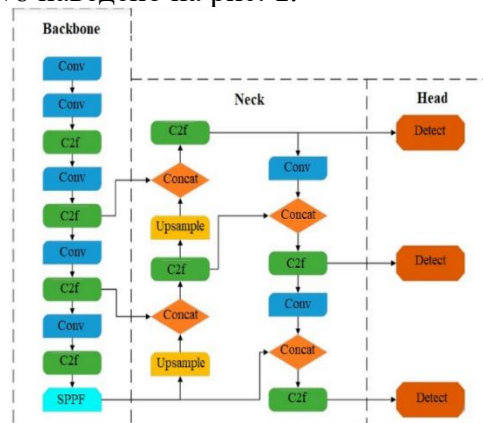


Рисунок 1 — Архітектура YOLOv8

Для задачі «шолом/без шолома» зазвичай обирають компактні конфігурації YOLOv8, як наприклад, v8n або v8s), які забезпечують баланс між якістю детекції та FPS на звичайному GPU/CPU [3, 4]. При цьому архітектура залишається тією ж: змінюється лише кількість каналів і глибина блоків, що дозволяє масштабувати модель під наявні обчислювальні ресурси без зміни логіки обробки зображення.

### Архітектура системи

Архітектура комп'ютерної системи моніторингу безпеки велосипедистів логічно ділиться на три рівні: рівень джерел даних (камери спостереження, відеопотік з реєстратора чи вебкамери), серверний рівень обробки (модулі комп'ютерного зору й нейронної мережі YOLOv8) та рівень представлення результатів (інтерфейс оператора, веб-панель чи десктопний додаток). Між цими рівнями дані передаються у вигляді відеопотоку та структурованих подій (виявлені велосипедисти, класи «шолом/без шолома», таймстемпи, координати).

У центрі архітектури знаходиться модуль обробки відеопотоку, який складається з підсистем захоплення кадрів, попередньої обробки, детекції YOLOv8, відстеження об'єктів та логіки підрахунку порушень. Результати роботи детектора записуються у сховище, де для кожного велосипедиста зберігаються час, місце у кадрі, клас, ймовірність, а також, за потреби, посилання на збережений кадр/фрагмент відео. Поверх цього шару розташовується аналітичний модуль, який формує статистичні звіти, графіки та показники безпеки. Зовнішній вигляд структурної схеми зображено на рисунку 2.



Рисунок 2 — Структурна схема системи

Клієнтська частина системи реалізує інтерфейс моніторингу: перегляд живого відео з накладеними боксами й класами, перегляд журналу подій та фільтрацію за часом/локацією, а також відображення агрегацій, таких, як кількість порушень, частка велосипедистів у шоломах тощо). Обмін між UI та сервером може відбуватися через REST API для стрімінгу подій у реальному часі.

### Результати роботи системи

На етапі першого навчання моделі точність детекції виявилася недостатньо високою: спостерігалися як хибні спрацьовування, так і пропуски велосипедистів та шоломів, особливо в складних умовах освітлення та при зміні ракурсу. Аналіз проміжних результатів показав, що базових налаштувань гіперпараметрів та початкового датасета недостатньо для стабільної роботи системи в реальних умовах відеопотоку. Результат зображено на рисунку 3.



Рисунок 3 — Результат без донавчання

Після донавчання моделі на розширеному датасеті, уніфікації розмітки та налаштування гіперпараметрів вдалося суттєво підвищити якість розпізнавання. Точність і повнота детекції класів покращилися, знизилася кількість хибних спрацьовувань, а модель стала більш стійкою до змінних умов. Це підтверджується покращенням значень метрик на валідаційній вибірці, як наприклад на рисунку 4.



Рисунок 4 — Результат з донавчанням

У фінальній конфігурації система демонструє стабільну роботу в режимі, наближеному до реального часу: детектор коректно знаходить велосипедистів, класифікує стан шолом/без шолома та передає результати в модулі підрахунку порушень і аналітики. Журнал подій та агреговані показники свідчать про досягнення прийнятного рівня якості для подальшого використання системи в задачах моніторингу безпеки руху та підтримки концепції «розумного міста».

## Висновки

Розроблено комп'ютерну систему моніторингу та оцінки безпеки руху велосипедистів із застосуванням нейронних мереж, у якій на основі аналізу предметної області та огляду сучасних методів детекції обґрунтовано вибір архітектури YOLOv8 для задачі визначення класів. Було підготовлено й доповнено датасет, уніфіковано розмітку у формат YOLO, виконано train/val-розподіл та аугментації, після чого модель кілька разів навчалася й донавчалася з підбором гіперпараметрів, що дозволило суттєво підвищити точність, повноту та mAP порівняно з початковою конфігурацією. На основі навченої моделі реалізовано систему обробки відеопотоку в режимі, наближеному до реального часу, з відстеженням об'єктів, підрахунком порушень шоломного режиму та формуванням журналу подій і аналітичних показників. Проведене тестування на відеозаписах різної складності підтвердило працездатність і практичну придатність запропонованого рішення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shoman M., Ghoul T., Lanzaro G., Alsharif T., Gargoum S., Sayed T. Enforcing Traffic Safety: A Deep Learning Approach for Detecting Motorcyclists' Helmet Violations Using YOLOv8 and Deep Convolutional Generative Adversarial Network-Generated Images (Algorithms) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1999-4893/17/5/202>
2. Офіційна документація Ultralytics YOLOv8 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/>

3. Т. Мартинюк, О. Войцеховська, О. Городецька, і А. Рижков, «Модуль інтеграції вебзастосунків із штучним інтелектом», ІТКІ, вип. 59, вип. 1, с. 5–12, Трав 2024. DOI:<https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-5-12>.

4. Kyrylashchuk, S., Horodetska, O., Voitsekhovska, O., Zakharchenko, S. (2024). Order Forecasting System for Vehicles Based on Previous Statistics Requests. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision-Making, Volume 1. ISDMCI 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 219. Springer, Cham.

Циганков Олексій Андрійович — студент групи 2КІ-24м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [alex.tsihankov1@gmail.com](mailto:alex.tsihankov1@gmail.com)

Городецька Софія Віталіївна – учениця 10-М1 класу, комунальний заклад «Подільський науковий ліцей» Вінницької обласної Ради, e-mail: horodetska.s@gmail.com.

Tsyhankov Oleksiy Andriyovych — student of group 2KI-24m, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alex.tsihankov1@gmail.com

Horodetska Sofiia – lyceum student of the 10-M1 class, Municipal Institution "Podilskyi Scientific Lyceum" of the Vinnytsia Regional Council, e-mail: horodetska.s@gmail.com.