

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
роботехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення програмного забезпечення для керування переміщенням
мобільної платформи
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи КТРСм-22-1
Зуєв Є. О.
прізвище, ініціали

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані
та робототехнічні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Андрусевич А. О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	<u>Автоматики і комп'ютеризованих технологій</u>
Кафедра	<u>Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки</u>
Рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Тип програми	<u>освітньо-професійна</u>
Освітня програма	<u>Комп'ютеризовані та робототехнічні системи</u> (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Зуєву Євгену Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення програмного забезпечення для керування переміщенням мобільної платформи

затверджена наказом по університету від 03.11.2023 р. № 1877 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Мобільна платформа, для виконання різноманітних операцій з переміщення виробів;

3.2 Інформаційне моделювання; 3.3 Динамічне навколишнє середовище;

3.4 Поновлення карти середовища; 3.5 Модульність підсистеми;

3.6 Оформлення пояснювальної записки згідно з ДСТУ 3008-2015.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Аналіз функціонування робототехнічної мобільної платформи;

4.2 Створення алгоритму керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи на основі кінцево-автоматного підходу;

4.3 Експериментальні дослідження;

4.4 Охорона праці;

4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 11 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою досліджень	06.11 – 09.11.23	виконано
2	Аналіз функціонування робототехнічної мобільної платформи	10.11 – 26.11.23	виконано
3	Створення алгоритму керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи на основі кінцево-автоматного підходу	27.11 – 10.12.23	виконано
4	Експериментальні дослідження	11.12 – 30.12.23	виконано
5	Охорона праці	01.01 – 10.01.24	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	13.01 – 15.01.24	виконано
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	16.01 – 18.01.24	виконано
8	Подання роботи на рецензію	19.01 – 21.01.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	22.01 – 23.01.24	виконано
10	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.01.24	виконано

Дата видачі завдання 06 листопада 2024 р.

Студент _____ Зуєв Є.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Андрусевич А.О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«22» січня 2024 р.



Зуєв_Є.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 18 рис., 2 дод., 13 джерел.

РОБОТОТЕХНІЧНА МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА, ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ, АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ, РОБОТИЗОВАНЕ ВИРОБНИЦТВО, ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОД КООРДИНАЦІЇ ТА ПЛАНУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – програмне забезпечення для навігаційної системи робототехнічної мобільної платформи.

Предмет дослідження – інтелектуальне керування переміщенням всеспрямованої робототехнічної мобільної платформи.

Мета роботи – розробка програми керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи у виробничому середовищі.

Виконано моделювання функціонування робототехнічної мобільної платформи в роботизованому виробництві та організація тактико-технічного планування інформаційно-рухових дій.

Наведено узагальнена архітектура робототехнічної мобільної платформи і загальний принцип побудови його моделі. Розглянуто алгоритми планування рухових дій. Представлені інформаційні моделі багатокомпонентної робототехнічної мобільної платформи. Виконано вибір способу організації керування робототехнічної мобільної платформи. Наведено метод координації і планування керування робототехнічною мобільною платформою в складі роботизованого виробництва.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що отриман подальший розвиток системи адаптивного керування робототехнічними мобільними платформами, за допомогою методу інтелектуалізації цього процесу, що дозволило створити інформаційне моделювання функціонування підсистеми адаптації робототехнічної мобільної платформи у роботизованому виробництві.

ABSTRACT

Explanatory note: 75 pp., 18 fig., 2 appendices, 13 sources.

ROBOTIC MOBILE PLATFORM, TECHNOLOGY LINE, ADAPTIVE CONTROL, ROBOTIC PRODUCTION, INFORMATION MODELING, COORDINATION AND PLANNING METHOD.

The object of research is software for the navigation system of a robotic mobile platform.

The subject of research is intelligent control of the movement of an omnidirectional robotic mobile platform.

The purpose of the work is to develop a program for controlling the movement of a robotic mobile platform in a production environment.

Simulation of the functioning of the robotic mobile platform in robotic production and the organization of tactical and technical planning of informational and motor actions were performed.

The generalized architecture of the robotic mobile platform and the general principle of building its model are given. Algorithms for planning motor actions are considered. Information models of a multi-component robotic mobile platform are presented. The method of organizing the control of the robotic mobile platform has been selected. The method of coordination and planning of control of a robotic mobile platform as part of robotic production is given.

The scientific novelty of the work lies in the further development of the system of adaptive control of robotic mobile platforms, using the method of intellectualization of this process, which made it possible to create information modeling of the functioning of the adaptation subsystem of the robotic mobile platform in robotic production.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ... ..	9
1 Аналіз функціонування робототехнічної мобільної платформи ...	11
1.1 Узагальнена архітектура робототехнічної мобільної платформи	11
1.2 Загальний принцип побудови моделі.....	19
1.3 Алгоритми планування	27
1.4 Постановка задачі дослідження	38
2 Створення алгоритму керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи на основі кінцево-автоматного підходу	40
2.1 Передумови створення алгоритму	40
2.2 Багатокомпонентна система	41
2.3 Вибір способу організації керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи	43
2.4 Архітектура підсистеми багатокомпонентної робототехнічної системи	45
2.5 Висновки до розділу	46
3 Експериментальні дослідження	47
3.1 Координація виконання інформаційно-рухових дій	47
3.2 Планування виконання інформаційно-рухових дій	52
3.3 Функціонування системи підтримки і прийняття рішень	54
3.4 Рішення оберненої задачі кінематики	56
3.5 Програмна реалізація системи підтримки і прийняття рішень	60
3.6 Висновки до розділу	68
4 Охорона праці	69
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці	69
4.2 Промислова безпека на робочому місці	69

4.3 Виробнича санітарія і гігієна праці	70
4.4 Пожежна безпека приміщення	72
Висновки	74
Перелік джерел посилання	75
Додаток А Апбробація результатів досліджень	77
Додаток Б Фрагмент програми	78
Додаток В Демонстраційний матеріал	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АСК – абсолютній системі координат;
БД – база даних;
БРС – багатокomпонентна робототехнічна система;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ІРД – інформаційно-рухова дія;
КМП – коридор мінімального потенціалу;
ПК – персональний комп'ютер;
ПР – промисловий робот;
РМП – робототехнічна мобільна платформа;
СТЗ – система технічного зору;
ТП – технологічний процес;
ЦСУ – центральна система управління.

ВСТУП

Робототехніка в різних сферах життя людина набуває все більшого поширення. Створюються роботи, які повинні виконувати роботу для людей, вчиняти дії, як за задалегідь визначеним алгоритмом, так і самонавчанням. При цьому робот повинен вміти функціонувати, як серед людей, тобто динамічно рухомих об'єктів, так і в статичній обстановці. Сучасна система керування роботом повинна виконувати задані дії, але при цьому мати мінімальну кількість відхилень, які часто призводять до непередбачених наслідків.

Як об'єкт керування роботехнічні мобільні платформи (РМП) є багатоканальною нелінійною динамічною системою. Незважаючи на те, що до теперішнього часу проведено цілий ряд досліджень в галузі керування мобільними платформами, універсальні підходи до синтезу систем автоматичного керування мобільними платформами розроблені недостатньо.

РМП в основному призначені для заміни людини, а точніше полегшення його праці, або роботи в зонах, де людині бути небезпечно. Таким чином, створення систем керування, які не потребують втручання людини або ж в них передбачено мінімальну взаємодію в разі аварійних ситуацій є актуальним науковим завданням.

Об'єкт дослідження – програмне забезпечення для навігаційної системи роботехнічної мобільної платформи.

Предмет дослідження – інтелектуальне керування переміщенням всієї спрямованої роботехнічної мобільної платформи.

Мета роботи – розробка програми керування переміщенням роботехнічної мобільної платформи у виробничому середовищі.

Для досягнення мети планується розв'язати наступні завдання:

- проаналізувати методи керування РМП;
- проаналізувати складову частину РМП;

- зробити аналіз програмних середовищ;
- виявити елементи керування навігацією РМП;
- побудувати алгоритм переміщення;
- створити програму керування переміщенням РМП;
- виробити інформаційне моделювання функціонування РМП;
- дослідити управління РМП на основі кінцево-автоматного підходу;
- дослідити метод координації і планування дій.

Робота виконується згідно з [1-4], як складова наукових досліджень, які здійснюються на кафедрі КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки, результати дослідження опубліковані у [5].

1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОТЕХНІЧНОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ

1.1 Узагальнена архітектура робототехнічної мобільної платформи

Під час вивчення побудови узагальненої архітектури РМП, доцільно скористатися поняттям інтелектуального агента, оскільки, у цьому разі, конструкцію компонентів архітектури агентів (датчиків, виконавчих механізмів та процесорів) уже визначено, тому потрібно лише розробити програми агента. Проте успіхи щодо створення реальних роботів також залежатимуть від того, наскільки вдало буде спроектовано датчики та виконавчі механізми, що необхідні для виконання поставленої задачі [5].

Іншими словами датчики – це інтерфейс між роботами та середовищем, в якому вони безпосередньо діють, отже забезпечується передача результатів сприйняття. Пасивні датчики, зокрема відеокамери, в прямому розумінні цього слова виконують функції спостерігача за середовищем: перехоплюють сигнали, створені іншими джерелами сигналів у середовищі. Активні датчики, на кшталт локаторів, посилають енергію до середовища. Їх дія полягає в тому, що частина випромінюваної енергії відображається і знову надходить до датчика. Зазвичай, активні датчики дозволяють отримати більше інформації, за пасивні, але при цьому спостерігається збільшення споживання енергії від джерела живлення; ще одним їхнім недоліком є інтерференція, що може виникнути при одночасному використанні багаточисельних активних датчиків. Загалом датчики (як активні, так і пасивні) можна розбити на три типи: чи реєструють вони відстань до об'єктів, чи формують зображення середовища, чи здійснюють контроль характеристик самого робота.

Для більшості РМП застосовують далекоміри, тобто датчики, які вимірюють відстань до найближчих об'єктів. Широкого застосування

серед таких типів датчиків набув звуковий локатор, також відомий як ультразвуковий вимірювальний перетворювач. Звукові локатори випромінюють спрямовані звукові хвилі, вони відображаються від об'єктів, а частина цього звуку знову надходить до датчика. Зауважимо, що час надходження та інтенсивність такого зворотного сигналу несуть інформацію про відстань до найближчих об'єктів. Для автономних підводних апаратів доцільно застосовувати технологію підводних гідролокаторів, а на землі переважно використовуються звукові локатори з метою запобігання зіткнень лише у найближчих околицях, тому що такі датчики характеризуються обмеженим кутовим дозволом. До числа інших пристроїв, які є альтернативними до звукових локаторів, належать радари (зазвичай застосовуються на повітряних судах) та лазери. Лазерний далекомір показано на рисунку 1.1 [6].

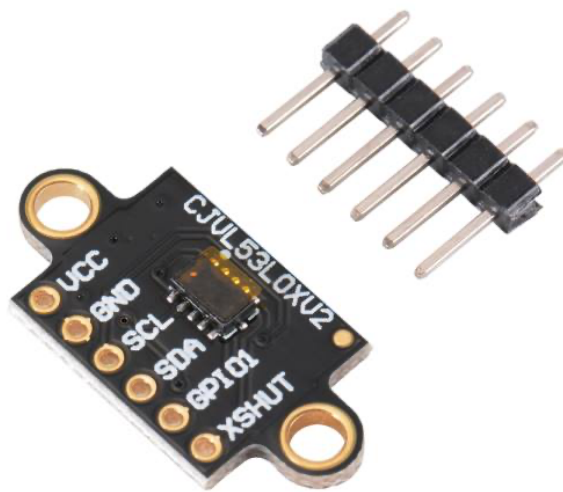


Рисунок 1.1 – Лазерний далекомір [8]

Деякі датчики відстані призначені для вимірювання як дуже короткої відстані, так і дуже довгої. До датчиків вимірювання короткої відстані належать тактильні датчики, а саме: контактні вусики, контактні панелі та сенсорні покриття. На іншому кінці спектру розташовується глобальна

система позиціонування – Global Positioning System (GPS), що вимірює відстань до супутників, через випромінюючі імпульсні сигнали. Наразі на орбіті функціонує понад два десятки супутників, кожен з яких передає сигнали за допомогою двох різних частот. Аналізуючи значення фазових зрушень, приймачі GPS визначають відстань до цих супутників. Виконавши тріангуляцію сигналів від декількох супутників, приймачі GPS можуть визначити з точністю до кількох метрів свої абсолютні координати на Землі. У диференціальних системах GPS використовують другий наземний приймач з відомими координатами, завдяки чому за ідеальних умов до міліметра забезпечується точність вимірювання координат. Проте системи GPS не працюють всередині приміщення або під водою [6].

Другим важливим класом датчиків вважаються датчики зображення, тобто відеокамери, що дозволяють отримувати зображення навколишнього середовища. Також вони можуть моделювати та визначати характеристики середовища, застосовуючи методи системи технічного зору (СТЗ). У робототехніці особливо важливе значення надається стереоскопічному зіру, оскільки він дозволяє отримувати інформацію про глибину. На жаль, майбутнє цього напрямку знаходиться під загрозою, оскільки активно здійснюється розробка нових активних технологій щодо отримання просторових зображень.

До третього важливого класу належать пропріорецептивні датчики, що інформують робота про його власний стан. Для вимірювання точної конфігурації робототехнічного шарніру, що відповідають за його дію, електродвигуни часто оснащені дешифраторами кута повороту валу, таким чином, зі їхньою допомогою визначаються навіть невеликі прирощення кута повороту вала електродвигуна. У маніпуляторах роботів дешифратори кута повороту валу надають точну інформацію за будь-який період часу.

У мобільних роботів дешифратори кута повороту вала, що передають дані про кількість обертів колеса, можуть бути застосовані для одометрії, тобто вимірювання пройденої відстані. Проте колеса часто

зсуваються і прослизують, з огляду на це, результати одометра є точними тільки для дуже короткої відстані. Ще однією з причин помилок під час визначення позиції вважаються зовнішні сили, зокрема течії, що мають вплив на автономні підводні апарати, а також вітри, що збивають з курсу автоматичні повітряні транспортні засоби. Покращити таку ситуацію можна, якщо застосовувати інерційні датчики, на кшталт гіроскопів, але навіть їхнє використання без інших додаткових коштів, не дозволяє виключити неминуче накопичення похибки щодо визначення положення робота [5].

Інші важливі аспекти стану робота контролюються датчиками зусиль та датчиками обертаючого моменту. Без цих датчиків неможливо працювати, якщо роботи призначені для роботи з крихкими об'єктами чи об'єктами, у яких точна форма і місцезнаходження невідомі. Уявімо, що робототехнічний маніпулятор з максимальним зусиллям стискання і однією тонною закручує в патрон електричну лампочку. До того ж, дуже важко запобігти такій ситуації, в якій робот докладе занадто великі зусилля та розчавить лампочку. Проте датчики зусилля дозволяють роботу відчувати, як міцно він тримає лампочку, а датчики обертаючого моменту – визначити, з яким зусиллям він її повертає. Датчиками можна вимірювати зусилля щодо трьох напрямків перенесення, а також трьох напрямків обертання.

Виконавчі механізми – це саме ті засоби, за допомогою яких роботи пересуваються і змінюють форму свого тіла. Для того, щоб визначити основні особливості конструкції виконавчих механізмів, необхідно спочатку розглянути абстрактні поняття руху і форми, використавши концепцію ступеня свободи. Як свободу ми розглянемо кожний незалежний напрямок, в якому можуть пересуватися робот чи один з його виконавчих механізмів. Наприклад, твердотільний робот, як автономний підводний апарат з вільними рухами, має шість ступенів свободи; три з яких (x,y,z) , визначають положення робота в просторі, а інші три – його

кутову орієнтацію за трьома осями обертання, іншими словами, хитання, поворот та нахил. Ці шість ступенів свободи визначають позу робота або кінематичний стан. Динамічний стан робота для швидкості зміни кожного кінематичного виміру включає по одному додатковому вимірюванню [5].

На рисунку 1.2 зображено Стенфордський маніпулятор. Це є одним із перших маніпуляторів робота, в якому застосовують п'ять поворотних шарнірів (R) і одне призматичне зчленування (P), що дозволяє отримати в цілому шість ступенів свободи.

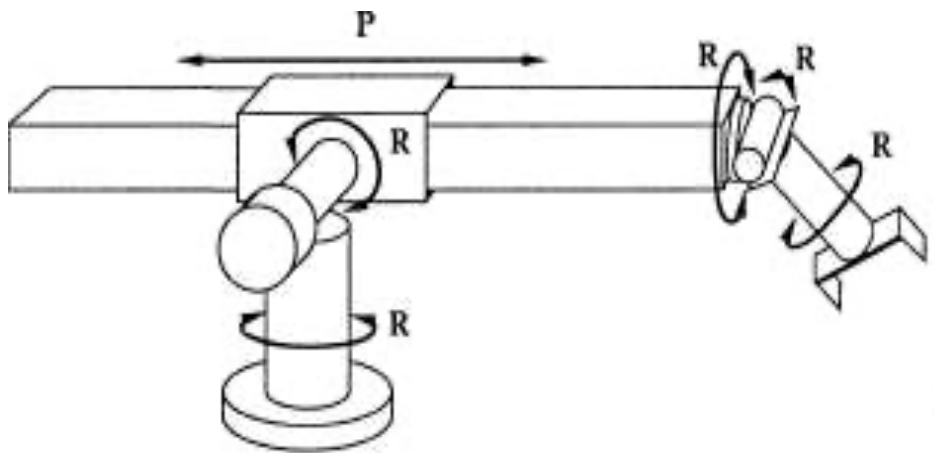


Рисунок 1.2 – Стенфордський маніпулятор [10]

Нетвердотільні роботи мають додаткові ступені свободи всередині самих себе. Наприклад, лікоть у руці людини має одну ступінь свободи (може згинатися в одному напрямку), а кисть – три ступені (може рухатися як вгору, так і вниз, з одного боку в інший, обертатися). Кожен із шарнірів робота також має 1, 2 або 3 ступеня свободи. Для переміщення будь-якого об'єкта, наприклад, руки, до конкретної точки з конкретною орієнтацією необхідно мати шість ступенів свободи. Щоб переконатися, що рука людини має більше шести ступенів свободи, проведемо простий експеримент: покладіть кисть на стіл і переконайтеся, що ви, не змінюючи положення кисті на столі, ще маєте можливість повертати руку в лікті. Маніпуляторами, з більшою кількістю ступенів свободи, ніж потрібно для

переведення кінцевого виконавчого механізму в цільове положення, простіше керувати, порівнюючи з роботами, що мають лише мінімальну кількість ступенів свободи.

У РМП кількість ступенів свободи не обов'язково має співпадати з кількістю елементів, які приводяться в дію. Наприклад, звичайний автомобіль може пересуватися вперед або назад, повертатися, такі дії відповідають двом ступеням свободи. Проте кінематична конфігурація автомобіля – тривимірна: на відкритій плоскій поверхні можна легко перевести автомобіль до будь-якої точки (x, y) , з будь-якою орієнтацією. Отже, автомобіль має три ефективні ступеня свободи, але керовані ступеня свободи – два. Робот називається неголономним, якщо має більше ефективних ступенів свободи, ніж керованих, а голономним – якщо ці два значення співпадають. Голономні роботи є простішими в керуванні (набагато легше припаркувати автомобіль, який здатний рухатися не тільки вперед і назад, але і в сторони), проте голономні роботи також більш складні механічно. Більшість маніпуляторів роботів – голономні, а більшість РМП є неголономні [5-7].

У РМП застосовується ціла низка механізмів для переміщення в просторі, зокорема, колеса, гусениці та ноги. Роботи з диференціальним приводом обладнані незалежно керовальними колесами розташованими з двох сторін (або гусеницями, як в армійському танку). Якщо колеса, що розташовані по обидва боки, обертаються з однаковою швидкістю, відповідно, робот рухається по прямій. Якщо ж вони обертаються в протилежних напрямках, робот повертається на місці. Альтернативний варіант полягає у застосуванні синхронного приводу, в якому кожне колесо може обертатися та повертатися навколо вертикальної осі. Використання такої системи приводу цілком могло б привести до хаотичного переміщення, якби не наявність такого обмеження, при якому всі пари коліс повертаються в одному напрямку і обертаються з однаковою швидкістю. Диференційний та синхронний приводи є неголономними.

Деякі більш дорогі роботи використовують голономні приводи, до складу яких зазвичай входить три або більше коліс, здатних повертатися та обертатися незалежно один від одного [5-7].

Ноги, на відміну від коліс, можуть застосовуватися для пересування не по плоскій поверхні, а по місцевості з дуже грубим рельєфом. Зазначимо, що на плоских поверхнях ноги, як засіб пересування, значно поступаються колесам, до того ж завдання щодо створення для них механічної конструкції є дуже складним. Дослідники в галузі робототехніки вдавалися до спроб розробити конструкції з різною кількістю ніг, починаючи від однієї і закінчуючи, буквально, десятками. Були розроблені роботи, обладнані ногами для ходьби, бігу і навіть стрибків.

У РМП інших типів для пересування застосовують інакші, надзвичайно різноманітні механізми. Зокрема, для літальних апаратів зазвичай використовують пропелери або турбіни. У свою чергу роботизовані дирижаблі тримаються в повітрі за допомогою теплових ефектів, а в автономних підводних транспортних засобах часто використовуються пристрої, які підрулюють, подібні до тих, які встановлюються на підводних човнах.

Для того, щоб робот міг повноцінно функціонувати, недостатньо обладнати його тільки датчиками і виконавчими механізмами. Повноцінний робот повинен також мати джерело енергії для запуску своїх виконавчих механізмів. Для приведення в дію маніпулятора, а також пересування найчастіше використовуються електродвигуни; певну галузь застосування займають пневматичні приводи, в яких використовується стиснений газ, та гідравлічні, в яких застосовується рідина під високим тиском (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Роботизована мобільна платформа OMRON

До того ж, у більшості роботів є деякі засоби цифрового зв'язку на кшталт бездротової мережі. Також робот повинен мати жорсткий корпус, на який можна було б навісити всі ці пристрої, крім того, фігурально висловлюючись, мати при собі паяльник, на випадок, якщо його обладнання перестане працювати.

Отже, істотною задачею для побудови інтелектуальних робототехнічних систем є інформаційне моделювання РМП як деякого активного агента середовища. І, власне, однією із пріоритетних задач проектування раціонального агента середовища стає завдання розробки моделі планування його інформаційно-рухових дій.

1.2 Загальний принцип побудови моделі

У відповідності до традиційної моделі організації моделювання, коли дослідник-проектувальник й імітаційна модель обмінюються інформаційними потоками, зворотний зв'язок за результатами моделювання робить по відношенню до системи імітаційного моделювання зовнішній ланцюг – людина з долученням допоміжних засобів і методів програмного забезпечення.

При цьому дослідник-проектувальник перетворює інформацію, яка складається в інтерпретації результатів і прийняття рішень щодо керування

експериментами і узагальненням інформації до бази знань транспортного мобільного робота. Автоматизація керування експериментами передбачає створення замкненого програмно реалізованого контуру керування імітаційною моделлю в рамках засобів зовнішнього програмного забезпечення (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Структура інформаційно-управляючої моделі

Цілеспрямовані серії експериментів відповідно до заданої метою функціонування робота і врахуванням обмежень конфігураційних параметрів організовують модулі, які спеціально відносять до складу зовнішнього програмного забезпечення. У загальному випадку ці модулі повинні задавати набори початкових даних, ініціювати прогони моделі в цілому, обробляти результати і приймати рішення про подальший розвиток експериментів у відповідності реалізованого алгоритмом управління моделюванням [5]. Такий алгоритм, спрямовуючи експерименти, в галузі припустимих значень параметрів здійснює пошук такого їх об'єднання, який би забезпечував оптимальність заданого показника якості, тобто по суті вирішує завдання оптимізації:

$$f(\bar{x}) \rightarrow \max_{\bar{x} \in X}, \quad (1.1)$$

де f – цільова функція, алгоритмічна імітаційна модель;

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор параметрів об'єкта моделювання;

X – множина припустимих значень вхідних параметрів.

Отже, сукупність алгоритмічних та програмних засобів, яка забезпечує процес автоматизованого моделювання, утворює систему автоматизації імітаційного моделювання (САІМ). При цьому користувач не вводить кожен набір початкових даних для чергового прогону імітаційної моделі, а лише вказує мету або критерій, а також область варіювання параметрів, у той час як пошук допустимих рішень задач моделювання виконується автоматично за допомогою САІМ, тобто до неї можна застосувати визначення інтелектуальної системи моделювання. Зокрема, функції САІМ у контурі керування гнучкої виробничої системи в цілому базуються на аналізі альтернативних варіантів поведінки роботів після прийняття того чи іншого можливого рішення щодо диспетчеризації та оперативного планування інформаційно-рухових дій тощо.

Ефективність реалізації цих функцій полягає у заміні жорсткої логіки керування інтелектуальним роботом, яка передбачає застосування гнучким і динамічним механізмом в окремих ситуаціях заданих та фіксованих евристик, тобто прийняття рішень забезпечуються не тільки на основі такого аналізу поточного стану робота, але й враховуються перспективи його розвитку. Крім того, відбувається об'єднання високої вірогідності результатів та можливості автоматичного прийняття рішень у режимі «жорсткого» реального часу [7].

Проблема щодо автоматизації керування експериментами та синтезу знань, побудова бази знань можна представити логічною структурою поетапного вирішення окремих задач РМП (рисунок 1.5).

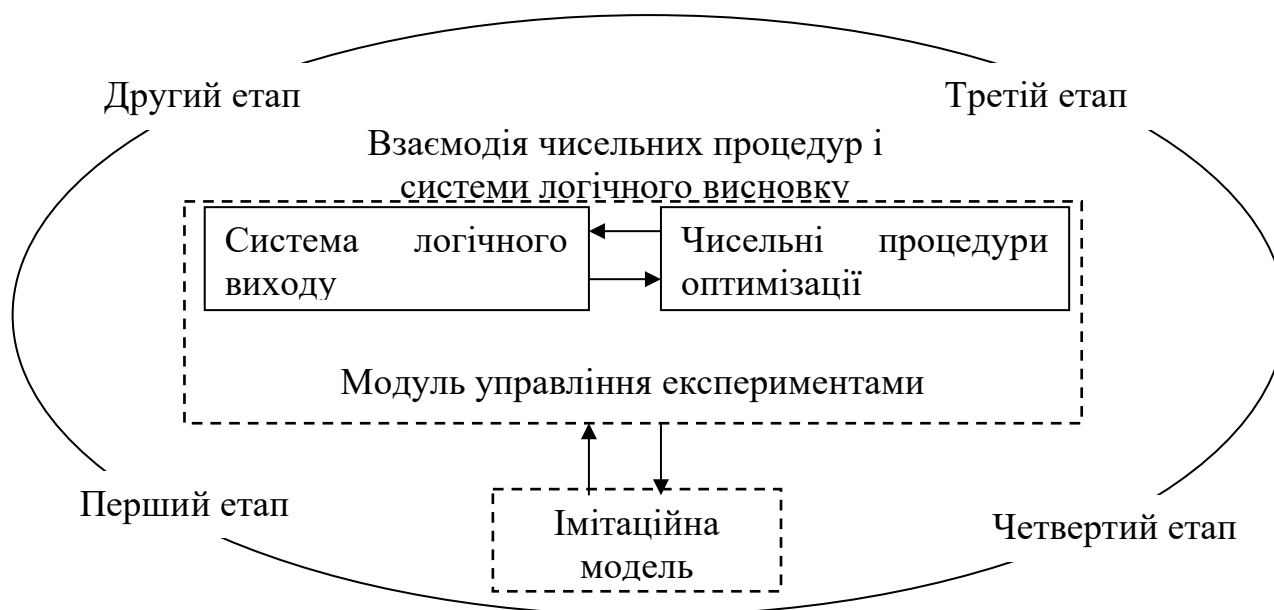


Рисунок 1.5 – Автоматизоване моделювання інтелектуального об'єкта

На першому етапі автоматизації керування експериментами розв'язуються дві задачі: виконується структурно-алгоритмічна побудова власно модуля керування; формуються змістовні основи та формальні вимоги щодо організації інформаційного обміну з імітаційною моделлю.

Задача структурно-алгоритмічної побудови модуля керування експериментами та синтезу системи знань розв'язується за такою послідовністю: визначаються склад та структура модуля (розробляються умови взаємодії між його компонентами та положенням у загальній структурі система автоматизації імітаційного моделювання) [7].

Під час виконання серії прогонів імітаційної моделі спостерігається цілеспрямоване варіювання значення параметрів, яке може впливати на значення цільової функції як за допомогою прямого впливу на показники функціонування об'єкта моделювання, так і побічного – інших пов'язаних елементів об'єкта (робота). Як наслідок, змінюються складові та інші показники. Проте можна накласти обмеження на значення деяких

параметрів, зокрема частину їх фіксувати, тобто задавати декларативно. Це може відобразитися під час формування наборів початкових даних та ініціалізації початкових станів процесу моделювання системи знань.

Якщо розглядати імітаційну модель як засіб цілеспрямованого перетворення інформації відповідно до деякої системи приписів, то з'являється сенс поговорити про алгоритм імітаційного моделювання. У такому разі формальну інтерпретацію розглянутих вимог можна записати так:

$$\left. \begin{array}{l} S \in Q; \\ S \in C; \end{array} \right\} \quad (1.2)$$

де S – вхідне слово алгоритму імітаційного моделювання;

Q – множина допустимих наборів значень параметрів робота;

C – область визначення алгоритму імітаційного моделювання.

Вхідне слово S задає набір початкових даних для конкретного набору даних, тобто $S = (i, \xi_j, \dots, \xi_z)$, де кожна величина ξ_j відповідає деякому значенню певного параметра об'єкта моделювання. Область C можна визначити через програмну реалізацію алгоритму імітаційного моделювання, а сформувані її – множиною D_{ex} наборів вхідного алфавіту. Всі величини ξ_i , мають допустиму реалізацію об'єкта моделювання U .

Отже, вирази (1.2) визначають умови погодження S з імітаційною моделлю та алгоритмом. Задача полягає в розробці апарату формального аналізу несуперечності змін семантично взаємопов'язаних параметрів для забезпечення варіювання, таким чином умови (1.2) не порушуються і зміни фіксованих параметрів не відбуваються.

На другому етапі реалізування автоматизація керування експериментами та побудови системи знань розв'язуються такі задачі:

– розробляються принципи, взаємодії системи логічного висновку та чисельних оптимізаційних процедур;

– вибирається (розробляється) апарат реалізації логічного висновку в комбінованих алгоритмах керування експериментами;

– розробляються на основі запропонованого апарату ефективні алгоритми висновку з урахуванням специфіки взаємодії з чисельними процедурами оптимізації.

На третьому етапі розв'язується задача щодо розробки оптимізаційних процедур, які необхідні для планування екстремальних дій [6]. До того ж, питання розробки алгоритмічного забезпечення можна розглядати для специфічних аспектів моделювання об'єкта:

– автоматизації керування експериментами в умовах лінгвістичної невизначеності параметрів, наприклад, «ступінь подоби/відзнаки ...» не має природного чисельного вимірювання;

– організації екстремальних експериментів у задачах однопараметричної оптимізації за умови істотно нерівномірного розташування точок у середині інтервалу, наприклад, унімодальна функція відгуку, та фіксування відповідних станів у моделі системи знань;

– скорочення часу пошуку під час значній тривалості прогону імітаційної моделі, що є важливим для багатоітераційних алгоритмів пошуку, повному переборі варіантів тощо.

1.3 Алгоритми планування

Метод потенціалів у задачі вибору шляху для МП був запропонований А.К. Платоновим у 1970 році й досі є актуальним.

Водночас розглядається випадок, коли робот обладнаний досить точною навігаційною системою, щоб можна було знехтувати її помилками, а системі керування відомі координати робота та вимірювального пристрою, а також орієнтація сектора огляду, і напрямки здійснюються вимірюваннями в деякій абсолютній системі координат (АСК). У всіх цих випадках робот є точкою з запропонованою вектором орієнтацією [7].

Розглянемо детальніше суть методу. Припустимо, що мета має деякий позитивний заряд, відповідно, перешкоди заряджені негативно; місця розташування мети та перешкод фіксовані. Нехай також є деяка негативно заряджена точка, що здатна переміщатися. Розташуємо її в вихідній точці. Під дією сил рухома точка буде притягатися до мети, і відштовхуватися від перешкод, причому можуть задаватися закони руху різними способами. Логічно припустити, що за умови деяких обмежень на структуру місцевості і законів руху рухомої точки ця точка досягне мети.

У залежності від способу завдання функцій можна отримати траси з обходом перешкод з різними ступенями «ризиків» (величини наближення до перешкод). Алгоритми, розглянуті нижче, гарантують від зациклення, якщо контури перешкод опуклі. Також метод можна використати, якщо перешкоди розбиваються на групи, опуклі оболонки яких не перетинаються.

У даній роботі досліджено модифікації алгоритму. Крім того, розглянуто наступні напрямки модифікації вихідного алгоритму.

Досліджено статичну та показову функції відштовхування від перешкод і їхній вплив на вислідний шлях. Для оцінки ефективності шляху використано функцію відхилення вектора напрямку руху від вектора напрямку на ціль.

Проаналізовано можливості застосування методу потенціалів для керування розподіленою мобільною платформою. Досліджено п'ять способів організації такого руху:

- рух за схемою «ланцюг». У такому разі сила тяжіння мети діє на «лідера», і кожен «притягується» до того, що йде попереду;
- рух типу «гонка за лідером». У цьому випадку всі елементи РМП «притягуються» до «лідера», який, відповідно, «притягується» до цільової точки;

– рух типу «розбіжності». У такому разі на МП, що розташовані компактною групою або ланцюгом, починає діяти сила відштовхування від «лідера». МП «розбігаються», при цьому кожен досліджує свою ділянку;

– рух типу «сходження». У даному випадку «лідер» збирає всі елементи РМС до компактної групи;

– організація руху типу «вільний пошук». У цьому випадку сила тяжіння до мети відсутня, а кожен елемент РМП рухається в напрямку, вільному від перешкод.

Перші два режими доцільно використовувати для організації пересування РМП, останні три – для інформаційного дослідження середовища.

На початковому етапі досліджень інтелектуального переміщення РМП перешкоди розглядалися у вигляді кіл. Сила тяжіння до мети визначалася постійною за модулем і спрямованою до точки мети. Сила відштовхування від i -ї перешкоди f_i залежала від аргументу R_i/r_i , де R_i – радіус i -ої окружності, r_i – відстань від центру i -ої окружності до точки, що рухається. f_i вважалася спрямованою від центру кола.

Траєкторія (локомоція) виходила в результаті інтегрування рівнянь руху другого порядку, оскільки прискорення, що діє на рухому точку, визначено сумою зазначених сил. Під час дослідження було з'ясувано, що інерційність, яку закладено до зазначеної моделі, призводить до того, що траєкторія руху стає малоприйнятною (перешкода дуже сильно «відкидає» рухому точку і траєкторія виходить надто «порізаною» [7]. Для того, щоб позбутися цього недоліку, а метод зробити придатним для випадку апроксимації контурів перешкод іншими способами, було реалізоване наступне. По-перше, застосовано рівняння руху першого порядку (тобто діючі сили визначають швидкість, тобто мова йде про аналог простого градієнтного спуску). По-друге, силу відштовхування визначили аргументом, рівним відстані до перешкоди. При цьому форма контуру перешкоди довільна, а для наведеного вище прикладу різниця існує $r_i - R_i$.

Направлена ця сила в бік від найближчої точки перешкоди. Під час проведення досліджень було визнано раціональним у разі наявності декількох перешкод застосування функції від зазначеного аргументу x типу $x-k$ або $e-cx$, які з відстанню швидко зменшуються. До того ж, змінними параметрами можуть бути коефіцієнти k і c .

Зауважимо, що, варіюючи параметри k і c під час визначення сил відштовхування, можна отримати траєкторії для руху декількох РМП. Якщо в цьому процесі ввести запізнення, то можна отримати режим «слідування один за одним» [7].

Іноді середовище, в якому розташовано багато перешкод, є «добре організованим», на кшталт, перешкод, які розбиваються на групи, їхні опуклі оболонки не присікаються. В даному разі силу відштовхування можна обчислювати відразу для всієї групи.

Отже, метод потенціалів дозволяє будувати «розмиті» моделі середовища та отримувати рішення без урахування непотрібних подробиць.

Під час вивчення різноманітних зарубіжних робіт щодо методу потенціалів, можна виділити два цікавих напрямки.

Перший є спробою відповіді на питання: чи можна ефективно задавати силове поле, щоб в принципі були відсутні стійкі точки рівноваги. Як видно, в загальному випадку відповідь на це питання – позитивна. Справді, функція потенціалу в точці x , дорівнює мінімальній довжині допустимого шляху від x до g – точці цілі, задає таке поле. Проте в загальному випадку цю функцію враховувати вельми непросто. Так, було запропоновано підхід до цієї проблеми, який хоча й відрізнявся оригінальністю, однак, у результаті виявився, навряд чи набагато простішим за спосіб, зазначений вище. Спочатку розглянемо «Сферичний світ». Для площини це окружності-перешкоди, оточені колом-рамкою. У цьому світі вислідну силу визначено не як суму сил, які діють від різних

перешкод, а як добуток таких сил. Ці два положення дозволять уникнути наявності точок рівноваги силового поля, зафіксованого теоретично.

Далі побудовано послідовність дифкомп'ютерорфізмів. Спочатку між «сферичним світом» та «зоряним світом» – в якому перешкоди є багатокутниками особливого виду. Потім створено перехід від «зоряного світу» до все більш і більш «загальних світів» [7]. При цьому дифкомп'ютерорфізми зберігають «безособість», утворену шляхом поетапних переходів від «сферичного світу» силових полів. Проте зазначимо, що продемонстровані ілюстрації подібних полів для більш загальних постановок, ніж «сферичний світ», дають можливість стверджувати, що для них дуже характерні «яружні ефекти». Таким чином, при фіксованому значенні кроку можливі ефекти типу «інформаційного коливання» в кращому випадку, а також зациклення в помилковому екстремумі. Ймовірно, саме тому автори не демонструють побудову траєкторій руху, а тільки – зображення ліній рівня.

Другий напрямок, який започатковано на роботах дослідників Оксфордського університету, полягає в тому, що сам робот – не крапка, а відрізок або прямокутник. Це дозволяє розрахувати не тільки вислідну силу, що діє на робота, але й момент сил, тобто керувати орієнтацією.

Нижче наведемо деякі, не опубліковані раніше, результати дослідження алгоритмів, засновані на методі потенціалів.

Залежність траєкторії від показника k та кроку s для функції сили відштовхування F виду $(R/r)^k$ для випадку кола:

(a): $k=16, s=0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25,$

(b): $k=4, 8, 12, 16, s=0,05,$

(c): F виду $\exp[-(l - A \cdot r/R)^2]$, $A=1,5,$

(d): F та сама, що і для (a), $k=12, s=0,05, 0,1, 0,2, 0,3.$

Критичне відношення кроку до радіуса обхідної окружності для появи інформаційного брязкоту 0,1 для степеневі функції і 0,3 для експоненти.

За аналогією було досліджено вплив інформаційного брязкоту для плавного контура (коло радіуса 1) за час обходу методом потенціалів.

Проаналізуємо «метод потенційного наведення». Він передбачає обладнання робота дальномірами, що вимірюють відстань до об'єктів у робочій зоні. Розрахунок напрямку пересування робота безперервно здійснюється за результатами складання трьох векторів, враховуючи відповідні вагові функції: вектор, що характеризує напрямок, де в найкращій мірі проглядається цільова точка; вектор, що характеризує напрямок пересування без зіткнень з перешкодами, і вектор, відповідного напрямку руху робота до теперішнього часу. До того ж, система керування роботом забезпечує раціональний обхід невідомих перешкод. Керування виконується з використанням карти за алгоритмом побудови в квазіреальному часі квазіоптимальної (за відстанню) траєкторії. Застосування ультразвукового далекоміра, встановленого на роботі, забезпечує виявлення перешкод, проте процедура планування траєкторії знову повторюватиметься для внесення необхідних корекцій [8].

Архітектура систем навігації реального часу, що використовуються й для обходу перешкод РМП також, визначає наступне:

- види архітектури та технології відповідних датчиків (сенсорів);
- наявність різних моделей поведінки за допомогою сенсорно-керованих алгоритмів;
- метод штучного потенційного поля – алгоритм реального часу, що розроблено спеціально для навігації РМП у процесі руху.

У досліджуваній системі дані інфрачервоних датчиків створюють образ середовища в деяких РМП, у відповідності до якого потім будується траєкторія руху. У зв'язку з цим виникають суворі обмеження щодо швидкості руху РМП, пов'язані зі швидкістю отримання й обробки даних,

швидкістю роботи навігаційного алгоритму і часом реакції керівної системи РМП на зміну обстановки.

У такій реалізації метод потенціалів є точкою початку відліку в полярних координатах, з якої сенсором, що обертається, виконується безперервне циклічне сканування місцевості з сектором огляду 360° [8].

Нехай кут γ – кутовий крок сканування, d_i – результат i -ї (відносно поточного напрямку руху РМП) виміру дальності від РМП до перешкоди. У відповідності до кожного d_i ставиться вектор сили f_i , який розраховується за допомогою рівнянь для штучного потенційного поля:

$$\begin{aligned} |f_i| &= \frac{A}{|d_i|^2}, \\ \arg(f_i) &= \arg(d_i) + \pi, \end{aligned} \quad (1.3)$$

де A – фіксована константа.

Після огляду всього сектору (360°) можна визначити нові компоненти вектора швидкості V_x та V_y :

$$\begin{aligned} V_y &= \sum_{i=0}^{2\pi/\varphi} \beta^{(2(2\pi/\gamma)-i)} f_i \cos(i\gamma), \\ V_x &= \sum_{i=0}^{2\pi/\varphi} \beta^{(2(2\pi/\gamma)-i)} f_i \sin(i\gamma), \end{aligned} \quad (1.4)$$

де β – з фізичної точки зору, є ваговий множник, який використовується для того, щоб на компоненти швидкості більшого впливу надавали сили, що діють з фронту РМП, ніж позаду.

Стверджується, що в загальному випадку β є функція γ та d_i :

$$\beta = \beta\left(\sum_{i=0}^{2\pi/\gamma} d_i \cos(i\gamma)\right), \quad (2.5)$$

при цьому β розраховується кожного разу за умови знаходження нового вектора швидкості [8].

Проаналізуємо алгоритм планування руху випуклого багатокутного об'єкта в середовищі з багатокутними перешкодами. У ньому подана евристика, що базується на опрацюванні моментів, які дозволяють розширити алгоритм і ввести в вивчення додатковий ступінь свободи РМП – кут повороту. Також представлено результати побудови траси для РМП, що рухається коридором.

У роботі використано таку термінологію. Нехай робоча область простору W , в якій діє РМП, є підмножиною \mathcal{M} . Нехай $O \subset W$ це безліч перешкод в робочій області, тоді вільним простором в W буде множина $F=W \setminus O$; задачею побудови шляху РМП в такому разі є завдання знаходження набору точок у F , які визначають траєкторію руху РМП з початкової точки до точки цільової.

Першочергово розглядається простий алгоритм, в якому багатокутний об'єкт M з двома ступенями свободи переміщається в робочому просторі W , в якому присутня кінцева множина перешкод O . Поточне положення об'єкта M задається вектором x , початкове положення – вектором x_s , а цільова точка – вектором x_g . Відповідно, траса будується за таким алгоритмом:

$$x \leftarrow x_s$$

$$\textit{repeat}$$

$$\Delta_{min} \leftarrow \min (\Delta(M,o)) \forall o \in O$$

$$F_{repulse} \leftarrow \Delta_{min} \cdot 1 / |\Delta|^2$$

$$F_{attract} \leftarrow x_g - x$$

$$F_{res} \leftarrow F_{attract} + a \cdot F_{repulse}$$

$$x \leftarrow x + F_{res}$$

$$\textit{until} (x = x_g) \textit{ or } (|F_{res}| = 0).$$

Тут Δ – вектор, який доставляє мінімальна відстань між M і перешкодою $o \in O$. Константа a керує впливом перешкоди на M в залежності від відстані. Під час використання подібної потенційної функції зіткнень з перешкодами не відбувається, проте, алгоритм може зациклюватися за умови досягнення РМП локального мінімуму в потенційному полі [10]. Для боротьби з цим явищем можуть бути використані різні методи, наприклад, «бар'єр» з точок високого потенціалу навколо точки локального мінімуму або метод Монте-Карло.

Далі для об'єкта M вводиться додатковий ступінь свободи – кут повороту θ , початкова конфігурація об'єкта в даному випадку – (x_s, θ_s) . Передбачається рух в коридорі мінімального потенціалу (КМП). Якщо він орієнтований, що момент обертання РМП в потенційному полі мінімальний, то рух відбувається так, що головна вісь направлена по дотичній до КМП.

Нехай c – центр мас M , а P – множина векторів, які описують стан деяких контрольних точок, нормально розподілених по межі M відносно c . Попередній алгоритм модифікується так:

$x \leftarrow x_s$

$\theta \leftarrow \theta_s$

repeat

$F_{repulse} \leftarrow (0, 0)$

$moment \leftarrow 0$

for each $p \in P$

$\Delta_{min} \leftarrow \min (\Delta(c + p, o)) \forall o \in O$

$F_{repulse} \leftarrow F_{repulse} + \Delta_{min} \cdot 1 / |\Delta|^2$

$moment \leftarrow moment + (p \times \Delta_{min}) \cdot k$

endfor

$F_{attract} \leftarrow x_g - x$

$$\begin{aligned}
 F_{res} &\leftarrow F_{attract} + a \cdot F_{repulse} \\
 x &\leftarrow x + F_{res} \\
 \theta &\leftarrow \theta + b \times moment \\
 &until (x = x_g) \text{ or } (|F_{res}| = 0).
 \end{aligned}$$

Константа b керує величиною повороту і визначається емпірично, оскільки математичне рішення нетривіальне і залежить від багатьох чинників. До того ж, під час практичної реалізації алгоритму, вибір c може бути неоднозначним. У наведених прикладах для триколісного РМП брали середину осі між двома задніми колесами [8].

Проаналізуємо метод обходу перешкод РМП, який отримав назву методу «гістограм векторних полів» (VHF-метод). Він дозволяє виявляти перешкоди та обходити їх під час руху. Керований даними алгоритмом, МП маневрує швидко і без зупинок навіть серед великої кількості невпорядкованих перешкод.

VHF-метод для подолання перешкод використовує сітку на двовимірній декартовій площині. Кожному осередку сітки у відповідність ставиться характерне значення, що позначає рівень «впевненості» алгоритму в присутності перешкоди в цій комірці. Метод використовує дворівневу систему представлення даних:

- на першому рівні виконується детальний опис середовища, що оточує робота, за допомогою декартової сітки C ;
- на другому рівні – полярна гістограма H , яка будується за даними, що містяться в C , будується навколо центру мас РМП як набір значень з C , відповідний деяким фіксованим секторам шириною α кожен. Кожному сектору k ставиться у відповідність величина hk , звана полярної щільністю перешкод в напрямку k .

Вихідними даними алгоритму є сигнали керування РМП.

Нехай C^* , звана активною областю, є область сітки C розміром $w_s \cdot w_s$, побудована навколо РМП; її елементами є активні осередки c_{ij} . Тоді

C перетворюється на H у такий спосіб: будуються вектори перешкод, напрямком яких щодо точки поточного становища РМП визначається як:

$$\beta_{ij} = \arctan \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0}, \quad (1.6)$$

а модуль вектора:

$$m_{ij} = (c_{ij}^*)^2 [a - bd_{ij}], \quad (1.7)$$

де $a, b = const > 0$;

d_{ij} – відстань між активною ланкою і РМП;

c_{ij}^* – середнє значення в активній клітинці (ij) ;

x_0, y_0 – поточні координати РМП;

x_i, y_i – координати активної ланки (ij) .

Кожному з k секторів ставиться у відповідність кут з ряду $\theta, \alpha, 2\alpha, \dots, 360^\circ - \alpha$ [14]. Тоді між k і c_{ij}^* існує таке відношення:

$$k = \alpha \cdot INT(\beta / \alpha). \quad (1.8)$$

Для кожного сектора k h_k обчислюється:

$$h_k = \sum_{i,j} m_{ij}. \quad (1.9)$$

Отже, кожний з активних осередків знаходиться в одному з секторів. Проте через дискретності сітки, в результаті такого розподілу осередків можуть виникати «сходинки» в секторах. Це може призвести до помилок під час вибору напрямку. Для уникнення спотворення результату слід використати згладжену функцію:

$$h_k^{\cdot} = \frac{h_{k-l} + 2h_{k-l+1} + \dots + lh_k + \dots + 2h_{k+l-1} + h_{k+l}}{2l+1}, \quad l \in \mathbb{N}. \quad (1.10)$$

Далі обчислюється напрямок руху в полярних координатах, θ_{free} , і відповідний йому сектор k_{free} у H . Алгоритм вибирає більш «прохідний» напрямок i , разом з тим, як можна більш наближене до поточного напрямку на ціль θ_{targ} .

У початковій точці швидкість руху МП встановлюється максимальною (S_{max}), а потім на кожному кроці визначається відповідно до формули:

$$S^{\cdot} = S_{max} (1 - h_c^{\cdot\cdot} / h_m), \quad (1.11)$$

де $h_c^{\cdot\cdot}$ – згладжена полярна щільність перешкод в обраному напрямку руху,
 $h_c^{\cdot\cdot} = \min(h_c^{\cdot}, h_m)$;

h_m – емпірично встановлена константа.

При цьому відношення (2.11) гарантує $S^{\cdot} \geq 0$ при $h_c^{\cdot\cdot} \leq h_m$.

Розглянемо метод побудови гладких трас руху РМП, заснований на фізичній аналогії. Основні переваги методу полягають у стійкому рішенні робота не тільки з двійковими (перешкода або вільний простір), але і з різномірними середовищами, їхня поверхня може мати нерівні коефіцієнти тертя або кути нахилу на різних ділянках.

За основу методу взято фізичні принципи гідродинаміки. Якщо припустити, що все середовище заповнено рідиною, то потоки рідини дозволяють дістатися з початкової точки до цільової. У даному випадку оптимальним шляхом буде якраз потік, спрямований уздовж градієнта тиску, в якому досягається стаціонарний рух рідини; локальний мінімум не може бути досягнутий, тому що у всіх точках потоку задовольняється

рівняння Лапласа. Для обліку неоднорідностей середовища вводиться зовнішня сила, вона враховує силу тертя і вплив прохідних перешкод, відповідно, розглядаються потоки в'язкої рідини. Основне рівняння руху в'язкої нестисливої рідини – рівняння Нав'є-Стокса:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} &= \bar{f} - \bar{\nabla} p + \mu \Delta \bar{v}, \\ \bar{\nabla} \bar{v} &= 0, \end{aligned} \quad (1.12)$$

де ρ – щільність рідини;

v – вектор швидкості руху рідини;

t – час;

f – зовнішня сила;

p – тиск;

μ – коефіцієнт в'язкості рідини.

Спрощене рівняння виглядає так:

$$\begin{aligned} \mu \Delta \bar{v}(\bar{x}) &= \bar{\nabla} p(\bar{x}) - \bar{f}(\bar{x}), \\ \bar{\nabla} \bar{v} &= 0. \end{aligned} \quad (1.13)$$

У даному випадку невідомими є вектор швидкості v і абсолютна координата x .

Граничні умови:

$$\begin{cases} \bar{v}(\bar{x}_F) = 0, & \bar{x}_F \in \partial\Omega, \\ \frac{\partial p(\bar{x}_F)}{\partial \bar{n}} = 0, & \bar{x}_F \in \partial\Omega, \end{cases} \quad (1.14)$$

де $\partial\Omega$ – кордони перешкод;

n – зовнішня нормаль до кордону перешкоди.

Початкові умови:

$$\begin{cases} p(\bar{x}_S) = 1, \\ p(\bar{x}_G) = 0, \end{cases} \quad (1.15)$$

де x_S – початкова точка;

x_G – цільова точка.

Для розв'язання рівняння в двовимірному просторі методом кінцевих різниць рівняння подаємо такий спосіб:

$$\begin{cases} 2\mu(v_{x_{i+1,j}} + v_{x_{i,j+1}} + v_{x_{i-1,j}} + v_{x_{i,j-1}} - 4v_{x_{i,j}}) = h(p_{i,j+1} - p_{i,j-1}) - 2hf_{x_{i,j}}, \\ 2\mu(v_{y_{i+1,j}} + v_{y_{i,j+1}} + v_{y_{i-1,j}} + v_{y_{i,j-1}} - 4v_{y_{i,j}}) = h(p_{i+1,j} - p_{i-1,j}) - 2hf_{y_{i,j}}, \\ v_{x_{i,j+1}} - v_{x_{i,j-1}} + v_{y_{i+1,j}} + v_{y_{i-1,j}} = 0, \end{cases} \quad (1.16)$$

де

$$\begin{aligned} \bar{v} &= v_x \bar{x} + v_y \bar{y}, \\ \bar{f} &= f_x \bar{x} + f_y \bar{y}. \end{aligned} \quad (1.17)$$

Якщо число точок сітки N , то необхідно розв'язати розріджену систему з $3N$ лінійних рівнянь.

За результатами застосування даного алгоритму виявлено безліч так званих «коридорів». Кожен коридор починається в околі стартової точки і закінчується в околі цільової. Дотримання РМП по осьовій лінії коридору гарантує його безпеку.

Звернемо увагу на випадок, коли зовнішня сила не дорівнює нулю. Це дозволяє враховувати різномірність середовища.

Повна потенційна енергія частинки в потоці:

$$\int_S^G \mu \Delta \bar{v} \cdot \bar{T} = \int_S^G \bar{\nabla} p \cdot \bar{T} = p_G - p_S, \quad (1.18)$$

де S – початкова точка;

G – цільова точка;

T – вектор, дотичний до траєкторії;

$p_G - p_S$ – різниця тисків у x_S і x_G .

У разі присутності сили тертя F :

$$\begin{aligned} \int_S^G \mu \Delta \bar{v} \cdot \bar{T} + \int_S^G F \cdot \bar{T} &= \int_S^G \bar{\nabla} p \cdot \bar{T} = p_G - p_S, \\ \int_S^G \mu \Delta \bar{v} \cdot \bar{T} - L \cdot F &= \int_S^G \bar{\nabla} p \cdot \bar{T} = p_G - p_S. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Механічна робота сили тертя $L \cdot F$ залежить від довжини траєкторії L .
За умови досить великій величині F :

$$\int_S^G |\mu \Delta \bar{v} \cdot \bar{T}| \ll L \cdot F, \quad (1.20)$$

всі траєкторії мають обмежену довжину:

$$L \leq L_{\text{lim}} = \frac{p_S - p_G}{F}. \quad (1.21)$$

Практично, встановлення дуже великої величини F на границі перешкод еквівалентна умові $\nu = 0$. Під час використання $F = \text{const}$ довжина потоків може бути обмеженою, тому, збільшуючи величину F , можна домогтися відсіювання шляхів більшої довжини, залишаючи лише шляхи з довжинами близькими до оптимальних.

Для тестування даного методу використовувався 4-х колісний РМП на полігоні 60 м · 100 м з перешкодами. Зовнішня сила f задавалася у виді:

$$f = mg(\sin \theta + K_f \cos \theta), \quad (1.22)$$

де m – маса РМП;

θ – кут нахилу ділянки поверхні в напрямку руху;

K_f – коефіцієнт тертя між колесами та поверхнею.

Слід зазначити також напрямок, який пов'язаний з досить складним за своєю структурою завданням потенційної функції, яка не має локальних мінімумів. Проте завдання подібної потенційної функції може виявитися дуже складним.

1.5 Постановка задачі дослідження

Задачі, які вирішуються, полягають в моделюванні процесу синтезу інформації про допустимі інформаційно-рухові дії в залежності від поточного стану РМП та конфігурації протидіючих об'єктів в середовищі функціонування, а також об'єктів, що підлягають обробці – планування виконуваних інформаційно-рухових дій платформи. З усіх задач, які повинні вирішуватися, слід виділити наступні:

- представлення комплексної інформації про робочий простір робота, включаючи операції картографування й нанесення умовних планів його переміщень;
- автоматичне узгодження конфігурації РМП та об'єктів середовища;
- контроль плану дій в залежності від динамічних змін в конфігурації об'єктів середовища;
- процедуральна побудова умовних інформаційних рухових траєкторій пересування РМП;
- забезпечення постійного зворотного зв'язку, плану дій з потоком сенсорних даних;
- синтез карти середовища, що досліджується.

2 СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ПЕРМІЩЕННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ НА ОСНОВІ КІНЦЕВО-АВТОМАТНОГО ПІДХОДУ

2.1 Передумови створення алгоритму

Розподілені системи, зокрема робототехнічні, останнім часом привертають дедалі більше уваги дослідників. Однією з причин можна назвати ту, що системи такого класу все частіше використовуються як промисловими, так і непромисловими додатками: об'єднання паралельно функціонуючих підсистем на практиці дозволяє виконувати такі завдання, які не під силу кожній з компонент складної системи [9]. На рис. 2.1 наведено приклад такої багатокомпонентної системи, що містить РМП різного призначення: навантажувачі, дослідники тощо.

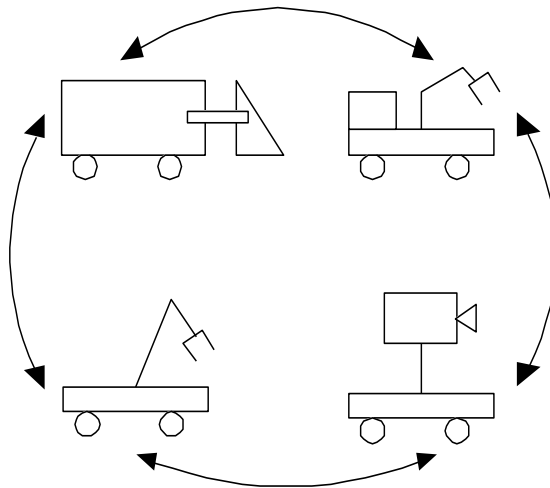


Рисунок 2.1 – Багатокомпонентні підсистеми

З іншого боку, керування системами такого класу не є нетривіальним завданням: якщо керування кожної з підсистем, складових складної

системи, завдання, взагалі кажучи, вирішене (наприклад, переведення маніпулятора з точки до точки по заданій траєкторії), то керування узгодженою поведінкою групи роботів, об'єднаних спільною метою, є складною проблемою.

Звертаємо увагу, що завдання керування істотно ускладнюється, якщо частина підсистем переслідує конфліктуючі цілі.

Пропонується підхід до розв'язання завдання координації взаємодії підсистем, складових складної системи, що базується на описі всіх підсистем як кінцевих автоматів і використовує мережу побудованих автоматів спеціальним чином для координації роботи підсистем у процесі виконання попередньо сформованого завдання. До того ж, запропоновано способи планування поведінки складної системи із залученням методів штучного інтелекту.

2.2 Багатокомпонентна система

Багатокомпонентною системою називається система, що містить множину підсистем, об'єднаних спільним завданням.

Надамо їй більш точного визначення.

Нехай завдання T буде представлено як множина підзавдань t_i :

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}. \quad (2.1)$$

Введемо відношення слідування F на T , так що $t_i F t_j$ означає, що завдання t_i може бути виконано тільки за умови виконання t_j . Якщо проведено таку структуризацію завдання T , тоді можна побудувати T -орієнтований граф:

$$G = (T, A), \quad (2.2)$$

де $T = \{t_i\}$ – множина вершин графа G ;

$A = \{a_i\} \in T \times T$ – множина спрямованих дуг, до того ж дуга $a \in A$ з'єднує t_i з t_j тільки за умови, коли $t_i F t_j$.

Нехай система S складається з підсистем s_i (інакше кажучи локальними системами або терміналами):

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}, \quad (2.3)$$

при цьому $T_i \subset T$ – завдання, що виконується системою s_i .

Тоді систему:

$$CS = (S, T), \quad (2.4)$$

будемо називати T – складною системою (далі – складною системою), якщо виконані такі умови:

$$\begin{aligned} C1: \bigcup_{i=1}^N T_i &= T, \\ C2: &G. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Умови C_1, C_2 можна інтерпретувати в такий спосіб:

– C_1 : складна система, що складається з набору підсистем, які в змозі виконати завдання T ;

– C_2 : дії всіх підсистем, які містяться в складі складної системи, повинні координуватися в процесі виконання завдання. Тут під координацією ми розуміємо обмін даними (або командами) між підсистемами [10].

Якщо одна з підсистем $s_i \in S$ є роботом, то таку складну систему будемо назвемо багатокomпонентною робототехнічною системою (БРС).

2.3 Вибір способу організації керування переміщенням робототехнічної мобільної платформи

Організація процедури планування та координації є надзвичайно важливою, оскільки істотно впливає на використовувані методи керування.

Метод централізованого керування організації передбачає наявність центральної системи керування, що планує дії всіх підсистем, а потім координує їх взаємодію в процесі виконання (рисунок 2.2) відповідно до попередньо розробленого плану.

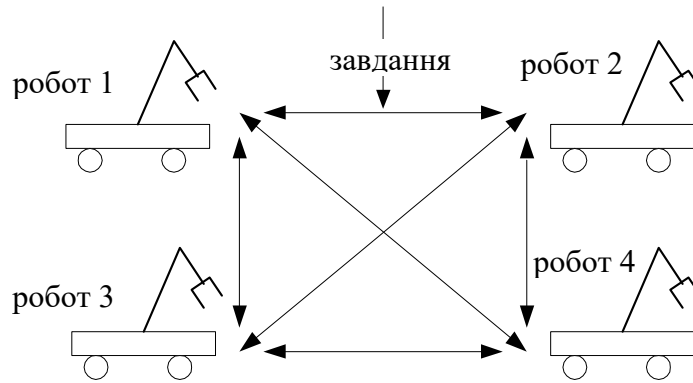


Рисунок 2.2 – Структура ЦСК

Центральна система керування (ЦСК) передає підсистемі завдання, розв'язання якого не вимагає будь-якої координації між підсистемами. Результат виконання повертається до ЦСК. У залежності від надісланого результату ЦСК надсилає підсистемі наступне завдання, а потім процес повторюється. Зауважимо, що фізично ЦСК можна реалізувати як окремий пристрій, або на базі системи керування однієї з компонент БРС.

При такому розподіленому керуванні відсутня центральна система, відповідно, процеси планування завдань та координація під час виконання

реалізуються шляхом обміну повідомлень між підсистемами (рисунок 2.3).

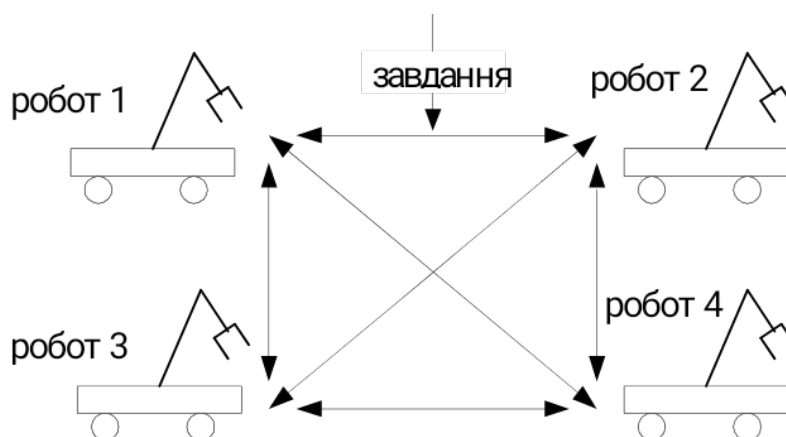


Рисунок 2.3 – Розподілене керування

На етапі планування активізується переговорний процес, результатом якого є узгоджений план виконання завдання. Реалізація цього плану відбувається на етапі виконання і полягає у розв'язанні підзавдань та обміні даними за результатами їхнього виконання. З огляду на це, за такої організації не можна говорити про керування розподіленою системою, оскільки, на відміну від централізованої організації, явно виражений відсутній носій керування, що забезпечує необхідну поведінку системи, тобто всі підсистеми є рівноправними як на етапі планування, так і на етапі виконання.

Отже, централізоване керування реалізується шляхом ієрархічного способу організації системи, який полягає в тому, що керування є багаторівневим з явним підпорядкуванням нижніх рівнів (локальних систем керування) верхнім (центральною системою керування). Всі обміни повідомленнями між підсистемами здійснюються через верхній рівень. Розподілене керування реалізує гетерархічний спосіб організації, тобто всі компоненти системи є рівноправними, а процес планування виконується паралельно всіма підсистемами [10].

2.4 Архітектура підсистеми багатокomпонентної робототехнічної системи

Розглянемо стисло архітектуру підсистем БРС.

Архітектура кожної компоненти БРС обумовлена тим набором функцій, які вона повинна виконувати, зокрема:

- F_1 – мати можливість обмінюватися даними з центральною системою керування (централізований спосіб керування) чи з локальними підсистемами (розподілений спосіб);

- F_2 – забезпечувати процес прийняття рішення або планування (децентралізоване керування);

- F_3 – забезпечувати координацію з іншими підсистемами на етапі виконання спланованого завдання;

- F_4 – виконувати відповідні підзавдання, що були сформовані на етапі планування.

Загалом функція F_1 є чисто технічною, тому її реалізація полягає в підтримці відповідних мережевих протоколів. Для забезпечення функції F_2 висувається вимога мати в складі підсистеми базу знань для прийняття рішень. Функція F_3 потребує наявного механізму, що приводить в дію виконання системою відповідних підзавдань за сигналами, що надходять від інших підсистем. Проте ці сигнали не повинні вимагати перепланування завдання в цілому (наприклад, неуспіх під час виконання підзавдання однією з підсистем). Реалізація функції F_4 забезпечується нижнім рівнем локальної системи керування й апаратними засобами підсистем.

Звертаємо увагу, якщо локальна система є складною, то процес виконання підзавдання також може включати в себе етапи планування та координації виконання. Наприклад, для РМП, яка обладнана шасі, маніпулятором та системою технічного зору, підзавдання в формі «перемістити об'єкт A до позиції B » можна розпланувати таким чином: t_1 –

маніпулятор, прибрати; t_2 – TV, знайти A ; t_3 – маніпулятор, змінити схват; t_4 – маніпулятор, взяти A ; t_5 – маніпулятор, покласти до B ; з відповідною координацією між підсистемами «маніпулятор» і «TV» під час виконання.

Отже, підсистема повинна включати в себе принаймні 4 таких функціонально різних компоненти (рисунок 2.4): комунікатор (F_1); планувальник (F_2); координатор (F_3); виконавець (F_4).

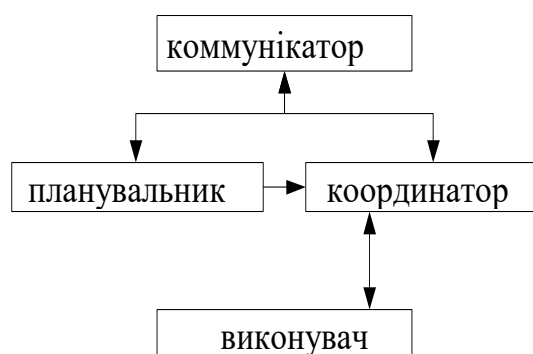


Рисунок 2.4 – Архітектура підсистеми

2.5 Висновки до розділу

Запропоновано: підхід до вирішення завдання координації взаємодії підсистем та способи планування поведінки складної системи, що використовують методи штучного інтелекту.

Обрано спосіб організації управління робототехнічної системою.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Координація виконання інформаційно-рухових дій

Застосуємо підхід, який полягає в поданні цього рівня системи керування як мережі спеціальним чином побудованих кінцевих автоматів.

Назвемо мережевим автоматом NA з p входами і q виходами такий кортеж:

$$NA = \langle I, O, U, X, Z, f, h \rangle, \quad (3.1)$$

де $I = \{i_1, i_2, \dots, i_p\}$ – множина входів;

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_q\}$ – множина виходів;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ – вхідний алфавіт;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина станів;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ – вихідний алфавіт;

$f: X \times V \rightarrow X$ – однокрокова перехідна функція, де $V \subset U \times I$;

$h: X \times V \rightarrow W$ – вихідна функція, де $W \subset Z \times O$.

Елементи множин V та W будемо називати узагальненими вхідними та вихідними алфавітами відповідно.

Додатково введемо додатково спеціальний символ ε , який є елементом як вхідного, так і вихідного алфавітів. Цей символ інтерпретуємо як порожній, що завжди є присутнім на виділеному вході автомата, отже, якщо в описі переходу з деякого стану присутній вхідний символ ε , тоді виконується відповідний перехід [11]. Поява символу ε в вихідному каналі означає, що на вихід нічого не надходило. Зауважимо, що отриманий у результаті автомат не є автоматом Мілі, оскільки в ньому не зберігається довжина відображення.

Під час зображення графа мережевого автомата застосуємо наступну нотацію: через $i.u$ позначимо символ вхідного алфавіту $u \in U$, що прийшов по вхідному каналу $i \in I$; через $z.o$ позначемо символ вихідного алфавіту $z \in Z$, який надійшов у вихідний канал $o \in O$.

Тепер уведемо поняття мережі автоматів як набір автоматів, які об'єднані своїми входами та виходами і взаємодіють шляхом передачі/прийому символів своїх вихідних/вхідних алфавітів.

Мережею автоматів назвемо L -зв'язний мультиграф

$$L = (E, C), \quad (3.2)$$

де $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множина вершин графа;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ – множина спрямованих дуг, $c_i = (e_j, e_k)$.

Вершина графа інтерпретується як мережевий автомат, а дуга – як канал зв'язку між автоматами, що застосовується для обміну елементами вхідних/вихідних алфавітів.

Робота мережі заснована на паралельному функціонуванні всіх складових її автоматів, поведінка кожного з них, у свою чергу, визначається їхнім поточним станом, а також станом вхідних каналів [17].

Нехай тепер $L = (E, C)$ – мережа автоматів, у такому разі розподілена система складається з підсистем. Кожна підсистема описується кінцевим автоматом, так що $M = \{M_i\}$ – множина моделей підсистем.

У разі, якщо $M \subset E$, то:

$$L_c = \{E_c, C_c\}, \quad (3.3)$$

де E_c – керуюча структура для розподіленої системи, представленої моделями $\{M_i\}$, дорівнює E/M .

Зрозуміло, що будучи з'єднаною з реальними підсистемами, керуюча структура забезпечує деяку поведінку підсистем, залежно від топології

керуючої структури й атрибутів мережевих автоматів, що належать до її складу.

Розглянемо елементарний приклад.

Нехай два робота Rb_1 і Rb_2 перекладають деталі з накопичувача S на два конвеєра C_1 і C_2 (рисунок 3.1).

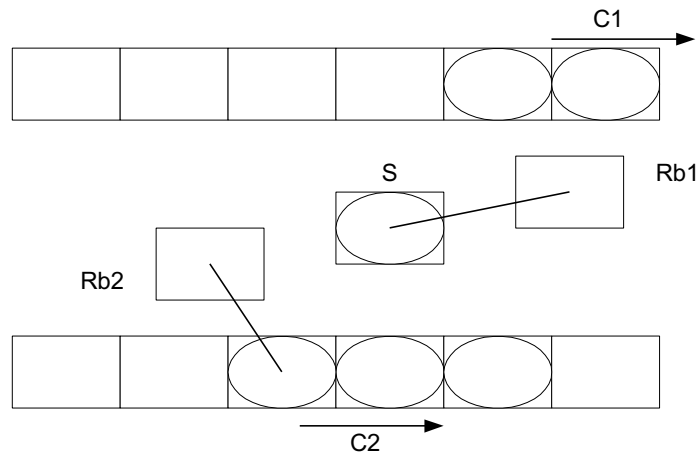


Рисунок 3.1 – Проста БРС

Відповідно до вищезазначеного, роботи Rb_1 , Rb_2 опишемо як кінцеві автомати:

$$Rb_i = (I_i, O_i, U_i, X_i, Z_i, f_i, h_i), i=1,2, \quad (3.4)$$

з наступними атрибутами:

$$I_i = \{i_0\}; O_i = \{i_0\}; U_i = \{g\}; x_i = \{0, 1, 2\}; Z_i = \{y, Y\}, i = 1,2. \quad (3.5)$$

Функції f_i і h_i яку представлено на рисунку 3.2. Кожен з роботів Rb_i сприймає тільки одну команду «g», після якої він переміщається до накопичувача S , захоплює деталь, переносить та встановлює її на конвеєр C_i . Сигнали «y» і «Y» на виході робота з'являються тоді, коли він звільняє небезпечну зону i , відповідно, завершує виконання одного циклу. Побудуємо структуру керування у вигляді трьох автоматів, два з яких (Reg_1 і Reg_2) – логічні регулятори роботів, а третій (Re_s) забезпечує стеження за ресурсом.

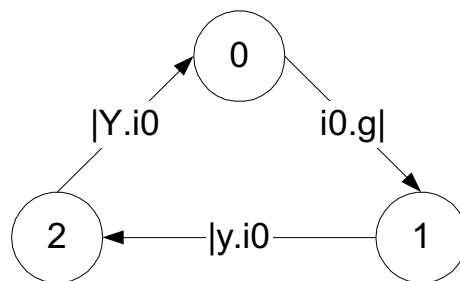
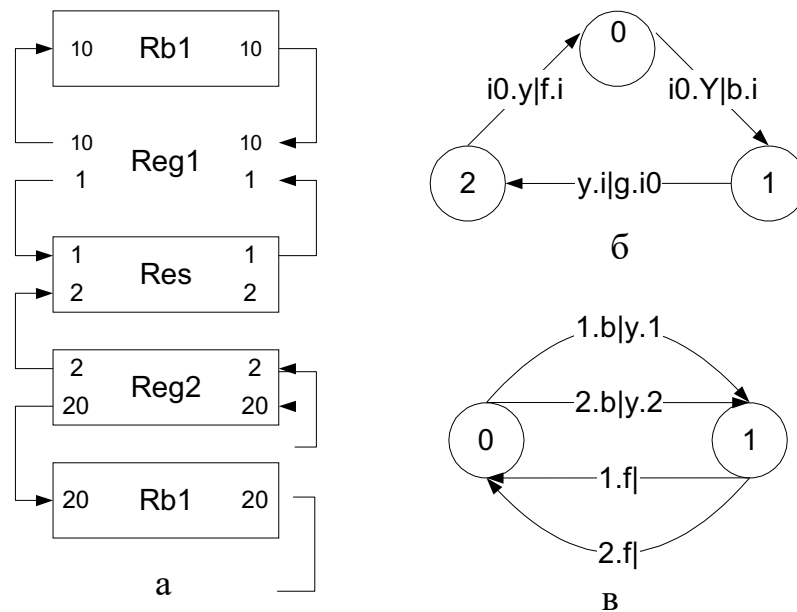


Рисунок 3.2 – Модель робота Rb_i

На рисунку 3.3 представлена топологія керуючої структури, а також діаграми всіх вхідних в її склад автоматів. Структура функціонує наступним чином. Регулятор кожного робота надсилає запит на заняття небезпечної зони автомату-ресурсу. Якщо зона вільна, то цей запит задовольняється, небезпечна зона переходить в стан «зайнято» і регулятор посилає команду роботу почати транспортну операцію. Після того, як робот вийде з небезпечної зони, він інформує про це регулятор, який в свою чергу переводить небезпечну зону в стан «вільно» і чекає закінчення виконання операції. Далі цикл повторюється. представлено топологію структури керування, а також діаграми всіх автоматів, які входять до її складу. Структура функціонує таким чином: регулятор кожного робота надсилає запит на зайняття небезпечної зони автомату-ресурсу. Якщо зона

вільна, то цей запит задовольняється, небезпечна зона переходить до стану «зайнято» і регулятор посилає команду роботу «почати транспортну операцію». Після того, як робот вийде з небезпечної зони, він інформує про це регулятор, який повинен перевести небезпечну зону до стану «вільно» і чекати закінчення виконання операції. Далі цикл повторюється.



а – топологія; б – діаграма регуляторів;

в – діаграма автомата, що стежить за ресурсом

Рисунок 3.3 –Управляюча структура

Спосіб координації, наведений вище, є досить ефективним засобом для побудови тільки централізованих систем керування (рисунок 3.4). Справді, якщо нижній рівень структури керування є по суті справи логічним регулятором і може без роботи асоціюватися з локальними системами керування, то верхні рівні обмінюються даними з усіма підсистемами, що беруть участь у виконанні завдання, і тому є фрагментом центральної системи керування [11].

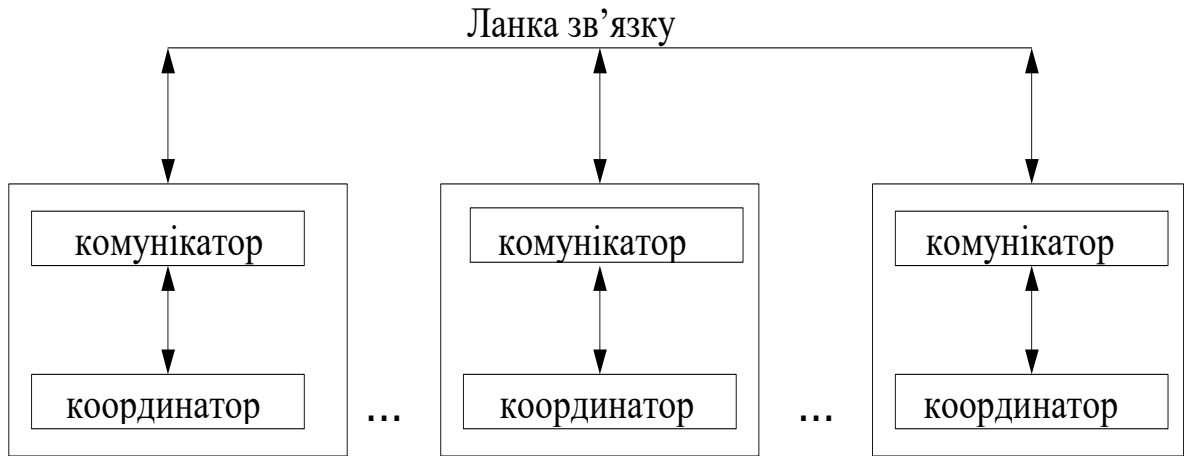


Рисунок 3.4 – Взаємодія підсистем в процесі координації

3.2 Планування виконання інформаційно-рухових дій

Розглянемо метод планування завдання для централізованої системи, що полягає у виконанні двокрокової процедури.

Крок 1. На основі методів штучного інтелекту знайти послідовність підзавдань, які виконуються кожною з підсистем та сформовані в термінах вхідних алфавітів підсистем.

Крок 2. Перетворити ці послідовності на структуру керування, що забезпечить координацію виконання сформованого завдання.

Розглянемо більш детально цю процедуру. Як метод вирішення задачі планування використаємо числення предикатів першого порядку. Вхідна інформація, що необхідна для вирішення завдання планування, складається з компонент, які містять такий опис:

- K_1 – можливості кожної з підсистем;
- K_2 – початковий стан;
- K_3 – завдання;
- K_4 – універсальні властивості.

Компонент K_1 містить набір пропозицій (правил), які відображають можливості кожної підсистеми змінювати стан зовнішнього середовища (переміщення об'єктів, отримання інформації про об'єкти тощо).

Відмінною особливістю цієї компоненти є наявність сколемовської функції, що належить до однієї з підсистем. Множина K_2 містить факти, що описують початковий стан системи. Компонента K_3 – формулювання завдання. Множина K_4 описує універсальні властивості, що не залежать від підсистем, які входять до складу БРС (ця множина може бути порожньою) [11]. Елементи всіх множин – це правильно побудовані формули в численні предикатів 1-го порядку.

Завдання планування полягає в отриманні послідовності операторів, які забезпечують виконання мети. З огляду на це для забезпечення максимально можливого розпаралелювання процесу виконання представимо множину K_1 у вигляді:

$$K_1 = \bigcup_{i=1}^N K_{1i}, K_{1i} \cap K_{1i_2} = \emptyset, i_1 \neq i_2, \quad (3.6)$$

де N – множина підсистем.

Отже, кожна підмножина K_{1i} містить тільки правильні формули, що відображають можливості i -ої підсистеми. Після здійснення такого розбиття побудуємо резолюції r_{ij} , і не-мети з елементами K_{1i} настільки довго, наскільки це можливо. Якщо цей процес неможливо продовжувати, залишаючись в K_{1i} (це означає, що на даному етапі виконання необхідна взаємодія між підсистемами), тоді будемо резолюції з сусідніми підмножинами. Такий процес забезпечить (у разі успіху) отримання послідовності операторів, які належать до кожної з підсистем, а також точок координації їх взаємодії. Після чого отримані результати використовуються для перетворення в структуру керування, що забезпечує виконання сформованого плану (рисунок 3.5).

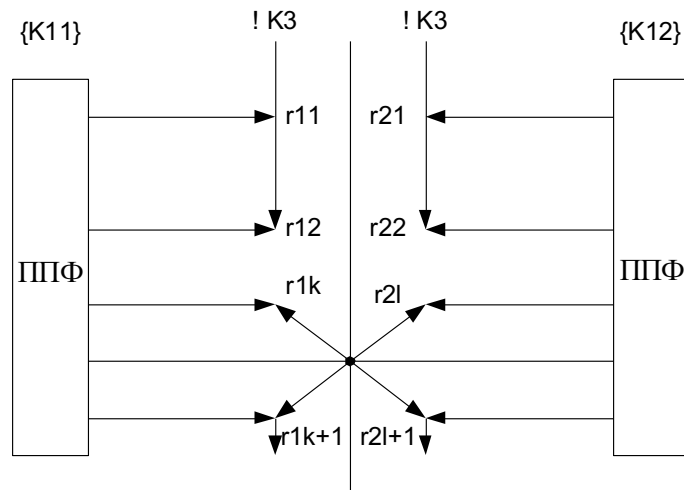


Рисунок 3.5 – Виконання сформованого плану

3.3 Функціонування системи підтримки і прийняття рішень

Розробка системи підтримки та прийняття рішень для РМП – це розв'язання комплексу програмно-апаратних задач, яке має бути оптимальним, як за часом виконання, так і за необхідними для роботи системи ресурсами. Перш за все, розглянемо взаємодію підсистеми з зовнішніми по відношенню до неї функціональними елементами для визначення з можливостями, що можна реалізувати на їхній основі. Функціональна структура взаємодії підсистеми з системою технічного зору (СТЗ) під час роботи представлено на рисунку 3.6.

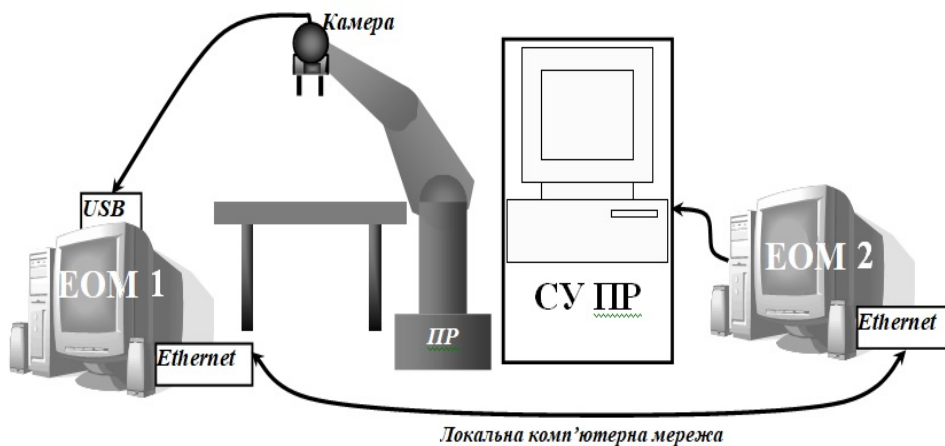


Рисунок 3.6 – Функціональна структура взаємодії підсистеми

Підсистема під час роботи повинна взаємодіяти з двома елементами: зі стійком керування промислового робота за допомогою послідовного інтерфейсу; з ЕОМ1 (СТЗ) здійснюється через локальну комп'ютерну мережу (протокол UDP (User Datagram Protocol)). Програмна частина підсистеми локалізована на ЕОМ2 (рисунок 3.6).

На рисунку 3.7 зображено структурна схема розробленої підсистеми.



Рисунок 3.7 – Структурна схема підсистеми

Опис задачі, який надходить до системи, обробляється декомпозиційним і розбивається на підзадачі. Наприклад, задачу «перемістити об'єкт *A* до точки *B*» можна розбити на наступні підзадачі:

– відкрити схват;

- переміститися до зони об'єкта, так щоб об'єкт опинився в схваті;
- закрити схват;
- переміститися до точки B ;
- відкрити схват;
- вийти з зони об'єкта.

Далі виділені підзадачі надходять до планувальника, що визначає, яким чином краще розв'язати ту чи іншу підзадачу. Після чого модуль формування програми отримує інформацію від системи технічного зору про об'єкти, що розташовані в робочому просторі робота. Потім з використанням модуля роботи з базою даних (БД) відбувається завантаження параметрів, які визначають положення схвата в умовах захоплення кожного конкретного об'єкта. Базуючись на поточних координатах камери та інформації, отриманої від СТЗ та з БД, виконується розрахунок реальних координат об'єктів. Потім на основі інформації сформованої планувальником підзадач проводиться формування програми керування з використанням отриманих координат об'єктів за результатами розрахунків.

Після того, як програму сформовано, транслятор розв'язує зворотню задачу кінематики для кожного її кроку, формуючи, таким чином, програму в просторі приєднаних координат. Відтрансльована програма надходить на модуль відпрацювання програм керування, який спільно з модулем інтерфейсу забезпечує надсилання відповідних керівних впливів на стійку керування промисловим роботом.

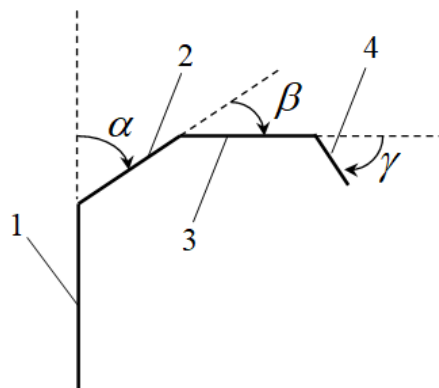
3.4 Розв'язання оберненої задачі кінематики

Команди керування маніпулятором РМП формуються в просторі приєднаних змінних, а координати об'єктів маніпулювання задаються в абсолютній системі координат. Для керування положенням та орієнтацією схвата РМП таким чином, щоб виконувати необхідні операції з об'єктом

маніпулювання, необхідно вміти розв'язувати зворотну задачу кінематики [13]. Інакше кажучи, треба вміти за заданими координатами схвата та відомими параметрами його ланок і зчленувань визначити приєднані параметри $q = (q_1, \dots, q_6)^T$ маніпулятора, що забезпечують задане положення схвата.

У програмі UnitedRobotProject початково розв'язана зворотна задача кінематики для перших трьох зчленувань маніпулятора. Програма здатна за заданими декартовими координатами точки та кута q_5 визначити необхідні кути q_1, q_2, q_3 . Для ефективного захоплення об'єктів та їхньої акуратної установки необхідно, щоб кисть у момент захоплення була повернута перпендикулярно до площини, на якій лежить об'єкт.

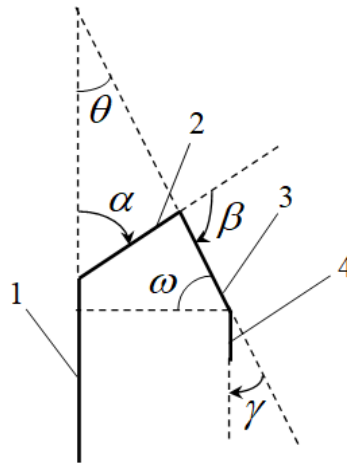
На рисунку 3.8 зображено умовну кінематичну схему маніпулятора.



1 – колона; 2 – плече; 3 – лікоть; 4 – кисть

Рисунок 3.8 – Спрощена кінематична схема маніпулятора

Тут α – кут повороту плеча, β – кут повороту ліктя, γ – кут повороту кисті. Нам необхідно визначити такі кути, як α, β, γ , щоб кисть була розташована перпендикулярно до робочого столу. Спочатку визначимо, як кут γ від кутів α та β , за умови, що кисть розташована перпендикулярно. Даний варіант зображено на рисунку 3.9.



1 – колона; 2 – плече; 3 – лікоть; 4 – кисть

Рисунок 3.9 – Кінематична схема маніпулятора для випадку, коли кисть розташована перпендикулярно робочого столу

З рисунка 3.9 виходить, що:

$$\angle \theta = 180 - \angle \alpha - \angle \beta, \quad (3.7)$$

$$\angle \omega = 90 - \angle \theta, \quad (3.8)$$

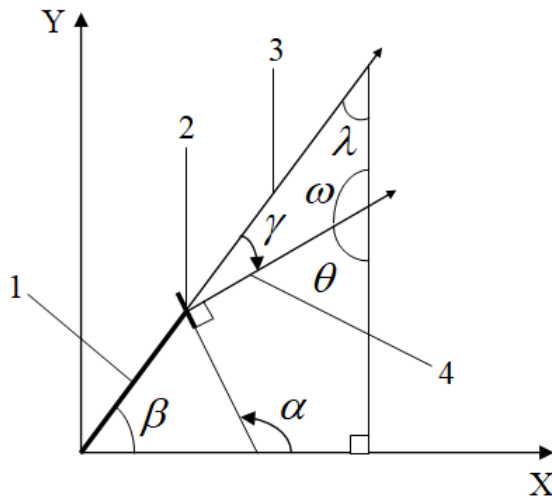
$$\angle \gamma = 90 - \angle \omega, \quad (3.9)$$

$$\angle \gamma = 90 - 90 + 180 - \angle \alpha - \angle \beta = 180 - \angle \alpha - \angle \beta. \quad (3.10)$$

Отже, вважатимемо, що кисть буде розташовуватись перпендикулярно робочого столу, якщо виконується рівність (3.10). Програма UnitedRobotProject здатна обчислювати кути α та β за заданими координатами (x, y, z) і кута γ . Для отримання таких кутів, де кисть буде розташована перпендикулярно до робочого столу, необхідно змінювати кут γ (от 0° до 100°), доти, поки не буде виконано умову (3.10). Якщо на цьому відрізку не існує точки, в якій виконано

умову (3.10), то це свідчить про те, що або точка (x,y,z) знаходиться за межами робочої зони маніпулятора, або для неї неможливо забезпечити перпендикулярну орієнтацію схвата.

Поміж визначення кутів повороту колони, плеча, ліктя актуальною задачею є визначення такого кута повороту схвата, що забезпечив би захоплення об'єкта, що лежить під певним кутом (цей кут надходить від системи технічного зору). Крім того, оскільки схват може повертатися в дуже широких межах (від -260° до 260°), необхідно забезпечити мінімальний кут повороту для досягнення необхідної орієнтації. На рисунку 3.10. показано визначення кута повороту схвата.



1 – маніпулятор; 2 – об'єкт роботизації; 3 – вектор початкової орієнтації схвата; 4 – вектор необхідної орієнтації схвата

Рисунок 3.10 – Визначення кута повороту схвата

$$\gamma = 180^\circ - \angle \lambda - \angle \omega, \quad (3.11)$$

$$\angle \lambda = 90^\circ - \angle \beta, \quad (3.12)$$

$$\angle \theta = 180^\circ - \angle \alpha, \quad (3.13)$$

$$\angle \omega = 180^\circ - \angle \theta, \quad (3.14)$$

$$\angle \omega = 180^\circ - (180^\circ - \angle \alpha) = \angle \alpha, \quad (3.15)$$

$$\angle \gamma = 180^\circ - (90^\circ - \angle \beta) - \angle \alpha = 90^\circ + \angle \beta - \angle \alpha. \quad (3.16)$$

За результатами розрахунків отримуємо кут γ , на який необхідно повернути схват РМП.

3.5 Програмна реалізація системи підтримки і прийняття рішень

Управління РМП виконується шляхом надсилання кодових посилок з асинхронного порту ЕОМ на порт ручного керування робота. Фактично реалізується імітація натискання кнопок на пульті ручного керування в режимі JOINT. Посилки з пульта ручного керування надходять на СОМ-порт. У відповідь на цю посилку ЕОМ, базуючись на необхідних впливах керування, формує кодову посилку. Для прийому та надсилання кодових посилок у програмі створюється потік класу TTranslateThread, який є спадкоємцем стандартного класу TThread.

```
TTranslateThread = class(TThread)
protected
  procedure Execute; override;
  procedure Translate;
end;
```

Метод Execute активізується в момент створення потоку та виконується в циклі доти, поки потік не буде зупинено за допомогою методу Suspend. Метод Translate циклічно активізується з Execute.

Процедура Translate приймає посилки з COM-порту до буфера RData та надсилає вміст буфера SData.

```

ReadFile(hCom,RData,BufSize,Bytes,nil);
ClearCommError(hCom,Errors,@Stat);
if TransMode=0 then
begin
WriteFile(hCom,RData,BufSize,Bytes,nil);
end
else
begin
WriteFile(hCom,SData,BufSize,Bytes,nil);
end;

```

Крім того, передбачено ретрансляцію посилки безпосередньо. Встановивши прапор TransMode на нулі, можна відключити подачу впливів керування з робота на маніпулятор. Це використовується для відключення керування в аварійних ситуаціях.

До того ж, метод Translate виконує стеження за станом руху ланок маніпулятора і в разі, якщо якась ланка досягла заданого положення, він припиняє подачу на неї впливів керування. Для формування буфера впливів керування SData застосовується процедура GenMsg.

Перед запуском потоку, що відповідає за керування маніпулятором, виконується ініціалізація послідовного порту функцією InitSerialPort. А потім активізується процедура CaptureSignal, яка за наявності сигналу з пульта ручного керування запускає потік класу TtranslateThread. Якщо сигнал з пульта ручного керування не подається, то з'являється повідомлення про помилку.

Для отримання інформації про об'єкти, що розташовані в робочому просторі робота, застосовують систему технічного зору, а саме: відеокамеру встановлюють на руці робота та підключають її через USB

(Universal serial bus) до ЕОМ. У зв'язку з тим, що робот та камера підключені до різних ЕОМ, то для обміну інформацією використовують локальну мережу. На обох машинах встановлюють мережевий протокол TCP/IP з виділенням IP-адрес. Для взаємодії з системою технічного зору використовують протокол UDP (User Datagram Protocol). Надсилання й отримання повідомлень здійснюється через 7777 порт.

На початковому етапі роботи система керування промисловим роботом перевіряє наявність СТЗ. Для цього вона надсилає посилку «connect» та протягом трьох секунд очікує на відповідь «connected». Якщо відповіді немає, то фіксується помилка. Якщо ж відповідь отримано, то система розпочинає роботу.

Для отримання якісної картинки з зображенням робочого простору робота, камера повинна бути розташована на фокусній відстані перпендикулярно робочій площини. Тому спочатку система керування роботом забезпечує додатне для зйомки положення маніпулятора, а потім подає СТЗ команду щодо сканування (посилка «start_scan»). Отримавши цю команду, СТЗ робить знімок та аналізує його. Під час аналізу система технічного аналізу виконує розпізнавання й ідентифікацію об'єктів, які потрапили до кадру. Після закінчення ідентифікації СТЗ передає інформацію про виявлені об'єкти до системи підтримки прийняття рішень. Для передачі використовують посилки виду:

“object: номер об'єкта: координата X : координата Y : кут нахилу”

Після передачі інформації про всі виявлені об'єкти СТЗ надсилає посилку «end_scan». Отримання даної посилки системою підтримки прийняття рішень є сигналом щодо початку розрахунку реальних координат об'єктів.

Система підтримки прийняття рішень для надсилання та отримання повідомлень використовує об'єкт класу TNMUDP. Він інкапсулює в собі всі необхідні поля та методи для роботи з UDP-пакетами.

Для надсилання посилки використовують метод SendBuffer.
 procedure SendBuffer(Buff: array of char; length: integer);

Щоб прийняти інформацію від СТЗ, програма обробляє повідомлення `OnDataReceived`. Це повідомлення виникає на момент отримання UDP-пакета. Оброблювач повідомлення `OnDataReceived` проводить зчитування даних в проміжний буфер за допомогою методу `ReadBuffer`.

```
procedure ReadBuffer(var Buff: array of char; var length: integer);
```

Оскільки в пакеті, зазвичай, міститься кілька інформаційних полів, то необхідно виконати його дроблення.

```
iLength:=0;
MyNMUDP.ReadBuffer(szDataBuffer,iLength);
szDataBuffer[iLength]:=chr(0);
iCountParam:=1;
szParam[0]:=@szDataBuffer[0];
iStrLen:=StrLen(szParam[0]);
for i:=1 to iStrLen do
  if szDataBuffer[i]=':' then
    begin
      szDataBuffer[i]:=chr(0);
      szParam[iCountParam]:=@szDataBuffer[i];
      inc(szParam[iCountParam]);
      inc(iCountParam);
    end;
```

Алгоритм дроблення пакета базується на тому, що інформацію в буфері розміщено у вигляді рядка з завершальним нулем. У циклі проводиться заміна двокрапок, які є роздільниками, на символ `'\0'` – символ закінчення рядка. До того ж, формується масив покажчиків `szParam`, куди записуються покажчики на рядки, що були отримані в

результаті поділу. Отже, `szParam[0]` міститиме першу частину пакета, `szParam [1]` – другу тощо.

Інформація щодо об'єктів, з якими працює система, зберігається в базі даних. База даних об'єктів реалізується в форматі Paradox 7 і містить одну таблицю. Поля в таблиці об'єктів можна розподілити на дві групи:

- інформація, необхідна для правильного захоплення об'єктів;
- інформація, необхідна для ідентифікації об'єктів.

Перша група полів застосовується системою підтримки прийняття рішень для розрахунку координат об'єктів. До неї належать такі поля:

- X – координата X схвата в системі координат об'єкта;
- Y – координата Y схвата в системі координат об'єкта;
- Z – координата Z схвата в системі координат об'єкта;
- X_x – координата x орта X системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- X_y – координата y орта X системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- X_z – координата z орта X системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Y_x – координата x орта Y системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Y_y – координата y орта Y системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Y_z – координата z орта Y системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Z_x – координата x орта Z системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Z_y – координата y орта Z системи координат схвата в системі координат об'єкта;
- Z_z – координата z орта Z системи координат схвата в системі координат об'єкта.

Поля другої групи не будемо розглядати докладно, оскільки вони призначені виключно для СТЗ, тому не використовуються системою підтримки прийняття рішень.

Крім полів розглянутих вище в БД розташована назва об'єкта та його умовний код.

Для зберігання інформації про об'єкти, що були виявлені СТЗ, використовують масив записів типу TDetal.

```
TDetal = record
    MyX,MyY,MyZ    :single;
    RealX,RealY,RealZ :single;
    Real_alfa      :single;
    X,Y,Z          :single;
    Xx,Yx,Zx    :single;
    Xy,Yy,Zy    :single;
    Xz,Yz,Zz    :single;
    alfa           :single;
    Code           :integer;
    Name           :string;
end;
```

З метою маніпулювання об'єктами відповідно до завдання система підтримки прийняття рішень повинна мати у своєму розпорядженні реальні координатами об'єктів. Для розрахунку цих координат вихідними даними є:

- поточні координати камери в системі, що пов'язана з основою робота;
- координати одиничних ортів системи координат камери в системі, що пов'язана з основою робота;
- координати центру мас об'єкта в екранній площині камери;
- кут повороту об'єкта в екранній площині камери;

– необхідні координати схвата в системі координат, які пов'язані з об'єктом;

– координати одиничних ортов системи координат схвата в системі, що пов'язані з об'єктом.

Для перетворення координат залучається множення матриць переходу розмірністю 4×4 . Множення двох матриць можна реалізувати в процедурі `Mult_Matrix`.

```
procedure Mult_Matrix(a,b:TMatr;var c:TMatr);
```

Для обчислення реальних координат, спочатку необхідно ініціалізувати такі матриці переходу:

– матрицю переходу з системи координат, пов'язаною зі схопом, до системи, пов'язаною з об'єктом;

– матрицю переходу з системи координат, пов'язаною з об'єктом, до системи, пов'язаною з камерою;

– матрицю переходу з системи координат, пов'язаною з камерою, до системи, пов'язаною з основою робота.

Для ініціалізації цих матриць переходу використовують такі функції, як `InitOz`, `InitKo`, `InitRk`. Кожна з функцій заповнює відповідну матрицю переходу. Для простоти використання цих функцій більшість їхніх параметрів має значення за замовчуванням. Зокрема передбачаємо, що для захоплення об'єкта схват має бути розташованим перпендикулярно об'єкта.

Докладно розглянемо призначення параметрів функцій ініціалізації. Перш за все, опишемо такі параметри функції `InitOz`.

Координати ортів системи координат захоплення в системі координат об'єкта. Дані параметри задають, вимагаючи положення захоплення щодо об'єкта під час захоплення.

(X_x, X_y, X_z) – орт X

(Y_x, Y_y, Y_z) – орт Y

(Z_x, Z_y, Z_z) – орт Z

Орти задають орієнтацію схоплення відносно об'єкта (відносно пов'язаної з ним системи координат).

Координати початку системи координат схоплення в системі координат пов'язаної з об'єктом (OX, OY, OZ) .

Дані координати задають розташування схоплення щодо об'єкта. При $OX=0$, $OY=0$ схоплення розташовано точно над центром об'єкта на висоті OZ .

Тепер розглянемо параметри функції ініціалізації матриці переходу з системи координат, пов'язаної з об'єктом, до системи координат камери (InitKo). Дана функція отримує такі параметри:

- координати центру об'єкта в системі координат камери (x, y) ;
- кут орієнтації об'єкта (alfa) в робочій площині (в системі координат камери).

Крім того, розглянемо параметри функції ініціалізації матриці переходу з системи координат камери до системи координат, яка пов'язана з основою робота (InitRk). Дана функція отримує такі параметри.

Координати ортов системи координат камери в системі координат робота.

(X_x, X_y, X_z) – орт X

(Y_x, Y_y, Y_z) – орт Y

(Z_x, Z_y, Z_z) – орт Z

Дані координати задають орієнтацію камери в просторі щодо системи координат робота.

Координати початку системи координат камери в системі координат пов'язаної з підставою робота (OX, OY, OZ) .

Ці координати задають розташування камери щодо основи робота. Зауважимо, що OZ є висотою робочого столу в системі координат, пов'язаної з основою робота, а не висотою камери.

Після процесу ініціалізації матриць переходу виконується перемноження за допомогою функції `Mult_Matrix`.

Матриця, отримана за результатами перемноження, містить необхідні координати схоплення в підматриці $p_{3 \times 1}$:

$$T = \left[\begin{array}{c|c} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ \hline f_{1 \times 3} & 1 \times 1 \end{array} \right] . \quad (3.17)$$

За матрицею $R_{3 \times 3}$ визначається кут повороту об'єкта.

3.6 Висновки до розділу

Розроблено метод координації та планування дій РМП. Запропоновано підхід, який полягає у поданні цього рівня системи керування як мережі спеціальним чином побудованих кінцевих автоматів.

Розроблено систему підтримки та прийняття рішень для РМП та програмну реалізацію системи підтримки та прийняття рішень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

На робочому місці оператора ПК виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, вивчення умов праці на робочому місці програміста є необхідною умовою запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих факторів.

Організація робочого місця. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце програміста, загальною площею 48 м², і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні знаходиться 6 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочим столом, стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

4.2 Промислова безпека на робочому місці

Живлення ПК здійснюється від трифазної чотирьох електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц. Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна віднести

до категорії без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом в приміщенні застосовується система занулення.

4.3 Виробнича санітарія у приміщенні

Робота оператора ПК за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт. В таблиці 4.1 наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях, де виконуються роботи операторського типу [20].

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22 – 24 °С; 40 – 60 %; до 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23 – 25 °С; 40 – 60 %; 0,1 – 0,2 м/с

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у лабораторії відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року. Слід зазначити, що для нормалізації параметрів мікроклімату слід використовувати у приміщеннях кондиціонування повітря, або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції.

Лабораторія, де виконується робота, має наступні характеристики:

- площа приміщення – 48 м² (8 м × 6 м);
- висота – 3,5 м;

- кількість робочих місць – 6 шт.;
- обладнання – стіл з ПК і периферією – 6 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м² площі та 20 м³ об'єму на одне окреме робоче місце з ПК [20]. Площа приміщення 48 м² та об'єм 168 м³, на кожне робоче місце приходиться 8 м² площі і об'єм 28 м³, тобто вимога виконана.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [20].

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{ce} \cdot n_{ce}, \quad (4.2)$$

де W_{ce} – потужність одного світильника, Вт;

n_{ce} – кількість світильників в приміщенні.

$$W_{\Sigma} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

$$W = \frac{400}{48} = 8,33 \text{ Вт/м}^2. \quad (4.4)$$

Питомої потужності 8,33 Вт/м² по таблиці Б.3 із [20] відповідає освітленість в 250 лк при мінімальній допустимій освітленості 300 лк.

Отже, для створення сприятливих зорових умов в лабораторії необхідно збільшити кількість світильників або замінити лампи в світильниках на більш потужні.

4.4 Пожежна безпека приміщення

Пожежна безпека – стан об'єкта, при яким виключається можливість пожежі, а у випадку його виникнення запобігає вплив на людей небезпечних факторів пожежі й забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі й системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у випадку виникнення вогнища загоряння, що й указує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у виробничому приміщенні є: перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження його поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Джерелами запалювання у виробничому приміщенні можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрою електроживлення, кондиціонування повітря, де в

результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри й дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості друг від друга розташовуються сполучні проведення, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції й кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Енергопостачання виробничого приміщення здійснюється за допомогою трансформаторної станції та за допомогою двигун-генераторних агрегатів. На трансформаторних підстанціях особливу небезпеку представляють трансформатори які мають масляне охолодження. У зв'язку із цим перевагу слід віддавати сухим трансформаторам.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі виконано інформаційне моделювання функціонування РМП в виробничому середовищі на інформаційному рівні організації тактико-технічного планування інформаційно-рухових дій.

Наведена узагальнена архітектура РМП і загальний принцип побудови його моделі. Розглянуто алгоритми планування.

Представлені інформаційні моделі багатокомпонентного РМП. Виконано вибір способу організації управління робототехнічної системою.

Наведено метод координації і планування інтелектуалізації управління РМП в складі роботизованого виробництва.

Також у роботі розглянуто кілька підходів, пов'язаних з управлінням розподіленими робототехнічними системами. Ця проблема є надзвичайно важливою і перспективною, з огляду на явну тенденцію об'єднання технічних систем, що має результатом суттєве підвищення функціональних можливостей складної системи: так ЕОМ, включений в локальну обчислювальну мережу має незрівнянно більші можливості, ніж ізольований ЕОМ.

При виконанні розділу «Охорона праці» були визначені небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Таким чином, були розроблені заходи і технічні засоби щодо забезпечення безпеки праці працюючого персоналу. Застосування цих заходів дозволить максимально знизити ймовірність отримання травм при роботі, а також поліпшити умови роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, Р.В. Артюх, Н.П. Демська, В.В. Євсєєв, О.І. Филипенко, О.М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 50 с.

2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посіб. / за ред. І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. Київ, 2016. 320 с.

3. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація «Звіти у сфері науки і техніки». Структура та правила оформлювання. / В. Земцева; Ю. Поліщук, канд. фіз.-мат. наук; Р. Санченко, канд. техн. наук; Л. Шрамко; А. Ямчук (науковий керівник) ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015р. № 61 з 2017-07-01.

4. Зуєв Є.О., Лучанінов М.Ю. Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ / «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2023 Part 2. Харків, ХНУРЕ.: 2023. С. 390-393.

5. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.

6. Платов І. М. Використання лазерного датчика відстані VL53L0X для систем зору мобільних роботів / І. М. Платов, О. М. Павловський // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих

вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна: збірник праць конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 59-62.

7. Костюк В. І. Робототехніка і мехатроніка / В. І. Костюк, Г. О. Спину. – К.: Вища школа, 1994. – 446 с.

8. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник / С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.

9. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

10. Савченко, А. С. Синельніков О.О. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник– Київ : НАУ, 2017. – 176 с.

11. Лубко Д.В., Шаров С.В. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264с

12. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посіб. для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 129 с.

13. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.