УДК 621.865.8
Михайлов Є.П. к.т.н.; Крись М.В. бакалавр
Одеський національний політехнічний університет

ЛОКАЛЬНА НАВІГАЦІЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ОДОМЕТРІЇ

Анотація. *Розглянуті питання використання засобів одометрії для локальної навігації мобільних роботів. Встановлені параметри для визначення маршруту пересування робота з використанням лінійної та колової інтерполяції. Показано, що даний засіб доцільно використовувати разом з іншими засобами локальної навігації для усунення помилки, що виникає у разі використовування засобів одометрії.*
Ключові слова: *автономний мобільний робот, локальна навігація, одометрія, математична модель, експериментальні дослідження.*

Аннотация. *Рассмотрены вопросы использования средств одометрии для локальной навигации мобильных роботов. Установлены параметры для определения маршрута перемещения робота с использованием линейной и круговой интерполяции. Показано, что данный метод целесообразно использовать с другими средствами локальной навигации для устранения ошибки, возникающей при использовании методов одометрии.*
Ключевые слова*: автономный мобильный робот, локальная навигация, одометрия, математическая модель, экспериментальные исследования.*

Zusammenfassung. *Es wurde die Fragen der Verwendung von Odometrieverfahren für die lokale Navigation von mobilen Robotern ausgelegt. Sind die Parameter zur Bestimmung der Route der Bewegung des Roboters mit der Verwendung von linearen und zirkularen Interpolation eingestellt. Es wird gezeigt, dass diese Methode sollte zusammen mit anderen Verfahren der lokale Navigation verwendet werden, um die Fehler, die bei der Verwendung der Odometrieverfahren auftritt, zu beseitigen.*
Schlüsselwörter: *Autonome mobile Roboter, lokale Navigation, Odometrie, mathematisches Modell, experimentelle Forschung.*

Постановка проблеми

Мобільні роботи дають можливість здійснити швидке переобладнання різноманітних виробничих процесів і тому знаходять широке використання для реалізації виробничих та транспортних функцій в гнучких виробничих системах (ГВС) [1]. Використання

мобільних роботів дозволяє здійснити зміну маршруту пересування заготівок, вихідних матеріалів та готової продукції тільки шляхом зміни програми та переналадження засобів навігації, що визначають маршрут пересування та місця здійснення установки та зняття об'єктів у ході виконання технологічних операцій. Важливою проблемою при цьому є вибір таких засобів навігації мобільних роботів, які зменшують витрати під час переобладнання виробничої системи [2-3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасні мобільні роботи використовують різні засоби персональної, локальної та глобальної навігації мобільних роботів [6-12], що засновані на використанні датчиків внутрішньої та зовнішньої інформації. При використанні мобільних роботів у обмеженому просторі, наприклад, на автоматизованих виробництвах або складах можливі різні умови для зміни маршруту пересування. На виробничих ділянках це найчастіше потребується у разі перебудови технологічного процесу, а на складах зміна маршруту залежить від місця зняття та встановлення вантажу, а у разі використання декількох роботів, від наявності перешкоди на маршруті пересування. В останньому випадку потрібні досить прості засоби персональної та локальної навігації, що використовують датчики датчиків внутрішньої інформації для пересування по вказаному маршруту та датчики зовнішньої інформації для визначення пунктів здійснення навантажувальних та розвантажувальних операцій та перешкод. Одним з найпростіших засобів пересування по вказаному маршруту є одометрія, яка заснована на встановленні маршруту пересування робота шляхом визначення переміщення коліс робота [10]. Але основним недоліком цього метода є накопичування помилки під час пересування, тому його доцільно використовувати разом з іншими засобами навігації, які дають можливість корекції цієї помилки.

Постановка мети та задач дослідження

Метою дослідження є створення математичних моделей переміщення мобільних роботів по встановленому маршруту переміщення, що здійснюється за допомогою засобів одометрії. При цьому треба вирішити задачі визначення маршруту переміщення параметрами засобів одометрії для створення відповідної програми керування, визначити помилки відповідності запрограмованого та реального маршрутів пересування, та вибрати додаткові засоби навігації для компенсації відхилення реального маршруту від визначеного.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо використання засобів одометрії на прикладі мобільного робота у вигляді автоматичного вилочного навантажувача, що здійснює переміщення вантажу на складі, зображеному на рис.1.

ISSN 2311-0368 (Print)
ISSN 2409-1049 (Online)

Вантаж, встановлений на палетах, подається за допомогою конвеєра. Автоматичні вилочні навантажувачі переміщують вантаж вздовж стелажу гравітаційного складу та встановлюють його у відповідну комірку. При використанні декількох навантажувачів для запобігання зіткнення встановлені різні шляхи переміщення у різні сторони.

На рис. 2 наведений один з можливих шляхів переміщення навантажувача. Цей шлях складається з переміщення по прямій лінії, розворотів на місці та переміщення по дузі кола.

Для опису траєкторії переміщення робототехнічних пристроїв найчастіше використовуються лінійна та колова інтерполяції, тому розглянемо математичну модель переміщення мобільних роботів по прямій лінії та по дузі кола з урахуванням можливості визначення параметрів для програмного керування на основі засобів одометрії для найбільш поширених типів мобільних роботів, а саме, триколісного робота (трициклу) та робота з диференційним приводом.

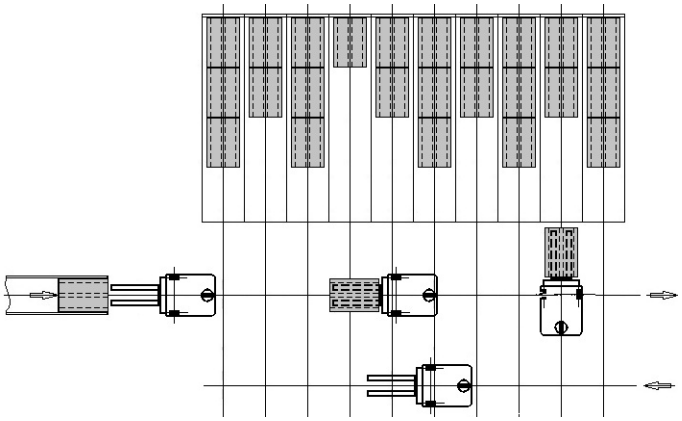

Рис. 1. Переміщення вантажу на складі

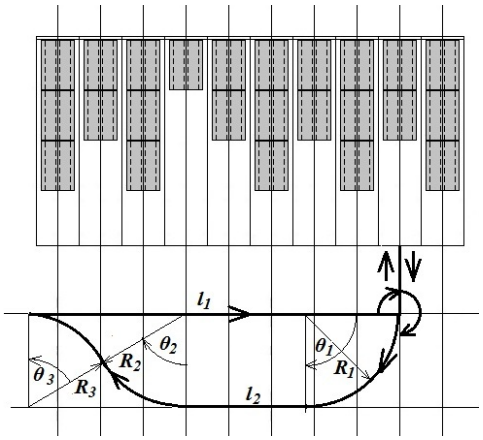

Рис. 2. Можливий шлях переміщення навантажувача

Триколісний робот має два неповоротних опорних колеса та ведуче (приводне) рульове колесо з двома регульованими приводами — один для руху, інший для руління. На рис. 3 показано траєкторію переміщення для триколісного робота, яка складається з переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V.

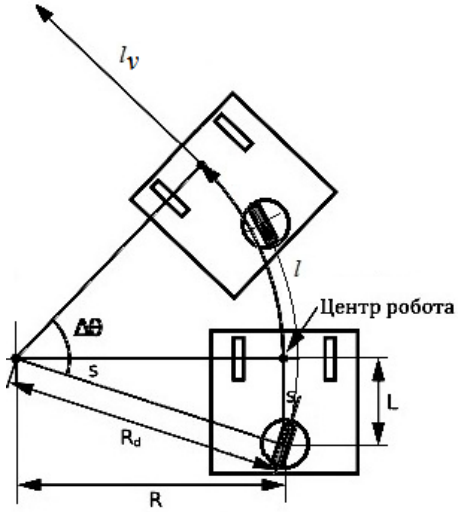

Рис. 3. Визначення траєкторії переміщення для триколісного робота, яка складається з переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V

Для триколісного робота, як було показано в [3], радіус дузі повороту робота R, кут повороту робота $\Delta\theta$, кут повороту ведучого колеса відносно робота s, переміщення ведучого колеса l за час Δt при швидкості переміщення V та відстань між ведучим та опорними колесами L пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{L}{\tan s}, \qquad \Delta\theta = \frac{V\Delta t \sin s}{L} = \frac{l \sin s}{L}. \tag{1}$$

Тому параметрами для програмування переміщення по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ треба задати кут поворот у ведучого колеса s та переміщення ведучого колеса l:

$$s = arctg \frac{L}{R}, \qquad l = \frac{L\,\Delta\theta}{\sin s}. \tag{2}$$

Переміщення по прямій здійснюється, коли рульове колесо знаходиться у тому ж напрямку, як і опорні колеса. Якщо швидкість переміщення робота V, то за час Δt відстань, яка буде пройдена

приводним колесом, дорівнює

$$l_V = V\Delta t. \qquad (3)$$

Робот з диференційним приводом має два мотора, по одному на кожне колесо (рис. 4). Зміна напрямку руху здійснюється за рахунок різних швидкостей коліс. Крім того на траєкторію переміщення впливає відстань між колесами W.

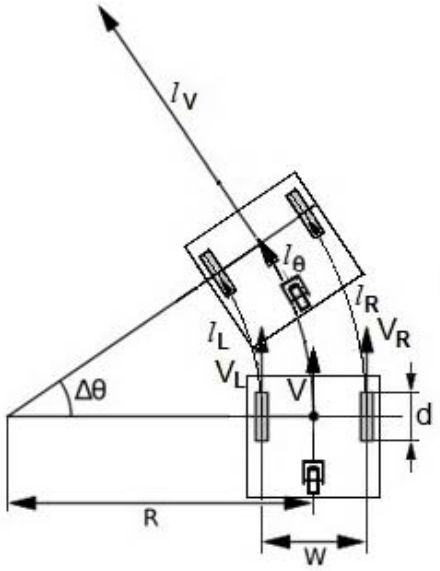

Рис. 4. Визначення траєкторії переміщення для диференційного привода за допомогою переміщення по дузі з заданим радіусом R та кутом повороту $\Delta\theta$, а також лінійного переміщення на відстань l_V

Для диференційного привода, як показано в [4], радіус дузі повороту робота R, кут повороту робота $\Delta\theta$, швидкість переміщення робота V, швидкості переміщення лівого та правого коліс V_L , V_R, переміщення лівого та правого коліс l_L , l_R та відстань між колесами W пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{W(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)}, \qquad \Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)\Delta t}{W}. \qquad (4)$$

Визначимо параметри, що потрібні для програмування переміщення робота з диференційним приводом.

Для переміщення по дузі з радіусом R на кут повороту робота $\Delta\theta$ ці параметри, а також швидкість переміщення робота V, швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані такими залежностями

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{2R + W}{2R - W}, \qquad V = \frac{V_R + V_L}{2}. \tag{5}$$

Для вказаної швидкості переміщення робота V швидкості переміщення коліс V_R та V_L можна визначити як

$$V_R = V + \Delta V, \qquad V_L = V - \Delta V, \tag{6}$$

де

$$\Delta V = \frac{W\,V}{2R}. \tag{7}$$

Шлях, який пройде ліве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_L, = (R - W/2)\,\Delta\theta. \tag{8}$$

Шлях, який пройде праве колесо по дузі з радіусом R та кутом повороту робота $\Delta\theta$ дорівнює

$$l_R, = (R + W/2)\,\Delta\theta. \tag{9}$$

Переміщення по прямій здійснюється, коли колеса переміщуються з одноковою швидкістю, тому відстань, що пройде робот за час Δt при швидкості переміщення V, визначається залежністю (3).

Програмне керування траєкторії переміщення робота можна здійснити шляхом використання приводів, що здійснюють регулювання швидкості та шляху переміщення на основі одометричного датчика.

Оскільки одометричний датчик здійснює вимірювання кута переміщення колеса, то шлях l, що проходить колесо при обертанні на кут φ дорівнює

$$l = d\,\varphi/2, \text{ або } \quad l = \pi d\,\varphi°/360°, \tag{10}$$

де - d діаметр колеса, φ та $\varphi°$ кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Ця формула може бути використана для визначення шляху переміщення ведучого колеса триколісного робота згідно з залежністю (3).

Для переміщення робота з диференційним приводом при переміщенні по дузі використовуються залежності (6) та (7) з встановленням відповідних швидкостей переміщення для правого та

лівого коліс згідно з (5). При переміщенні по прямій лінії на відстань l_V також використовується залежність (3). При цьому $V_L = V_R$.

Виходячи з рівнянь (1-2) для триколісного робота та (7-9) для робота з диференційним приводом можна показати, точність переміщення має приблизно ті значення, що і точність встановлення величин, що визначають параметри переміщення. Так, наприклад, якщо для триколісного робота величини l та s задаються з помилкою 1% (максимальна сумарна помилка 2%), то при повороті на 90° відхилення при подальшому переміщенні по прямій лінії складе 3% від шляху переміщення (наприклад при переміщенні на 10 м відхилення складе 0,3 м). Тому при використанні методів одометрії для встановлення маршруту переміщення треба враховувати ці помилки, а також застосовувати додаткові засоби навігації для їх усунення.

Розглянемо конкретний випадок використання засобів одометрії, як один із компонентів навігаційної системи мобільного робота. Додатково робот оснащений оптичним сенсором, задля коректування траєкторії на визначених точках або ділянках, де важлива точність, та ультрозвуковим сенсором, для запобігання аварії з іншими роботами. Зупинимося на схемі триколісного робота з одним приводним колесом, в такому випадку передні колеса можна розмістити у вилах, тим самим зменшити габаритні розміри робота.

Розглянемо більш детальніше логістичний склад, наведений на рис. 1, переміщення матеріальних потоків на якому відбувається за допомогою мобільних роботів. Вантаж, що встановлюється на палети, переміщується конвеєром на місце завантаження, де мобільний робот, оснащений вилочним механізмом, забирає вантаж, та перевозить його на задане місце складу, після цього робот повертається за наступним вантажем. Задля збільшення пропускної здатності складу доцільно одночасно застосовувати декілька роботів.

Алгоритм руху робота в цьому випадку:

1. Забрати вантаж.
2. Здійснити переміщення до місця вивантаження.
3. За допомогою оптичного сенсора здійснити позиціонування відносно визначеної комірки складу.
4. Розвернутися і встановити палету у комірку.
5. Розвернутися і перейти на шлях повернення до конвеєра.
6. Повернутися до місця загрузки.

Рух до пунктів розвантаження робот здійснює завдяки маршрутослідкуванню на основі оптичних датчиків, що дає необхідну точність (рис. 5).

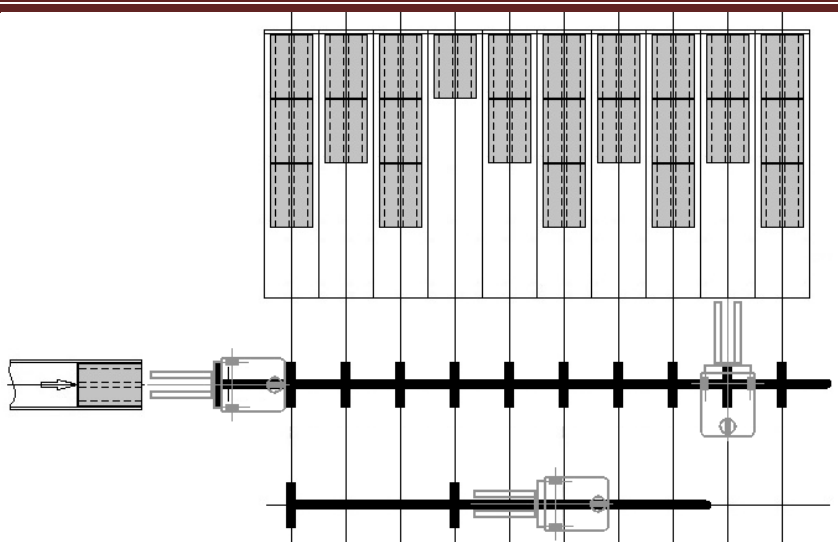

Рис. 5.

А повернення назад робот може здійснювати завдяки засобам одометрії, використовуючи оптичний сенсор тільки в контрольних точках траєкторії. Використовуючи в такому випадку колову інтерполяцію руху, можна зменшити загальну відстань переміщення і тим самим збільшити ефективність.

Важливим є також реагування на перешкоду. Завдяки ультрозвуковому сенсору мобільний робот може виявити об'єкт, що заважає рухові, ним може стати інший робот, залишений вантаж тощо. Оскільки неможливо передбачити де виникне перешкода, зазначити маршрут для об'їзду перешкоди для оптичного сенсора буде неможливо. Використовувати навігацію по часу не доцільно, оскільки по-різному навантажений робот за один і той самий проміжок часу пройде різний шлях. Простий з'їзд з траєкторії до спрацювання оптичного сенсора також не є правильним, оскільки якщо виявиться не одна перешкода (наприклад робот зупинився на шляху і втратив палету) то робот не зможе зорієнтуватися. За допомогою одометрії в цьому випадку можна буде здійснювати переміщення робота, поки він не повернеться на задану траєкторію. (рис. 6).

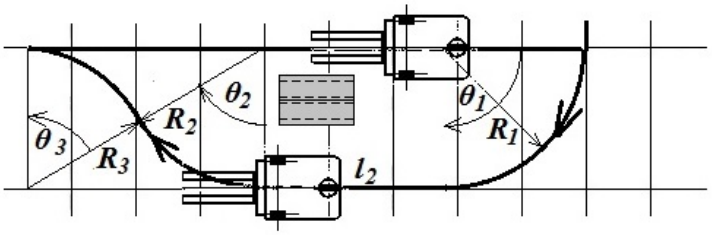

Рис. 6. Об'їзд перешкоди у вигляді робота, що втратив вантаж.

Для перевірки точності даного способу навігації, були проведені експерименти з використанням макетів триколісного робота та робота з диференційним приводом. Отримані результати підтвердили можливість використання засобів одометрії для переміщення по заданому маршруту на окремих ділянках, що дає можливість спростити алгоритм переміщення робота у випадках зміни траєкторії переміщення.

ВИСНОВОК

У роботі розглянуті питання використання засобів одометрії для локальної навігації мобільних роботів. Визначені параметри для встановлення маршрутів пересування з використанням лінійної та колової інтерполяції.

На конкретному прикладі показано, що даний засіб локальної навігації доцільно використовувати разом з іншими засобами локальної навігації для усунення помилки, що накопичується у разі використовування тільки засобів одометрії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каширин Н.А. Проектирование систем ГАП: Учебное пособие. Компьютерная версия. / Н.А.Каширин. — 2-е изд. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — 114 с.

2. Михайлов Е.П. Позиционное управление мобильным роботом /Михайлов Е.П., Короткий И.К., Онуфриенко В.С. // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 13 (89). – с. 27–33.

3. Михайлов Е.П. Позиционное управление тележками мобильных роботов // Подъемно-транспортная техника. – 2015. – № 2 (46). – с. 52–57.

4. Антонов А. Описание движения мобильного робота. // 23 июня, 2014. Робототехника. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://robotosha.ru/robotics/robot-motion.html

5. Мартыненко Ю. Г. Управление движением мобильных колёсных роботов. / Мартыненко Ю. Г. // Фундаментальная и прикладная математика, – 2005. – том 11. – № 8. – с. 29—80.

6. Ермишин К. В. Мультиагентная сенсорная система сервисного мобильного робота / Ермишин К. В., Воротников С. А. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”, - 2012. - с. 50-59.

7. Минин А.А. Определение параметров собственного движения мобильного робота, оснащенного лазерным дальномером //Экстремальная робототехника: Труды Всероссийской научно-технической конференции. – СПб., 2007. – С.205-213.

8. Arulselvi S. Robot Navigation System with RFID and Ultrasonic Sensors. Middle-East Journal of Scientific Research 20 (9): pp.1133-1137, 2014.

9. Hwang K-S., Chen Y-J., Hong H-C. Autonomous Exploring System Based on Ultrasonic Sensory Information, Department of Electrical Engineering National Chung Cheng University Chai-Yi, Taiwan // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 3. Mar. P. 307–331.

10. Chong K.S., Kleeman L. Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, MECSE-1996-6.

11. Bischoff B., Nguyen-Tuong D., Streichert F., Ewert M., Knoll A.. Fusing Vision and Odometry for Accurate Indoor Robot Localization. 2012 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision Guangzhou, China, 5-7th December 2012 (ICARCV 2012).

12. Mobile Robots Navigation, Edited by Alejandra Barrera p. cm. ISBN 978-953-307-076-6 Published by InTech, Olajnica 19/2, 32000 Vukovar, Croatia, First published March 2010, p. 680, Printed in India, A free online edition of this book is available at www.intechopen.com