

МЕТОДИ ДЕТЕКТУВАННЯ ЗІТКНЕНЬ КОЛАБОРАТИВНИМИ РОБОТАМИ

В.В. Запорізький

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки. 14

E-mail: valentin.zaporozkyi@nure.ua

Анотація: В роботі представлено короткий аналіз сучасного стану розвитку засобів детектування колізій, які використовуються для колаборативних роботів. Зокрема розглянуто використання спеціалізованих датчиків (їх типи та принцип роботи), а також різноманітних методів виявлення колізій на основі моніторингу стану робота.

Ключові слова: колаборативні роботи, методи детектування зіткнень, датчики відстані, датчики сили/тиску

Останні роки колаборативні роботи успішно інтегруються у виробничі ланцюжки. Їх відносно низька вартість, універсальність та можливість працювати поруч або, навіть, разом з людьми дозволяють автоматизувати такі операції, які досі було недоцільно або неможливо автоматизувати. Але незважаючи на те, що технологія колаборативних роботів вже є комерційною, вона ще знаходиться у стадії активного розвитку.

Враховуючи особливості застосування (робота поряд з людиною), одним з основних параметрів технології є безпечність її використання. При цьому з ряду всіх методів забезпечення безпеки, варто виділити детектування зіткнення маніпулятора та людини, оскільки саме це можна вважати останнім бар'єром, який захищає людину від травмування.

Та різні методи, які використовуються для детектування зіткнень, можуть накладати значні обмеження, як на впровадження, так і на розвиток технології колаборативних роботів в цілому. Тому важливо знати їх особливості, переваги та недоліки. Саме це і буде розглянуто в даній роботі.

Методи детектування можна умовно розділити на прямі та непрямі. Прямі методи використовують окремі спеціалізовані датчики, які у більшості випадків інтегровані у захисне покриття, яке здатне поглинати частину енергії зіткнення, тим самим знижуючи ймовірність важких травм. Перевагою таких методів є можливість виявлення зіткнення на початкових стадіях, що дозволяє зменшити час реакції. Також подібні методи можуть дати доволі точну інформацію про місце взаємодії та його силу, що може застосовуватися, як додаткова форма взаємодії з роботом. Все це може значно покращити стратегію реакції на зіткнення. Але використання подібних рішень може відчутно вплинути на ціну робота та може вимагати додаткових витрат при експлуатації. Розглянемо їх детальніше

Прямі методи у свою чергу можна розділити на ті, які вимірюють відстань і ті, які вимірюють силу. Для вимірювання відстані використовують індуктивні, оптичні та ємнісні типи вимірювання.

Принцип роботи індуктивних датчиків базується на вимірюванні змін в магнітних полях для виявлення наближення об'єктів, які збурюють згенероване магнітне поле. Близькість може бути визначена, як зміна індуктивності котушки або взаємної індуктивності між кількома котушками, або навіть безпосередньо шляхом вимірювання зміни магнітного поля. Подібні принципи використовуються в роботах [1] та [2]. Головним чутливим елементом є вуглецеві мікродроселі. Використання подібного методу дозволяє виявляти перешкоди на відстані до 150 мм та виготовити сенсорні масиви різних форм та розмірів, щоб підлаштувати під різні маніпулятори. Але точність подібних систем може сильно залежати від матеріалу перешкоди.

В основі роботи оптичних датчиків наближення можуть бути вимірювання інтенсивності відбитого світла, інтервалу часу повернення відбитого світла (TOF) або положення падіння відбитого світла відповідно. Особливу цікавість в даному контексті представляють TOF датчики. Це може бути пов'язано зі зменшенням ціни цього типу датчиків та наявністю

доступних TOF масивів. Зокрема TOF датчики застосовані в роботі [3], з подальшим розвитком технології в роботі [4]. Використання оптичних датчиків відстані дозволяє виконувати доволі точні виміри незалежно від матеріалу перешкоди та на значних відстанях. Але в той же час подібні системи відносно дорогі та вимагають використання оптично прозорих захисних покриттів [3]. Крім того на точність може впливати якість поверхні об'єкта, що детектується.

В основі роботи ємнісних датчиків лежить зміна ємності датчика при потраплянні об'єкта в електричне поле перед поверхнями електродів. Спостереження зміни електричних полів відображають відстань, та певні фізичні властивості (наприклад, тип матеріалів) об'єкта. На основі цього принципу була розроблена штучка шкіра, яка здатна детектувати об'єкти на відстані до 120мм[5]. Постійно оновлюючи еталонну ємність, можна усунути вплив навколишнього середовища, забезпечуючи тим самим стабільні та надійні вимірювання наближення. Переваги та недоліки подібних систем схожі з такими для індуктивних датчиків.

В останні роки значні зусилля були спрямовані на розробку покриттів маніпуляторів, чутливих до сили або тиску, що допомагає знайти точку або зону контакту та виміряти силу взаємодії. Це дає інформацію для оцінки можливих травм в разі ненавмисного зіткнення та вибору оптимальних алгоритмів зменшення травматизму.

Для вимірювання сили використовують величезну кількість типів датчиків, зокрема: п'єзорезистивні, п'єзоелектричні, п'єзоємнісні, трибоелектричні [6]. Незалежно від типу вимірювального елемента масиви датчиків покривають маніпулятор. І хоча вимірювання сили відбувається вже безпосередньо у момент взаємодії датчика з об'єктом, що може підвищити ризик травмування, подібний спосіб детектування зіткнень має і позитивну сторону – він може використовуватися, як додатковий інтерфейс для взаємодії з маніпулятором.

Альтернативою є непряме вимірювання. Найчастіше для цього використовують різноманітні алгоритми оцінки крутного моменту на суглобах маніпулятора використовуючи інформацію від вже наявних датчиків. Розглянемо докладніше деякі з методів.

Чудовий приклад застосування датчика сили/крутного моменту для виявлення зіткнень наведено в [7]. Автори використовують фільтри сигналів струму (CF) для визначення типу зіткнення разом із статистично визначеними порогами для обробленого сигналу моменту. Тоді як у роботі [8] запропоновано метод на основі низькочастотної та смугової фільтрації.

Ще одним варіантом виявлення зіткнень є метод узагальненого спостерігача імпульсу (generalized momentum observer (GMO)), який аналізує зміну імпульсу робота для виявлення зіткнення [9]. Інший метод, заснований на спостереженні імпульсу, можна знайти в [10]. Однак це модельний підхід, який сильно залежить від якості динамічної моделі робота.

Також все частіше використовуються методи штучного інтелекту. Зокрема порівняння класичного динамічного моделювання з моделюванням за допомогою простих штучних нейронних мереж представлено в [11]. Їх проста нейронна мережа (з 14 прихованими нейронами) трохи точніша ніж динамічна модель, але в той же час вимагає добре підготовленого датасета. У статті також представлено метод визначення зіткнення, але на основі більшої нейронної мережі. У цьому випадку крутний момент суглоба можна легко проаналізувати (у будь-якому контексті та без моделі) на предмет будь-яких аномалій [12].

Інший підхід, заснований на використанні нейронних мереж для виявлення колізій, представлений у [13]. Автори представляють просту нейронну мережу з 90 прихованими нейронами, яка може оцінити крутний момент робота лише для одного суглоба (з фіксованою траєкторією). Їхня нейронна мережа прогнозує крутний момент із середньою абсолютною похибкою близько 0,09 Нм, а точність виявлення зіткнення досягає майже 84%.

ВИСНОВКИ. Детектування зіткнень маніпулятора є одним з основних методів забезпечення безпечності колаборативних роботів. При цьому кожен з методів має свої переваги і недоліки. Так використання додаткових сенсорів дає можливість детектувань зіткнення заздалегідь, оцінювати місце та силу зіткнення, що дозволяє вибрати оптимальну

стратегію реакції на нього. Крім того такі методи дають додаткові можливості для використання у колаборативних задачах. Але при цьому вноситься іноді відчутна додаткова вартість та можуть виникати проблеми з масштабуванням. На протипагу використанню додаткових сенсорів, використання непрямого вимірювання не вимагає модернізації апаратури, а відповідно не значно впливає на вартість. Але виникає додаткове обчислювальне навантаження, що може призводити до затримки отримання актуальних даних про зіткнення. Також точність непрямого детектування зіткнень не завжди може бути задовільною.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 H. N. Seung et al., "A highly sensitive dual mode tactile and proximity sensor using Carbon Microcoils for robotic applications", Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., pp. 97-102, 2016.
- 2 T. D. Nguyen et al., "Highly sensitive flexible proximity tactile array sensor by using carbon micro coils", Sens. Actuators A Phys., vol. 266, pp. 166-177, Oct. 2017.
- 3 D. Hughes, J. Lammie and N. Correll, "A robotic skin for collision avoidance and affective touch recognition", IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 3, no. 3, pp. 1386-1393, Jan. 2018.
- 4 S. Tsuji and T. Kohama, "Proximity and contact sensor for human cooperative robot by combining time-of-flight and self-capacitance sensors", IEEE Sensors J., vol. 20, no. 10, pp. 5519-5526, May 2020.
- 5 T. Matsuno, Z. K. Wang, K. Althoefer and S. Hirai, "Adaptive update of reference capacitances in conductive fabric based robotic skin", IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 4, no. 2, pp. 2212-2219, Apr. 2019.
- 6 G. Y. Pang, J. Deng, F. J. H. Wang, J. H. Zhang, Z. B. Pang and G. Yang, "Development of flexible robot skin for safe and natural human-robot collaboration", Micromachines, vol. 9, no. 11, pp. 576, Nov. 2018.
- 7 Mariotti, E.; Magrini, E.; De Luca, A. Admittance Control for Human-Robot Interaction Using an Industrial Robot Equipped with a F/T Sensor. In Proceedings of the 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Montreal, QC, Canada, 20-24 May 2019; pp. 6130-6136.
- 8 Li, Z.; Ye, J.; Wu, H. A virtual sensor for collision detection and distinction with conventional industrial robots. Sensors 2019, 19, 2368
- 9 He, S.; Ye, J.; Li, Z.; Li, S.; Wu, G.; Wu, H. A momentum-based collision detection algorithm for industrial robots. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Zhuhai, China, 6-9 December 2015; pp. 1253-1259.
- 10 Han, L.; Xu, W.; Li, B.; Kang, P. Collision Detection and Coordinated Compliance Control for a Dual-Arm Robot Without Force/Torque Sensing Based on Momentum Observer. IEEE/ASME Trans. Mechatron. 2019, 24, 2261-2272.
- 11 Popov, D.; Klimchik, A.; Mavridis, N. Collision detection, localization & classification for industrial robots with joint torque sensors. In Proceedings of the 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Lisbon, Portugal, 28 August-1 September 2017; pp. 838-843.
- 12 Chen, S.; Luo, M.; He, F. A universal algorithm for sensorless collision detection of robot actuator faults. Adv. Mech. Eng. 2018, 10.
- 13 Sharkawy, A.N.; Koustoumpardis, P.N.; Aspragathos, N. Neural network design for manipulator collision detection based only on the joint position sensors. Robotica 2020, 38, 1737-1755.
14. Невлюдов І. Ш. ВЕАМ робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1

15. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
16. 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>.
17. Al-Sharo, Y., Abu-Jassar, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., Maksymova, S. A Robo-hand prototype design gripping device within the framework of sustainable development, Indian Journal of Engineering, 20 2023 e37ije1673. <https://doi.org/10.54905/disssi.v20i54.e37ije1673>
18. Yevsieiev, V. ., & Gurin, D. . (2023). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BASIC METHODS USED IN INDUSTRY 4.0 AND INDUSTRY 5.0. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (September 29, 2023; Bologna, Italy), 113–115. <https://doi.org/10.36074/logos-29.09.2023.31>
19. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
20. A Small-Sized Robot Prototype Development Using 3D Printing / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, O. Chala // In XXXI International Conference CAD In Machinery Design Implementation and Educational Issues, 26-28 October 2023. – P.12