

Дослідження методів опису динаміки гуманоїдного робота

Ганна Самойленко¹

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

Анотація: проведено аналіз методів опису динаміки гуманоїдного робота. Розглянуто метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа і рівняння Гамільтона, метод Д'Аламбера, метод кінцевих елементів та рівняння Денавіта-Хартенберга та їх особливості.

Ключові слова: правила, Міжнародна конференція, M&MS 2024, динаміка гуманоїдного робота, метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа.

I. ВСТУП

Опис динаміки гуманоїдного робота є складним завданням через велику кількість ступенів свободи, нелінійності та взаємодії сегментів тіла робота. Динамічне моделювання роботів є важливою темою для проектування, моделювання та керування роботами. Існує три основні формулювання для вивчення задачі динаміки, усі вони використовуються в аналізі багатотільних роботів: метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа і рівняння Гамільтона. Окрім цих трьох методів розглянемо також метод Д'Аламбера, метод кінцевих елементів та рівняння Денавіта-Хартенберга.

II. АНАЛІЗ МЕТОДІВ

Метод Лагранжа дає просте представлення системи, що має кілька суглобів, надаючи в кожен момент узагальнені координати всіх частинок, які беруть участь у русі роботизованої системи. Він є енергетичним методом, який не потребує внутрішніх сил для формулювання динамічної моделі. У ньому спочатку розраховують кінетичну та потенціальну енергію механічної системи, а потім виводять рівняння руху за допомогою скалярної функції, яка називається лагранжіаном. Лагранжіан – це різниця між кінетичним і потенціалом механічної системи [1]. Метод Лагранжа використовує рівняння Лагранжа другого роду і є більш теоретично узагальненим. Однак цей метод має певні обмеження. Для складних систем вибір координат для частинок під час руху є складним завданням.

Метод Ньютона-Ейлера заснований на законах Ньютона і Ейлера, які описують рух твердих тіл. Він розглядає робота як систему сегментів (кінцівки, тулуб і голова), пов'язаних шарнірними з'єднаннями. Він формулює динамічну модель на основі балансу сил кожної жорсткої ланки. Він заснований на спостереженні та визначенні швидкостей в одній або кількох заданих точках спостереження. Ці швидкості являють собою швидкості частинок під час руху через точку спостереження в різний час. Таким чином, точки спостереження означають поточне положення частинок у даний момент. Навіть якщо формалізм Ньютона-Ейлера передбачає врахування

більшої кількості параметрів, ніж лагранжевий у випадку систем, що складаються з багатьох твердих тіл, визначення та інверсія операторів інерції не означає високу вартість розрахунку.

Канонічні рівняння Гамільтона виражаються через швидкості та імпульси системи, а можливі обмеження зазвичай накладаються на рівні швидкості, багато джерел вказують на вигідні характеристики гамільтонівського підходу з чисельної точки зору. Метод Гамільтона оснований на перетворенні рівнянь руху через гамільтоніан – функцію, яка визначає загальну енергію системи у термінах кінетичної та потенціальної енергії. Рівняння Гамільтона є парою диференціальних рівнянь, які описують динаміку системи в термінах узагальнених координат і моментів. Гуманоїдні роботи, мають велику кількість ступенів свободи, що означає, що кожен сегмент робота має свою позицію і швидкість. У цьому контексті рівняння Гамільтона можуть бути використані для опису динаміки всіх частин тіла робота. Цей метод вважається більш абстрактним ніж підходи Лагранжа чи Ньютона.

Метод Д'Аламбера базується на механіці Ньютона, розширюючи його закони за допомогою введення поняття інерційних сил. За цим принципом до сил, що діють на систему додаються інерційні сили, що роблять рух еквівалентним рівновазі. Тобто сума зовнішніх та інерційних сил дорівнює нулю (1).

$$\sum F_{\text{зовнішні}} + \sum F_{\text{інерційні}} = 0. \quad (1)$$

Для гуманоїдних роботів метод Д'Аламбера зменшує складність обчислень. Цей метод полягає у розбитті робота на окремі сегменти, що розглядаються як тверді тіла, визначенні інерційних сил (враховуючи масу та прискорення) і запису рівнянь рівноваги для кожного сегмента з подальшим розв'язанням отриманої системи. Цей метод є універсальним через те, що він не залежить складності системи та кількості ступенів свободи та може бути застосований для будь-якого робота. Однак зі збільшенням кількості сегментів та ступенів свободи отримана система рівнянь буде ставати більшою, що ускладнює математичні розрахунки та потребує набагато більше часу. Складність цього методу полягає також у необхідності точних моделей сегментів та їх параметрів, що на практиці може стати великою проблемою.

Метод кінцевих елементів використовується для систем, що складається з робота та деформованої опори або у випадках, коли робот має гнучкі елементи. Цей підхід є менш розповсюдженим опису

повної динаміки робота через свою специфічність. У випадках наявності гнучких частин у гуманоїдного робота цей метод за логікою схожий на метод Д'Аламбера через необхідність розбиття робота на окремі елементи та обчислення їх динаміки окремо один від одного.

Рівняння Денаавіта-Хартенберга використовуються для опису кінематики гуманоїдних роботів. У цьому методі використовуються чотири ДН-параметри, які вважаються стандартним способом опису орієнтації ланок робота відносно одна одної: α – кут між двома осями z , що описує нахил між ланками; a – довжина ланки між осями обертання; d – зміщення вздовж осі z між ланками; θ – кут обертання навколо осі z , що описує обертання суглоба робота. За допомогою цих параметрів описується кожна ланка робота. Не дивлячись на те, що ДН-параметри використовуються у кінематиці, вони є основою для подальшого аналізу динаміки робота та значно спрощує розрахунки складних систем з багатьма ступенями свободи.

III. ВИСНОВКИ

Тож можна зрозуміти, що кожен з розглянутих методів є зручним для окремих завдань, що ставляться перед інженером при моделюванні динаміки гуманоїдного робота. Якщо обирати один метод для цієї мети, то найбільш математично гнучким та точним, а також з можливістю застосування до систем з великою кількістю ступенів свободи, якими і є гуманоїдні роботи є метод Лагранжа. Однак доцільніше використовувати сукупність методів для найбільш отримання найбільш точної динамічної моделі робота.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Naing, S. Y., & Rain, T. (2019, March). Analysis of position and angular velocity of four-legged robot (Mini-Bot) from dynamic model using euler-lagrange method. In 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 1-4). IEEE.
- [2] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>
- [3] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>
- [4] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [5] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [6] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [9] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [10] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevludov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [11] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [12] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [13] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [14] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [15] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevludov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In 2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 39-42). IEEE.
- [16] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [17] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.