

А. О. Подорожняк¹, Н. Ю. Любченко¹, Д. Є. Петрукович², Д. П. Оніщенко¹

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ НОМЕРІВ НА RASPBERRY PI

Анотація. Об'єктом дослідження даної роботи є засоби машинного навчання для автоматичного розпізнавання автомобільних номерів. **Мета** даної роботи полягає у дослідженні реалізації системи для розпізнавання автомобільних номерів засобами Raspberry Pi 4. Основним завданням даного дослідження є аналіз аналогів існуючих систем автоматичного розпізнавання автомобільних номерів у середовищі апаратних продуктів Raspberry Pi, а також реалізація власної системи та її дослідження. У результаті дослідження існуючих аналогів було виявлено певні проблеми та знайдено шляхи їх вирішення. Система використовує сучасні технології штучних згорткових нейронних мереж для вирішення поставленої задачі. Також слід зазначити, що розроблена система працює краще конкурентних на великих кутах зйомки. У результаті виконання роботи було реалізовано систему автоматичного розпізнавання автомобільних номерів засобами плати Raspberry Pi для інтелектуальних вбудованих систем. Було проведено дослідження та виявлено великий потенціал запропонованої розробки у середовищах, де швидкість роботи системи не буде критичною.

Ключові слова: система розпізнавання автомобільних номерів, алгоритми машинного та глибокого навчання, згорткова нейронна мережа, інтелектуальна вбудована система, Raspberry Pi.

Вступ

Використання систем автоматичного розпізнавання автомобільних номерів відбувається у навколишньому сучасному світі кожного дня [1, 2]. Такі системи можуть використовуватись при фіксації дорожньо-транспортних пригод, автоматичних системах надсилання штрафів, для розумних систем паркування, тощо. Кожен з названих прикладів неможливо реалізувати без інтегрування системи автоматичного розпізнавання автомобільних номерів [3].

На сьогодні на дорогах України використовуються 237 камер фотовідеофіксації (рис. 1) [4].

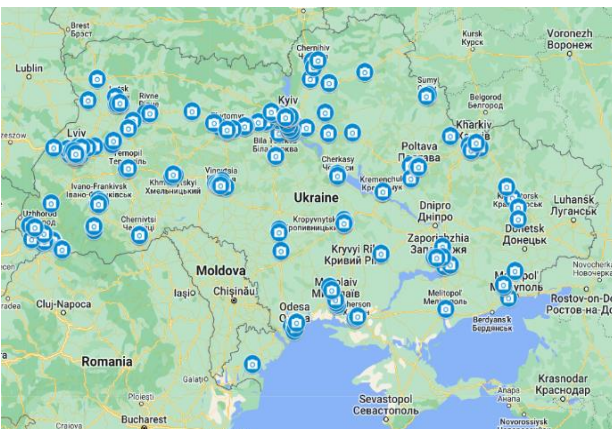


Рис. 1. Карта камер фотовідеофіксації на дорогах України

Особливістю таких камер є можливість розпізнавання не тільки факту перевищення швидкості, а й номерного знаку автомобіля, що дозволяє виписувати штрафи у автоматичному режимі.

Мета статті: ідея дослідження полягає в такому: провести аналіз існуючих систем автоматичного розпізнавання автомобільних номерів у середовищі апаратних продуктів Raspberry Pi, вибір схемотехнічної та алгоритмічної бази, реалізація власної системи на Raspberry Pi та її дослідження і формулювання перспектив застосування та подальшого розвитку.

Апаратна реалізація системи автоматичного розпізнавання номерів

Один з найбільш широко використовуваних методів реалізації такої системи – передача відео потоку на сервер та подальша його обробка. Такий підхід називається програмним. Він має свої плюси, проте головним мінусом будуть високі вимоги до швидкодії та обчислювальних характеристик апаратної частини системи. Оскільки відео є неперервним потоком інформації, тому сервер повинен бути достатньо потужним для обробки усіх потоків одночасно [5].

Інший підхід – апаратний. Ідея апаратної реалізації системи автоматичної фіксації автомобільних номерів полягає у тому, що фіксація номера відбувається «на місці», тобто безпосередньо камерою. Плюсами такого метода є можливість пересилати лише корисну інформацію, наприклад, тільки факт перевищення швидкості у форматі дата-час-номер автомобіля-швидкість. Проте такий підхід також має вагомий мінус – такі апаратні засоби повинні бути достатньо потужними для обробки зображень у реальному часі, що робить їх доволі дорогими [6].

Серед існуючих систем для вирішення такої задачі існує багато різних камер. Це спеціальні камери, котрі встановлюються на приватних об'єктах і, можливо, містять не тільки модуль розпізнавання автомобільно номеру, а й обличчя. Такі камери добре підходять для великих підприємств коли має сенс закупити їх оптом десятками, сотнями або навіть тисячами штук, для встановлення на об'єктах, що охороняються.

Для побудови інтелектуальної вбудованої системи необхідно обрати систему на кристалі (SoC), достатньо потужну для реалізації методів машинного навчання. Враховуючи те, що для такої SoC необхідна велика кількість різних програмних компонентів, даний чіп повинен мати операційну систему. Непоганий вибір для таких цілей – сімейство плат Raspberry Pi [7, 8].

Raspberry Pi – міні комп'ютер, розроблений британським фондом Raspberry Pi Foundation. Початково

платформа Raspberry PI була створена для навчання дітей, школярів та студентів програмуванню. Проте платформа стала дуже популярною серед ентузіастів, тому зараз існує велика кількість проектів розроблених за допомогою саме неї.

Для реалізації системи автоматичної фіксації автомобільних номерів було обрано модель Raspberry PI 4B (рис. 2), яка має технічні характеристики наведені у табл. 1.

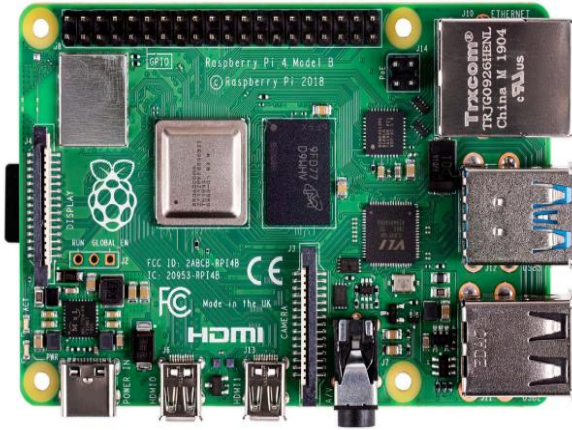


Рис. 2. Зовнішній вигляд плати Raspberry PI 4

Характеристики пропонованої SoC дозволяють створити інтелектуальну вбудовану систему, яка може проводити у режимі реального часу обробку зображень із використанням алгоритмів машинного і глибокого навчання, застосовуючи технології багатоваріантних згорткових нейронних мереж [9, 10].

Таблиця 1 – Технічна характеристика обраної Raspberry PI

Процесор	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
ОЗП	4GB LPDDR4
Зв'язок	2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN; Bluetooth 5.0; Gigabit Ethernet; 2 × USB 3.0 ports; 2 × USB 2.0 ports
Відео та звук	2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported); 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI camera port; 4-pole stereo audio and composite video port
Пам'ять	Підтримка SD карт
Живлення	5V DC через USB-C (від 3A)

Огляд існуючих систем

Як вже було сказано, за допомогою Raspberry реалізовано дуже багато різних проектів, серед яких є й проекти розпізнавання автомобільних номерів. Один з можливих підходів – використовувати методи обробки зображення та бібліотеку OpenCV [11]. Проблема такого методу полягає у низькій точності розпізнавання на реальних зображеннях. Це пов'язано насамперед із проблемою розташування номера відносно камери, а також освітлення, різноманітних перешкод, тощо (рис. 3).

Інший підхід – це використання технологій на основі штучних нейронних мереж [12, 13]. У статті [14] було використано підхід у якому комбінувалися мережі YOLOv3, CRAFT Text Detector та CRNN. Такий

спосіб дозволив досягти розпізнавання номеру автомобіля у режимі реального часу, проте з наступними обмеженнями: розмір зображення 480x270 пікселів (фактично 416 по горизонталі), частота кадрів 30 FPS, верхні 45% відсотків зображення було обрізано (тобто реальне використовуване зображення було 416 на 135 пікселів). Всі ці обмеження були накладені також для можливості передачі зображень у мережі системи, оскільки обробка зображень відбувалась на сервері, а не на платі. Плата лише формувала відповідні черги для асинхронної обробки кожного нового кадру.

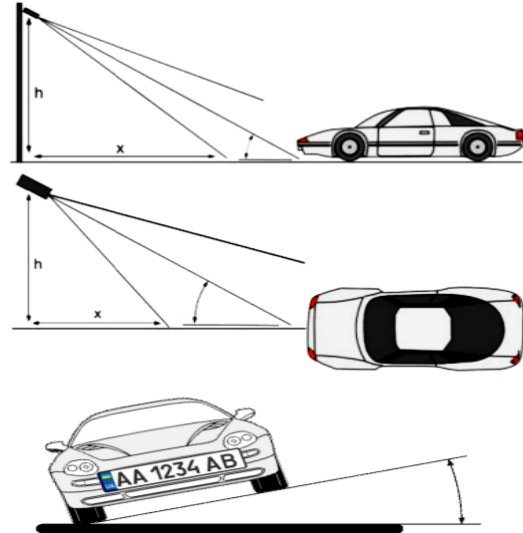


Рис. 3. Нахили відносно камери

Таким чином всі роботи можна звести до спеціалізованих методів обробки зображення, або до використання штучних нейронних мереж. Слід зазначити, що перший підхід не дає відмінного результату, оскільки результуюча якість сильно залежить від нахилу номеру відносно камери, а також такі методи, як правило, дуже чутливі до викривлень обумовлених шумами та освітленням.

Метод штучних нейронних мереж [15] у свою чергу має вагомий мінус у швидкодії і скоріше за все від розпізнавання у реальному часі доведеться відмовитися, якщо використовувати лише потужності SoC плати. Для реалізації було обрано методи глибокого навчання та SoC на Raspberry PI.

Нейронна мережа Mask R-CNN та реалізація на RaspberryPI

Для реалізації було обрано добре досліджену мережу Mask R-CNN [1, 16, 17]. Ця мережа показала відмінні результати на великих кутах розташування номерного знаку до камери [1]. Узагальнена схема роботи цих мереж з виділення окремих регіонів та розпізнавання об'єктів на них наведена на рис. 4 [17].

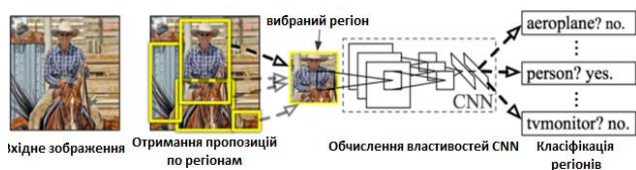


Рис. 4. Узагальнена схема роботи мережі Mask R-CNN

Ця мережа має інноваційний підхід до обробки зображення. Спочатку виконується звичайна згортка зображення для отримання карти ознак. Далі працює модуль генерації регіонів, котрий далі подається в мережу, схожу на R-CNN, тобто відбувається визначення класу для регіону. Відмінність Mask R-CNN від Faster R-CNN полягає у тому, що перша характеризує кожний піксель, тобто вирішує задачу instance segmentation. Проблема з цією мережею – наявність великої кількості модулів. Ця проблема повстає на етапі навчання, оскільки навчання кожного модуля окремо буде тривати дуже довго автори використали об'єднану функцію похибок. Слід зазначити, що частина цієї функції це точна копія функції похибок з Faster R-CNN:

$$L(p, t^u, v) = L_{cls}(p, u) + \lambda [u \geq 1] L_{loc}(t^u, v);$$

$$L_{cls}(p, u) = -u \log p - (1 - u) \log(1 - p);$$

$$L_{loc}(t^u, v) = \sum_{i \in \{x, y, w, h\}} L_1^{smooth}(t_i^u - v_i),$$

де u – клас об'єкту, котрий насправді представлено у регіоні; $L_{cls}(p, u)$ – логарифмічна функція похибок; $v = (v_x, v_y, v_w, v_h)$ – реальні розміри рамки об'єкту; $t^u = (t_x^u, t_y^u, t_w^u, t_h^u)$ – отримані рамки об'єкту для класу u ; L_{loc} – функція похибок між отриманими та реальним рамками об'єкту; λ – початковий коефіцієнт, котрий балансує вплив обох функцій похибок на результат (в оригінальній статті дорівнює одиниці, тобто вплив обох функцій однаковий);

$$L_1^{smooth}(x) = \begin{cases} 0.5x^2, & |x| < 1; \\ |x| - 0.5, & |x| \geq 1. \end{cases}$$

Комбінована функція для Mask R-CNN має такий вигляд:

$$L = L_{cls} + L_{loc} + L_{mask},$$

або (використовуючи Fr R-CNN):

$$L = L(p, t^u, v) + L_{mask};$$

$$L_{mask} = -m^{-2} \times$$

$$\times \sum_{1 \leq j, l \leq m} [y_{ij} \log y_{ij}^k + (1 - y_{ij}) \log(1 - y_{ij}^k)],$$

$m \times m$ – розміри маски; y_{ij} – клас клітинки (i, j) ; y_{ij}^k – визначений клас для тієї ж самої клітинки.

Іншими словами фінальна функція похибок це сума похибок Faster R-CNN та середня бінарна похибка крос-ентропії (cross entropy loss). Mask R-CNN була створена для вирішення задачі instance segmentation, тобто для визначення кожного окремого об'єкту та його класифікація. Ця система показала відмінні результати порівняно з конкурентними на зображеннях де номер розташований під великим кутом до камери [1]. Проблема з розгортанням системи почалися на етапі інсталяції необхідних компонентів. Для роботи ця мережа потребує наступні необхідні компоненти: Python 3.6, OpenCV 3.x, Tensorflow 1.13.x. Оскільки версії цих бібліотек доволі старі, то потрібно було встановлення старої версії Raspbery PI OS та розгортання кожного компоненту з piwheels.

Іншою проблемою був вибір камери: використувати PI Camera, чи звичайну USB-камеру, або

можливу камеру з інтерфейсом HDMI. Для простоти було вирішено використувати звичайну USB камеру, оскільки такий підхід більш доступний та універсальний. Розширення даної камери було 640×480.

Після встановлення всіх необхідних компонентів реалізація системи була дуже простою, отриманий результат наведено на рис. 5.



Рис. 5. Результат роботи системи на Raspberry PI

Як можна побачити запропонована система працює навіть із зображеннями під дуже великим кутом автомобільного номеру до камери. Це дає змогу встановлювати такі камери в широкому діапазоні значень висоти та кута номеру до камери. Таким чином ця система добре підходить для складних умов експлуатації, коли неможливо встановити камеру так, щоб номер був розташований під прямим кутом.

Проте недоліком даної реалізації на Raspberry PI є достатньо повільна робота системи, оскільки обробка одного зображення займала від 7 до 20 с. До переваг отриманої реалізації можливо віднести те, що дана система працює коректно при викривленнях зображень обумовлених геометричними факторами, опадами та недоліками освітлення, у великому діапазоні розрізень зображень, для різних форматів зображень а також може розпізнавати декілька номерів на зображенні одночасно.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Під час розгортання системи автоматичної фіксації автомобільних номерів на великих кутах зйомки вдалося досягти працюючої мережі вбудованими засобами Raspbery PI. Така потужна система, котра відмінно працює на великих кутах зйомки, потребує великої потужності. На жаль система працює повільно, отже дану реалізацію можливо використувати лише у застосунках, що не потребують режиму реального часу.

Оскільки дана система відмінно працює на великих кутах, то є можливість використувати її у комбінації з іншими системами, котрі будуть наприклад локалізувати номери, а надалі буде працювати запропонована система для визначення безпосередньо цих номерів. Крім того, можливість даної системи розпізна-

вати декілька номерів одночасно дає змогу використувати її у місцях великого скупчення автомобілів, де швидкість роботи системи не буде критичною.

Прикладом такого застосування може бути паркова зона, або стоянка, де швидкості навіть в одне зображення за хвилину буде достатньо для моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuchuk, H. System of license plate recognition considering large camera shooting angles / H. Kuchuk, A. Podorozhniak, N. Liubchenko, D. Onishchenko // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2021. – No. 4 (100). – pp. 82 – 91, <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4.07>.
2. Подорожняк, А.О. Інтелектуальна система розпізнавання номерів автотранспортних засобів / А.О. Подорожняк, Н.Ю. Любченко, Д.П. Оніщенко // *The I International Science Conference on Multidisciplinary Research*, January 19 – 21, 2021, Berlin, Germany. – Berlin, 2021. – pp. 1051-1055, <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.I>.
3. Liew, C. Real time mobile based license plate recognition system with neural networks / C. Liew, C.O. Kim, R. Alfred, T.G. Tse, P. Anthony // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1502. – Iss. 1. – Article number 012032, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1502/1/012032>.
4. Адреси камер фотовідеофіксації та дозволена швидкість руху. Офіційний сайт МВС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mvs.gov.ua/uk/ministry/projekti-mvs/avtofotovideofiksiaciya-porusen-pdr/adresi-kamer-fotovideofiksiaciyi-ta-dozvolena-svidkist-ruxu-1>.
5. Liubchenko, N. Automation of vehicle plate numbers identification on one-aspect images / N. Liubchenko, O. Nakonechnyi, A. Podorozhniak, H. Siulieva // *Advanced Information Systems*. – 2018. – No. 1. – pp. 52 – 55, <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.10>.
6. Anuar, F. Smart campus initiative: car entrance, exit and parking management prototype development / F. Anuar, N. Lingas // *8th Brunei International Conference on Engineering and Technology 2021*, November 8 – 10, 2021, Bandar Seri Begawan, Brunei. – AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2643. – Article number 040029, <https://doi.org/10.1063/5.0110444>.
7. Podorozhniak, A. Research of the multispectral imaging analysis system based on Raspberry Pi / A. Podorozhniak, M. Kvochka // *Проблеми інформатизації: тези доповідей дев'ятої міжнародної НТК*. 18-19 листопада 2021 року, т. 2 – Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР, Бельсько-Бяла: УТІГН, Харків: НТУ "ХПІ", ДП "ІД ПКНДІ АП"; 2021. – С. 68. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/58381/1/Podorozhniak_Research_2021.pdf.
8. Jabbar, W.A. An IoT Raspberry Pi-based parking management system for Smart Campus / W.A. Jabbar, C.W. Wei, N.A.A.M. Azmi, N.A. Hainonnazli // *Internet of Things*. – 2021. – Vol. 14. – Article number 100387, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100387>.
9. Abdellatif, M.M. A low cost IoT-based Arabic license plate recognition model for smart parking systems / M.M. Abdellatif, N.H. Elshabasy, A.E. Elashmawy, M. AbdelRaheem // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2023. – Article number 102178, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102178>.
10. Yang, Z. Research on deep learning garbage classification system based on fusion of image classification and object detection classification / Z. Yang, Y. Bao, Y. Liu, Q. Zhao, H. Zheng, Y. Bao // *Mathematical Biosciences and Engineering*. – 2022. – Vol. 20. – Iss. 3. – pp. 4741-4759, <https://doi.org/10.3934/mbe.2023219>.
11. License Plate Recognition using Raspberry Pi and OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/license-plate-recognition-using-raspberry-pi-and-opencv>.
12. Подорожняк, А. Нейромережева система розпізнавання автономера / А. Подорожняк, Н. Любченко, Г. Гейко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПНТУ, 2020. – Т. 4 (62). – С. 88-91, <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.088>.
13. Firasanti, A. License Plate Detection using OCR method with Raspberry Pi / A. Firasanti, T.E. Ramadhani, M.A. Bakri, N.E.A.A.O. Zaki // *15th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA-2021)*, 18-19 November 2021, Bali, Indonesia. – Bali, 2021, <https://doi.org/10.1109/TSSA52866.2021.9768252>.
14. Chiriac, R.L. I built a DIY license plate reader with a Raspberry Pi and machine learning [Електронний ресурс]. – URL: <https://towardsdatascience.com/i-built-a-diy-license-plate-reader-with-a-raspberry-pi-and-machine-learning-7e428d3c7401>.
15. Parzhin, Y. Detector neural network vs connectionist ANNs / Y. Parzhin, V. Kosenko, A. Podorozhniak, O. Mal'yeyeva, V. Timofeyev // *Neurocomputing*. – 2020. – Vol. 414. – pp. 191 – 203, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.025>.
16. He, K. Mask R-CNN / K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick // *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Venice, October 22-29 2017. – Venice, 2017. – pp. 2980-2988, <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>.
17. Parthasarathy, D. A Brief History of CNNs in Image Segmentation: From R-CNN to Mask R-CNN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.athelas.com/a-brief-history-of-cnns-in-image-segmentation-from-r-cnn-to-mask-r-cnn-34ea83205de4>.

Received (Надійшла) 15.01.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 01.03.2023

Implementation of automatic license plate recognition system with Raspberry PI

A. Podorozhniak, N. Liubchenko, D. Petrukovich, D. Onishchenko

Abstract. The object of study in the article is machine learning methods for automatic license plate recognition. The goal is to implement the system of automatic license plate recognition with Raspberry PI 4. The main tasks of this research are to analyse systems of automatic license plate recognition that implemented with capabilities of Raspberry PI and to implement own system. As a result of research of similar systems common problems were discovered and resolved. The developed system uses modern approach and technologies of artificial convolutional neural networks to solve occurred problems. It is important to note that the implemented system performs better than similar systems for large shooting angles. As a result of the work automatic license plate recognition system using Raspberry PI boards for intelligent embedded systems was implemented. Research has been conducted and the great potential of the proposed development has been revealed in environments where the speed of the system will not be critical.

Keywords: license plate recognition system, machine learning algorithms, deep learning methods, convolutional neural networks, intelligent embedded systems, Raspberry PI.