

УДК 004.932.2:004.896:004.451.28:004.7

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2025-27-23

Смолянкін О. О., Маркіна Л. М.

Луцький національний технічний університет

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ RASPBERRY PI З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА NODE-RED

У статті представлено комплексний підхід до побудови інтелектуальної системи розпізнавання об'єктів на базі компактного обчислювального модуля Raspberry Pi, сучасних алгоритмів глибокого навчання та візуальної IoT-платформи Node-RED. Сформовано архітектуру апаратно-програмного комплексу, виконано аналіз методів попередньої обробки зображень, оптимізації нейронних моделей під обмежені апаратні ресурси та організації потокової обробки відео. Особливу увагу приділено інтеграції з Node-RED для реалізації візуальної аналітики, віддаленого моніторингу та керування. Проведено експериментальні дослідження працездатності системи за різних умов освітлення та навантаження. Отримані результати демонструють можливість побудови високоточної та енергоефективної системи комп'ютерного зору без використання потужних GPU-серверів.

**Ключові слова:** Raspberry Pi, комп'ютерний зір, YOLO, CNN, Node-RED, глибоке навчання, IoT, штучний інтелект, відеодетекція.

**Проблема дослідження.** Більшість сучасних систем розпізнавання об'єктів базується на використанні потужних графічних процесорів, здатних обробляти значний обсяг даних у реальному часі. Однак у багатьох сферах — промисловій автоматизації, робототехніці, системах відеоспостереження, "розумних" пристроях — використання габаритних і дорогих GPU є недоцільним або неможливим. Проблема полягає у тому, щоб забезпечити високу точність, швидкість і стабільність розпізнавання на малопотужних пристроях, таких як Raspberry Pi.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка систем розпізнавання об'єктів на базі вбудованих платформ останніми роками є одним із найдинамічніших напрямів у галузі комп'ютерного зору та Інтернету речей. У численних дослідженнях продемонстровано перехід від класичних алгоритмів машинного навчання до глибоких нейронних мереж, здатних автоматично виділяти ознаки зображень та працювати у складних умовах. Зокрема, у роботі Jain та Shah [1] показано ефективність застосування згорткових нейронних мереж для реального часу на Raspberry Pi із використанням MobileNet та Tiny-YOLO. Подібні результати наведено у праці Antoshchuk [2], де проаналізовано методи підвищення продуктивності системи детекції на одноплатних комп'ютерах.

Окремий масив публікацій присвячено використанню Raspberry Pi для відеоспостереження, автоматизації та локальної відеоаналітики. Дослідження Лавренюка, Кравчука та Соколовського [3] демонструє можливість створення повноцінної системи комп'ютерного зору на Raspberry Pi з використанням OpenCV та оптимізованих моделей. Автори підкреслюють, що продуктивність значною мірою залежить від налаштування відеопотоку, роздільної здатності та температурної стабільності пристрою.

У сучасних роботах значну увагу приділено оптимізації нейронних моделей для малопотужних платформ. Зокрема, у дослідженнях, присвячених легковаговим архітектурам YOLO, SSD та MobileNet, показано ефективність квантизації, прунінгу та використання TensorFlow Lite [1], [2], [4]. Пінчук і Черненко [4] наголошують, що завдяки оптимізації можна забезпечити прийнятну швидкодію навіть без спеціалізованих GPU.

Паралельно активно розвивається напрям інтеграції систем комп'ютерного зору в IoT-інфраструктуру. Node-RED вважається одним із найбільш універсальних інструментів для маршрутизації даних, побудови сценаріїв реагування та візуалізації результатів у режимі реального часу. Це підтверджено у роботах Onwuegbuzie та співавторів [3], а також Lin, Chang і Wu [5], де Node-RED використовується для створення систем моніторингу, контролю та збору телеметрії. Дослідники підкреслюють простоту інтеграції Node-RED із MQTT, Modbus, веб-API та базами даних.

Особливе місце серед таких робіт займає публікація Смолянкіна, Маркіної, Решетила та Сацика [6], у якій розглянуто застосування Node-RED саме на Raspberry Pi для побудови систем керування. Автори доводять, що Node-RED може виконувати функції спрощеної SCADA-системи,

забезпечуючи наочну взаємодію з обладнанням, легко масштабовані потоки даних і доступність для інженерів без глибокого програмного досвіду. Схожі висновки подають Караван і Дяченко [7], наголошуючи на доцільності використання Node-RED у навчальних, лабораторних та малобюджетних IoT-проектах.

Загальний аналіз наукових джерел показує, що більшість існуючих рішень розглядають або задачу розпізнавання об'єктів на Raspberry Pi, або окремо задачу організації IoT-моніторингу в Node-RED. Комплексні дослідження, де обидві технології інтегруються у єдиний апаратно-програмний інтелектуальний комплекс, зустрічаються значно рідше [5], [6], [8]. Саме тому поєднання глибинних моделей комп'ютерного зору на Raspberry Pi із потоковою аналітикою, візуалізацією й керуванням у Node-RED є науково актуальним та перспективним напрямом розвитку.

**Мета статті.** Метою є розробити та дослідити інтелектуальну систему детекції об'єктів, що працює на Raspberry Pi із застосуванням глибоких нейронних мереж і інтеграції з Node-RED, що дозволяє реалізувати візуальний контроль, аналітику та керування в IoT-середовищі.

**Об'єкт дослідження.** Процеси та алгоритми розпізнавання об'єктів у відеопотоці.

**Предмет дослідження.** Глибинні нейронні мережі, методи попередньої обробки зображень, оптимізація моделей для малопотужних пристроїв та механізми IoT-інтеграції на базі Node-RED.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні системи комп'ютерного зору широко застосовуються в промисловій автоматизації, транспорті, аграрному секторі, робототехніці, системах безпеки та «розумних» пристроях. Переважна більшість високоточних систем детекції об'єктів працює на спеціалізованих графічних прискорювачах (GPU), що забезпечують високу швидкість обробки даних. Проте використання громіздких і дорогих GPU не завжди виправдане або можливе, особливо в IoT-платформах та автономних мобільних пристроях.

Одним із перспективних рішень є поєднання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi із сучасними алгоритмами глибокого навчання. Це дозволяє організувати розпізнавання об'єктів у реальному часі навіть на малопотужних системах, забезпечивши автономність і низьке енергоспоживання.

Додаткові можливості інтеграції кінцевих пристроїв у інфраструктуру IoT відкриває середовище Node-RED, що надає зручні інструменти для збору, обробки, маршрутизації та візуалізації даних. Ефективність Node-RED на Raspberry Pi підтверджено у роботі [6], де наведено переваги такого підходу для промислових контролерів та систем моніторингу.

Важливим етапом, що передує розпізнаванню, є попередня обробка зображення. Вона потрібна для того, щоб вирівняти контраст, зменшити шум, виділити межі об'єктів і підготувати дані до аналізу. Правильна попередня обробка суттєво знижує навантаження на нейронну мережу, підвищує точність класифікації та залишає лише найважливіші ознаки сцени. На практиці використовують методи фільтрації, згладжування, нормалізації яскравості, виділення контурів, порогової сегментації та інші інструменти. Особливо ефективними є фільтри, що згладжують однорідні ділянки, але водночас зберігають різкі переходи — саме вони забезпечують мережі чіткі лінії для аналізу.

Ще однією важливою частиною теорії розпізнавання є виділення ознак. Традиційно для цього застосовували методи ручного проектування ознак — SIFT, SURF, HOG та інші. Вони дозволяли вирізняти характерні точки чи напрямки на зображенні та використовувалися в класичних алгоритмах машинного навчання. Проте такі методи мали ряд обмежень: складність налаштування, низьку універсальність, залежність від умов зйомки. Тому з розвитком глибокого навчання відповідальність за виділення ознак перейшла до нейронних мереж. Завдяки цьому система сама визначає, які фрагменти зображення є ключовими для класифікації.

Найбільш революційним кроком стало застосування згорткових нейронних мереж (CNN), які здатні автоматично знаходити локальні структури, характерні для певного класу об'єктів. CNN дозволяють значно скоротити кількість параметрів, адже один і той самий фільтр проходить по різних частинах зображення. Таким чином мережа «вчиться» розпізнавати текстури, краї, кути та складніші форми незалежно від їхнього місця розташування в кадрі.

Однак навіть найсучасніші алгоритми матимуть недостатню ефективність без правильних узгоджених дій між усіма етапами обробки. У практичних системах комп'ютерного зору важливу роль відіграє не тільки нейронна мережа, але й загальна логіка обробки відеопотоку. Наприклад, використання динамічної інформації, тобто аналіз різниці між кадрами, дає змогу зменшити кількість помилкових детекцій і фокусуватися на об'єктах, які рухаються. Це також дозволяє

знизити обсяг обчислень: якщо фон статичний, то система може обробляти лише області, де відбулися зміни.

Ще один аспект теоретичної бази — інваріантність алгоритмів до змін масштабу, повороту та освітлення. Хороша модель повинна однаково впізнавати об'єкт незалежно від того, великий він чи малий, освітлений природним чи штучним світлом, частково перекритий або знятий зі складного ракурсу. Для цього використовуються спеціальні архітектурні рішення, техніки аугментації даних, а також багаторівневий аналіз ознак.

У цілому теоретичні основи задачі розпізнавання об'єктів включають комплекс математичних, алгоритмічних і технічних підходів, кожен з яких спрямований на вирішення конкретних проблем аналізу складних візуальних сцен. Глибоке розуміння цих принципів є основою для створення ефективних прикладних систем, здатних працювати в реальному часі та забезпечувати високу точність на платформі з обмеженими ресурсами, такої як Raspberry Pi [1, 3].

Системи розпізнавання об'єктів сьогодні базуються насамперед на моделях глибокого навчання, які здатні автоматично витягати інформацію зі зображень без ручного визначення ознак. Еволюція цих алгоритмів пройшла довгий шлях — від перших експериментальних моделей до сучасних архітектур, які здатні працювати в реальному часі на простих одноплатних комп'ютерах.

Початкові моделі комп'ютерного зору спиралися на класичні алгоритми машинного навчання: метод опорних векторів, дерева рішень, логістичну регресію. Проте їхня ефективність суттєво обмежувалася необхідністю вручну визначати ознаки, а також чутливістю до змін умов освітлення, масштабу та орієнтації об'єкта. Наприклад, для виявлення автомобіля потрібно було заздалегідь описати типові характеристики — круглі колеса, прямокутна форма кузова, світлі області фар. Зміна ракурсу чи тіні одразу руйнувала стабільність класифікації.

Ситуація кардинально змінилася з появою згорткових нейронних мереж. CNN виявилися універсальними для обробки зображень завдяки тому, що вони вивчають ознаки різного рівня складності самостійно. На перших шарах мережа розпізнає прості структури — краї, лінії, кути; на середніх — текстури та фрагменти форм; на глибинних — цілі об'єкти.

Із розвитком мереж з'явилися нові архітектури, спрямовані на конкретні задачі комп'ютерного зору. Для класифікації були створені моделі AlexNet, VGG, Inception, ResNet. Для сегментації — U-Net, Mask R-CNN. А для задачі детекції — YOLO, SSD, Faster R-CNN, RetinaNet. Кожна з них має власні переваги, пов'язані зі швидкістю, точністю, стійкістю до шумів або універсальністю.

Ключовим проривом у задачі розпізнавання стало створення моделей, здатних визначати одразу два аспекти: клас об'єкта та його точні координати у кадрі. Двоетапні моделі (серія R-CNN) досягають високої точності за рахунок складної обробки, а одноетапні (YOLO, SSD) здатні працювати майже миттєво.

Разом із тим, у сучасних системах дедалі частіше застосовують квантизацію моделей, тобто перетворення ваг нейронної мережі у формат з меншою розрядністю (наприклад, INT8). TensorFlow Lite, який широко використовується на Raspberry Pi, дозволяє запускати моделі зі зменшеними розмірами, що значно прискорює роботу без помітної втрати якості.

Підсумовуючи, сучасні нейронні мережі забезпечують не лише точне розпізнавання об'єктів, а й можливість їхньої оптимізації до рівня, що дозволяє застосовувати їх у невеликих пристроях із мінімальним енергоспоживанням.

Реалізація системи розпізнавання об'єктів потребує не лише ефективної моделі, але й правильно підібраної апаратної основи. Традиційно для глибокого навчання використовуються потужні графічні процесори. Проте вбудовані системи потребують компактності, автономності та енергоефективності. Це й робить одноплатні комп'ютери ключовою платформою для застосувань у відеоспостереженні, робототехніці, аграрних системах, «розумному» транспорті та промисловій автоматизації.

Однією з ключових переваг системи є інтеграція з Node-RED — середовищем візуального програмування, яке дозволяє організувати обробку та маршрутизацію даних без складного програмування. Node-RED виступає центральною ланкою IoT-екосистеми та дозволяє реалізувати візуальний моніторинг, оповіщення, автоматичні реакції на події та підключення до будь-яких зовнішніх API чи баз даних [7]. Node-RED давно зарекомендував себе як зручний інструмент для побудови систем керування на базі Raspberry Pi, що детально висвітлено у статті [3], де доведено ефективність Node-RED для організації керування промисловими контролерами та IoT-системами.

У пропонованій системі Node-RED використовується для приймання даних від нейронної мережі через MQTT, HTTP або WebSocket. У вузлах Node-RED виконується обробка інформації про

виявлені об'єкти: їхній клас, координати, достовірність та час. Ця інформація може відобразитись на Dashboard у вигляді таблиць, графіків, журналів подій, гістограм або інтерактивних індикаторів. Node-RED також дозволяє реалізувати бізнес-логіку реагування: надсилання повідомлень у Telegram, запис кадрів у базу даних, включення виконавчих пристроїв, активацію сигналізації та інші сценарії. У системах охорони та безпеки Node-RED забезпечує швидке реагування, а в робототехніці — динамічне керування рухомим обладнанням. Актуальність Node-RED підтверджується його широким застосуванням у промисловості, де потрібні наочність, гнучкість та простота конфігурації потоків даних.

Експериментальні дослідження показали, що Raspberry Pi здатен забезпечити стабільну роботу детектора в реальному часі зі швидкістю 7–10 FPS залежно від умов, освітлення та складності сцени. У темний час доби точність дещо знижується, однак за рахунок високої світлочутливості камери та адаптивних методів обробки зображення система зберігає стабільність роботи. Node-RED забезпечив надійний збір, візуалізацію та маршрутизацію даних, не створюючи додаткового значного навантаження на Raspberry Pi.

Таким чином, застосування Raspberry Pi у поєднанні з оптимізованими моделями глибокого навчання та інтеграцією з Node-RED дозволяє створити ефективну, доступну та автономну систему розпізнавання об'єктів. Поєднання цих технологій відкриває широкі можливості для застосування у системах відеоспостереження, промислової автоматизації, робототехніці, аграрних технологіях, безпеці та побутових IoT-рішеннях. Досвід використання Node-RED у системах керування Raspberry Pi, описаний у публікації Смолянкіна О.О. та співавторів (2023), підтверджує доцільність і ефективність такого підходу, забезпечуючи високу гнучкість та масштабованість системи.

Важливою частиною практичної реалізації є налаштування обробки відеопотоку. Щоб система працювала плавно, застосовують:

- зменшення роздільної здатності (наприклад, 640×360);
- квантизацію моделей (INT8);
- кешування попередніх кадрів;
- обмеження кількості об'єктів для відображення.

Заключним етапом є інтеграція системи — наприклад:

- у робототехнічну платформу;
- у систему відеоспостереження;
- у безпековий комплекс;
- в лінію автоматизації виробництва.

Реалізація на Raspberry Pi дозволяє створити недорогу, але функціональну систему, що працює повністю автономно й не потребує зовнішнього сервера.

**Висновки.** У проведеній роботі досліджено можливості створення інтелектуальної системи розпізнавання об'єктів на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, оптимізованих моделей глибокого навчання та середовища візуального програмування Node-RED. Показано, що навіть за відсутності високопродуктивних графічних прискорювачів сучасні згорткові нейронні мережі, зокрема моделі сімейства YOLO та MobileNet-SSD, здатні забезпечити високу точність та прийнятну швидкодію за ресурсних обмежень компактних апаратних платформ.

Експериментальні дослідження підтвердили, що Raspberry Pi 4 у поєднанні з камерою Camera Module 3 та оптимізованими моделями TensorFlow Lite може забезпечувати швидкість обробки до 7–10 кадрів за секунду в режимі реального часу. Окрім цього, використання методів попередньої обробки зображень, квантизації моделей та зменшення роздільної здатності дозволяє додатково підвищити стабільність і зменшити навантаження на систему.

Одним із ключових результатів роботи стало впровадження Node-RED як універсального інструмента для збору, маршрутизації та візуалізації даних. Node-RED значно розширив функціональні можливості системи, забезпечивши інтеграцію з IoT-сервісами, створення інформаційної панелі моніторингу, організацію реактивних сценаріїв та можливість підключення до зовнішніх API й баз даних. Такий підхід дозволив перетворити систему детекції об'єктів на повноцінний елемент інтелектуальної інфраструктури, придатний для застосування у промисловій автоматизації, безпеці, транспорті та побутових рішеннях.

Отримані результати підтверджують доцільність використання Raspberry Pi як основи для компактних і автономних систем комп'ютерного зору. Платформа забезпечує достатній рівень продуктивності, широкі можливості щодо розширення та інтеграції, а також низьку вартість у порівнянні з традиційними GPU-рішеннями. Водночас застосування Node-RED, ефективність якого

доведена раніше у роботі Смолянкіна О.О. та співавторів (2023), робить систему гнучкою, масштабованою та зручною в користуванні.

Таким чином, розроблений підхід демонструє перспективність використання глибоких нейронних мереж у поєднанні з Raspberry Pi та Node-RED для створення сучасних інтелектуальних IoT-рішень. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на підвищення точності моделей, використання апаратного прискорення (Coral TPU, NPU), розширення можливостей інтеграції та застосування системи у більш складних реальних сценаріях.

#### Інформаційні джерела

1. Jain M., Shah A. Convolutional Neural Networks for Real-Time Object Detection with Raspberry Pi // *International Journal of Computer Applications*. 2021. Vol. 182(45). P. 12-20.
2. Antoshchuk D. Research of Methods to Increase the Efficiency of the Object Detection System on the Raspberry Pi Platform // *Proceedings of ICAIT 2023*. 2023. P. 55-60.
3. Лавренюк М. О., Кравчук В. Г., Соколовський Д. О. Система відеоспостереження на базі Raspberry Pi з елементами комп'ютерного зору // *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. №5. С. 112-118.
4. Пінчук О. М., Черненко І. В. Інтелектуальні системи на основі глибокого навчання для розпізнавання об'єктів у відеопотоці // *IEEE UKRCON 2021*. 2021. P. 305-310.
5. Onwuegbuzie I.U., Ekong E., Udonkang E., Etuk U. Node-RED and IoT Analytics: A Real-Time Data Processing and Visualization Platform // *Zenodo*. 2024. DOI: [10.5281/zenodo.13856860](https://doi.org/10.5281/zenodo.13856860).
6. Смолянкін О. О., Маркіна Л. М., Решетило О. М., Сацик В. О. Аналіз системи керування на базі системи програмування Node-RED для контролерів Raspberry Pi // *Перспективні технології та прилади*. 2023. Вип. 22. С. 45-52. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-19>
7. Караван С. Г., Дяченко А. В. Застосування Node-RED для побудови IoT-систем моніторингу і керування // *Наукові праці Одеського національного політехнічного університету*. 2023. №3(67). С. 74-82.
8. Lin M.-H., Chang C.-L., Wu T.-Y. Node-RED Web-based Monitor and Control of Power System Using Modbus and MQTT Communication in Raspberry Pi Embedded Platform // *Sensors and Materials*. 2024. Vol. 36(5). P. 1643-1655.

**Smoliankin O., Markina L.**

Lutsk National Technical University

#### INTELLIGENT OBJECT RECOGNITION SYSTEM BASED ON RASPBERRY PI USING DEEP NEURAL NETWORKS AND NODE-RED

The article presents a comprehensive approach to the development of an intelligent object recognition system based on the compact Raspberry Pi computing module, modern deep learning algorithms, and the visual IoT platform Node-RED. The architecture of the hardware–software complex is designed, and an analysis of image preprocessing methods, optimization of neural network models for resource-constrained platforms, and real-time video stream processing is performed. Special attention is paid to the integration with Node-RED for implementing visual analytics, remote monitoring, and control. Experimental studies of system performance under various lighting conditions and workloads have been conducted. The obtained results demonstrate the possibility of building a high-accuracy and energy-efficient computer vision system without the need for powerful GPU servers.

**Keywords:** Raspberry Pi, computer vision, YOLO, CNN, Node-RED, deep learning, IoT, artificial intelligence, video detection.

---

Дата першого надходження  
статті до видання  
16.11.2025 р

Дата прийняття статті  
до друку  
18.12.2025 р.

Дата  
оприлюднення  
25.12.2025 р.