ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОПЕРАТОРА В РОБОЧІЙ ЗОНІ КОЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

Гурін Д.В., Мірошниченко Ю.М
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: dmytro.gurin@nure.ua, yuliia.miroshnychenko@nure.ua

Анотація: представлено метод ідентифікації оператора у робочій зоні колаборативного робота, наведені результати експериментальних досліджень розробленого програмного модуля ідентифікації оператора у робочій зоні колаборативного робота. Надано оцінку ефективності програмного модуля та подальшого впровадження.

Ключові слова: колаборативна робототехніка, розпізнавання об'єктів, комп'ютерний зір.

OPERATOR IDENTIFICATION IN THE WORKING AREA OF COLLABORATIVE ROBOT

Gurin D., Miroshnychenko Y.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14
E-mail: dmytro.gurin@nure.ua, yuliia.miroshnychenko@nure.ua

Abstract: the method of operator identification in the working area of a collaborative robot is presented, the results of experimental studies of the developed software module for operator identification in the working area of a collaborative robot are presented. An assessment of the effectiveness of the software module and its further implementation is provided.

Keywords: collaborative robotics, object recognition, computer vision.

Актуальність зумовлена зростанням потреби у підвищенні безпеки та ефективності взаємодії людини з колаборативними роботами, які все ширше застосовуються в промисловості, логістиці та сервісних сферах. Однією з ключових проблем під час спільної роботи оператора та робота-маніпулятора є точна і своєчасна ідентифікація положення людини в робочій зоні для запобігання небезпечним ситуаціям і підвищення продуктивності процесу. Існуючі методи ідентифікації часто не забезпечують достатньої точності та стійкості до шумів і перешкод.

Використання класичних методів без урахування динамічної поведінки оператора та контексту середовища не дозволяє досягти достатнього рівня адаптивності та швидкості реагування. Тому виникає потреба у створенні методу, який базується на інтеграції нейронних мереж, математичних моделей руху та функцій ризику, що дозволяє не лише ідентифікувати оператора з високою точністю, але й прогнозувати його подальшу траєкторію та адаптувати дії робота в режимі реального часу.

Розроблення методу ідентифікації оператора в робочій зоні колаборативного робота маніпулятора є важливим кроком для забезпечення безпечної та ефективної взаємодії між людиною й автоматизованою системою. Сучасні колаборативні роботи все частіше застосовуються у виробництві та сервісних завданнях, де необхідно точно розпізнавати та відстежувати оператора для запобігання аваріям і підвищення продуктивності. Блок схему розробленого метода представлено на рисунку 1.

Блок «Camera» призначений для захоплення вхідних візуальних даних у режимі реального часу, які слугують основою для подальшої обробки. Блок «Human Detection» відповідає за виділення всіх людей у кадрі за допомогою алгоритмів комп’ютерного зору, забезпечуючи перший рівень розпізнавання присутності людини. Operator Identification» реалізує класифікацію знайдених людей та визначає, хто серед них є оператором, застосовуючи

нейронну мережу для підвищення точності. Блок «Collaborative Robot Manipulator» відображає зв’язок між системою ідентифікації та роботом, який отримує інформацію про присутність оператора для подальшого планування дій.

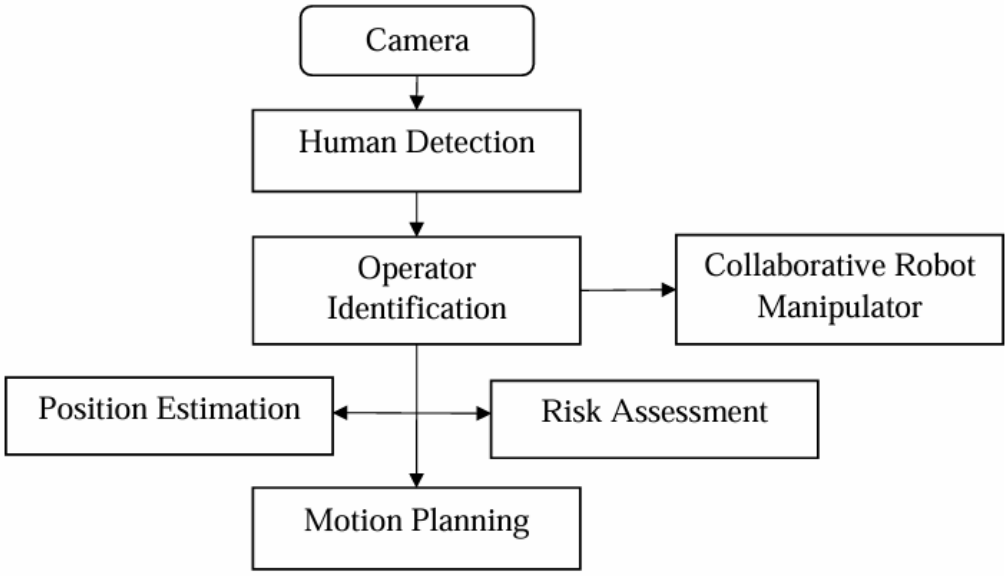

Рисунок 1 – Блок схема метода ідентифікації оператора

Далі «Position Estimation» визначає просторові координати оператора у тривимірному середовищі, що дозволяє точно оцінити його положення в робочій зоні. Блок «Risk Assessment» виконує розрахунок функції ризику на основі відстані між оператором і роботом, допомагаючи оцінити безпечність взаємодії. «Motion Planning» формує команди для керування рухом робота залежно від оціненого ризику та положення оператора. Завдяки такій послідовності, кожен блок виконує строго визначену роль у забезпеченні безпечної колаборативної роботи. Камера створює первинний інформаційний потік, який обробляється через каскад виявлення, ідентифікації та оцінки. Спеціалізовані модулі дозволяють перейти від простого розпізнавання до прийняття конкретних рішень керування. Ця структура забезпечує адаптивну й гнучку взаємодію між людиною та роботом. Присутність модулів оцінки ризику та планування руху гарантує дотримання високих стандартів безпеки. У результаті система здатна працювати в режимі реального часу та своєчасно реагувати на будь-які зміни у поведінці оператора, а такий підхід дозволяє мінімізувати небезпеки та підвищити ефективність спільної роботи.

Проведення експериментальних досліджень є важливим етапом у процесі розроблення програмного модуля ідентифікації оператора в робочій зоні колаборативного робота маніпулятора, оскільки саме на цьому етапі здійснюється перевірка практичної ефективності запропонованих методів і моделей. Незважаючи на високий рівень деталізації теоретичних моделей і математичних виразів, без проведення експериментів неможливо об'єктивно оцінити роботу системи в умовах реального часу, враховуючи варіативність поведінки оператора, змінність освітлення та складність просторового розміщення. Експерименти дозволяють проаналізувати точність розпізнавання людини, швидкість реагування системи та якість визначення команд управління в залежності від відстані або кількості присутніх операторів. Крім того, експериментальна перевірка є основою для подальшого вдосконалення архітектури програмного модуля та коригування алгоритмів, що значно підвищує рівень безпеки та надійності всієї системи. Отримані експериментальні дані стають доказовою базою для оцінки відповідності розробленого рішення вимогам сучасних колаборативних роботизованих систем і дозволяють обґрунтувати його практичну цінність.

Таким чином, постановка задач експерименту виступає необхідним кроком для формалізації критеріїв оцінювання, вибору параметрів вимірювань і визначення сценаріїв, які максимально наближені до реальних умов експлуатації колаборативного робота.

Експеримент 1: аналіз відстані оператора та частоти команд.

Метою є визначення, як часто виникають різні команди (Stop, Emergency stop, Slow down, Normal operation) при зміні відстані оператора від маніпулятора. Отримані результати першого експерименту приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати першого експерименту

Номер заміру	Відстань (см)	Команда
1	0,8	Stop
2	5,5	Emergency stop
3	12,3	Slow down
4	18,0	Normal operation
5	7,0	Emergency stop
6	14,5	Slow down
7	20,0	Normal operation

Для зручного аналізу отриманих даних при проведені першого експерименту, представимо їх у вигляді графіка, який показано на рисунку 2.

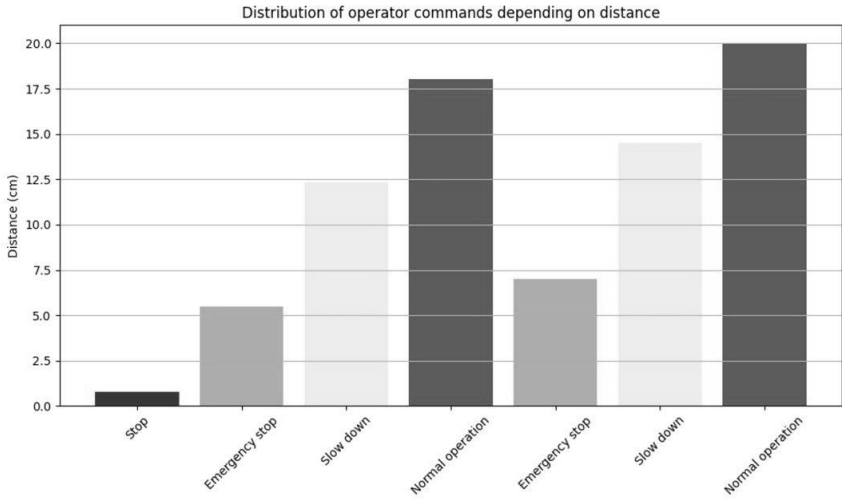

Рисунок 2 – Графік спрацьовування зміни команд для колаборативного робота маніпулятора від відстані до об’єкта

Чисельні результати підтверджують логічність поведінки системи: вона адекватно реагує на різні відстані та своєчасно переходить між режимами. Загалом, отримані дані демонструють

високу чутливість та коректну адаптацію розробленого модуля до зміни положення оператора, що підтверджує правильність обраної архітектури та алгоритму управління.

Експеримент 2: залежність швидкості реакції системи від кількості операторів.

Метою є вивчити, як змінюється час реакції програмного модуля при різній кількості операторів у кадрі. Отримані результати другого експерименту приведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Результати першого експерименту

Номер заміру	Кількість операторів	Час реакції (мс)
1	1	50
2	2	65
3	3	85
4	4	110
5	5	140

Для зручного аналізу отриманих даних при проведенні другого експерименту, представимо їх у вигляді графіка, який показано на рисунку 3.

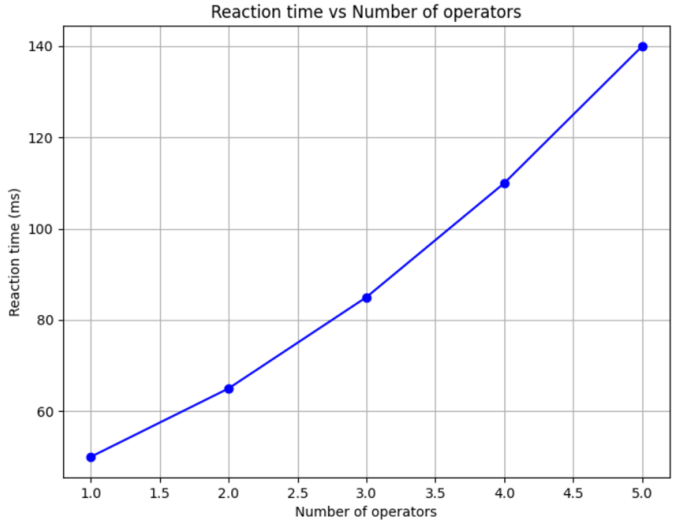

Рисунок 3 – Час реакції програмного модуля при різній кількості операторів у кадрі

Отримані чисельні результати демонструють добру масштабованість системи, однак вказують на необхідність балансування між кількістю одночасно відстежуваних людей і бажаною швидкістю реагування. Якісний аналіз підтверджує, що навіть при п'яти операторах час реакції залишається у прийнятних межах для реального часу, але потребує подальшої оптимізації у випадках критичних завдань.

ВИСНОВКИ. Реалізовано програмний модуль ідентифікації оператора в робочій зоні колаборативного робота маніпулятора, який базується на мові програмування Python та сучасному середовищі розробки PyCharm 2025.1.1.1. Обрані технології дозволили досягти високого рівня гнучкості та інтеграції бібліотек комп’ютерного зору, зокрема YOLO v8 для детекції людини та CNN для аналізу жестів руки. Створено повноцінну архітектуру функцій, що передбачає визначення ключових точок тіла оператора, оцінку відстані та видачу команд у

режимі реального часу. Програмний модуль забезпечує правильне реагування системи в залежності від положення оператора: наприклад, при відстані 0,8 см активується команда Stop, при 5,5 см – Emergency stop, а при 18 см – Normal operation. Аналіз діаграм показав логічність та послідовність видачі команд відповідно до безпечних зон. Якісний аналіз підтвердив стабільність і правильність обробки інформації без критичних помилок навіть у складних умовах. Можна зробити висновки, що розроблений модуль успішно вирішує задачу безпечної взаємодії з оператором та може бути інтегрований у колаборативні робототехнічні системи наступного покоління, значно підвищуючи рівень безпеки і гнучкості їх експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gurin D. Розробка динамічного представлення параметрів моделі опису навколишнього середовища колоборативного робота / D. Gurin // Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, 25-26 жовтня 2024 р. - Харків, 2024. – С. 15-18.

2. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Artiukh, R. (2025). Mathematical model of adaptive hierarchical high-level control of a three-link collaborative robot-manipulator. Innovative technologies and scientific solutions for industries, (2(32), 58–68. https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.058.

3. Невлюдов І. Ш. Технічне та програмне забезпечення розробки малогабаритного мобільного робота: монографія / І. Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Д. В. Гурін // Кривий Ріг: Криворізький фаховий коледж Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. – 355 с. - DOI : https://doi.org/10.30837/978-617-8332-74-7.

4. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.

5. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, https://doi.org/10.1155/2022/3046116.

6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906

7. Невлюдов, І., Євсєєв, В., Максимова, С., & Артюх, Р. (2025). Математична модель адаптивного ієрархічного високорівневого керування триланкового колаборативного робота-маніпулятора. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (2 (32)), 58-68.

8. Yevsieiv, V. Using the Triangulation Method to Measure the Distance to Objects in the Working Area of a Collaborative Manipulator Robot / V. Yevsieiv, S. Starikova // Manufacturing & Mechatronic Systems 2024 : Proceedings of VIII st International Conference, October 25-26, 2024. - Kharkiv, 2024. - P.107-109.

9. Yevsieiev V. Simulation of the operation of the sensor system of a mobile robot in the Autodesk tinkercad environment / V. Yevsieiev, S. Starikova // Комп'ютерні ігри і мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації-2023 : матеріали III Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 28-29 жовтня 2023 р. - Одеса : ОНТУ, 2023 . – С. 21-23.