

*Мишківська Я. В., здобувачка вищої освіти
3 курсу спеціальності 122 Комп'ютерні науки,
Овчар М. І., здобувач вищої освіти 3 курсу
спеціальності 122 Комп'ютерні науки,
Ніколюк П. К., д-р фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри інформаційних технологій*

МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця

Сучасні БПЛА активно використовуються у військовій сфері для розвідки й моніторингу. Актуальним завданням є розробка адаптивних систем розпізнавання об'єктів, здатних працювати в реальному часі в умовах обмежених ресурсів. У роботі досліджено підходи мультимодального розпізнавання на основі об'єднання RGB, інфрачервоних та глибинних даних. Запропоновано архітектуру з механізмом late fusion та використанням модифікованої нейронної мережі YOLOv5. Розроблений прототип демонструє потенціал до впровадження в системи оперативного спостереження та може бути адаптований для роботи на вебплатформах або вбудованих пристроях.

У роботі досліджено підходи мультимодального розпізнавання на основі об'єднання RGB, інфрачервоних та глибинних даних. Перед об'єднанням усі сенсорні зображення піддаються попередній обробці, зокрема нормалізації пікселів у діапазоні $[0;1][0;1][0;1]$. Застосовано формулу контрастної нормалізації:

$$R_{norm} = \min\left(\max\left(\frac{1,5 \cdot R}{255}, 0\right), 1\right).$$

Такий підхід дає змогу посилити важливі ознаки та відкинути незначні перепади яскравості, забезпечуючи кращу узгодженість між різними модальностями. Запропоновано архітектуру з механізмом late fusion та використанням модифікованої нейронної мережі YOLOv5.

Порівняльну характеристику найпоширеніших підходів до об'єктного розпізнавання наведено в табл. 1. Зокрема, YOLOv5 обрано як базову модель завдяки її гнучкості, точності та простоті адаптації до мультимодальних даних [1]. Водночас з огляду на практичну реалізацію у новій версії прототипу передбачено також використання SSD, яка забезпечує обробку в реальному часі з помірним споживанням ресурсів.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів розпізнавання

Критерій	YOLOv5	YOLOv3	Faster R-CNN	SSD
Мультимодальна інтеграція	Підтримує через late fusion	Потребує зовнішніх рішень	Архітектурно не передбачено	Частково можлива
Придатність для реального часу	Висока, оптимізована для edge-пристроїв	Середня	Низька	Висока, спроектована для ріалтайму
Гнучкість і масштабованість	Висока, легко модифікується	Обмежена	Складна для адаптації	Середня

Критерій	YOLOv5	YOLOv3	Faster R-CNN	SSD
Адаптивність до змін середовища	Передбачена через сенсорну нормалізацію	Лише часткова	Залежить від навчальних даних	Часткова

Як показують результати досліджень [2], використання мультимодальних підходів суттєво підвищує точність розпізнавання об'єктів у складних умовах, як-от нічне спостереження або погіршення погодних умов. Інтеграція даних із різних сенсорів дає змогу компенсувати втрату інформації від окремих каналів і покращити стійкість роботи систем (рис. 1, 2).

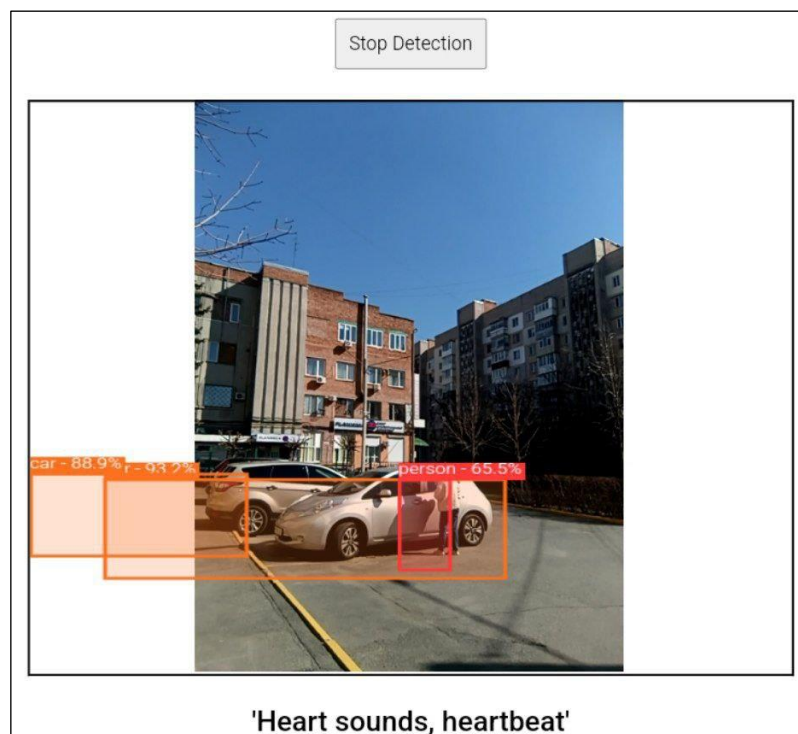


Рис. 1. Виявлення об'єктів у денному середовищі за допомогою мультимодальної системи

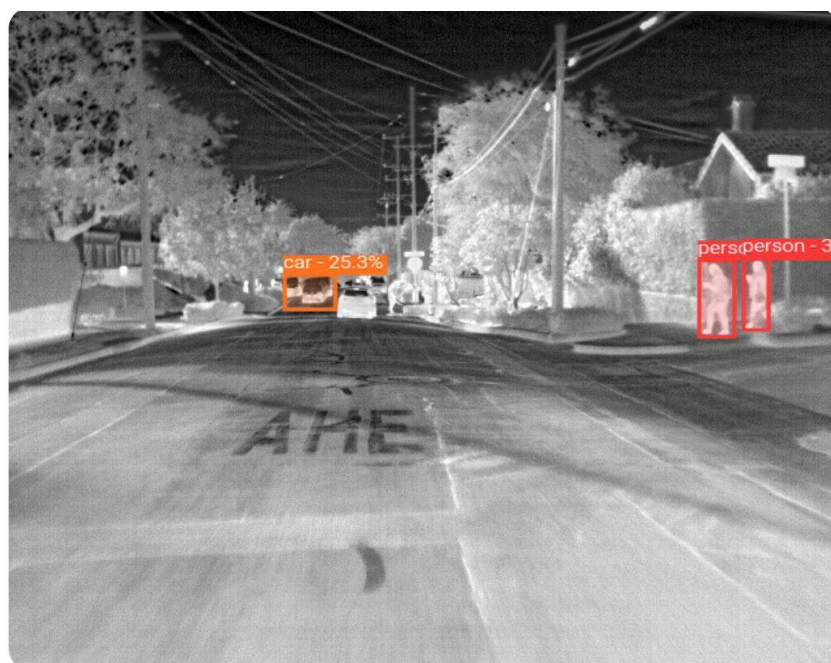


Рис. 2. Виявлення об'єктів на інфрачервоному зображенні вночі

Отже, запропоноване рішення демонструє потенціал для інтеграції в системи БПЛА, що діють у реальному часі. Використання мультимодальної обробки даних дає змогу підвищити надійність і точність класифікації в умовах змінного середовища.

Проведене дослідження підтвердило доцільність застосування мультимодальних методів розпізнавання для платформ із обмеженими ресурсами. Система, розроблена в межах проєкту, може стати основою для подальших досліджень і впровадження в галузі військової розвідки та спостереження. Подальші етапи роботи передбачають розширення тестувань у польових умовах та оптимізацію адаптивних механізмів обробки даних.

Код прототипу системи доступний у відкритому доступі [3], що сприяє відкритості дослідження та можливості його подальшого вдосконалення.

Список використаних джерел

1. YOLOv5 Drone Detection Using Multimodal Data Registered by the Vicon System / W. Lindenhein-Locher, A. Świtoński, T. Krzeszowski, G. Paleta, P. Hasić, H. Josiński, M. Paszkuta, K. Wojciechowski, J. Rosner. *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 13. Article ID: 6396. DOI: 10.3390/s23146396.
2. M2FNet: Multi-modal fusion network for object detection from visible and thermal infrared images / Ch. Jiang, H. Ren, H. Yang, H. Huo, P. Zhu, Z. Yao, J. Li, M. Sun, S. Yang. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 130. P. 102300. DOI: 10.1016/j.jag.2024.103918.
3. Ovchar M. Мультимодальне розпізнавання об'єктів за допомогою YOLOv11 та YAM-Net. URL: https://github.com/MichailOvchar/multimodal_object_detection (дата звернення: 27.04.2025).

УДК 004.9

*Рудь О. С., здобувачка вищої освіти 4 курсу спеціальності 122 Комп'ютерні науки,
Потанова Н. А., канд. екон. наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій*

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ВИТРАТ НА ПІДПРИЄМСТВІ: МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця

В умовах глобалізації ринку, економічної нестабільності та зростаючих вимог до швидкості обслуговування питання ефективного управління логістичними витратами, безперечно, набуває актуальності. Логістичні витрати охоплюють широкий спектр складників: транспортування, зберігання, обробку вантажів, управління запасами, інформаційне забезпечення логістики, витрати на персонал тощо. Рационалізація цих витрат є рішенням до підвищення загальної ефективності логістичної системи підприємства та його конкурентоспроможності [1].

Згідно з результатами досліджень, понад 60 % витрат у логістичному ланцюзі пов'язані з транспортними операціями та зберіганням продукції. Оптиміза-