



✉ Correspondence author

Yu. V. Opotiak

yurii.v.opotiak@lpnu.ua

Article received 20.10.2023 p.

Article accepted 26.10.2023 p.

UDK 004.94

УДК 004.94

І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк, Ю. В. Опотяк, О. О. Олійник

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГРУПИ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМ

Під час керування групою мобільних робототехнічних платформ виникають специфічні завдання забезпечення оперативного аналізу та урахування змін параметрів функціонування кожної окремої платформи та впливу на неї та групу загалом навколишнього середовища. Необхідно не тільки реалізувати узгоджене управління окремою робототехнічною платформою, але і забезпечувати взаємодію окремих платформ з метою виконання поставленого завдання загалом. Одночасно треба аналізувати навігаційний стан навколишнього середовища, склад і координати платформ у групі, вести облік наявних ресурсів, необхідних для виконання завдання. Групи мобільних робототехнічних платформ можуть бути гомогенними або гетерогенними, що визначає особливості керування ними. Гібридний метод управління, який є поєднанням централізованого та розподіленого, у випадку гетерогенних платформ, що найчастіше трапляється на практиці, можна вважати найадекватнішим. За умов гетерогенності платформ у групі необхідно реалізовувати алгоритми керування з безумовним урахуванням особливостей і характеристик кожної окремої платформи. Для реалізації вказаних завдань удосконалено метод управління рухом групи мобільних робототехнічних платформ, який завдяки врахуванню змінних параметрів платформ та змінного стану навколишнього середовища забезпечує ефективне управління групою платформ у режимі реального часу. Розроблено узагальнену схему процесу управління групою, що забезпечує адаптацію керування групою до змінних умов навколишнього середовища. Розроблено блок-схему алгоритму автономного управління рухом окремої мобільної робототехнічної платформи, який забезпечує ефективне її функціонування з урахуванням змінних характеристик платформи і стану середовища.

Ключові слова: управління групою; групова мета; управління рухом робототехнічної платформи; гібридний метод управління; стан оточуючого середовища; характеристики платформи.

Вступ/Introduction

Актуальність проблеми. Під час групового використання мобільних робототехнічних платформ (МРП) виникає низка складних завдань, пов'язаних з проблемою управління окремими платформами, організацією взаємодії у групі та забезпечення керування групою загалом з метою виконання поставленого завдання. Управління групою МРП полягає у реалізації таких дій окремої МРП, які забезпечували б досягнення загальної групової мети в умовах змінних характеристик навколишнього середовища під дією зовнішніх чинників та змінних параметрів окремих платформ, зміни складу групи під дією різноманітних чинників.

Як правило, окрема МРП має обмеження щодо габаритів, маси, енергоспоживання, вартості тощо. Платформа, як правило, орієнтована на виконання порівняно нескладних операцій, із обмеженими ресурсами. Тому для вирішення складніших завдань найефективнішим є використання груп МРП, що забезпечує збільшення радіуса дії внаслідок розосередження МРП, розширення доступних функцій для виконання завдання загалом та зростання ймовірності вирішення поставленого завдання за рахунок перерозподілу цілей між окремими платформами.

Отже, необхідно не тільки реалізувати узгоджене управління окремою МРП, але і забезпечувати взає-

модію окремих платформ з метою виконання поставленого завдання загалом. Крім того, виконуючи завдання, одночасно потрібно неперервно аналізувати навігаційний стан навколишнього середовища, склад і координати МРП у групі, вести облік наявних ресурсів, необхідних для виконання завдання.

Групи мобільних робототехнічних платформ можуть бути гомогенними або гетерогенними, що визначає особливості керування ними. Проте за умов гетерогенності платформ у групі слід реалізовувати алгоритми керування з безумовним урахуванням особливостей і характеристик кожної окремої платформи. Гібридний метод управління, який є поєднанням централізованого та розподіленого методів для гетерогенних платформ, найпоширеніших на практиці, можна вважати найадекватнішим.

Отже, для реалізації вказаних завдань необхідне удосконалення методів управління рухом групи МРП, розроблення алгоритмів для забезпечення автономного управління рухом МРП у межах виконання завдання групою.

Об'єкт дослідження – процеси управління групою МРП в умовах змінного навколишнього середовища та стану окремих платформ.

Предмет дослідження – методи, алгоритми і засоби опрацювання даних, формування команд управління та схема процесу управління групою МРП.

Мета дослідження – удосконалення методу управління рухом групи мобільних робототехнічних платформ, узагальненої схеми процесу управління групою МРП та на їх основі алгоритму автономного управління рухом окремої МРП.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання дослідження:

- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- аналіз та вибір методу управління групою МРП;
- розроблення узагальненої схеми управління групою мобільних робототехнічних платформ;
- розроблення блок-схеми алгоритму автономного управління рухом окремої МРП та уможливлення зовнішніх та внутрішніх факторів.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано: сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації; методи та засоби проєктування апаратних і програмних засобів для МРП.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання управління рухом мобільних робототехнічних платформ та їх груп постійно у центрі уваги дослідників. Опубліковано низку робіт з тематики побудови та аналізу функціонування систем управління груп МРП. Зокрема у [1, 2] розглянуто проблеми групового керування в умовах обмежень, що означає формування цілісної системи руху під час руху групи. Аналіз робіт [3], [4], [5], [6] демонструє зосередженість дослідників на удосконаленні та перевірці навігаційних алгоритмів для систем керування робототехнічними платформами з різними кінематичними схемами. Одним з найважливіших напрямів досліджень є розроблення алгоритмів інтелектуального групового керування та відстеження шляху для групи мобільних роботів [7] із використанням нечіткої моделі для керування швидкістю, рухом і груповою поведінкою робота. Нечітка модель, описана у дослідженні, використовує дві моделі поведінки: слідування шляху та групову співпрацю. Коли роботи рухаються окремими заздалегідь визначеними шляхами, розроблений алгоритм регулює їхні швидкості так, щоб група прибула до цільових точок за однаковий проміжок часу, незалежно від довжини кожного окремого шляху. Нечіткі правила, що застосовуються у керуванні роботами, визначаються кінематичними обмеженнями, які обмежені як лінійною, так і кутовою швидкостями, а також довжиною та кривизною окремих шляхів. У праці [8] автори описують керуючу платформу з декількома роботами для перевірки ефективності розподіленого алгоритму керування зі стримуванням і груповою поведінкою. Алгоритм розподіленого керування адаптований для групи агентів, представлених динамікою подвійного інтегратора, що змушує агентів-“послідовників” формувати групу, якою керує інша група агентів-“лідерів”, гарантуючи уникнення зіткнень під час руху. У [9] виконано дослідження групи роботів, що має багато переваг над окремим роботом у певних місіях, таких як зменшення складності, наявність резервування та можливості ре-

конфігурації. Автори наголошують, що функції кожного робота не обов'язково мають бути повними, оскільки кожен робот може зосередитися на певному завданні. Тому в деяких випадках кілька роботів, які працюють разом для виконання певної місії, реалізувати легше і порівняно дешевше, ніж один робот. Наявність групи роботів дає змогу користувачеві керувати всією групою без необхідності вказувати команди для кожного робота. Запропоновано кілька підходів для вирішення проблеми контролю формування: підхід, оснований на поведінці, підхід лідера-послідовника та підхід віртуальної структури. Запропоновано розподілений підхід, одним із найпопулярніших алгоритмів його реалізації є консенсусний алгоритм. В багатоагентній системі, в якій кожен агент діє локально, дотримуючись простих правил, може виникнути розумна колективна поведінка, невідома кожному агенту. Оснований на цій ідеї алгоритм консенсусу спрямовує стан кожного агента до згоди щодо певного значення. У [10] розроблено розподілений метод керування формуванням наземних мобільних роботів за допомогою підходу на основі рівнянь у частинних похідних. У схемі керування кожен робот-послідовник має лише отримати власну позицію та відносну позицію щодо своїх сусідів, що зменшує вартість послідовників. Аналіз робіт [11], [12], [13], [14] показує, що для реалізації системи управління групою мобільних роботів, яка враховує зміни навколишнього середовища, використовуються нечітка логіка та нейронні мережі. У працях [15], [16], [17] автори детально досліджують застосування засобів нечіткої логіки у системах керування. Зокрема, у статті [15] запропоновано інтелектуальну систему керування, що використовує теорію управління, нечітку логіку та набір датчиків, щоб вирішити проблеми стабілізації та керування положенням робота в режимі реального часу. Автори роботи [18] на основі програмного забезпечення SolidWorks описують системну модель шестиколісного робота. Для того, щоб вирішити завдання керування формуванням групи роботів, розроблено регулятор на основі теореми Ляпунова та регулятор на основі Рід-керування з використанням алгоритму слідування за лідером. Оскільки система з кількома роботами повинна адаптуватися до різних середовищ, різні формації вибирають, встановлюючи пріоритет для підвищення адаптивності групи роботів до середовища. У [19] описано хмарну технологію, що дає змогу декільком роботам ділитися ресурсами та співпрацювати один з одним гнучкіше. Запропоновано нову платформу керування хмарними роботами під назвою IARcloud, яка має значні переваги у вирішенні проблеми спільного керування гетерогенними роботами та їхніми допоміжними пристроями, зменшуючи труднощі програмування хмарних робототехнічних систем керування, пришвидшуючи розроблення та розгортання циклу застосування. Праці [20–24] зосереджені на питаннях безпеки функціонування груп мобільних роботів, зокрема за допомогою конфігурації “лідер-послідовник” та реалізується схема відстеження з уникненням перешкод для систем із групами роботів. У [21] використовується передбачення місцезнаходження робота на короткий час унаслідок втрати інформації про розташування та положення робота. Облік “мертвих зон” підвищує ефективність локалізації та

робить оцінювання розташування послідовнішим та надійнішим. У статті [24] розроблено стратегію контролю для відстеження поширення зони затоплення за допомогою групи безпілотних літальних апаратів. Стратегія контролю полягає у тому, щоб усереднено розподілити групу БПЛА вздовж розширюваної межі зони затоплення без зіткнень між собою. Запропоновано комбінований алгоритм керування для вирішення проблем управління та відстеження на основі адаптивного зору.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Вибір методу управління групою МРП. Сукупність мобільних робототехнічних платформ (МРП), об'єднаних спільною цільовою задачею, називають групою. Групи МРП поділено на два типи: однорідні (гомогенні), із однаковою конструкцією, однаковими функціональними можливостями та призначеними для виконання однакових завдань, і неоднорідні (гетерогенні), які мають різну конструкцію, різні функціональні можливості та призначені для виконання різних задач.

У разі групового використання МРП виникає низка складних та специфічних завдань, пов'язаних з проблемою управління групою загалом, організацією колективної взаємодії МРП та управління окремою МРП з урахуванням завдань групи. Управління групою МРП полягає у знаходженні та реалізації таких дій кожної окремої МРП, які забезпечували б досягнення загальної групової мети. Під час групового управління МРП найчастіше використовують такі методи: централізований, розподілений та гібридний.

Метод централізованого управління передбачає, що всі МРП контролюються однією головною МРП або командним центром. У разі такого управління головна МРП₂ приймає рішення щодо розподілу завдань та надсилає команди до кожної МРП. Цей метод забезпечує централізований контроль та координацію, але він вразливий до відмови системи керування головної МРП₂.

Метод розподіленого управління передбачає, що кожна МРП може приймати власні рішення щодо руху і виконання завдань. У разі розподіленого управління всі МРП обмінюються інформацією про свої дії та спілкуються між собою для досягнення спільної мети. Цей підхід забезпечує більшу гнучкість та надійність, оскільки незалежні платформи можуть продовжувати працювати навіть у випадку відмови деяких з них.

Вибір методу управління групою МРП значною мірою залежить від середовища, яке може бути детермінованим або недетермінованим і динамічно змінюватись. У випадку детермінованого середовища кожна МРП виконує наперед визначену послідовність дій, а за недетермінованого середовища цю послідовність повинна знайти система групового управління з урахуванням динаміки змін і поставленої мети. Тому для управління групою МРП вибрано метод гібридного управління, який є поєднанням централізованого та розподіленого управління, коли кожна МРП має свою систему управління та існує централізований контроль роботи групи МРП. Структуру гібридного управління групою МРП наведено на рис. 1.

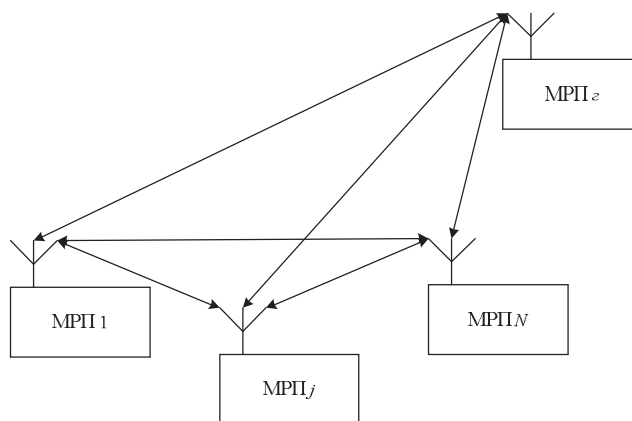


Рис. 1. Структура гібридного управління групою МРП /
The structure of the hybrid control of the MRP group

Гібридне управління групою МРП об'єднує переваги обох підходів і забезпечує баланс між централізованим і розподіленим управлінням.

Коли група МРП виконує складні завдання, необхідно враховувати можливість втрати у ході виконання завдання окремих МРП і те, що кожна окрема МРП може реалізувати порівняно нескладні операції, які визначаються її характеристиками (радіусом дії, енергоресурсом, набором виконавчих пристроїв).

Основними вимогами, які ставлять до гібридного управління групою МРП, є забезпечення:

- ефективного управління групою МРП у режимі реального часу;
- реагування на зміни умов роботи і навколишнього середовища;
- реалізації різних сценаріїв досягнення спільної мети та виконання спільного завдання;
- масштабування кількості МРП, якими необхідно управляти у групі;
- підвищення точності управління рухом кожної МРП у групі.

Узагальнена схема управління групою мобільних робототехнічних платформ. Завдання управління групою МРП зводиться до досягнення спільної мети та виконання спільного завдання. Суть завдання групового керування зводиться до пошуку та реалізації таких дій для кожної МРП, які приведуть до досягнення спільної групової мети. Такої мети досягають за допомогою координації, що зводиться до розроблення алгоритмів та стратегій, які дають змогу МРП спілкуватися та співпрацювати між собою. Вказана співпраця передбачає обмін інформацією, взаємодію, планування маршрутів, уникнення зіткнень і розподіл ролей. Для розв'язання цих задач повинна бути синтезована система управління групою МРП.

Узагальнену схему управління групою МРП наведено на рис. 2, де $S(t)$ – вектор-функція, яка описує стан групи МРП у середовищі E у момент часу t ; $A(t)$ – вектор управління для групи МРП у момент часу t ; $E(t)$ – вектор-функція стану середовища у момент часу t ; P – група МРП; m – кількість МРП у групі; $j = 1, \dots, m$.

Для реалізації узагальненої схеми процесу управління групою МРП на основі інформації про групуову мету, стан групи P МРП і середовища E формується вектор управління $A(t)$, який задає команди для кожної МРП. Виконання команд вектора управління $A(t)$

цілеспрямовано змінює як стан групи P МРП, так і стан середовища E , що відображається у зміні вектор-функції $S(t)$. Внаслідок такого управління досягається групова мета, завдяки чому система “група P МРП – середовище E ” переходить із початкового (вихідного) стану в кінцевий (цільовий) стан.

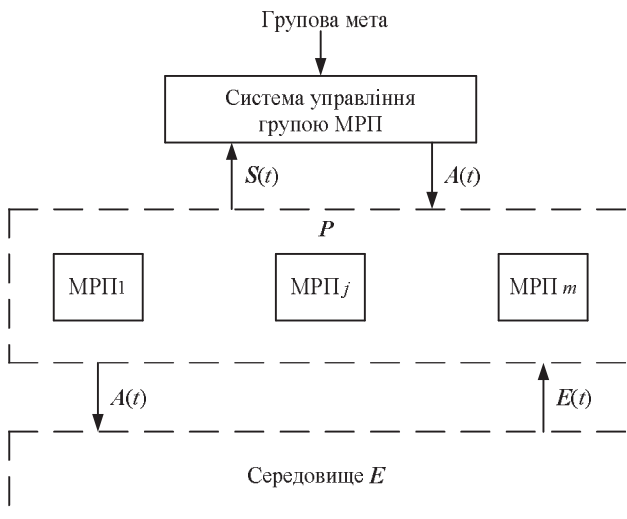


Рис. 2. Узагальнена схема процесу управління групою МРП / Generalized scheme of the MRP group control

Під час управління групою P МРП необхідно враховувати їх стан і стан середовища E . Стан кожної МРП P_j у момент часу t описується такою вектор-функцією:

$$P_j(t) = [r_{1j}(t), r_{2j}(t), \dots, r_{kj}(t)]^T, \quad (1)$$

де $r_{ij}(t)$ – параметри стану j -ї МРП (координати, заряд акумулятора, швидкість, курсовий кут), $i = 1, \dots, k$.

Стан групи МРП P задається вектор-функцією:

$$P(t) = \{P_1(t), P_2(t), \dots, P_m(t)\}. \quad (2)$$

Стан середовища для j -ї МРП у момент часу t описується вектор-функцією:

$$E_j(t) = [e_{1j}(t), e_{2j}(t), \dots, e_{hj}(t)]^T, \quad (3)$$

де $e_{qj}(t)$ – параметри стану середовища навколо j -ї МРП (навігаційний стан, координати перешкод, координати цілей), $q = 1, \dots, h$.

Навігаційний стан навколишнього середовища МРП у момент часу t визначається низкою параметрів:

- позицією МРП (координатами глобальної системи позиціонування (GPS) або локальних сіток координат);
- орієнтацією МРП щодо просторових осей;
- швидкістю руху МРП відносно статичної точки або відносно іншого об'єкта;
- лінійне прискорення МРП і кутове прискорення;
- відстань до об'єктів і перешкод, які оточують МРП;
- стан дороги та тип поверхні руху МРП (рівний, нерівний, ґрунтовий, покритий снігом або льодом);
- ландшафтні особливості (сходи, схили, різні рівні поверхні) навколишнього середовища;
- пройдений та запланований маршрут руху МРП.

Визначають навігаційний стан навколишнього середовища МРП, використовуючи навігаційні давачі, за допомогою алгоритмів оброблення даних. Основні навігаційні давачі використовують різні технології:

- глобальну систему позиціонування (GPS): GPS давач визначає географічні координати місцезнаходження на основі сигналів від супутників. Забезпечує інформацію про широту, довготу і висоту;
- інерціальні вимірювальні пристрої (ІВП): ІВП складаються із акселерометрів, гіроскопів і магнітних давачів. Вони вимірюють прискорення, обертання та магнітне поле навколо МРП. За допомогою оброблення даних з цих давачів можна визначити орієнтацію та просторове розташування платформи;
- лазерні віддалеміри: (наприклад, LIDAR) використовуються для вимірювання відстаней до об'єктів у навколишньому середовищі. Вони надають точну інформацію про відстань та 3D-просторову структуру розташування об'єктів відносно платформи;
- відеокамери: відеокамери на різні діапазони довжин хвиль використовують для захоплення зображень навколишнього середовища. Зображення використовують для розпізнавання об'єктів, визначення перешкод, просторового розташування платформи та побудови карт;
- ультразвукові давачі: вимірюють відстань до об'єктів за допомогою височастотних звукових хвиль. Використовуються для виявлення перешкод неподалік платформи;
- радіочастотні давачі: вимірюють відстань до об'єктів за допомогою радіохвиль. Використовуються для виявлення перешкод, визначення відносної швидкості пересування платформи тощо.

Для групи P МРП стан навколишнього середовища в момент часу t описується такою вектор-функцією:

$$E(t) = \{E_1(t), E_2(t), \dots, E_m(t)\}. \quad (4)$$

Навколишнє середовище $E(t)$ та група МРП P взаємодіють між собою і утворюють систему “група МРП – середовище”. Стан такої системи у момент часу t описується як:

$$S_c(t) = \{P(t), E(t)\}. \quad (5)$$

Стан системи “група МРП – середовище”, який зафіксований у поточний момент часу t , є поточним.

Для управління j -ю МРП P_j використовується вектор-функція, яка записується формулою:

$$A_j(t) = [a_{1j}(t), a_{2j}(t), \dots, a_{hj}(t)]^T, \quad (6)$$

де a_{qj} – q -та операція (дія), яку виконує j -та МРП. У результаті операцій $A_j(t)$ змінюється як стан $P_j(t)$, так і стан середовища $E_j(t)$.

У випадку стаціонарного середовища зміни у системі “група МРП – середовище” здійснюються тільки за рахунок зміни стану самих МРП. У стаціонарному середовищі стан системи “група МРП – середовище” у момент часу t описується так:

$$S_c(t) = \{P(t), f_p A(t)\}. \quad (7)$$

Для нестаціонарного середовища, стан якого змінюється як через дії МРП, так і внаслідок впливу інших

сил $g(t)$, наявних у середовищі, стан такого середовища в момент часу t описується формулою:

$$E(t) = f_e[A(t), g(t)]. \quad (8)$$

Управління групою МРП зводиться до визначення послідовності дій (вектор-функцій A_j) для кожної МРП. Множина дій, які може виконувати j -та МРП (P_j) відображається елементом n -вимірному підпростору дій $\{A\}_j$. Глобальну множину дій, які може виконувати група МРП (P), отримують, об'єднуючи множини дій окремих МРП (P_j) згідно з формулою:

$$\{A_c\} = \{A\}_1 \{A\}_2 \dots \{A\}_m. \quad (9)$$

Вказана глобальна множина дій (9) є груповим управлінням та забезпечує досягнення групової мети. Одна із основних вимог до системи управління групою МРП, які працюють у мовах динамічних недетермінованих середовищ – забезпечення режиму реального часу.

Удосконалення методу управління рухом групи МРП. Основними етапами методу управління рухом групи МРП є: планування маршруту, локалізація, планування траєкторії, реалізація пересування платформи, моніторинг та корекція.

На етапі планування визначають маршрут, який має пройти група МРП. Цей етап передбачає вибір точок старту і фінішу, а також всіх проміжних точок, які МРП повинні пройти. Також необхідно врахувати обмеження – перешкоди або зони забороненого доступу.

Етап локалізації полягає у визначенні поточного місцезнаходження МРП. Для цього використовують комплексне поєднання технологій – GPS, лазерну локалізацію, комп'ютерний зір, аналіз та розпізнавання зображень тощо.

На етапі планування траєкторії на основі інформації про маршрут і поточне місцезнаходження МРП розраховують траєкторія руху для кожної МРП. Цей процес передбачає вибір оптимальних шляхів об'їзду відомих перешкод та пересування до цілі.

Етап пересування платформи МРП полягає у виконанні команд на переміщення та забезпечує управління швидкістю, напрямком та іншими параметрами фізичного пересування МРП по маршруту.

Етап моніторингу та корекції реалізує постійний моніторинг пересування МРП, змін зовнішнього оточення, виявлення перешкод тощо. Якщо з'являються перешкоди або виникають інші непередбачувані ситуації, МРП коригують свою траєкторію для уникнення аварій і забезпечення безпеки пересування.

Запропоновано удосконалити метод управління рухом МРП на важливих етапах пересування платформи, моніторингу та корекції. Удосконалення методу пересування платформи МРП полягає у виконанні додаткових кроків:

- перший – визначення координат цілі доїзду;
- другий – збирання даних з навігаційних давачів про навколишнє середовище МРП;
- третій – одержання даних з внутрішніх давачів про параметри самої МРП;
- четвертий – формування операцій (сигналів) управління виконавчими механізмами в системі управління рухом МРП для пересування до поставленої цілі;
- п'ятий – визначення значень параметрів сигналів керування виконавчими механізмами

МРП, які забезпечують виконання завдань, поставлених на попередньому кроці;

- шостий – визначення допустимих значень параметрів сигналів керування МРП, залежно від значень характеристик зовнішнього середовища та значень характеристик самої МРП;
- сьомий – коригування значень параметрів сигналів керування відповідно до зміни характеристик зовнішнього середовища;
- повторення кроків 2–7, поки не буде досягнута ціль або буде визначено, що її неможливо досягти.

Мета вдосконалення методу управління рухом МРП – урахування стану зовнішнього середовища, значень характеристик самої МРП, що забезпечує автономність функціонування і підвищення ефективності руху платформи. Для реалізації вдосконаленого методу управління рухом групи МРП розроблено блок-схему алгоритму автономного управління рухом МРП, наведено на рис. 3.

Особливістю розробленого алгоритму автономного управління рухом МРП є можливість коригувати значення параметрів управління рухом МРП залежно від значень характеристик самої МРП і параметрів навколишнього середовища. Інформація щодо характеристик МРП надходить від оператора через управляючий комп'ютер або з внутрішніх давачів МРП.

Обговорення результатів дослідження. Під час керування групою МРП, яка виконує складні завдання, необхідно оперативно враховувати змінні параметри кожної окремої платформи та характеристики зовнішнього середовища. Для цього необхідно забезпечити узгоджене управління окремою МРП, реалізувати взаємодію окремих МРП для виконання поставленого завдання для групи, аналізувати навігаційний стан зовнішнього середовища, облік доступних ресурсів тощо. Такий перелік завдань потребує удосконалення методів управління рухом групи МРП для забезпечення урахування зміни характеристик платформ та умов навколишнього середовища. Крім того, алгоритми автономного управління рухом МРП повинні забезпечувати ефективне функціонування кожної окремої платформи у групі з урахуванням змінних характеристик і параметрів як власне платформи, так і стану середовища.

Групи МРП можуть бути гомогенними або гетерогенними, що визначає особливості керування ними. Крім того, під час групового керування МРП слід враховувати і розв'язувати специфічні задачі управління групою загалом, організації взаємодії платформ та забезпечення управління окремою МРП як з урахуванням її можливостей та характеристик, так і беручи до уваги завдання групи загалом.

Для реалізації групового управління МРП у цьому випадку використовують централізовані, розподілені та гібридні методи. Гібридний метод управління, який є поєднанням централізованого та розподіленого, для гетерогенних платформ, найпоширеніших на практиці, вважаємо найадекватнішим. За такої реалізації кожна МРП має свою систему управління, але існує обов'язковий централізований контроль за функціонуванням вказаної групи МРП. Однак за умов гетерогенності платформ у групі необхідно реалізовувати алгоритми

керування з безумовним урахуванням особливостей і характеристик кожної окремої платформи.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено метод управління рухом групи

мобільних робототехнічних платформ, який завдяки врахуванню змінних параметрів платформ та змінного стану навколишнього середовища забезпечує ефективне управління групою МРП у режимі реального часу.

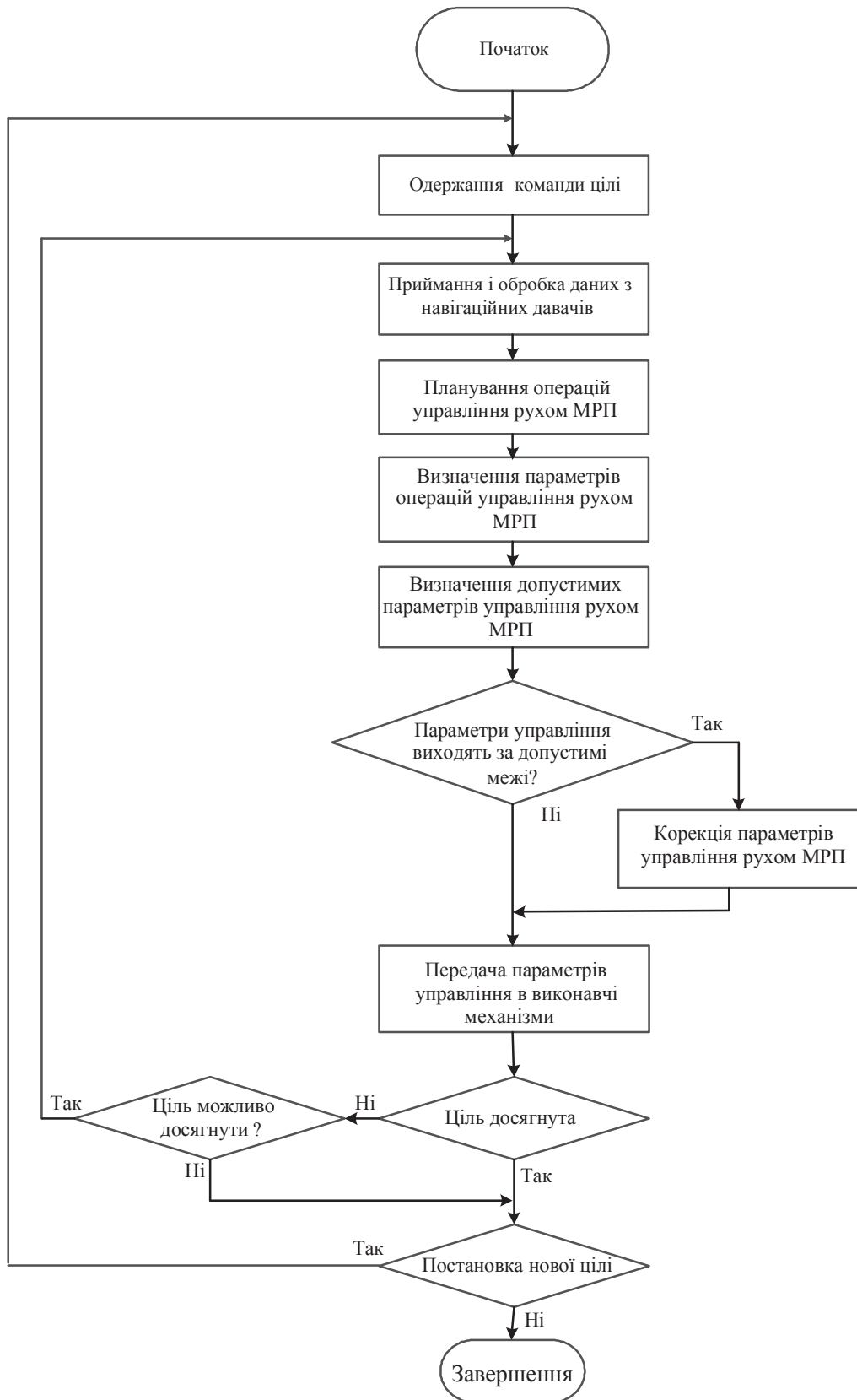


Рис. 3. Блок-схема алгоритму автономного управління рухом МРП / Block diagram of the autonomous control algorithm of the MRP movement

Практична значущість результатів дослідження – розроблено узагальнену схему процесу управління групою МРП, що забезпечує адаптацію процесу керування групою до змінних умов зовнішнього середовища, а використання розробленої блок-схеми алгоритму автономного управління рухом МРП забезпечує ефективне її функціонування з урахуванням змінних характеристик платформ і стану середовища.

Висновок / Conclusions

У статті розроблено схему та удосконалено метод управління рухом групи мобільних робототехнічних платформ, що забезпечує можливість урахування зміни характеристик платформ та умов середовища.

Проаналізовано та розроблено структуру гібридного управління групою МРП, яка за рахунок поєднання централізованого та розподіленого управління забезпечує ефективне управління групою МРП у режимі реального часу з урахуванням змін умов роботи платформи та зовнішнього середовища. Розроблено узагальнену схему управління групою МРП, яка, враховуючи інформацію про групову мету, стан групи платформ і середовища, забезпечує формування вектора управління з командами для кожної МРП.

Визначено, що управління рухом групи МРП потребує виконання таких етапів: планування маршруту, локалізація, планування траєкторії, керування пересуванням платформи, моніторинг та корекція, причому три останні використовують для автономного управління рухом окремих МРП. Розроблено метод автономного управління рухом МРП, який завдяки врахуванню стану групи, навколишнього середовища та значень характеристик МРП забезпечує ефективне автономне управління рухом МРП у режимі реального часу.

References

- [1] Kawashima, K., & Ogawa, T. (2012). Complex-valued neural network for group-movement control of mobile robots. Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), Akita, Japan, 1806–1809.
- [2] Yuqing, Chen, Yan, Zhuang, & Wei, Wang. (2006). Cooperative Control for Formations of Mobile Robots under the Nonholonomic Constraints. 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, 9042–9046. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1713749>
- [3] Mariappan, M., Sing, J. C., Wee, C. C., Khoo, B. & Wong, W. K. (2014). Simultaneous rotation and translation movement for four omnidirectional wheels holonomic mobile robot. IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA), Kuala Lumpur, Malaysia, 69–73. <https://doi.org/10.1109/ROMA.2014.7295864>
- [4] Huang, Q. et al. (2022). Resistant Compliance Control for Biped Robot Inspired by Humanlike Behavior. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 27(5), 3463–3473. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3139332>
- [5] Sun, C., Liu, C., Feng, X., & Jiao, X. (2021). Visual Servoing of Flying Robot Based on Fuzzy Adaptive Linear Active Disturbance Rejection Control. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 68(7), 2558–2562. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2021.3053083>
- [6] Chang, S., Du, H., Cong, Y., Xie, F., & Zhang, J. (2020). Gait Planning of Quadruped Robot Based on ROS. 7th International Conference on Information, Cybernetics, and Computational Social Systems (ICCSS), Guangzhou, China, 761–766. <https://doi.org/10.1109/ICCSS52145.2020.9336765>
- [7] Mehrjerdi, H., Saad, M., & Ghommam, J. (2010). Hierarchical Fuzzy Cooperative Control and Path Following for a Team of Mobile Robots. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 16(5), 907–917. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2010.2054101>
- [8] Zhang, H., Meng, Z., & Lin, Z. (2012). Experimental verification of a multi-robot distributed control algorithm with containment and group dispersion behaviors. Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, Hefei, China, 6159–6164.
- [9] Trilaksono, B. R. (2015). Distributed consensus control of robot swarm with obstacle and collision avoidance. 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia, 2–2. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2015.7437759>
- [10] Chen, H., Qi, J., Dong, Y., and Zhong, S. (2021). Multi-Robot Formation Control And Implementation. 40th Chinese Control Conference (CCC), Shanghai, China, 879–884. <https://doi.org/10.23919/CCC52363.2021.9549282>
- [11] Wen-Ran, Zhang. (1997). Neurofuzzy agents and neurofuzzy laws for autonomous machine learning and control. Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'97), Houston, TX, USA, Vol. 3, 1732–1737. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1997.614157>
- [12] Yusof, Y., Mansor, H.M.A.H., Ahmad, A. (2016). Formulation of a lightweight hybrid ai algorithm towards self-learning autonomous systems. Proc. of the 2016 IEEE Confer. on Systems, Process and Control (IC-SPC), Melaka, Malaysia, 16–18 December 2016, 142–147. <https://doi.org/10.1109/SPC.2016.7920719>
- [13] Chen, G., Hou, B., Guo, S. & Wang, J. (2020). Dynamic Balance and Trajectory Tracking Control of Quadruped Robots Based on Virtual Model Control. 39th Chinese Control Conference (CCC), Shenyang, China, 3771–3776. <https://doi.org/10.23919/CCC50068.2020.9189645>
- [14] Reguii, I., Hassani, I., & Rekik, C. (2022). Neuro-fuzzy Control of a Mobile Robot IEEE 21st international Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, Tunisia, 45–50. <https://doi.org/10.1109/STA56120.2022.10018999>
- [15] Ovrur, S. E., Candan, F., Beke, A., & Kumbasar, T. (2018). YAFT: A Fuzzy Logic based Real Time Two-Wheeled Inverted Pendulum Robot. 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), Istanbul, Turkey, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751767>
- [16] Wildani, F., Mardiaty, R., Mulyana, E., Setiawan, A. E., Nuralmasari, R. R., & Sartika, N. (2022). Fuzzy Logic Control for Semi-Autonomous Navigation Robot Using Integrated Remote Control. 8th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICWT55831.2022.9935458>
- [17] Oultiligh, A., Ayad, H., Pozna, C., Mogan, G., Elboucekraoui, M. and Elkari, B. (2020). Obstacle Avoidance using Fuzzy Controller for Unicycle Robot. International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD), Paris, France, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCAD49821.2020.9260553>
- [18] Gao, J., Chen, K., Wu, C. and Wang, S. (2023). Obstacle avoidance and formation transformation of multi-agent groups based on six-wheeled robot. First International Conference on Cyber-Energy Systems and Intelligent Energy (ICCSIE), Shenyang, China, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCSIE55183.2023.10175276>
- [19] Zheng, S, Lin, Z., Zeng, Q., Zheng, R., Liu, C. and Xiong, H. (2018). IAPcloud: A Cloud Control Platform for Heterogeneous Robots. *IEEE Access*, 6, 30577–30591. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2837904>
- [20] Zhang, Z., Ling, Q., & Yang, Z. (2019). Formation Control with Obstacle Avoidance of Multi-Robot Systems with Second-Order Dynamics. Chinese Control Conference (CCC), Guangzhou, China, 5978–5983. <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2019.8866564>
- [21] Jeong, D. B., & Ko, N. Y. (2022). Dead Reckoning of a Mobile Robot in 2-Dimensional Special Euclidean Group. 22nd International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, Korea, Republic of, 1069–1071. <https://doi.org/10.23919/ICCAS55662.2022.10003795>

- [22] Nubert, J., Köhler, J., Berenz, V., Allgöwer, F., & Trimpe, S. (2020). Safe and Fast Tracking on a Robot Manipulator: Robust MPC and Neural Network Control. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3050–3057. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2975727>
- [23] Bai, Y., Svinin, M., & Magid, E. (2020). Multi-Robot Control for Adaptive Caging and Tracking of a Flood Area. 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Chiang Mai, Thailand, 1452–1457. <https://doi.org/10.23919/SICE48898.2020.9240385>

I. G. Tsmots, V. M. Teslyuk, Yu. V. Opotyak, O. O. Oliinyk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

DEVELOPMENT OF THE SCHEME AND IMPROVEMENT OF THE MOTION CONTROL METHOD OF A GROUP OF MOBILE ROBOTIC PLATFORMS

When managing a group of mobile robotic platforms, there are specific tasks of ensuring operational analysis and taking into account changes in the functioning parameters of each individual platform and the impact of the surrounding environment on it and the group as a whole. It is necessary to realize not only the coordinated management of a separate robotic platform but also to ensure the interaction of separate platforms in order to fulfill the task as a whole. At the same time, it is necessary to analyze the navigational state of the surrounding environment, the composition and coordinates of the platforms in the group, to keep track of the available resources necessary for the performed task. When performing complex tasks by a group of robots, it is necessary to take into account the possibility of losing individual robot during the execution of the task and the fact that each individual robot can perform relatively simple operations, which are determined by its characteristics (radius of action, energy resource, set of executive devices). Groups of mobile robotic platforms can be homogeneous or heterogeneous, which determines the peculiarities of their management. The hybrid management method, which is a combination of centralized and distributed, in the case of heterogeneous platforms, which is most often encountered in practice, should be considered the most adequate. Under the conditions of heterogeneity of platforms in the group, control algorithms should be implemented with unconditional consideration of the features and characteristics of each individual platform. The main requirements for the hybrid management of the robots group are to ensure: effective management of the robots group in real time; respond to changes in working conditions and the surrounding environment; implement various scenarios for achieving a common goal and fulfilling a common task; scaling the number of robots that need to be managed in the group; increasing the accuracy of movement control of each robot in the group. To implement the specified tasks, the method of controlling the movement of a group of mobile robotic platforms has been improved, which, by taking into account the changing parameters of the platforms and the changing state of the surrounding environment, provides effective management of the group of platforms in real time. A generalized scheme of the group management process has been developed, which ensures the adaptation of the group management process to the changing conditions of the surrounding environment. A block diagram of the autonomous motion control algorithm of a separate mobile robotic platform has been developed, which ensures its effective functioning taking into account the variable characteristics of the platform and the state of the environment.

Keywords: group control; group goal; robotic platform motion control; hybrid control method; state of the environment; platform characteristics.

Інформація про авторів:

Цмоць Іван Григорович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: ivan.tsmots@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Email: vasyl.m.teslyuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Опотяк Юрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: yurii.v.opotyak@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-9889-4177>

Олійник Олександр Олександрович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління.

oleksandr.o.oliinyk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0000-5093-7334>

Цитування за ДСТУ: Цмоць І. Г., Теслюк В. М., Опотяк Ю. В., Олійник О. О. Розроблення схеми та удосконалення методу управління рухом групи мобільних робототехнічних платформ. *Український журнал інформаційних технологій*. 2023. Т. 5, № 2. С. 97–104.

Citation APA: Tsmots, I. G., Teslyuk, V. M., Opotyak, Yu. V., & Oliinyk, O. O. (2023). Development of the scheme and improvement of the motion control method of a group of mobile robotic platforms. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 5(2), 97–104.

<https://doi.org/10.23939/ujit2023.02.097>