

Методи ідентифікації оператора у робочій зоні колаборативного робота

Дмитро Гурін

Кафедра КІТАРБІ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки, 14, email: dmytro.gurin@nure.ua

Анотація: Проведено аналіз методів виявлення, ідентифікації та відстеження оператора у робочій зоні колаборативного робота. Розглянуто сенсорні, візуальні, біометричні, радіочастотні та комбіновані методи. Визначено їх переваги та обмеження з позиції формування динамічного опису робочого середовища.

Ключові слова: колаборативний робот, оператор, ідентифікація, комп'ютерний зір, робоча зона.

I. Вступ

Розвиток людиноцентричних підходів до автоматизації виробництва передбачає розширення спільної роботи людини та роботизованих систем. Колаборативні роботи можуть функціонувати у спільній з оператором робочій зоні, тому для їх безпечної та адаптивної роботи необхідно безперервно отримувати інформацію про стан навколишнього середовища. Одним із базових підходів до безпечної взаємодії є контроль швидкості та відстані між людиною і роботом (Speed and Separation Monitoring, SSM), що потребує надійного виявлення людини та оцінювання її положення відносно робота [1, 2].

Водночас для адаптивної людино-роботної взаємодії недостатньо визначити лише факт присутності людини. Доцільно встановлювати, хто саме перебуває у робочій зоні, де знаходиться оператор, як він переміщується, яку позу займає та наскільки достовірною є отримана інформація. Тому задачу сприйняття оператора доцільно розглядати як сукупність процесів виявлення, персональної ідентифікації, локалізації та відстеження у часі.

Метою роботи є аналіз існуючих методів ідентифікації оператора у робочій зоні колаборативного робота, визначення їх переваг і недоліків та формування передумов для подальшої розробки моделі і методів динамічного опису навколишнього середовища колаборативного робота.

II. Формалізація задачі ідентифікації оператора

Ідентифікацію оператора у колаборативній робототехнічній системі доцільно трактувати ширше за встановлення його особи. Для опису взаємодії робота з людиною система сприйняття повинна формувати набір параметрів, що характеризує поточний стан оператора:

$$H(t) = \{ID, P(t), V(t), Q(t), A(t), C(t)\} \quad (1)$$

де ID – ідентифікатор оператора; $P(t)$ – просторове положення; $V(t)$ – швидкість і напрямок переміщення; $Q(t)$ – конфігурація або поза тіла; $A(t)$ – поточна дія; $C(t)$ – показник достовірності отриманих даних. Таке представлення дозволяє перейти від бінарного

визначення присутності людини до динамічного опису оператора як одного з об'єктів робочого середовища.

Огляд сучасних зовнішніх сенсорів для людино-роботної взаємодії показує використання камер, depth-сенсорів, LiDAR, радарів, ультразвукових та інших засобів, причому вибір сенсора визначається необхідною дальністю, точністю, стійкістю до умов середовища та обчислювальними вимогами [3]. Для задачі персональної ідентифікації цей перелік доповнюється біометричними та радіочастотними засобами.

III. Сенсорні методи виявлення та локалізації

До базових засобів контролю робочої зони належать датчики присутності, світлові бар'єри, лазерні сканери та LiDAR. Їх головною перевагою є можливість швидко визначати факт появи об'єкта у контрольованій області, а для лазерних систем – також оцінювати відстань та геометрію навколишнього простору. Такі дані можуть безпосередньо використовуватися для реалізації SSM, коли швидкість робота змінюється залежно від відстані до людини [1].

Перевагами LiDAR є точне вимірювання відстані, широкий сектор спостереження та менша залежність від освітлення порівняно зі звичайними RGB-камерами. Недоліком у контексті даної роботи є те, що геометричні дані самі по собі не забезпечують надійного визначення конкретної особи.

IV. Методи комп'ютерного зору

Системи технічного зору є найбільш інформаційно насиченим засобом спостереження за оператором. RGB-камери у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору дозволяють виконувати детектування людини, сегментацію силуету, розпізнавання обличчя, оцінювання пози та відстеження у послідовності кадрів. RGB-D-камери додатково формують карту глибини, що спрощує перехід від координат зображення до просторового положення людини.

Практична можливість використання depth-камер для SSM продемонстрована у роботі [4], де Kinect V2 застосовано для безперервного виявлення працівника та визначення мінімальної відстані між людиною і ланками робота. Це дозволяє динамічно адаптувати швидкість робота до поточного взаємного положення.

Для детального опису оператора перспективним є визначення скелетної моделі людини, яку можна представити множиною ключових точок:

$$Q(t) = \{q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)\} \quad (2)$$

де $q_i(t)$ – координати відповідної ключової точки тіла. Такий опис дозволяє контролювати положення рук, голови, тулуба та інших частин тіла, а не лише центр або обмежувальну область людини. Це важливо при виконанні спільних операцій на малій відстані.

До переваг комп'ютерного зору належать безконтактність, можливість одночасного отримання ідентифікаційних, просторових і поведінкових ознак та використання одного сенсорного каналу для декількох задач.

V. Біометричні та радіочастотні методи

Для визначення конкретного працівника можуть використовуватися біометричні ознаки. Найбільш придатним для безконтактної роботи є розпізнавання обличчя: після виявлення обличчя формується вектор ознак, який порівнюється з еталонними представленнями операторів. Перевагою є відсутність необхідності у додатковому носимому пристрої та можливість використання тієї самої камери, що застосовується для контролю робочої зони.

Разом з тим у виробничих умовах ефективність розпізнавання обличчя може знижуватися через засоби індивідуального захисту, поворот голови, зміну освітлення або часткове перекриття. Тому біометричну ідентифікацію доцільно використовувати як складову комплексної системи, а не як єдине джерело даних, від якого безпосередньо залежить безпечна реакція робота.

Альтернативою є RFID, Bluetooth або UWB-пристрої, де унікальний електронний ідентифікатор безпосередньо пов'язаний з оператором. RFID забезпечує просте визначення ID, але класичні реалізації мають обмежену точність локалізації. UWB краще придатний для просторового позиціонування, проте координати транспондера описують лише точку його розміщення, а не конфігурацію тіла людини. Спільним недоліком носимих засобів є необхідність контролю наявності, працездатності та правильної прив'язки пристрою до оператора.

VI. Порівняльний аналіз методів

Для оцінювання придатності розглянутих підходів до побудови динамічного опису робочого середовища виконано їх порівняння за інформаційними та експлуатаційними характеристиками.

Порівняння показує, що жоден окремий метод не забезпечує повного набору даних, необхідного для динамічного опису оператора. Засоби, які надійно визначають ID, не завжди забезпечують детальне просторове представлення. LiDAR та датчики присутності добре визначають геометричне положення об'єкта, але мають обмеження персональної ідентифікації. Комп'ютерний зір формує найбільш повний опис, проте залежить від умов спостереження.

Тому перспективним є мультимодальний підхід, у якому інформація різної фізичної природи об'єднується в єдиній системі координат.

Актуальність такого підходу підтверджується дослідженнями з fusion LiDAR і depth-камер у людино-роботному середовищі [5]. У загальному вигляді стан оператора можна визначати як:

$$H(t) = F(D_v(t), D_d(t), D_L(t), D_R(t)) \quad (3)$$

де $D_v(t)$ – візуальні дані; $D_d(t)$ – дані глибини; $D_L(t)$ – дані лазерного сканування; $D_R(t)$ – дані радіочастотної ідентифікації; F – процедура комплексної обробки та об'єднання інформації.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів ідентифікації оператора

Метод	ID	Локалізація	Ключова характеристика
Датчики	–	низька	прості; мала інформативність
LiDAR	обмежено	висока	точний простір; складна персональна ID
RGB	висока	середня	інформативна; залежить від освітлення
RGB-D	висока	висока	3D і поза; обмежена зона огляду
Біометрія	висока	низька	персональна ID; вплив ЗІЗ і ракурсу
RFID	висока	низька	простий ID; потрібна мітка
UWB	висока	висока	ID+позиція; потрібен пристрій
Мульти мод.	висока	висока	повний опис; складність fusion

VII. Перехід до динамічного опису робочого середовища

Результати аналізу дозволяють розглядати ідентифікацію оператора як один із рівнів більш загальної задачі – формування динамічного опису навколишнього середовища колаборативного робота. Для цього необхідно не лише визначати $H(t)$, але й відстежувати зміну параметрів у часі, що дає змогу оцінювати напрямки руху, зміну пози, наближення до робота або входження у функціональні зони.

Стан робочого середовища у момент часу t може бути представлений як:

$$E(t) = \{R(t), H(t), O(t), Z(t)\} \quad (4)$$

де $R(t)$ – стан колаборативного робота; $H(t)$ – стан оператора; $O(t)$ – множина інших статичних і динамічних об'єктів; $Z(t)$ – параметри та обмеження робочих зон. На відміну від статичної карти, $E(t)$ повинна безперервно оновлюватися за сенсорними даними та містити оцінку достовірності інформації.

Мультимодальність дозволяє підтримувати опис навіть при тимчасовій втраті одного інформаційного каналу. Наприклад, при перекритті обличчя ідентичність оператора може підтримуватися за траєкторією руху та даними носимого пристрою, а просторове положення уточнюватися за LiDAR або

depth-камерою. Саме така надлишковість створює основу для стійкого динамічного опису середовища.

Для подальшої розробки методів динамічного опису доцільно передбачити дворівневу обробку. На першому рівні кожен сенсорний канал незалежно формує локальні ознаки та оцінку їх достовірності. На другому рівні виконується асоціація даних, їх просторово-часове узгодження та оновлення єдиного стану оператора. Така структура дозволить додавати або замінювати сенсори без повної перебудови моделі, а також визначати, яке джерело інформації має більшу вагу за конкретних умов спостереження.

З позиції побудови моделі навколишнього середовища суттєвим є також розділення параметрів за їх призначенням. Персональний ID необхідний для персоналізації взаємодії та прив'язки до дозволів або ролі оператора; $P(t)$ і $V(t)$ характеризують просторову взаємодію; $Q(t)$ дає змогу визначати положення окремих частин тіла; $A(t)$ може використовуватися для інтерпретації поточної виробничої дії. Таким чином, різні методи ідентифікації не є взаємовиключними, оскільки фактично формують різні компоненти одного опису $H(t)$.

Ще одним критерієм є стійкість до часткової втрати спостереження. У виробничій зоні оператор може перекриватися маніпулятором, оснащенням, деталями або іншими працівниками. За таких умов одноразове розпізнавання є недостатнім. Доцільно використовувати відстеження траєкторії та збереження ідентичності об'єкта між послідовними вимірюваннями. Після відновлення видимості система повинна зіставити нове спостереження з уже наявною траєкторією, а у випадку невизначеності — знизити показник $C(t)$, а не автоматично вважати отриманий результат достовірним.

Для практичного використання динамічного опису важливо враховувати не лише наявність даних, але й їх часові характеристики. Сенсорні канали мають різну частоту оновлення, затримку та точність. Тому безпосереднє об'єднання вимірювань без часової синхронізації може призводити до ситуації, коли координати оператора, його поза та ідентифікатор фактично відповідають різним моментам часу. У системах реального часу це особливо критично під час швидкого наближення людини до робота. Відповідно, модель середовища повинна містити часові мітки сенсорних повідомлень і механізм приведення даних до спільного моменту спостереження.

VIII. Висновки

Проведено аналіз основних методів ідентифікації оператора у робочій зоні колаборативного робота. Показано, що задачу доцільно розглядати комплексно, включаючи виявлення людини, визначення персонального ідентифікатора, просторову локалізацію, оцінювання пози та відстеження зміни параметрів у часі.

Сенсорні та лазерні методи ефективні для визначення присутності й просторового положення, але мають обмежені можливості персональної ідентифікації. Комп'ютерний зір забезпечує найбільшу

інформаційну насиченість, однак залежить від умов спостереження. Радіочастотні засоби дозволяють однозначно пов'язати ID з оператором, проте потребують носимого обладнання та не забезпечують повного опису конфігурації тіла.

Встановлено, що найбільш доцільною основою для подальших досліджень є мультимодальний підхід, який поєднує переваги декількох сенсорних каналів. Отримані результати можуть бути використані для подальшої розробки моделі та методів динамічного опису навколишнього середовища колаборативного робота, де оператор розглядатиметься як динамічний об'єкт з ідентифікаційними, просторовими та поведінковими параметрами.

Перелік посилань

- [1] J. A. Marvel and R. Norcross, "Implementing speed and separation monitoring in collaborative robot workcells," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 44, pp. 144–155, 2017, doi: 10.1016/j.rcim.2016.08.001.
- [2] ISO, "ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.
- [3] Z. Saleem, F. Gustafsson, E. Furey, M. McAfee and S. Huq, "A review of external sensors for human detection in a human robot collaborative environment," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 36, pp. 2255–2279, 2025, doi: 10.1007/s10845-024-02341-2.
- [4] B. Sadrifaridpour and Y. Wang, "Human robot collaboration – using Kinect V2 for ISO/TS 15066 speed and separation monitoring," *Procedia CIRP*, vol. 76, pp. 183–186, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.01.026.
- [5] Z. Wang, P. Li, Q. Zhang, L. Zhu and W. Tian, "A LiDAR-depth camera information fusion method for human robot collaboration environment," *Information Fusion*, vol. 114, art. 102717, 2025, doi: 10.1016/j.inffus.2024.102717.
- [6] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Pashchenko, O., & Kosenko, V. (2026). Development of a model for synchronizing the operation of collaborative robotic manipulators in HRC scenarios. *INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES*, (2(36), 214–226. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2026.2.214>
- [7] Невлюдов, І., Євсєєв, В., Максимова, С., & Теслюк, С. (2026). NUMERICAL SIMULATION OF MOBILE ROBOTIC PLATFORM ROUTE CONSTRUCTION IN DYNAMIC SPACE USING QR TAGS. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, 0(108), 218–235. doi:<https://doi.org/10.32620/oikit.2026.108.17>
- [8] Nevliudov I. Sh., Yevsieiev V. V., Jabrayilzade E. A. Intelligent Motion Planning of a Collaborative Mobile Robot in a Dynamic Environment Based on VFH+ and Semantic Processing of LIDAR and Video Data // *Visnyk of Kherson National Technical University*. 2026. 2(97). P. 295–309.