

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій,  
автоматизації та мехатроніки (КІТАМ)

**ЗБІРНИК**  
**студентських наукових статей**  
«Автоматизація та приладобудування»  
«Automation and Development of Electronic Devices»  
**ADED-2017**

Рекомендовано рішенням наукової  
методичної ради  
факультету Автоматики і  
комп'ютеризованих технологій (АКТ)  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 8 від 16.03.2017

Харків 2017

## УДК 65.01

Редакційна колегія:

Голова: д.т.н., проф., зав. каф. Невлюдов І.Ш.,  
д.т.н., проф., декан факультету АКТ Филипченко О.І.,  
к.т.н., проф. Косенко В.В.,  
д.т.н., проф. Замірець М.В.,  
д.т.н., проф. Свищ В.М.,  
д.т.н., проф. Палагін В.А.,  
д.т.н., проф. Цимбал О.М.,  
к.т.н., проф. Новоселов С.П.,  
к.т.н., проф. Євсєєв В.В.,  
к.т.н., доц. Пономарьова Г.В.

Відповідальний редактор: к.т.н., доц. Мілютіна С.С

ЗБІРНИК СТУДЕНТСЬКИХ НАУКОВИХ СТАТЕЙ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ» (Випуск 2017):-Харків/ Редкол.: Невлюдов І.Ш.(голова), та інші. Харків: Вид-во Харківського національного університету радіоелектроніки, 2017.- 122с.

COLLECTION OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2017 (Key infrastructure 2017) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics, 2017.- 122 with.

Збірник містить наукові статті студентів кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, які навчаються за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», «бакалавр». Статті надані в авторській редакції.

## ЗМІСТ

А.О. Голуб Способы компенсации похибок акустических рівнемірів .....	5
М.О. Чуть Дослідження методів адаптивного керування інтелектуальною робототехнічною платформою .....	11
И.Л. Кулинич Разработка конструкций пьезоэлектрических преобразователей механоэлектрической энергии .....	16
А.І. Сабрекова Дослідження методів розпізнавання номерних знаків автомобілей .....	20
Д. П. Десенко Дослідження параметрів компонентів мікроелектромеханічних систем .....	24
В. В. Ковальов Розробка системи підтримки прийняття рішень робота MR-999e .....	29
М. В. Потапов Интеллектуальные агенты на производстве .....	33
И.Г.Гладыш Исследование технологии МЕМС электростатического двигателя.....	38
Н.В. Кононенко Интерактивный подход для автоматизированного построения 3D моделей объекта .....	42
С. В. Кошевой Исследование технологий производства деталей на 3D принтерах .....	48
А.С. Лега Разработка автоматизированной системы проектирования по для АСУТП .....	53
Д.О. Курило Дослідження методів розподільного керування групою мобільних роботів на підприємстві .....	57
Д. О. Пучков Моделирование акселерометра в Inventor .....	61
Б. О. Степаненко Аналіз впливу конструктивних параметрів гнучких друкованих плат на їх електричні характеристики .....	65
В. В. Хливецкий Исследование технологии межсоединений гибких и гибко-жестких плат .....	71
Б. А. Цимбал Защита информации в каналах связи робототехнических систем .....	76
Д.В.Горбань Методи оптимального управління автономною мобільною платформою .....	80
М.И. Видешин Конструкторско-технологический анализ актюаторов для MOEMS-переключателей.....	85
А.А. Кушлак Многокритериальное принятие решений для реализации задач автоматизированного проектирования сборочных процессов устройств с модульной структурой .....	91

А.Е. Баксева	
Розробка методу адаптивної фільтрації в підсистемі енергозбереження «розумний будинок» .....	96
Д.Ю. Савельєв	
Розробка методу та засобів автоматичного прогнозування величини витрат електроенергії .....	101
В.В.Ткаченко	
Дослідження методів частотного керування асинхронним двигуном .....	108
С.Р. Поляков	
Автоматизированная компьютерно-интегрированная система комплексного контроля объектов на предприятиях.....	111
М.О. Волкова	
Експериментальні дослідження методів оптимального управління автономною робототехнічною платформою.....	115
Алфавитный список .....	121

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ РОБОТОТЕХНІЧНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

**М.О. Чуть**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: m.chutiha@gmail.com

Транспортні процеси відіграють істотну роль в синхронізації всіх виробничих процесів і процесів матеріального постачання в забезпеченні оптимальних параметрів виробничого циклу. Без принципово нової транспортної техніки і ефективної системи транспортування, що реалізує нову транспортну технологію, неможлива високорозвинена промисловість. В роботі досліджується методика планування маршруту руху адаптивної мобільної платформи в робочому середовищі, що змінюється. Результати дослідження дозволили розробити методику прокладання маршруту руху мобільного транспортного робота, яка може успішно використовуватися в виробничих умовах.

**Ключові слова:** мобільна платформа, транспортні процеси, траєкторія переміщення.

## THE RESEARCH OF METHODS FOR INTELLECTUAL ROBOTIC PLATFORM ADAPTIVE CONTROL

**M. Chut**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: m.chutiha@gmail.com

The transport processes take a significant place in the synchronization of production processes and material supply process to ensure optimal parameters of the production cycle. It's highly impossible to implement a new transport technology industry without the fundamentally new transport technology and efficient transportation system. The method of route planning motion adaptive mobile platform in a working environment that is changing is researched in the paper. The survey results helped to develop the route mobile traffic transport work methodology that can be successfully used in a production environment.

**Key words:** mobile platform, transport processes, displacement trajectory.

В ході сучасного науково-технічного прогресу суспільство вступило в період комплексної автоматизації з яскраво вираженою тенденцією заміни багатьох видів виробничої діяльності людини машинами нового класу.

Ефективним засобом вирішення багатьох завдань комплексної автоматизації є робототехнічні комплекси, що працюють за принципом гнучкої «безлюдної» технології під управлінням електронно-обчислювальної машини.

Істотне розширення функціональних можливостей робототехнічного комплексу (РТК) досягається за рахунок введення в його систему управління елементів штучного інтелекту. Такі РТК можуть автоматично пристосовуватися до непередбачуваних змін виробничої обстановки і умов експлуатації. РТК автоматизують широкий клас технологічних операцій, пов'язаних не тільки з фізичною, але і з розумовою працею. Необхідність в РТК виникає при механічній обробці, зварюванні, фарбуванні, збірці, постійному контролю й багатьох інших операціях. У зв'язку з цим РТК є ефективним засобом комплексної автоматизації [1].

Створення гнучких автоматичних виробничих систем на базі РТК і їх широке впровадження в народне господарство відкриває нові шляхи інтенсифікації та підвищення ефективності виробництва.

Саме включення принципово нової техніки, що дозволяє комп'ютеризувати цілісні технології, в тому числі і допоміжні виробництва і операції, зробить виробничий апарат гнучким і мобільним.

Однією з головних причин, що створює диспропорції між витратами на автоматизацію виробництва і її економічною віддачею є автоматизація тільки основного виробництва. В результаті рівень автоматизації допоміжного праці виявився в три-чотири рази нижчим основного. З цим важливим, але маловивченим питанням пов'язано створення і експлуатація систем з перевезення, проміжного накопичення і складування готових виробів і елементів.

Особливе становище в галузі вивчення транспортних систем займає розробка наукових основ проектування мобільних транспортних роботів і роботизованих транспортних комплексів різного призначення відповідальних технологічним, конструктивним вимогам і структурі управління виробництвом.

Транспортні процеси відіграють істотну роль в синхронізації всіх виробничих процесів і процесів матеріального постачання в забезпеченні оптимальних параметрів виробничого циклу. Саме тому однією з складових частин проблеми вдосконалення виробництва є вдосконалення внутрішньозаводського транспортного і розвантажувально-навантажувального процесу [2]. Цей процес входить в усі фази виробництва, так як пов'язаний з розподілом предметів праці (сировини, матеріалів, напівфабрикатів, готової продукції), включаючи інструмент, оснастку і допоміжні предмети праці (упаковку, пелети, відходи). Без принципово нової транспортної техніки і ефективної системи транспортування, що реалізує нову транспортну технологію, неможлива високорозвинена промисловість, яка характеризується динамічним внутрішньозаводські транспортними зв'язками і динамічним оновленням як технології виробництва, так і асортименту продукції, що випускається [3].

Найбільшого поширення набули колісні транспортні роботи, що володіють великою гнучкістю за рахунок простоти створення нових транспортних шляхів, високої маневреності, можливості оснащення різними робочими пристроями. Тому в даній роботі розглядається цей вид транспортного робота. Ряд запропонованих в роботі розробок успішно можуть використовуватися і для інших видів транспортних роботів.

Як було зазначено вище, однією з переваг автоматизації транспортних засобів є скорочення часу очікування вантажів на робочих місцях і скорочення витрати енергії за рахунок ефективного планування маршрутів руху. Тому в системі управління мобільним транспортним роботом алгоритм прокладки траси займає одне з основних місць, мета якого полягає у формуванні необхідного плану дії по переміщенню робота у зовнішньому середовищі з урахуванням наступних обставин:

- характеру виконуваних роботом завдань;
- наявною інформацією про зовнішнє середовище;
- можливостей пересування робота.

Інформація про середовище може мати різну ступінь: це досить докладний опис зовнішнього середовища або схематична інформація про її стан [4]. У другому випадку робот сам у міру просування до мети повинен уточнювати інформацію про робочому середовищі. У даній роботі розглядається детерміноване середовище з можливістю незначних змін.

Завдання просування до заданої точки є основною при вирішенні різних можливих завдань планування руху мобільного робота на місцевості, будь-яка інша з перерахованих завдань може бути або зведена до неї, або використана в якості допоміжної завдання. При русі до заданої точки ставиться завдання розрахунку маршруту руху.

Метою роботи є розробка та дослідження методики планування маршруту руху адаптивної мобільної платформи в робочому середовищі, що змінюється. Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- вивчення методів, що автоматизують процес побудови найкоротшого маршруту руху, з метою огинання статичних і динамічних перешкод;
- дослідження методів визначення та оцінки стану робочого середовища;
- визначення оптимальних алгоритмів керування мобільною платформою в заданому робочому середовищі.

Подальший розвиток наземної робототехніки пов'язаний з підвищенням автономності мобільної платформи в результаті передачі функцій, які виконуються людиною-оператором, бортовим засобам. Така інтелектуалізація мобільної платформи в детермінованих умовах вимагає рішення бортовими засобами наступних основних завдань [2]:

- зони маневрування;
- визначення поточних координат і орієнтації мобільної платформи;
- формування оперативної (локальної) і тактичної (глобальної) моделей зовнішнього середовища з урахуванням показань бортових датчиків і сенсорів, а також картографічних даних про районі маневрування;
- узгоджене планування траєкторій руху на оперативній і тактичній моделях зовнішнього середовища;
- відпрацювання траєкторій руху.

Аналіз відомих систем управління наземними роботами показав, що в даний час досить добре розроблені і реалізовані принципи побудови систем керування роботами, які прямують по заздалегідь відомим траєкторіям, які визначаються директивними методами. Ці системи можуть передбачати досить складну поведінку роботів:

- перехід з однієї можливої траєкторії на іншу;
- аналіз перешкод місцевості;
- оптимальне групове управління.

В процесі траєкторного управління мобільною платформою реалізуються три групи алгоритмів: прогнозування траєкторії; формування програмою траєкторії керуючої підсистемами приводів; прогнозуючого управління траєкторією руху. Сьогодні ці алгоритми і їх модифікації, що використовують моделі віртуальної реальності, дозволяють вирішити такі завдання адаптивного управління мобільною платформою:

- оптимальне або адаптивне планування маршруту руху мобільної платформи в середовищі з перешкодами і використанням локальної або глобальної інформації;
- моделювання в віртуальному просторі мобільної платформи навколишнього середовища і його поведінки;
- розпізнавання ситуацій і прийняття оптимальних рішень;
- програмування і адаптивна корекція руху мобільної платформи по спланованому маршруту.
- адаптивне управління рухом мобільної платформи.

Метод траєкторного управління передбачає використання поточних значень відхилень від заздалегідь заданої траєкторії. Тут бажана траєкторія руху представляється відрізками гладкої кривої, заданої в неявній формі. Завдання контурного управління полягає в стабілізації робота щодо заданої траєкторії і підтримці необхідної швидкості.

У той же час адаптивність мобільної платформи досягається за рахунок реалізації одного з методів пошуку оптимального маршруту. За рахунок простоти реалізації, швидкості роботи і відомим заздалегідь часом пошуку обраний метод динамічного програмування.

При русі по траєкторії мобільний робот рухається з початковою в кінцеву позицію. Траєкторія переміщення мобільного робота являє собою геометричне місце точок, яке задається рухом точки (в даному випадку, середина між двох коліс) як функція часу в декартовій системі координат. Метою планування траєкторії переміщення мобільного робота є перетворення технічних умов конкретного завдання в бажану траєкторію робота, коли мобільний робот слідує по спланованому шляху відповідно до керуючого впливу.

Траєкторія руху мобільного робота може бути задана як безперервна функція часу або як послідовність дискретних точок. Зазвичай траєкторія визначена в декартовій системі координат і для її реалізації застосовують рівняння зворотної кінематики.

Уявімо розрахункову траєкторію руху мобільної платформи по поверхні в режимі 2D; з урахуванням кінематики можна уявити її у вигляді набору прямих і дуг кіл (рисунок 1).

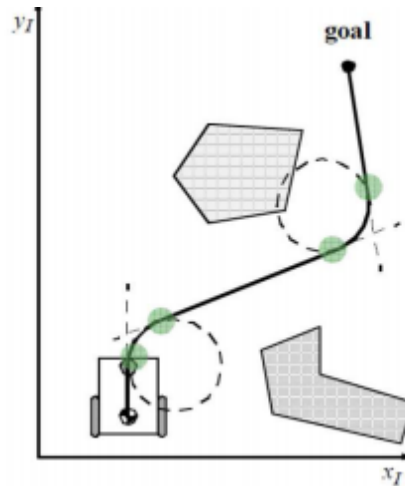


Рисунок 1 - Апроксимація траєкторії руху мобільної платформи

Алгоритми, що працюють за методом оціночної функції, вирішуються за допомогою класичних методів дискретного цілочислового програмування. Суть цих алгоритмів полягає в тому, що в кожному циклі розрахунку збільшень необхідно мінімізувати відповідні цільові функції з невід'ємними коефіцієнтами і змінними. Розглянемо роботу широко вживаного алгоритму лінійної інтерполяції, оскільки він використовується як базовий для вирішення практично всіх траєкторних задач.

Алгоритм лінійної кодової інтерполяції реалізує залежність  $\Delta y_T = \frac{y_K \Delta x_T}{x_K}$ . В алгоритмі використовується оцінна функція виду:

$$F_i = \frac{(x_k \cdot y_i - y_k \cdot x_i)}{H_i} \quad (1)$$

де  $H_i$  – крок інтерполяції в  $i$ -му циклі;  $\Delta x_i$  – координати поточної точки в  $i$ -му циклі;  $\Delta x_T$  і  $\Delta y_T$  – збільшення за координатами, що розраховуються в залежності від заданої швидкості і часу  $T$  (період постійної несучої частоти).

Після визначення переміщення по провідній координаті  $\Delta x_T$  або  $\Delta y_T$  визначається величина початкового кроку  $H_0$ . При заданих початкових умовах величина  $H_0$  є константою. Оскільки кінцеве значення  $F_i \neq 0$ , то щоб уникнути накопичення помилки при обчисленні значення  $\Delta y_T$  запам'ятовується кінцева величина  $F_i$ , отримана в попередньому циклі обчислень, і додається до поточного значення  $F_i$  наступного циклу.

У разі руху по дузі кола процедура обчислень аналогічна. При формуванні оціночної функції використовується рівняння кола і в обчисленнях беруть участь не кінцеві координати точки прямолінійного відрізка, а поточні. Також від знака оціночної функції робиться рух по координаті в сторону, що наближає до лінії дуги окружності. Реалізація алгоритмів на програмному рівні не викликає будь-яких ускладнень і не вимагає великих ресурсів. Швидкість  $V$  руху мобільної платформи по траєкторії визначається частотою видачі інтерполяційних імпульсів, а корекція напрямки руху по траєкторії - формуванням спеціального оператора повороту  $\zeta$  за наступним алгоритмом:

$\zeta = 1$  при  $\Delta X_t = 1$ ,  $\Delta Y_{t+1} = 1$  – для повороту вліво від позитивного напрямку руху;  
 $\zeta = 0$  при  $\Delta X_t = 1$  та  $\Delta X_{t+1} = 1$  або  $\Delta Y_t = 1$  та  $\Delta Y_{t+1} = 1$  – для продовження руху в обраному напрямку;  
 $\zeta = -1$  при  $\Delta Y_t = 1$  и  $\Delta X_{t+1} = 1$  – для повороту вправо від позитивного напрямку руху.

Тут  $\Delta X_t$  та  $\Delta Y_t$  – кроки у напрямку осей в нерухомій (абсолютній) системі координат  $XOY$ , прив'язаної до місцевості, розраховані за алгоритмом інтерполяції.

Планування траєкторії переміщення мобільного робота, що включає вирішення проблеми уникнення зіткнення з перешкодами в його робочій зоні, складається з трьох етапів:

- розробка бажаної траєкторії руху;
- розподіл швидкостей;
- реалізація траєкторії, пов'язана з процесом безперервного вимірювання на кожному кроці переміщення його параметрів з обчисленням динамічних характеристик.

Для отримання інформації про навколишнє середовище запропоновано використовувати систему комп'ютерного зору, що складається з зовнішніх відеокамер, які фіксують зміни в робочому просторі мобільної платформи і відеодатчики, встановлені локально на платформі з метою уникнення зіткнень і негайного реагування на виникнення перешкод.

На підставі перерахованих алгоритмів реалізована програма, призначена для пошуку оптимального маршруту руху мобільної платформи. Дана програма була реалізована і виконана на мові MATLAB в середовищі розробки MatLab 2014a. Дане середовище має потужний пакет вбудованих функцій, який дозволяє швидко робити більшість математичних операцій будь-якої складності. Також дане програмне середовище дозволяє зробити аналіз зображень для подальшого детермінування змін в робочому середовищі за допомогою додаткового пакету Image Processing Toolbox. Для відстеження меж об'єктів використовувалася функція `bwboundaries`, котра повертає координати строчок і стовпців всіх пікселів, які належать границі об'єктів зображень, а для визначення змін у зовнішньому середовищі функція  $Z = \text{imabsdiff}(X, Y)$ , яка віднімає кожен елемент зображення  $Y$  з відповідного елемента зображення  $X$  і поміщає абсолютну різницю цих елементів в результуючий масив  $Z$ . [4].

Результати дослідження дозволили розробити методику прокладання маршруту руху мобільного транспортного робота, яка може успішно використовуватися в виробничих умовах. Дослідження, проведені в даній роботі, присвяченій вирішенню завдань планування траєкторії руху мобільного транспортного робота в складній і простій середовищах, дозволили отримати наукові та практичні результати. Аналіз методів, способів і алгоритмів планування маршруту руху показав, що найбільш надійним методом, який забезпечує знаходження маршруту, близького до найкоротшого, є метод динамічного програмування. Аналіз також показує, що цей метод не позбавлений серйозного недоліку використовуватися тільки при переміщеннях на невеликих робочих полях. У свою чергу, побудова орієнтовних маршрутів руху мобільного транспортного робота дозволяє досягти адаптивності в керуванні переміщення мобільної платформи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Глебов Н.А., Амин Н.М. Управление безкипажными гусеничными машинами и роботами. // Восьмая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления// Материалы 8-ой Всерос. мультиконф., 28 сент. - 3 окт. 2015, с. Дивноморское, Геленджик, Россия. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2015, т. 2. – с. 200-202.
2. Глебов Н.А., Ваколюк А.Я. Управление движением мехатронных комплексов для строительства мини-тоннелей: монография // Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. – 163 с
3. Кобзев А.А., Малышев А.Н., Мишулин Ю.Е., Мишулин Е.Ю. Прогнозирующее

управлением мобильными роботами // Оборонная техника. 2014. № 5 – 6. с. 189 – 192.

4. Атанов А.В. Методы и алгоритмы в задаче восстановления границ объектов по дальнометрическим изображениям // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17. Воронеж. – 2012. – 111с.

5. Невлюдов, И. Ш., Бортникова, В. О., & Евсеев, В. В. (2011). Модели жизненного цикла программного обеспечения при разработке корпоративных информационных систем технологической подготовки производства. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 1(2), 94–101.