

2. Karmalita, A.K., Pundyk, S.I., Bartkov, M.S. (2025). Sposib orientovanoi podachi na obrobku ploskykh detalei z riznoiu shorstkistiю poverkhon z prystroiem pereorientatsii [Method of oriented feeding for processing flat parts with different surface roughness with a reorientation device]. Patent UA 160149.

3. Groover, M. P. (2020). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Pearson.

4. Monk, S. (2016). Programming Arduino: Getting Started with Sketches. McGraw-Hill Education.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОПРЕЦИЗІЙНИХ СИСТЕМ ВІЗУАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ У ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ СУЧАСНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Білашов К., Рубанка М., Ковальов Ю.
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

Анотація

У науковій роботі проведено аналіз сучасного стану автоматизації складської інфраструктури, яка в умовах глобальної економічної конкуренції стає важливим напрямом розвитку промислових підприємств. Розглянуто методи навігації автоматизованих керованих транспортних засобів (AGV), що є ключовим елементом оптимізації внутрішніх логістичних процесів. Систематизовано основні типи робототехнічних платформ, серед яких транспортні візки, буксирувальники, автоматизовані палетайзери, роботи-сортувальники та дрони для інвентаризації складських запасів. Особливу увагу приділено переходу від традиційних методів навігації (індуктивних дротів і магнітних стрічок) до сучасних систем технічного зору. Основою дослідження є аналіз трьох технологій візуального позиціонування: PGV (Position Guided Vision), PCV (Position Control Vision) та PXV (Positioning by X Vision). Розглянуто принципи їх роботи, що базуються на використанні CMOS-камер високої роздільної здатності та технології кодування Data Matrix. У роботі визначено особливості застосування кожної технології у різних виробничих умовах. Зокрема, наведено приклади використання системи PGV у маневрених роботах серії AMB для орієнтування за QR-кодами, високоточність системи PCV у важких транспортних платформах з точністю позиціонування до 0,1 мм, а також стійкість системи PXV до промислових забруднень і пошкодження маркування завдяки розширеному вікну зчитування. Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні апаратного складу систем навігації, що включає лідарні сенсори та інтелектуальні контролери обробки даних, а також у оцінці їхнього впливу на ефективність транспортно-логістичних процесів. Встановлено, що впровадження таких систем дозволяє підвищити швидкість транспортно-логістичних операцій, зменшити навантаження на персонал та мінімізувати вплив людського фактору. Отримані результати підтверджують перспективність інтеграції штучного інтелекту з оптичними системами для створення автономних логістичних комплексів.

Ключові слова

Автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV), візуальна навігація, системи технічного зору, технології PGV, PCV, PXV, автоматизація складських процесів, робототехнічні комплекси, позиціонування вантажів, цифровізація виробництва, оптичне розпізнавання кодів, логістична ефективність, автономні мобільні роботи.

PECULIARITIES OF HIGH PRECISION VISUAL NAVIGATION SYSTEMS IN TRANSPORT AND LOGISTICS OPERATIONS OF MODERN ENTERPRISES

Bilashov K., Rubanka M., Kovalov Y.
Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

Abstract

In the scientific work, a comprehensive analysis of the current state of warehouse infrastructure automation is carried out, which in the context of global economic competition is becoming an important priority for industrial enterprises. Innovative navigation methods for automated guided vehicles (AGVs), which play a key

role in optimizing internal logistics processes are described. The paper systematizes the main types of robotic platforms, including transport carts, powerful tuggers, automated palletizers, intelligent sorting robots, and drones used for warehouse inventory operations. Special attention is paid to the transition from traditional navigation approaches, such as inductive wires and magnetic tapes, to modern computer vision systems. The research is based on a technical analysis of three visual positioning technologies: PGV (Position Guided Vision), PCV (Position Control Vision), and PXV (Positioning by X Vision). The principles of their operation are examined, including the use of high-resolution CMOS cameras and Data Matrix coding for precise positioning. The study identifies the advantages of each technology under specific production conditions. In particular, the application of the PGV system in maneuverable AMB series robots for QR-code-based navigation is described, the high positioning accuracy of the PCV system in heavy transport platforms reaching up to 0.1 mm is highlighted, and the PXV system is characterized by high resistance to industrial contamination and partial damage of markings due to an enlarged reading window. The scientific novelty of the research lies in the substantiation of the hardware architecture of navigation systems, including lidar sensors and intelligent data-processing controllers, as well as in assessing their influence on production efficiency. It is shown that the implementation of such systems increases the speed of logistics operations, reduces the physical load on personnel, and minimizes the impact of human factors. The results confirm that the further development of warehouse automation is closely related to the integration of artificial intelligence with optical positioning systems for creating autonomous logistics complexes.

Keywords

Automated guided vehicles (AGV), visual navigation, computer vision systems, PGV, PCV, PXV technologies, warehouse process automation, robotic complexes, cargo positioning, production digitalization, optical code recognition, logistics efficiency, autonomous mobile robots.

Вступ

У сучасних умовах глобальної конкуренції та постійного зростання вимог до швидкості логістичних операцій, автоматизація складської інфраструктури стає безальтернативною стратегією розвитку промислових підприємств. Необхідність обробки значних масивів товарно-матеріальних цінностей за мінімальні проміжки часу зумовлює перехід від традиційних методів сортування та транспортування до використання інтелектуальних автономних платформ. Технології навігації на основі систем технічного зору, таких як PGV (Position Guided Vision), PCV (Position Control Vision) та PXV (Positioning by X Vision), наразі формують фундамент для створення високонадійних логістичних ланцюгів. Їх впровадження дозволяє не лише нівелювати вплив людського фактору, а й радикально підвищити точність позиціонування в динамічному виробничому середовищі. У даному дослідженні розглядаються фундаментальні принципи функціонування зазначеного обладнання та проводиться аналіз технічних параметрів, що визначають ефективність його експлуатації.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є автоматизовані керовані транспортні засоби та їх навігаційні алгоритми у закритих виробничих та складських приміщеннях. Методологія роботи базується на системному аналізі технічних характеристик навігаційних датчиків, порівняльному вивченні способів орієнтування за фізичними та віртуальними маркерами, а також на аналізі експлуатаційної надійності систем технічного зору в умовах реального виробничого шуму та мінливого освітлення.

Постановка завдання

Метою дослідження є детальна систематизація функціональних типів AGV та поглиблений розбір навігаційних технологій для визначення найбільш адаптивних рішень у сфері автоматизації інтралогістики. До основних завдань належить розкриття механізмів роботи систем PGV/PCV/PXV, обґрунтування апаратного складу необхідного обладнання та оцінка соціально-економічного ефекту від впровадження таких навігаційних технологій на складських об'єктах.

Результати та їх обговорення

Ключовим елементом сучасної автоматизації виступають транспортні засоби типу AGV (Automated Guided Vehicle), які забезпечують виконання широкого спектра рутинних операцій. Функціональна диференціація цих засобів дозволяє виділити декілька основних напрямків їх застосування. Перш за все, це роботи-візки, що спеціалізуються на безпосередньому транспортуванні вантажів по території складу. Для переміщення масивних об'єктів використовуються потужні буксирувальники, тоді як операції з укладання товарів на палети покладаються на автоматизовані палетайзери. Більш складні завдання, пов'язані з пакуванням та ідентифікацією предметів за допомогою тривимірних камер, виконують роботи-сортувальники [1]. Окремим інноваційним рішенням є використання дронів, які дозволяють здійснювати оперативну інвентаризацію на верхніх рівнях стележних систем, куди доступ наземних платформ є досить скрутним.

Надійність функціонування зазначених засобів прямо залежить від обраного методу навігації. Аналіз історичного розвитку технологій дозволяє виділити індуктивний метод орієнтування за допомогою дротів, прокладених у підлозі. Ця система базується на фіксації сенсорами AGV електромагнітного поля, що дозволяє транспортному засобу стабільно слідувати за маршрутом. Попри високу надійність на постійних траєкторіях, цей метод характеризується жорсткою прив'язкою до інфраструктури, що унеможливорює швидко переналадку маршрутів та потребує значних витрат на монтажні роботи.

Розвиток методів орієнтування призвів до появи магнітної навігації, де траса формується шляхом наклеювання магнітних стрічок на поверхню підлоги. Такий підхід значно спрощує процес модифікації транспортно-логістичних схем, але стрічки піддаються інтенсивному механічному зносу, що знижує точність зчитування даних у довгостроковій перспективі. Значно прогресивнішим методом є лазерна навігація, яка використовує принцип тріангуляції на основі лазерних міток, розташованих на стінах або стелажах приміщення. Бортові сканери постійно коригують положення AGV, що забезпечує високу точність руху навіть у складних умовах, хоча вартість такого обладнання залишається суттєвим стримуючим фактором.

Найбільш досконалим та інтелектуальним підходом є системи технічного зору, що базуються на алгоритмах штучного інтелекту. Такі системи не потребують встановлення фізичних маркерів, оскільки камери та сенсори формують віртуальну карту середовища в реальному часі [2]. Це забезпечує максимальну гнучкість, дозволяючи транспортним засобам адаптуватися до змін у конфігурації простору та розпізнавати перешкоди. Однак експлуатація таких систем потребує значних обчислювальних ресурсів та ретельного налаштування параметрів освітлення.

Особливу увагу в контексті складської автоматизації слід приділити спеціалізованим технологіям візуального позиціонування. Технології PGV, PCV і PXV є провідними рішеннями для автоматизації складської навігації. Вони використовують передові системи візуального позиціонування для точного визначення місцезнаходження AGV у складських приміщеннях, що дозволяє їм працювати автономно, без необхідності складної фізичної інфраструктури [3].

PGV (Position Guided Vision) — технологія навігації, що використовує оптичні датчики для зчитування маркерів або контрастних ліній на підлозі складу. Камери високої роздільної здатності встановлюються на AGV для зчитування маркерів, що дозволяє транспортному засобу точно визначати своє місцезнаходження. Роботи серії AMB (Auto Mobile Base) від компанії SEER Intelligent часто комплектуються зчитувачами PGV для навігації по QR-кодах або кольорових стрічках. Зчитувач PGV встановлюється в нижній частині корпусу AGV. Він одночасно відстежує кольорову лінію на підлозі та зчитує Data Matrix коди (мітки), що дозволяє роботу точно знати свою позицію, виконувати повороти та точно зупинитися на станціях завантаження [4]. Це найбільш раціональне рішення для вузьких коридорів та складних маршрутів у цехах.

PCV (Position Control Vision) — це вдосконалена система, яка не лише визначає позицію транспортного засобу, але й інтегрує управління рухом, адаптуючись до змін у

робочому середовищі, таких як поява нових перешкод чи змін у маршруті. Хоча PCV часто використовується у підвісних монорейкових системах (Electric Monorail Systems), вона також інтегрується у важкі підлогові транспортні платформи для лінійного переміщення, наприклад моделі виробника Lödige Industries [5]. Система PCV використовує камеру для зчитування безперервної стрічки з Data Matrix кодами, наклеєної вздовж маршруту (до 10 км завдовжки). Це дозволяє AGV (наприклад, буксирувальникам важких вантажів) підтримувати надвисоку лінійну точність позиціонування (до 0,1 мм), що критично для автоматизованих конвеєрних ліній складання автомобілів [6].

PXV (Positioning by X Vision) — найточніша з цих технологій, яка використовує багатоплощинні оптичні системи для навігації AGV в складних умовах. Вона дозволяє досягти максимальної точності навіть при складних маршрутах і умовах експлуатації. PXV — це найсучасніша версія для складних промислових умов, де підлога може бути брудною або пошкодженою. Дана технологія застосовується у великих логістичних роботах та штабелерах, наприклад автономних навантажувачах серії Jungheinrich. На відміну від попередніх версій, PXV має значно збільшене вікно зчитування (приблизно 120x80 мм). Це дозволяє роботу бачити декілька кодів одночасно. Навіть якщо частина маркування на підлозі стерта або закрита брудом, AGV продовжує рух без зупинок [7]. Це рішення обирають для великих складів із високою інтенсивністю руху, де важливою є стійкість до пошкоджень інфраструктури.

Апаратна реалізація передбачає використання камер високої роздільної здатності для зчитування QR-кодів або побудови 3D-зображень, спеціалізованих контролерів для швидкої обробки потоку даних, а також систем безпеки, що включають датчики перешкод та лідарні сканери для тривимірного аналізу простору. Ефективність впровадження таких комплексів підтверджується досвідом провідних світових компаній, зокрема Amazon, де використання робототехніки дозволило багаторазово прискорити обробку замовлень. Крім того, автоматизація нівелює критичне навантаження на персонал, оскільки працівники складів великої площі змушені проходити до 20 кілометрів за зміну, що неминуче призводить до зростання кількості помилок через втому [8]. Використання AGV з прецизійними системами навігації дозволяє практично повністю виключити людський фактор із процесів внутрішнього транспортування.

Висновки

Проведений аналіз свідчить, що вибір оптимальної стратегії навігації AGV є фундаментом успішної автоматизації сучасного складу. У той час як для стабільних маршрутів доцільним залишається використання магнітних або дровових методів, складні динамічні середовища потребують впровадження систем технічного зору та прецизійних технологій PGV, PCV та PXV. Застосування цих рішень забезпечує необхідну адаптивність, високу швидкість операцій та суттєве покращення умов праці персоналу. Подальший розвиток галузі пов'язаний із глибшою інтеграцією штучного інтелекту в системи навігації, що дозволить створити повністю автономні логістичні комплекси з мінімальними експлуатаційними витратами.

Література

1. Ковальов Ю. А. Механізація складських операцій на підприємствах легкої промисловості / Ю. А. Ковальов, М. М. Рубанка, Т. О. Сорокіна // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 4 листопада 2021 року. – Київ : КНУТД, 2021. – С. 94-95.
2. Білашов К. Ю. Аналіз систем навігації AGV та їх роль в автоматизації складів / К. Ю. Білашов, М. М. Рубанка, С. А. Плешко // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції / Київ : КНУТД, 2024. – С. 67-68.

3. Positioning Systems. PGV, PCV, PXV. Official Technical Documentation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_1522.htm (дата звернення 14.03.2026).

4. H. Martínez-Barberá, D. Herrero-Pérez. Autonomous navigation of an automated guided vehicle in industrial environments. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2010, № 4 (Volume 26), P. 296-311.

5. Lödige Industries. Official Company page [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lodige.com/en-us/products/production-logistics/> (дата звернення 14.03.2026).

6. The Pros and Cons of Different AGV Navigation Systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://insights.antdriven.com/agv-navigation-systems-pros-cons> (дата звернення 14.03.2026).

7. Sahu, Manohar & Samal, Padarbinda & Panigrahi, Chinmoy. (2021). Modelling, and control techniques of robotic manipulators: A review. Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 56. P. 2758-2766. DOI:10.1016/j.matpr.2021.10.009

8. О. М. Павлюк, М. О. Медиковський, М. В. Міщук. Надійний штучний інтелект у ситуаційному управлінні керованими робототехнічними платформами промислових підприємств. Математичні машини і системи № 1 - Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. – С. 34-54.

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дорофєєв Ю., Горященко С., Дорофєєв О.
Хмельницький національний університет

Анотація

Враховуючи широке використання гранульованих (дисперсних, сипких, дискретних) матеріалів в різних галузях народного господарства, велике практичне значення має математичне моделювання процесів, що відбуваються в зонах контакту цих матеріалів з елементами машин та конструкцій.

Перед тим, як матеріал почне руйнуватись (перейде в граничний стан), він знаходиться в дограничному стані. Оскільки характерною особливістю гранульованих матеріалів є існування внутрішнього тертя в точках контакту окремих гранул, критерії переходу гранульованих матеріалів у граничний стан для відображення впливу внутрішнього тертя повинні включати в себе відношення дотичних напружень до нормальних або відношення головних напружень.

Експериментальні дослідження підтверджують факт впливу стискуючих нормальних напружень на міцність гранульованих матеріалів. Якщо розглядати міцність як граничний стан деформування, то логічно припуститися, що цей вплив має місце і в дограничній стадії.

В статті звертається увага на те, що на деформацію зміни об'єму даного класу матеріалу крім величини середнього нормального напруження впливають і деформації зсуву. Отже, зв'язок між девіаторами та шаровими тензорами напружень і деформацій дискретних матеріалів можна охарактеризувати більш складною перехресною схемою.

Аналіз результатів проведених досліджень дозволяють зробити висновок, що найважливішою принциповою особливістю деформування гранульованих матеріалів, яку необхідно враховувати при моделюванні, є залежність деформацій зсуву γ_0 не тільки від дотичних напружень τ_0 , але й від стискуючих нормальних напружень σ_0 .

Ключові слова

Гранульовані матеріали, математичне моделювання, внутрішнє тертя, тензор, девіатор.

FEATURES OF DEFORMATION OF GRANULAR MATERIALS

Dorofieiev Yu., Horyashchenko S., Dorofieiev O.
Khmelnitskyi National University

Abstract