

**Квєтний Р.Н.
Маслій Р.В.
Кабачій В.В.
Гармаш В.В.**

ВІЗУАЛЬНА ДЕТЕКЦІЯ ДИМУ НА ОСНОВІ YOLOv8 ДЛЯ EDGE-СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У роботі запропоновано модифікацію архітектури моделі YOLOv8 для візуальної детекції диму з метою раннього виявлення пожеж. Запропоновані зміни дозволили зменшити кількість параметрів нейронної мережі на 27% та обчислювальну складність (GFLOPS) на 12% порівняно з базовою моделлю YOLOv8-Nano. Для навчання та оцінювання моделі використано відкриті датасети D-Fire та WSDY. Отримані результати демонструють придатність моделі до використання на edge-пристроях у складі систем відеоспостереження для раннього виявлення пожеж.

Ключові слова: обробка зображень, комп'ютерний зір, виявлення диму, раннє виявлення пожеж, відеоспостереження, YOLOv8

Вступ

Раннє виявлення пожеж є надзвичайно важливим для забезпечення безпеки та мінімізації збитків. Пожежі швидко поширюються, особливо в зонах з високою щільністю горючих матеріалів — житлових районах, аеропортах і лісах — що ускладнює оперативне реагування. Традиційні сенсорні системи (датчики диму, температури, частинок) ефективні на обмежених площах, але потребують прямого контакту з димом або вогнем, що знижує швидкість реагування. Натомість сучасні системи відеоспостереження з технологіями комп'ютерного зору дозволяють виявляти дим на ранніх стадіях, забезпечуючи швидку реакцію, широкий охоплення та високу стійкість до впливу навколишнього середовища.

На зміну класичним методам виявлення, що базувалися на вручну створених ознаках, таких як SIFT, HOG та LBP, у поєднанні з бустінгом [1] або SVM-класифікаторами, прийшли глибокі нейронні мережі. Вони дозволяють автоматично навчатися інформативним ознакам без ручного втручання та демонструють значно кращі результати у складних умовах. Особливо ефективними стали сучасні одноетапні архітектури виявлення об'єктів, зокрема лінійка моделей YOLO, що поєднує високу точність із швидкістю роботи в реальному часі [2].

Результати дослідження

За основу було обрано сучасну модель YOLOv8, архітектура якої включає три ключові компоненти: бекбон (відповідає за витягування ознак), neck-структуру (забезпечує багаторівневу агрегацію ознак) та голову (виконує класифікацію та регресію координат об'єктів). У YOLOv8 реалізовано оновлену структуру згорткових блоків, покращену обробку просторово-контекстної інформації та вдосконалений механізм функції втрат, що загалом підвищує ефективність і точність моделі.

У роботі для спрощення архітектури та зменшення обчислювальної складності моделі були використані GSConv (Ghost-Shuffle Convolution) та блок VoVGSCSP [3], які дозволяють зберегти високу якість детекції при суттєвому скороченні кількості параметрів. GSConv поєднує класичні згортки з більш легкими операціями, що імітують інформаційний потік повноцінної згортки, але з меншими обчислювальними витратами. Блок VoVGSCSP є вдосконаленою версією CSP-блоків, яка інтегрує GSConv у компактну структуру з частковим розділенням шляху передачі ознак (Cross Stage Partial), забезпечуючи оптимальний баланс між точністю та ефективністю.

У дослідженні використано два відкриті набори даних: D-Fire [4] та WSDY, які містять зображення диму в природному середовищі. D-Fire — це датасет, орієнтований на виявлення диму в лісових і відкритих просторах, з різноманітними погодними умовами та перспективами зйомки. WSDY (Wildfire Smoke Detection Dataset) містить анотовані зображення диму, зібрані з камер відеоспостереження, з акцентом на складні умови виявлення, такі як туман, хмари та задимлення. Обидва датасети забезпечують різноманітність сценаріїв і високоякісну розмітку, що дозволяє ефективно навчати моделі для задач раннього виявлення пожеж.

Використання модифікованої архітектури дозволило зменшити кількість параметрів з 3.0 до 2.2 млн та обчислювальну складність з 8.1 до 7.1 GFLOPS, зберігаючи при цьому високий рівень точності виявлення диму за критерієм mAP@50.

Висновки

Застосування блоків GSConv та VoVGSCSP в архітектурі YOLOv8 дало змогу суттєво зменшити кількість параметрів (на 27%) та GFLOPS (на 12%), зберігаючи при цьому високу точність виявлення диму. Завдяки проведеним оптимізаціям модель стала придатною для використання на edge-пристроях у режимі реального часу, що є особливо важливим для впровадження в системах раннього виявлення пожеж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R. Kvyetnyy, R. Maslii, V. Harmash, I. Bogach, A. Kotyra, Ż. Grądz, A. Zhanpeisova, and N. Askarova, "Object detection in images with low light condition," Proc. SPIE, vol. 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, p. 104450W, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/12.2281001>.
- [2] Ultralytics, Ultralytics YOLOv8 GitHub repository, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- [3] H. Li et al., "Slim-neck by GSConv: A lightweight-design for real-time detector architectures," J. Real-Time Image Process., vol. 21, no. 3, p. 62, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2206.02424>.
- [4] P. V. A. B. de Venancio, A. C. Lisboa, and A. V. Barbosa, "An automatic fire detection system based on deep convolutional neural networks for low-power, resource-constrained devices," Neural Comput. Appl., vol. 34, no. 18, pp. 15349–15368, 2022.

Кветний Роман Наумович — д. т. н., професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua.

Маслій Роман Васильович — к. т. н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maslij.r.v@vntu.edu.ua.

Кабачій Владислав Володимирович — к. т. н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua.

Гармаш Володимир Володимирович — к. т. н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: garmash.v.v@vntu.edu.ua.

YOLOv8-BASED VISUAL SMOKE DETECTION FOR EDGE EARLY FIRE DETECTION SYSTEMS

Abstract. The paper proposes a modification of the architecture of the YOLOv8 model for visual smoke detection for the purpose of early fire detection. The proposed changes allowed to reduce the number of neural network parameters by 30% and the computational complexity (GFLOPS) by 12% compared to the base model YOLOv8-Nano. The open datasets D-Fire and WSDY were used to train and evaluate the model. The obtained results demonstrate the suitability of the model for use on edge devices as part of video surveillance systems for early fire detection.

Keywords: image processing, computer vision, smoke detection, early fire detection, video surveillance, YOLOv8

Kvyetnyy Roman N.— Dr. Sc.(Eng.), Professor of the Department of Automation and Intellectual Information Technologies, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua.

Maslii Roman V.— Ph.D. (Eng), Associate Professor of Automation and Intellectual Information Technologies, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maslij.r.v@vntu.edu.ua.

Kabachii Vladyslav V.— Ph.D. (Eng), Associate Professor of Automation and Intellectual Information Technologies, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua.

Garmash Volodymyr V.— Ph.D. (Eng), Associate Professor of Automation and Intellectual Information Technologies, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: garmash.v.v@vntu.edu.ua.