

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

_____ Віктор СИНЄГЛАЗОВ

“ ____ ” _____ 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ

“МАГІСТР”

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і
виробництва»

**Тема: Автоматизація налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з
використанням глибокого навчання з підкріпленням**

Виконавець: студентка групи Кп-226М Пікова Олена Ігорівна

Керівник: кандидат технічних наук, старший викладач Долгоруков С.О

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища» _____ Ольховик
Ю.К
(підпис)

Консультант розділу «Охорона праці» _____ Козлітин О. О.
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Філяшкін М.К
(підпис)

Київ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор СИНЕГЛАЗОВ
“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи студента

Пікової Олени Ігорівни

1. Тема роботи: «Автоматизація налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням».

2. Термін виконання роботи: з 19.08.2023р. до 15.11.2023р.

3. Вихідні дані до роботи: Розробку системи стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням ".

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Аналіз інформаційного забезпечення стабілізаторів динамічних об'єктів; 2. Аналіз конструкції стабілізаторів динамічних об'єктів; 3. Аналіз використання штучного інтелекту для стабілізаторів системи; 4. Розробка та дослідження процесу стабілізації об'єктів; 5. Розробка та дослідження моделі стабілізації; 6. Розробка та дослідження програмного забезпечення для системи стабілізації

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: 1. Модель стабілізатора динамічного об'єкту; 2. Робота штучного інтелекту при роботі з стабілізаторами; 3. Результат роботи програми стабілізації. 6. Календарний план-графік:

| № п/п | Завдання | Термін виконання | Відмітка про виконання |
|-------|---|-------------------|------------------------|
| 1. | Аналіз актуальності проблеми | 19.08.23-26.08.23 | |
| 2. | Аналіз характеристик безпілотних літальних апаратів та їх застосування | 26.08.23-02.09.23 | |
| 3. | Дослідження інформаційного забезпечення систем управління безпілотними літальними апаратами | 02.09.23-16.09.23 | |
| 4. | Оптимізація параметрів стабілізатора | 16.09.23-23.09.23 | |
| 5. | Розробка алгоритму автоматизації налаштування | 23.09.23-07.10.23 | |
| 6. | Охорона праці | 07.10.23-21.10.23 | |
| 7. | Охорона навколишнього середовища | 21.10.23-04.11.23 | |
| 8. | Висновки по роботі та підготовка презентації і роздаткового матеріалу | 04.11.23-15.11.23 | |

7. Консультанти з окремих розділів роботи: (Для магістерської роботи)

| Розділ | Консультант (посада, П.І.Б.) | Дата, підпис | |
|----------------------------------|------------------------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Козлітин О. О | | |
| Охорона навколишнього середовища | Ольховик Ю.О | | |

8. Дата видачі завдання _____

Керівник: _____ Долгоруков С.О

Завдання прийняв до виконання _____ Пікова О.І.

_____ ” _____ 2023 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи «Автоматизація налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням» 92 с., 6 рис., 3 табл, 30 джерел.

СТАБІЛІЗАТОР, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ, НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ, ДИНАМІЧНИЙ ОБ'ЄКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Об'єкт дослідження – система стабілізації динамічного об'єкта. Предмет дослідження – методи та алгоритми автоматизації системи стабілізації.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка автоматизованих стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням.

Метод дослідження – порівняльний аналіз, обробка літературних джерел, математичне моделювання.

Теоретичні дослідження склалися з дослідження роботи стабілізаторів та прикладних алгоритмів автоматизації налаштування з використанням елементів штучного інтелекту, побудови та дослідження математичної моделі стабілізатора, розробки та дослідження програмного коду для налаштування системи стабілізації.

Результати досліджень дали змогу розробити систему автоматизації налаштування стабілізатора динамічного об'єкту.

Використання елементів штучного інтелекту для автоматизації налаштування системи стабілізації динамічного об'єкту є більш ефективним методом порівняно з ручним налаштуванням, оскільки він займає менше часу.

Результати кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати під час проведення наукових досліджень та в практичній діяльності інженерів-розробників систем стабілізаторів динамічних об'єктів.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| ВСТУП..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1 УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ НА РУХОВИХ ПІДСТАВАХ | 9 |
| 1.1 Класифікація та сфери застосування систем стабілізації..... | 9 |
| 1.2 Аналіз функціонального виконання багатоплощинних систем | 14 |
| стабілізації..... | 14 |
| 1.3 Принципи формування стабілізуючих моментів..... | 18 |
| 1.4 Вимоги до систем налаштування..... | 23 |
| РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ (ДІАГНОСТИКИ) СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ..... | 28 |
| РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ | 41 |
| РОЗДІЛ 4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛІЗАТОРА | 62 |
| 4.1 Моделювання системи стабілізації квадрокоптера | 62 |
| 4.1.1. Моделювання методом Ньютона-Ейлера..... | 62 |
| 4.1.2. Моделювання методом Лагранжа | 65 |
| 4.1.3. Розробка закону керування | 68 |
| 4.1.4. Управління висотою та положенням у просторі | 70 |
| 4.1.5. Управління креном | 71 |
| 4.1.6. Управління тангажом (θ, χ) | 75 |
| РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ..... | 76 |
| 5.1. Структура модуля налаштування..... | 76 |
| 5.1.1 Специфікація стану та ді | 76 |
| 5.1.2. Структура мережі | 77 |
| 5.1.3. Оптимізація стратегії | 78 |
| 5.2. Програмне забезпечення розрахунків..... | 82 |
| РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ | 101 |
| 6.1 Аналіз умов праці..... | 102 |
| 6.2 Розробка заходів з охорони праці..... | 104 |
| 6.3 Пожежна безпека..... | 108 |

| | |
|--|-----|
| 6.4 Питання охорони праці до детального опрацювання..... | 109 |
| 6.5 Розрахунок штучного освітлення робочого місця-лабораторії..... | 110 |
| 6.6 Висновок | 112 |
| РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА | 113 |
| ВИСНОВОК..... | 121 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 123 |

ВСТУП

Сучасний світ відзначається стрімким розвитком технологій та автоматизацією в різних сферах людської діяльності. Однією з ключових галузей, де автоматизація відіграє важливу роль, є автоматичне керування динамічними об'єктами. Динамічні об'єкти включають в себе широкий спектр систем, від робототехнічних пристроїв і машин до авіаційних та космічних апаратів. Керування такими системами стає надзвичайно складною задачею через їхню складність, нестабільність та залежність від зовнішніх умов.

У зв'язку з цим, проблема автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів набула особливого значення. Стабілізатори є важливими компонентами в системах керування, оскільки вони забезпечують стійкість та точність роботи динамічних об'єктів. Тема автоматизації налаштування стабілізаторів є актуальною, оскільки вона вирішує проблему складності та витрат, пов'язаних з ручним налаштуванням, і спрямована на підвищення ефективності та надійності систем керування.

У цьому контексті, глибоке навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) виступає як потужний інструмент для розв'язання задач автоматизації налаштування стабілізаторів. RL є підгалуззю машинного навчання, яке базується на ідеї навчання агента приймати послідовні рішення для досягнення мети в невідомому середовищі. Використання RL в системах керування дозволяє зробити процес налаштування стабілізаторів більш ефективним та автономним.

Метою даної дипломної роботи є дослідження можливостей та обмежень використання глибокого навчання з підкріпленням для автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів. Для досягнення цієї мети, робота розглядає такі аспекти, як моделювання динамічних об'єктів, розробка алгоритмів навчання з підкріпленням для налаштування стабілізаторів, валідація та експерименти на реальних системах.

У роботі також розглядаються існуючі дослідження та розробки в галузі автоматизації налаштування стабілізаторів та впровадження глибокого навчання в

системи керування. Це допомагає визначити сучасний стан даної проблеми та обґрунтувати важливість подальших досліджень.

Загальна мета цієї дипломної роботи полягає в розробці ефективних методів автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням і їхнього переведення в практичний застосунок. В цьому контексті робота розглядається як важливий внесок у розвиток автоматичних систем керування, які мають велике значення в сучасному технічному прогресі та промисловості.

Для досягнення поставленої мети, робота буде розглядати та досліджувати основні принципи та підходи до автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням, а також проводити аналіз і порівняння різних методів та алгоритмів. Результати цієї роботи можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розробок у галузі автоматичного керування динамічними системами з метою підвищення їхньої ефективності та надійності.

РОЗДІЛ 1

УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ НА РУХОВИХ ПІДСТАВАХ

1.1 Класифікація та сфери застосування систем стабілізації.

Системи стабілізації запускаються як технічні системи або пристрої, призначені для підтримки сталого стану або утримання об'єкта, системи або процесу в заданому стані або режимі[1]. Їх застосування варіюється від авіаційних та морських систем до медичних пристроїв та промислового обладнання. Ця класифікація та огляд системи стабілізації детально розглядає різні типи системи стабілізації та сфери їх застосування.

Класифікація системи стабілізації:

Повітряна і космічна техніка:

Авіація: Системи стабілізації літаків і вертольотів для підтримки сталого положення та курсу польоту.

Космічна техніка: Системи стабілізації забезпечення орієнту та стабільність космічних апаратів та супутників.

Морська техніка:

Судна: Системи стабілізації допомагають підтримувати стійкість суден та плаваючих об'єктів на воді, зменшуючи хвилі та коливання.

Підводні човни: Вони забезпечують стабільність та контроль підводних човнів.

Автомобільна техніка:

Автономні автомобілі: Системи стабілізації важливі для забезпечення безпеки та стабільності автономних автомобілів під час їх руху.

Електроніка стабілізації: Антиблокувальна система (ABS), система стабільності керування (ESP) та інші допомагають у підтримці сталого керування автомобілями.

Медична техніка:

Хірургічні роботи: Системи стабілізації допомагають хірургам виконувати точні та стабільні операції.

Медичне обладнання: Системи стабілізації матеріалів в медичних приладах, таких як ендоскопі та лабораторні пристрої.

Промислова автоматика:

Контроль процесів: Системи стабілізації забезпечують точний контроль процесів у промисловості, наприклад, у хімічному виробництві та виробництві харчових продуктів.

Роботизоване виробництво: вони допомагають роботам підтримувати точність і стабільність у виробництві.

Оптика та фотографія:

Фотокамери та об'єктиви: Системи стабілізації допомагають уникнути рухомих артефактів під час фотографування та відеозйомки.

Оптичні пристрої: Забезпечують стабільність обладнання для спостережень, таких як телескопи та біноклі.

Сфери застосування системи стабілізації:

Безпека та оборона: Системи стабілізації конструкції у військовій техніці, включаючи бойові танки та бойові літаки, для забезпечення точності стрільби та стабільності в бойових умовах.

Медицина: Вони використовують для хірургічних операцій, допомагаючи лікарям виконувати точні та стабільні процедури.

Авіація та космос: Важливі для забезпечення безпеки польоту та управління космічними апаратами.

Транспорт і логістика: Застосовуються в автомобільному транспорті, морському транспорті та залізничному транспорті для забезпечення стабільності та безпеки перевезення вантажів та пасажирів.

Фотографія та відеозйомка: Використовуються у фотоапаратах, камерах та камерних об'єктивах для запобігання руховим артефактам та покращення якості зображення та відео.

Промисловість і автоматизація: Важливі для контролю процесів та підтримки точності в промислових виробництвах та автоматизованих системах.

Запам'ятовуючи важливість і широкий спектр застосування системи стабілізації, щоб розглянемо детальніше кілька основних аспектів та технологій, що входять в їх склад, і як вони впливають на різні сфери життя.

Системи стабілізації у військовій сфері:

У військовій сфері системи стабілізації відіграють критичну роль у забезпеченні точності та ефективності зброї та військової техніки. Наприклад, танки та артилерійська техніка виконує системи стабілізації для того, щоб забезпечити точність стрільби під час руху. Ракети та керовані бойові системи також забезпечують стабілізацію для підтримки точності та точності удару. У додатку системи стабілізації можуть використовуватися для компенсації коливань від вибухів або струмін повітря, що відображається під час польоту, що забезпечує ефективність і точність військових операцій[2].

Медичні добавки системної стабілізації:

У галузі медицини системи стабілізації потрібні для підвищення точності та безпеки хірургічних процедур. Хірургічні роботи, такі як робот-асистент при лапароскопічних операціях, забезпечують систему стабілізації для зменшення труднощів при керуванні та мінімізації рухових треморів лікаря. Це дозволяє точніше працювати та скорочує час відновлення після операції[2]. Крім того, системи стабілізації можуть бути використані в медичному обладнанні для забезпечення стабільності та точності при проведенні діагностичних процедур, таких як магнітно-резонансна томографія (МРТ) та комп'ютерна томографія (КТ).

Автомобільна індустрія і системи стабілізації:

Системи стабілізації також грають важливу роль в автомобільній індустрії. Наприклад, антиблокувальна система (ABS) дозволяє уникнути блокування коліс автомобіля під час гальмування, забезпечуючи кращий контроль і стабільність автомобіля[2]. Система стабільності водіння (ESP) дозволяє уникнути перекидання автомобіля під час гострого повороту або в умовах поганої погоди. Ці системи забезпечують безпеку пасажирів і допомагають водіям уникнути аварійних ситуацій.

Системи стабілізації в аерокосмічній промисловості:

У сучасній аерокосмічній індустрії системи стабілізації грають рішучу роль у забезпеченні стійкості та точності космічних апаратів. Космічні супутники та астрономічні обсерваторії потребують ці системи збереження для сталого положення в космосі та наведення на ціль. Крім того, стабілізація є важливою для стабільного запуску ракети та розгортання космічних станцій.

Промислова автоматизація і системи стабілізації:

У промисловості системи стабілізації використовуються для контролю і підтримки точності виробничих процесів. Ви не зможете уникнути відхилень від заданих параметрів та забезпечити стійкість і надійність виробничих ліній[3]. Застосування системи стабілізації може включати автоматизацію обробки матеріалів, контроль якості виробів та регулювання хімічних процесів.

Системи стабілізації у фотографіях і відеозйомках:

У фотографіях і відеозйомках системи стабілізації можна знімати стабільні та вишукані зображення навіть у русі або під час відтворення відео на руках. Ці системи можуть бути вбудовані у фотоапарати та камери, або ж використовувати стабілізуючі підвіси для надання відеозйомці повного контролю над об'єктивом.

Щоб провести логічний огляд систем стабілізації та їх застосування в різних сферах, а також навести приклади конкретних виробів і технологій, що використовуються в кожній з цих сфер було створено таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

| Сфера застосування | Приклади виробів | Технологій системи стабілізації |
|------------------------------|-------------------------|--|
| Повітряна і космічна техніка | Авіація | Системи стабілізації для літаків і вертольотів |
| | Космічна техніка | Системи стабілізації для орієнтації космічних апаратів і супутників |
| Морська техніка | Судна | Системи стабілізації для підтримки стійкості суден та об'єктів на воді |

| | | |
|-----------------------|--------------------------|---|
| | Підводні човни | Системи стабілізації для забезпечення стабільності керування об'єктом |
| Автомобільна техніка | Автономні автомобілі | Системи стабілізації для безпеки та стабільності |
| | Електроніка стабілізації | ABS, ESP та інші для підтримки стабільного керування |
| Медична техніка | Хірургічні роботи | Системи стабілізації для точних операцій |
| | Медичне обладнання | Системи стабілізації в медичних приладах |
| Промислова автоматика | Контроль процесів | Системи стабілізації для точного контролю процесів |
| | Роботизоване виробництво | Для стабільності та точності виробництва |
| Оптика та фотографія | Фотокамери та об'єктиви | Системи стабілізації для якості фото та відео |
| | Оптичні пристрої | Для стабільних обладнання у спостереженнях |

Системи стабілізації змінюють критичну роль у різних сферах нашого життя, допомагаючи забезпечити точність, стабільність та безпеку в різних технічних системах та процесах. Ці системи знаходять широке застосування у військовій сфері, медицині, автомобільній промисловості, аерокосмічній техніці, промисловості, фотографіях і багатьох інших галузях. залежить від різноманітності їх випуску, системи стабілізації завжди спрямовані на досягнення кращої точності, ефективності та безпеки в нашому технологічному світі[4].

1.2 Аналіз функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації.

Функціональне виконання багатоплощинних систем стабілізації є важливою складовою сучасних технологічних розробок у багатьох галузях науки і техніки, включаючи авіацію, космос, автомобілебудування, робототехніку, медичне обладнання та інші. Ця тема вимагає глибокого розуміння принципів і методів стабілізації, а також їхніх застосувань у різних сферах. У цьому аналізі ми розглянемо основні аспекти функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації, включаючи їхню роль, принципи дії, важливі характеристики та застосування.

Багатоплощинні системи стабілізації мають вирішальне значення у забезпеченні стійкості і точності руху об'єктів у просторі. Вони використовуються для компенсації впливів зовнішніх факторів, таких як вітер, турбуленція, поштовхи, а також для підтримання заданих траєкторій і орієнтацій об'єктів. Основною метою багатоплощинних систем стабілізації є забезпечення високої робочої якості та надійності роботи системи в умовах навколишнього середовища.

Принципи дії багатоплощинних систем стабілізації:

Багатоплощинні системи стабілізації базуються на принципах керування та регулювання, спрямованих на збереження стабільності і точності руху об'єкта. Основні елементи цих систем включають в себе:

Сенсори: Вони забезпечують збір інформації про стан об'єкта і оточуючого середовища. Сенсори можуть бути різних типів, включаючи гіроскопи, акселерометри, компаси, камери, лазерні далекоміри і багато інших.

Керувальні алгоритми: Ці алгоритми обробляють інформацію від сенсорів і приймають рішення про необхідні корекції для підтримання стабільності та точності. Вони можуть бути базовими ПД-регуляторами, адаптивними алгоритмами, нейромережами і т. д.

Актuatorи: Це рушійні механізми, які виконують вимоги керувальних алгоритмів, змінюючи стан об'єкта. Актuatorи можуть включати в себе двигуни, керовані кріплення, поворотні механізми і т. д.

Зворотний зв'язок: Для досягнення високої точності і стабільності системи, важливо використовувати зворотний зв'язок. Він передбачає постійну оцінку стану об'єкта на основі вимірів сенсорів і корекцію через актуатори.

Важливі характеристики багатоплощинних систем стабілізації:

Стійкість: Безпека і надійність функціонування системи стабілізації в умовах різних зовнішніх впливів.

Точність: Здатність системи до досягнення і підтримання заданих параметрів руху чи орієнтації.

Швидкодія: Здатність системи реагувати на зміни в реальному часі та проводити корекції швидше, ніж зміни можуть спричинити небезпеку.

Витрати енергії: Оптимізація витрат енергії для підтримання функціонування системи при тривалому роботі.

Маса і розміри: Зменшення маси та об'єму системи для використання у легких і компактних пристроях.

Застосування багатоплощинних систем стабілізації:

Багатоплощинні системи стабілізації знаходять широке застосування у різних галузях:

Авіація та космос: Вони використовуються для стабілізації повітряних та космічних апаратів під час польоту.

Автомобілебудування: Системи стабілізації встановлюються у транспортних засобах для підтримання стійкості на дорозі.

Медичне обладнання: Застосовуються в хірургічних роботах і обладнанні для надійного утримання інструментів і пацієнта.

Робототехніка: Використовуються в роботах з високою точністю і стійкістю, таких як промислові роботи і роботи для важких умов.

Морська і підводна техніка: Забезпечують стійкість кораблів і підводних апаратів на морському дні та в глибоких водах.

Усі ці застосування вимагають розробки і вдосконалення багатоплощинних систем стабілізації для забезпечення ефективності і безпеки в конкретних умовах.

Функціональне виконання багатоплощинних систем стабілізації є важливою областю досліджень і розробок в сучасній інженерії та технологіях. Ці системи використовуються для підтримання стабільності та точності руху об'єктів у різних галузях, і вони є ключовим елементом у багатьох важливих застосуваннях. Розуміння основних принципів і характеристик багатоплощинних систем стабілізації є важливим для розробників і інженерів, що працюють у цій області.

Розглянувши основні аспекти функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації, розгорнемо детальніше тему їхніх характеристик та застосувань, а також вивчимо технологічні та інноваційні тенденції у цій галузі.

Характеристики багатоплощинних систем стабілізації:

Точність і прецизійність: Однією з ключових характеристик є можливість досягнення високої точності в управлінні рухом об'єкта. Це особливо важливо в аерокосмічних та оборонних додатках, де допущені похибки можуть мати серйозні наслідки.

Запаси стійкості і безпека: Запаси стійкості вказують на здатність системи компенсувати незначні збурення та зміни у внутрішніх параметрах. Безпека включає в себе можливість виявлення і корекції несправностей або аварійних ситуацій для запобігання аваріям.

Інтеграція і взаємодія з іншими системами: Багатоплощинні системи стабілізації часто використовуються в комплексних системах, таких як авіаційні або космічні апарати, і повинні бути здатні взаємодіяти з іншими підсистемами і обмінюватися даними.

Ефективність енергоспоживання: У багатьох випадках, особливо у мобільних додатках, важливо мінімізувати витрати енергії, щоб забезпечити тривалу автономність або максимальний час роботи на одному заряді.

Адаптивність і самокалібрування: Сучасні багатоплощинні системи стабілізації можуть бути оснащені адаптивними алгоритмами, які дозволяють системі аналізувати та реагувати на зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі, вдосконалюючи свою ефективність з часом.

Технологічні тенденції у багатоплощинних системах стабілізації:

Використання штучного інтелекту (ШІ): ШІ та машинне навчання дозволяють системам стабілізації розпізнавати і аналізувати складні зміни в навколишньому середовищі та робити прогнози для покращення реакції системи на них.

Сенсори нового покоління: Розвиток наноматеріалів і мікросистемної техніки дозволяє створювати більш точні, малий розмір і ефективні сенсори, що розширюють можливості систем стабілізації.

Використання безпілотних апаратів: Безпілотні літальні апарати (дрони) стають все більш популярними і важливими в багатьох галузях, від доставки товарів до зйомки відео. Системи стабілізації грають ключову роль у стабілізації та управлінні дронами.

Розширення застосувань у медицині: Багатоплощинні системи стабілізації знаходять застосування в сучасній хірургії, допомагаючи лікарям виконувати точні і складні операції.

Застосування у віртуальній реальності (VR) і розширеній реальності (AR): Системи стабілізації грають важливу роль у створенні стабільного імерсійного оточення для користувачів VR та AR пристроїв.

Екологічні аспекти: Здатність оптимізувати витрати енергії та ефективно використовувати ресурси стає все важливішою у світлі сучасних екологічних проблем.

Кібербезпека: Забезпечення надійності та захисту багатоплощинних систем стабілізації від потенційних атак стає все актуальнішою задачею в світлі зростаючої кіберзагрози.

Мініатюризація та масштабування: Розвиток мініатюрних компонентів дозволяє створювати більш компактні і легкі багатоплощинні системи, що відкриває нові можливості для їхнього використання.

Усі ці тенденції показують, що багатоплощинні системи стабілізації залишаються актуальними та перспективними об'єктами досліджень і розробок у багатьох галузях.

Застосування багатоплощинних систем стабілізації в майбутньому:

Автономні автомобілі: Розвиток систем стабілізації сприятиме впровадженню автономних автомобілів, забезпечуючи їхню стійкість та безпеку на дорозі.

Марс-розвідка і космічні місії: Багатоплощинні системи стабілізації грають важливу роль у місіях на Марсі та інших планетах, допомагаючи підтримувати стабільність і орієнтацію космічних апаратів.

Доставка дронами: Зростання популярності дронів у галузі доставки товарів створює попит на більш точні і стабільні системи стабілізації.

Ігрова та розважальна індустрія: Використання VR та AR в іграх і розважальних застосунках дуже вимагає стабілізації обладнання для максимального імерсійного досвіду.

Медичні роботи: У майбутньому, багатоплощинні системи стабілізації можуть використовуватися для виконання складних інвазійних процедур, які вимагають великої точності.

Усі ці застосування свідчать про важливість досліджень і розробок у сфері багатоплощинних систем стабілізації та їхню ключову роль у сучасному світі технологій.

Багатоплощинні системи стабілізації грають надзвичайно важливу роль у багатьох галузях науки і техніки. Вони забезпечують стійкість і точність руху об'єктів у різних умовах та дозволяють розвивати нові технології та застосування. Розуміння їхніх характеристик і тенденцій розвитку є ключовим для подальшого вдосконалення та розширення можливостей цих систем.

1.3 Принципи формування стабілізуючих моментів.

Принципи формування стабілізуючих моментів в системах стабілізації є фундаментальними для забезпечення стійкості і керованості різних об'єктів і систем у науці, технології, промисловості та інших сферах життя. Розглянемо основні принципи та методи формування стабілізуючих моментів, їхню роль у забезпеченні стійкості системи і важливість у великому ряді застосувань.

Перш ніж розглядати принципи формування стабілізуючих моментів, важливо зрозуміти, що таке стабілізація і яка її роль в системах. Стабілізація - це процес збереження стійкості системи, її здатності повертатися до стану рівноваги або ж підтримувати стійкий рух в певних умовах [6]. У багатьох системах стабілізація досягається завдяки стабілізуючим моментам, які створюють силу або момент, спрямований так, щоб компенсувати дію зовнішніх чи внутрішніх впливів, що можуть змінювати стан системи.

Відновлення зображень – це процес оцінки ступеня пошкодження фотографії, аналізу та відновлення його первинних деталей[7]. Зазвичай фотографії можуть мати різні види дефектів, такі як розмиття внаслідок руху, наявність шуму або неправильне фокусування камери. Щоб відновити зображення, проводиться обернений процес, який відшкодовує ефекти розмиття зображення. Це виконується через створення зображення точкового джерела та використання функції розповсюдження точки (PSF) для відновлення інформації про зображення, яка була втрачена під час розмиття. Важливо мати на увазі, що цей процес може бути важливим для відтворення якісних зображень та усунення недоліків фотографій.



Рис.1.1 – Відновлення зображення штучним інтелектом

Принципи формування стабілізуючих моментів:

Закони фізики та динаміки: Основою для формування стабілізуючих моментів є закони фізики та динаміки. Рух об'єкта підпорядкований принципам збереження інерції, моменту і енергії. Використовуючи ці закони, можна розраховувати сили і моменти, які необхідно створити для забезпечення стійкості системи.

Фідбек і зворотній зв'язок: Системи стабілізації часто включають в себе фідбек і зворотній зв'язок. Фідбек дозволяє системі спостерігати за її станом і виявляти будь-які відхилення від бажаного стану. Зворотній зв'язок передбачає корекцію цих відхилень за допомогою створення стабілізуючих моментів.

Стабілізуючі керувальні системи: Стабілізуючі моменти часто формуються за допомогою керувальних систем. Це може бути система гідроприводу, електронна система керування або автоматичний підсилювач. Вони дозволяють генерувати необхідні сили і моменти для підтримки стабільності системи.

Актuatorи та сенсори: Для створення стабілізуючих моментів система повинна бути оснащена актуаторами (рушійними механізмами), які можуть створювати необхідні сили, і сенсорами, які дозволяють визначити стан системи і потребу в стабілізації.

Алгоритми керування: Сучасні системи стабілізації часто використовують розумні алгоритми керування, які можуть аналізувати дані з сенсорів та приймати рішення щодо створення стабілізуючих моментів в реальному часі.

Застосування стабілізуючих моментів:

Принципи формування стабілізуючих моментів мають безліч застосувань у різних сферах. Ось декілька прикладів:

Авіація і космічна техніка: В аерокосмічних апаратах стабілізуючі моменти використовуються для керування польотом, підтримки орієнтації та забезпечення безпеки польотів.

Морська та підводна техніка: В кораблях і підводних апаратах стабілізуючі моменти допомагають у підтримці стійкості та керуванні.

Медичне обладнання: У хірургічних роботах і обладнанні для діагностики стабілізуючі моменти грають важливу роль у забезпеченні точності та безпеки процедур.

Автомобілі: У сучасних автомобілях системи стабілізації використовуються для забезпечення стійкості та безпеки на дорозі.

Мобільні роботи: Роботи для важких умов, такі як роботи на будівництві чи відновленні, можуть використовувати стабілізуючі моменти для підтримки робочої якості та безпеки.

Розважальна індустрія: У відеоіграх та розважальних застосунках стабілізуючі моменти допомагають створювати імерсійний і реалістичний досвід для гравців та користувачів.

Розвиток та інновації:

Розвиток технологій та наукових досліджень сприяє появі нових методів формування стабілізуючих моментів. Деякі з інноваційних напрямків включають:

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ): ШІ може використовуватися для аналізу сенсорних даних та вивчення оптимальних стратегій для формування стабілізуючих моментів[8].

Матеріали нового покоління: Використання нових матеріалів і структур дозволяє створювати більш легкі та міцні актуатори для формування стабілізуючих моментів.

Мініатюризація та мікроелектроніка: Розвиток мініатюрних компонентів і сенсорів дозволяє створювати компактні системи стабілізації для роботи в обмежених просторах.

Квантові технології: Дослідження в галузі квантових технологій можуть привести до створення нових методів формування стабілізуючих моментів з використанням квантових ефектів.

Енергоефективність: Розробка більш енергоефективних систем стабілізації стає важливою у світлі росту обігових ресурсів і зменшення викидів.

У сучасній робототехніці стабілізуючі моменти грають критичну роль у забезпеченні правильної орієнтації та руху роботів. Роботи можуть бути різних

типів, від індустріальних роботів, які використовуються у виробництві, до роботів для вантажних перевезень та медичних роботів. Забезпечуючи стабільність і точність руху робота, стабілізуючі моменти допомагають підвищити продуктивність та надійність роботів у різних сферах діяльності

Екологічний аспект стабілізації

Ще однією важливою аспектом розгляду стабілізуючих моментів є їхній вплив на екологію. Сучасна технологія ставить перед нами завдання мінімізувати відходи та споживання енергії. Використання стабілізуючих моментів у розумних системах може допомогти досягти цих цілей. Наприклад, ефективне управління енергоспоживанням може зменшити викиди парникових газів, а оптимізація роботи системи стабілізації може знизити споживання ресурсів.

Роль стабілізуючих моментів у промисловості:

У промисловості системи стабілізації використовуються для забезпечення стійкості обладнання та процесів виробництва. Це може бути важливо в галузях, де точність і надійність виробничих операцій є вирішальними факторами, наприклад, у виробництві мікроелектроніки або харчовій промисловості. Системи стабілізації можуть допомогти уникнути відхилень від нормальних умов роботи і забезпечити постійну якість продукції.

Стабілізація в медичному обладнанні:

У медицині стабілізуючі моменти грають важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності лікування. Наприклад, у хірургічних роботах стабілізуючі моменти дозволяють точно контролювати рухи хірургічного інструменту та мінімізувати ризик ушкодження тканин. Також, стабілізація може бути важливою у діагностичних процедурах, де точність і надійність даних мають вирішальне значення.

Перспективи досліджень у галузі стабілізації

Зараз науковці та інженери активно працюють над подальшим розвитком стабілізації. Однією з перспективних галузей є використання штучного інтелекту для покращення систем стабілізації. Машинне навчання та аналіз даних дозволяють створювати більш точні та ефективні алгоритми керування.

Дослідження в галузі нових матеріалів і технологій також мають великий потенціал. Розробка більш легких та міцних компонентів дозволить створювати більш ефективні системи стабілізації, особливо у транспортних засобах та летючих апаратах.

Необхідно також звернути увагу на квантові технології, які можуть внести революційні зміни у способи формування стабілізуючих моментів. Квантові обчислення і квантова інформація можуть забезпечити більшу обробку даних та швидкість реакції систем стабілізації.

Формування стабілізуючих моментів - це ключовий аспект у забезпеченні стійкості та керованості систем у багатьох галузях науки і техніки. Від концепції до реалізації, важливо враховувати фізичні закони, фідбек, алгоритми керування та інші фактори для забезпечення безпеки та ефективності системи. Розуміння принципів формування стабілізуючих моментів є важливим для інженерів, науковців та розробників, які працюють у цій області, і ці принципи є важливими для подальших інновацій і досягнень у технології.

1.4 Вимоги до систем налаштування.

Вимоги до систем налаштування стабілізуючих пристроїв є важливою складовою процесу розробки та експлуатації таких систем. Стабілізуючі пристрої використовуються в різних галузях, включаючи авіацію, космічну техніку, автомобільну індустрію, робототехніку, медицину, телекомунікації і багато інших. Вони грають важливу роль у забезпеченні стабільності та точності руху об'єктів і систем у різних умовах. Цей аналіз детально розгляне вимоги до систем налаштування стабілізуючих пристроїв, а також їхню важливість та вплив на ефективність та надійність систем.

Важливість налаштування стабілізуючих пристроїв:

Перш ніж розглядати конкретні вимоги, важливо зрозуміти, чому налаштування стабілізуючих пристроїв є настільки важливим завданням.

Стійкість і безпека: В правильно налаштованій системі стабілізації стійкість об'єкта забезпечується шляхом компенсації зовнішніх впливів та усунення

відхилень від бажаного стану. Це важливо для забезпечення безпеки та надійності роботи системи.

Точність і прецизійність: В багатьох додатках, таких як авіація та медицина, точність і прецизійність є критичними. Налаштування системи стабілізації допомагає досягти необхідної точності в русі об'єкта.

Зменшення вібрації: Вібрація може бути небажаною у багатьох системах, наприклад, у камерній апаратурі чи системах зображення. Система стабілізації допомагає позбавитися від небажаних вібрацій і підвищує якість роботи.

Підвищення продуктивності: У деяких випадках, як от в робототехніці чи автомобільній індустрії, налаштування стабілізації може підвищити продуктивність та ефективність роботи системи.

Основні вимоги до систем налаштування стабілізуючих пристроїв:

Параметри системи стабілізації: Першою важливою вимогою є належне визначення параметрів системи стабілізації, таких як маса об'єкта, момент інерції, діапазони руху, інерційні датчики і багато інших. Це визначається на етапі проектування системи.

Алгоритми керування: Налаштування системи стабілізації включає в себе розробку та належне налаштування алгоритмів керування. Вони повинні бути розроблені з урахуванням конкретних вимог і особливостей системи.

Чутливість і реакція на зміни: Вимоги до ступеня чутливості системи та швидкості реакції на зовнішні впливи можуть варіюватися в залежності від конкретного застосування. Важливо налаштувати систему так, щоб вона реагувала на впливи вчасно та адекватно.

Робочий діапазон: Вимоги до робочого діапазону системи стабілізації можуть бути різними. Вони можуть включати в себе вимоги до максимального та мінімального значення величин, які система повинна підтримувати в стабільному стані.

Запобіжні заходи і аварійна безпека: Система стабілізації також повинна мати вбудовані механізми безпеки та запобіжні заходи, які дозволять уникнути

небажаних наслідків в разі невдалого налаштування чи виникнення аварійних ситуацій.

Налаштування в реальному часі:

Деякі системи стабілізації потребують можливості налаштування в реальному часі. Наприклад, в авіації, під час польоту може змінюватися маса або центр мас об'єкта, і система повинна бути здатна реагувати та коригувати параметри стабілізації для забезпечення безпеки та стійкості.

Вимоги до систем налаштування стабілізуючих пристроїв є критичним етапом у процесі розробки та експлуатації таких систем. Стабілізуючі пристрої використовуються в різних галузях, включаючи авіацію, космічну техніку, автомобільну індустрію, робототехніку, медицину, телекомунікації і багато інших. Вони відіграють критичну роль у забезпеченні стабільності та точності руху об'єктів і систем у різних умовах.

Основна важливість налаштування стабілізуючих пристроїв полягає у забезпеченні стійкості та безпеки системи. Правильно налаштована система стабілізації компенсує зовнішні впливи та усуває відхилення від бажаного стану, забезпечуючи безпеку та надійність роботи системи.

Точність і прецизійність стають критичними у багатьох додатках, таких як авіація і медицина. Налаштування системи стабілізації допомагає досягти необхідної точності в руху об'єкта, що робить їхнє використання ефективним і безпечним.

Зменшення вібрації є ще однією важливою вимогою до систем стабілізації. Небажані вібрації можуть впливати на якість роботи системи, особливо в камерній апаратурі чи системах зображення. Система стабілізації допомагає позбавитися від цих вібрацій і підвищує якість виведеного сигналу чи зображення.

У деяких випадках, таких як робототехніка і автомобільна індустрія, налаштування системи стабілізації може підвищити продуктивність і ефективність роботи системи, що робить їх надзвичайно важливими для цих галузей.

Основні вимоги до систем налаштування стабілізуючих пристроїв включають визначення параметрів системи стабілізації, таких як маса об'єкта, момент інерції, діапазони руху та інші. Алгоритми керування також відіграють

критичну роль і повинні бути розроблені з урахуванням конкретних вимог і особливостей системи.

Чутливість і швидкість реакції на зовнішні впливи можуть варіюватися в залежності від конкретного застосування, і важливо налаштувати систему так, щоб вона реагувала на впливи вчасно та адекватно.

Також важливо враховувати робочий діапазон системи стабілізації і вимоги до максимальних та мінімальних значень величин, які система повинна підтримувати в стабільному стані. Усі ці аспекти важливі для досягнення оптимальної ефективності та надійності систем налаштування стабілізуючих пристроїв у різних галузях техніки і технологій.

Додатково, важливо враховувати, що налаштування стабілізуючих пристроїв може бути впливовим фактором на витрати енергії системи. Вибір оптимальних параметрів і алгоритмів керування може сприяти зменшенню споживаної енергії та підвищенню ефективності роботи системи.

З врахуванням великого розмаїття застосувань стабілізуючих пристроїв, важливо також враховувати специфічні вимоги кожного конкретного застосування. Наприклад, в авіаційній техніці можуть бути додаткові вимоги до витрат пального та максимальної швидкості реакції системи стабілізації. У космічній техніці можуть важливіше ставити на надійність та стійкість в умовах вакууму та радіації.

Для досягнення оптимальних результатів у налаштуванні стабілізуючих пристроїв, широко використовуються методи оптимізації та адаптивного керування. Ці методи дозволяють системі адаптуватися до змінних умов і вимог, забезпечуючи високу ефективність та надійність в реальному часі.

Важливо також враховувати вплив зовнішнього середовища на роботу стабілізуючих пристроїв. Різні умови, такі як температурні зміни, вологість, вітер та інші фактори, можуть впливати на ефективність стабілізації. Тому системи стабілізації часто випробовуються та тестуються в різних умовах, щоб забезпечити їхню надійність та стійкість в різних сценаріях експлуатації.

У сучасному технологічному ландшафті автоматизація налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів набуває нових горизонтів завдяки використанню глибокого навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL).

RL є одним з найбільш обіцяючих підходів до розв'язання завдань керування в реальному часі, особливо в умовах невизначеності і непередбачуваності. Цей підхід дозволяє системам самостійно навчатися та адаптуватися до змін у середовищі, враховуючи велику кількість факторів та обмежень.

Однією з ключових переваг глибокого навчання з підкріпленням є можливість використовувати нейронні мережі для навчання систем керування без явного визначення алгоритмів або моделей системи. В такому підході система навчається через взаємодію з середовищем і отримує винагороди (або покарання) за свої дії. Це дозволяє системі ефективно навчатися стратегіям керування, які враховують навколишні умови та завдання.

Однак важливо враховувати, що використання глибокого навчання для налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів вимагає значних обчислювальних ресурсів і обов'язкового тестування в реальних умовах. Відсутність точних моделей системи може призвести до необхідності проведення численних експериментів для досягнення бажаних результатів.

Крім того, в глибокому навчанні з підкріпленням виникають питання етики та безпеки. Системи, які навчаються взаємодіяти з навколишнім середовищем, повинні бути обмежені та забезпечені заходами безпеки, щоб уникнути непередбачених наслідків.

Усі ці важливі аспекти стають ключовими в розвитку автоматизованих систем налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням. Перспективи в цій галузі залишаються дуже перспективними, і подальший розвиток технологій обіцяє вдосконалення ефективності та точності автоматизованих систем стабілізації.

Усі ці аспекти налаштування стабілізуючих пристроїв є важливими для досягнення максимальної продуктивності, надійності та безпеки систем у різних сферах застосування. Врахування всіх цих факторів і використання передових методів та технологій у налаштуванні стабілізуючих систем дозволяє забезпечити оптимальну роботу та високу якість роботи об'єктів і систем.

РОЗДІЛ 2

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ (ДІАГНОСТИКИ) СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Постановка завдання автоматизації налаштування (діагностики) систем стабілізації є ключовою задачею в області керування технічними системами і має на меті покращення ефективності та надійності роботи цих систем. Системи стабілізації зазвичай використовуються для забезпечення сталості об'єкта керування або підтримання заданого рівня деякої величини. До таких систем можна віднести автоматичні регулятори, стабілізатори напруги, системи керування рухом, а також інші автоматичні системи.

Завдання автоматизації налаштування систем стабілізації включає в себе наступні кроки і етапи:

Аналіз об'єкта керування: Першим кроком є докладний аналіз технічної системи, для якої необхідно налаштувати систему стабілізації. Цей аналіз повинен включати в себе властивості об'єкта, математичну модель, характеристики сенсорів і актуаторів, а також задані вимоги до роботи системи.

Аналіз об'єкта керування - це важливий етап у впровадженні системи стабілізації, що вимагає глибокого наукового підходу та ретельного дослідження. Цей аналіз передбачає ознайомлення з різними аспектами об'єкта керування для розуміння його функціонування, властивостей та особливостей.

Об'єкт керування - це технічна система або процес, який піддається автоматизованому керуванню з метою досягнення певних цілей та вимог стабілізації та оптимізації його параметрів[9].

У контексті даного дипломного проекту об'єктом керування можуть бути різноманітні динамічні системи, які піддаються впливу стабілізаторів для забезпечення стійкості та високої ефективності їх функціонування. Ці системи можуть включати в себе, наприклад, робототехнічні пристрої, автономні транспортні засоби, об'єкти виробництва, різні технічні установки, та багато інших. Важливо відзначити, що об'єкти керування можуть бути як лінійними, так і нелінійними, а їх динаміка може бути складною та змінюватися від часу до часу.

Для досягнення мети проекту – автоматизації налаштування стабілізаторів для таких динамічних об'єктів, використовується глибоке навчання з підкріпленням. Це означає, що система керування навчається самостійно оптимальним стратегіям та параметрам регулювання на основі даних, які вона отримує з об'єкта керування.

Для цього об'єкт керування зазвичай обладнаний різноманітними сенсорами, які збирають дані про його стан, середовище та внутрішні параметри[10]. Ці дані передаються до системи керування, яка використовує їх для прийняття рішень.

Система керування, яка базується на глибокому навчанні з підкріпленням, може використовувати нейронні мережі та алгоритми ринкового навчання для оптимізації параметрів стабілізаторів. Цей процес може бути ітеративним і зазвичай включає в себе випробування різних стратегій керування та аналіз їх ефективності.

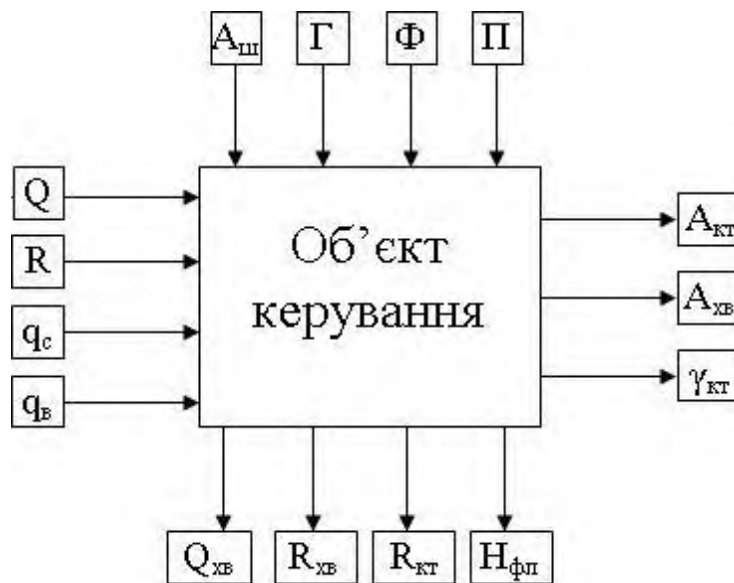


Рис.2.1 – Вхідні, управляючі, збурювальні та вихідні чинники об'єкту керування.

Об'єкт керування є важливим елементом у впровадженні автоматизованих систем стабілізації, і його аналіз, моделювання та оптимізація в контексті глибокого навчання з підкріпленням є ключ

Спочатку важливо зібрати дані про об'єкт, включаючи його фізичні параметри, такі як геометрія, маса, інерція, та електричні параметри, якщо це

застосовується. Це може вимагати використання різних інструментів, сенсорів і вимірювальних приладів.

На основі отриманих даних розробляється математична модель об'єкта керування, яка описує його динаміку та взаємозв'язки між різними параметрами[11]. Ця модель може бути лінійною або нелінійною, в залежності від складності об'єкта.

Далі проводиться аналіз властивостей об'єкта. Це включає в себе розгляд того, як об'єкт реагує на зовнішні впливи і які параметри можуть впливати на його роботу. Важливо визначити, які параметри можуть бути регульовані та які - ні.

Далі вивчається наявність та характеристики сенсорів і актуаторів, які використовуються для збору даних та керування об'єктом. Важливо з'ясувати, наскільки точні сенсори та швидкість реакції актуаторів, оскільки це впливає на ефективність системи стабілізації.

Задачі, вимоги до роботи системи стабілізації, визначаються на основі конкретних потреб та умов експлуатації об'єкта. Це можуть бути вимоги щодо точності реакції, швидкості адаптації до змінних умов, стійкості до внутрішніх і зовнішніх перешкод тощо.

У результаті аналізу об'єкта керування отримується глибоке розуміння його властивостей і умов роботи, що є основою для подальшого розроблення системи стабілізації та визначення параметрів її налаштування. Цей етап є важливим для успішної інтеграції системи стабілізації з об'єктом керування та досягнення бажаних результатів.

Побудова математичної моделі: На основі аналізу створюється математична модель об'єкта керування. Ця модель може бути лінійною або нелінійною і повинна відображати динаміку системи.

Побудова математичної моделі об'єкта керування є однією з ключових стадій в аналізі та проектуванні системи стабілізації. Цей процес передбачає розробку математичних рівнянь, які відображають динаміку та взаємозв'язки між різними параметрами об'єкта, що підлягає керуванню.

На початку побудови математичної моделі необхідно визначити фізичну структуру об'єкта і зібрати відповідні дані, такі як геометричні розміри, маса, моменти інерції, характеристики матеріалів та інші параметри, які впливають на його поведінку[12]. Ці дані служать вихідною інформацією для побудови математичних моделей.

Далі, на основі фізичних законів і законів природи, розробляються диференціальні рівняння, які описують зміну стану об'єкта в часі. Ці рівняння враховують фізичні закони, такі як закони руху, закони збереження енергії, закони динаміки, електродинамічні рівняння тощо, які є властивими для конкретного об'єкта.

Математична модель може бути лінійною або нелінійною в залежності від складності об'єкта та вимог до точності моделі. У випадку лінійної моделі, рівняння можуть бути лінійними диференціальними рівняннями, а в нелінійній моделі вони міститимуть нелінійні функції та взаємозв'язки.

Після побудови математичної моделі проводиться аналіз її структури та характеристик. Визначається, які параметри об'єкта є регульованими та нерегульованими, і які з них впливають на систему керування. Також важливо визначити можливість лінеаризації моделі, яка дозволить спростити задачу керування.

Вибір критерію стабілізації: Визначається, яким чином вимірюється стабілізація системи. Це може бути, наприклад, мінімізація похибки між заданим і фактичним значеннями величини керування[13].

Вибір критерію стабілізації є суттєвим етапом в процесі налаштування системи керування. Критерій стабілізації визначає, яким чином оцінюється якість роботи системи та наскільки ефективно вона досягає бажаних цілей. Вибір критерію повинен бути обґрунтованим науково та відповідати конкретним вимогам і обмеженням системи.

Критерій стабілізації може бути різним в залежності від конкретних завдань. Наприклад, якщо головною метою є забезпечення точності керування, може бути вибраний критерій мінімізації похибки між бажаним і фактичним значеннями

величини керування. У випадку, коли важлива швидкість реакції системи, може бути використаний критерій максимальної швидкості реакції.

Зразок структури стабілізації можна знайти на рисунку 3.2: μ – вплив регулятора на регулюючий пристрій (РП) через виконавчий механізм (ВМ); Δ – сигнал розкриття, виділений на блоку порівняння (БП) і рівний векторній різниці між поточним (y_T) та бажаним (y_3) значеннями регульованої величини.



Рис.2.2 – Структурна схема системи автоматичної стабілізації.

Також важливо враховувати особливості об'єкта керування та його динаміку при виборі критерію. Наприклад, для стабілізації системи зі складною динамікою може бути вибраний критерій, який враховує ступінь стійкості системи до зовнішніх впливів.

Також важливо враховувати обмеження та вимоги, які встановлені для системи керування. Наприклад, якщо система повинна працювати при обмеженій потужності чи обмежених ресурсах, критерій може бути спрямований на мінімізацію витрат.

Узгоджений і обґрунтований вибір критерію стабілізації є важливим елементом успішної реалізації системи керування та досягнення бажаних результатів в управлінні об'єктом.

Розробка алгоритму керування: На основі математичної моделі та вибраного критерію стабілізації розробляється алгоритм керування. Цей алгоритм визначає, як потрібно змінювати величину керування для досягнення стабілізації[15].

Розробка алгоритму керування - це творчий і відповідальний процес, що передбачає створення обчислювальної процедури для вирішення задач керування

об'єктом керування з метою досягнення бажаних результатів. Цей процес починається з аналізу математичної моделі об'єкта, яка описує динаміку системи. Модель може бути лінійною або нелінійною і включає рівняння, що відображають залежності між величинами, які підлягають керуванню.

Далі розробляється структура алгоритму керування, в якій визначаються блоки та компоненти, які складатимуть систему керування. Важливо визначити, які параметри об'єкта керування будуть спостерігатися сенсорами і яким чином вони будуть використовуватися для прийняття рішень.

Після визначення структури розроблюється математичний апарат для алгоритму керування, який може включати в себе обчислення, логічні операції, фільтрацію та інші математичні методи. Основним завданням цього етапу є створення алгоритму, який забезпечує відслідковування заданих траєкторій, реагування на зміни в роботі об'єкта, і підтримку стабільності системи.

Після створення математичного апарату проводиться вибір параметрів алгоритму, які потрібно налаштувати для досягнення оптимальної роботи системи керування[16]. Цей процес може включати в себе аналіз властивостей об'єкта керування, вимог до точності та швидкості реакції.

Важливим кроком є валідація та тестування алгоритму на реальному об'єкті керування, де перевіряється його ефективність та відповідність поставленим вимогам. Під час тестування можуть виявлятися проблеми або несподівані аспекти, які вимагають подальших модифікацій та удосконалень.

На завершальному етапі алгоритм керування може піддаватися оптимізації для підвищення ефективності та надійності його роботи. Важливо враховувати реальні умови експлуатації та можливі зміни в параметрах об'єкта керування при розробці алгоритму.

У результаті цього процесу створюється алгоритм керування, який забезпечує досягнення бажаних цілей керування для об'єкта керування та гарантує його стабільність та надійність в різних умовах роботи.

Вибір методу налаштування: Обрано алгоритм керування, необхідно вибрати метод налаштування параметрів цього алгоритму. Існують різні методи, такі як

методи оптимізації, методи адаптації, методи на основі ідентифікації, які можна використовувати для налаштування керуючих параметрів.

Вибір методу налаштування алгоритму керування є критичним етапом у процесі розробки системи стабілізації. Цей етап вимагає обґрунтування і обдуманого підходу до визначення оптимальних параметрів алгоритму, які забезпечать досягнення поставлених завдань та критеріїв якості.

Один із можливих підходів - це використання аналітичних методів, які базуються на аналізі математичної моделі об'єкта керування. Ці методи включають теорію регулювання та методи оптимального керування. Вони дозволяють визначити параметри керування, які мінімізують функціонал якості або забезпечують виконання певних вимог.

Інший підхід - це використання експертних методів, особливо в ситуаціях, коли об'єкт керування має складну та неоднорідну природу, а також коли відсутній чіткий математичний опис. Експерти в галузі керування можуть вносити свої знання та досвід для визначення оптимальних параметрів на підставі їх інтуїції та розуміння конкретного об'єкта.

Також може бути використаний чисельний метод оптимізації, який дозволяє автоматично знаходити оптимальні параметри керування шляхом мінімізації обраного критерію якості. Генетичні алгоритми, методи градієнтного спуску та інші методи оптимізації можуть бути використані для знаходження оптимальних рішень.

Окрім цього, деякі сучасні підходи використовують системи автоматичного налаштування, які навчаються на льоту і самостійно визначають оптимальні параметри керування на основі даних про реальну роботу об'єкта.

Вибір конкретного методу налаштування визначається характером об'єкта керування, наявністю математичної моделі, обраною стратегією керування та доступними обчислювальними ресурсами. Кожен з цих підходів має свої переваги та обмеження, і вибір повинен бути обдуманим та обґрунтованим науково.

Реалізація програмного забезпечення: Розроблений алгоритм та метод налаштування реалізуються у вигляді програмного забезпечення, яке може бути використане для автоматичного налаштування системи стабілізації.

Реалізація програмного забезпечення для системи керування і стабілізації об'єкта є ключовим етапом у розробці автоматизованих систем. Цей процес включає в себе багато складних технічних, інженерних та програмних аспектів.

Початковим кроком у реалізації програмного забезпечення є вибір програмної платформи та мови програмування, що найкраще відповідає потребам конкретного завдання. Важливо враховувати параметри об'єкта керування, обсяг обчислювальних операцій та вимоги до швидкості реакції системи.

Далі відбувається розробка програмного коду, яка включає в себе створення алгоритмів, функцій та модулів для взаємодії з об'єктом керування. Ця робота базується на математичних моделях об'єкта та алгоритмах керування, які були розроблені на попередніх етапах.

Особлива увага приділяється реалізації алгоритмів керування, які включають в себе різні обчислювальні методи, фільтрацію, регулятори та інші складні алгоритмічні конструкції. Під час реалізації важливо враховувати оптимізацію програмного коду для забезпечення швидкості та надійності системи.

Одночасно з розробкою програмного коду проводиться налагодження та тестування, щоб виявити та виправити помилки та аномалії у роботі системи. Цей процес може включати в себе симуляцію роботи системи на комп'ютері, а також тестування на реальному об'єкті керування.

Для забезпечення стійкості та надійності системи в реальних умовах експлуатації проводяться тестування в різних умовах та сценаріях роботи. Результати тестування допомагають виявити можливі проблеми та дефекти, які потрібно виправити.

На завершальному етапі реалізації програмного забезпечення проводиться налаштування параметрів системи та визначення оптимальних значень для алгоритмів керування. Важливо забезпечити взаємодію програмного забезпечення

з обладнанням, таким як сенсори та актуатори, для забезпечення точного керування об'єктом.

Для кращого розуміння та формування процесу розробки та дослідження системи було створено діаграму, що відображає кількість часу, витраченого на кожен з етапів розробки системи керування та стабілізації, згідно з наведеним текстом:

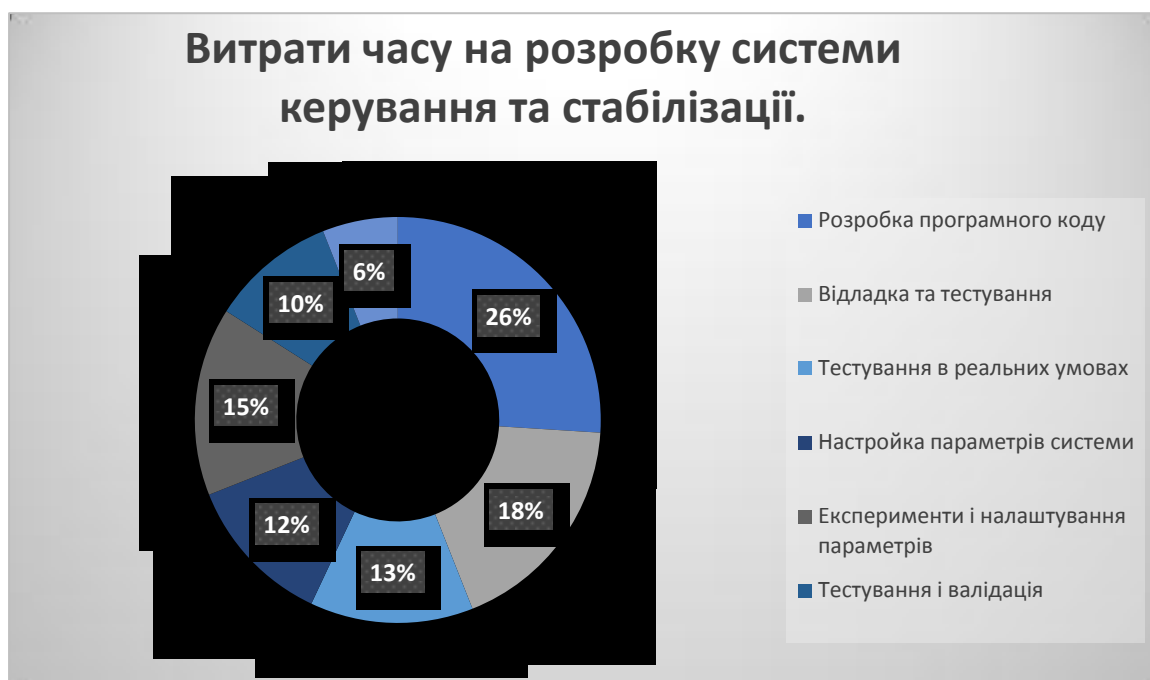


Рис.2.3 – Витрати часу на розробку системи керування та стабілізації.

Усі ці етапи реалізації програмного забезпечення спрямовані на створення системи керування і стабілізації, яка забезпечує стійку та ефективну роботу об'єкта керування відповідно до поставлених завдань та вимог.

Експерименти і налаштування параметрів: Після реалізації програмного забезпечення проводяться експерименти на реальному об'єкті керування. Параметри алгоритму налаштовуються так, щоб досягнути бажаних показників стабілізації.

Експерименти і налаштування параметрів - це важливий етап у розробці системи керування та стабілізації. Цей процес передбачає виконання досліджень та налаштування параметрів алгоритму керування на основі зібраних даних та експериментів на реальному об'єкті керування.

Початок експериментів передбачає підготовку до досліджень, включаючи визначення мети та об'єкта експерименту. Підбираються необхідні сенсори та вимірювальні пристрої для збору даних, а також встановлюються початкові значення параметрів алгоритму[17].

Сам процес експериментів включає в себе виконання серії тестів та досліджень, під час яких збираються дані про реакцію об'єкта керування на вплив алгоритму. Отримані дані аналізуються, і проводиться порівняння з бажаними результатами.

На основі аналізу результатів експериментів проводяться налаштування параметрів алгоритму. Це включає в себе зміну коефіцієнтів, обмежень та інших параметрів для досягнення кращої працездатності системи керування.

Після внесення змін повторюються експерименти, щоб перевірити, як вони вплинули на роботу системи. Цей процес може потребувати декількох ітерацій для досягнення оптимальних результатів.

Завершальним кроком є валідація та тестування розробленого алгоритму на реальному об'єкті керування. Під час тестування перевіряється, чи відповідає система керування вимогам та досягає бажаних результатів.

У результаті цього процесу досягається налаштований та оптимізований алгоритм керування, який забезпечує стабільність та ефективність роботи системи в реальних умовах.

Тестування і валідація: Після налаштування системи стабілізації проводяться тестові випробування для визначення її ефективності і надійності. Результати тестування порівнюються з передбаченими модельними даними для валідації роботи системи.

Тестування і валідація є ключовими аспектами в процесі розробки системи керування. Тестування передбачає проведення експериментів для оцінки функціональності та продуктивності системи керування. Це включає в себе віртуальне тестування, коли використовуються комп'ютерні моделі для симуляції реальних умов, і практичне тестування, коли система взаємодіє з реальним об'єктом.

Під час віртуального тестування, математичні моделі системи використовуються для створення різних сценаріїв та умов роботи. Це дозволяє

аналізувати поведінку системи в умовах, які можуть бути складні або навіть небезпечні для практичного тестування. Результати віртуального тестування використовуються для виявлення можливих проблем і вдосконалення алгоритму керування.

Практичне тестування включає в себе використання реального об'єкта керування для валідації роботи системи. Під час цього тестування вимірювальні прилади збирають дані про реальну реакцію системи керування на зовнішні впливи та умови роботи. Це дозволяє перевірити, чи відповідає система вимогам та чи досягнуті бажані результати.

Валідація є процесом оцінки результатів тестування і перевірки, чи відповідає система керування поставленим цілям та вимогам. Під час валідації аналізуються отримані дані та порівнюються зі специфікаціями та критеріями керування.

Якщо результати тестування та валідації відповідають очікуванню, то система керування готова до введення в експлуатацію. У разі виявлення проблем або несумісності з вимогами, систему може бути покращено та оптимізовано.

Важливо враховувати, що тестування і валідація – це ітеративний процес, і може знадобитися кілька ітерацій, щоб досягти бажаних результатів та забезпечити надійність та ефективність системи керування в реальних умовах роботи.

Підтримка і покращення: Після введення системи стабілізації в експлуатацію важливо забезпечити її підтримку та можливість внесення покращень у випадку зміни умов або вимог до системи.

Підтримка і покращення системи керування є невід'ємною частиною її життєвого циклу та передбачає комплексний підхід для забезпечення її ефективності та надійності.

Підтримка включає в себе регулярне технічне обслуговування, яке передбачає перевірку та обслуговування обладнання, заміну витратних матеріалів, а також виявлення та усунення можливих несправностей. Додатково важливо виконувати моніторинг стану системи з метою вчасного виявлення проблем та аварій.

Оновлення програмного забезпечення є не менш важливою частиною підтримки. Регулярні оновлення дозволяють виправляти помилки, забезпечувати

безпеку та підтримку сумісності з новим обладнанням чи технологіями. Оновлення можуть також включати в себе додавання нових функціональних можливостей для покращення роботи системи.

Покращення системи передбачає розвиток її функціональності згідно з ростом потреб користувачів або змінами у вимогах. Це може включати в себе додавання нових сенсорів, актуаторів або регуляторів, а також модифікацію алгоритмів керування. Оптимізація параметрів системи є важливою для підвищення її продуктивності та точності.

Підтримка також передбачає регулярне тестування та валідацію системи для впевненості в її ефективності та відповідності вимогам. Тестування може включати в себе випробування на відновлення після аварій, симуляційні тести та практичні експерименти.

Аналіз даних та звітність є важливим елементом підтримки, оскільки дозволяє виявляти та виправляти можливі проблеми та недоліки. Навчання персоналу забезпечує компетентність та професійний рівень у користуванні системою[18].

Щоб лаконічно узагальнити інформацію та наголосити на ключових аспектах автоматизації налаштування систем стабілізації було створено таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

| Назва розділу | Опис |
|------------------------|--|
| Тестування і валідація | Ключові аспекти в процесі розробки системи керування. Включає віртуальне тестування та практичне тестування. |
| Віртуальне тестування | Використання математичних моделей для симуляції реальних умов та аналізу поведінки системи. |
| Практичне тестування | Використання реального об'єкта керування для валідації роботи системи та збирання даних. |
| Валідація | Оцінка результатів тестування та перевірка відповідності системи поставленим цілям і вимогам. |
| Підтримка і покращення | Після введення в експлуатацію системи важлива регулярна підтримка, оновлення програмного забезпечення та покращення системи. |

| | |
|------------------------------------|--|
| Технічне обслуговування | Перевірка та обслуговування обладнання, заміна витратних матеріалів, виявлення та усунення несправностей. |
| Оновлення програмного забезпечення | Регулярні оновлення для виправлення помилок, забезпечення безпеки та підтримки сумісності з новим обладнанням. |
| Покращення системи | Розширення функціональності та оптимізація параметрів системи для підвищення продуктивності та точності. |
| Моніторинг стану системи | Систематичне відстеження стану системи з метою вчасного виявлення проблем та аварій. |
| Аналіз даних та звітність | Обробка та аналіз зібраних даних, виявлення проблем та недоліків, відслідковування роботи системи. |
| Навчання персоналу | Забезпечення компетентності та професійного рівня у користуванні системою. |
| Ітеративний процес | Тестування, валідація та покращення системи - ітеративний процес для досягнення бажаних результатів та надійності. |
| Оптимальна робота системи | Мета автоматизації налаштування систем стабілізації - забезпечення оптимальної роботи в різних умовах. |
| Розвиток функціональності | Розширення функціональності системи згідно з потребами користувачів та змінами вимог. |
| Забезпечення надійності | Важливість забезпечення стійкості та надійності функціонування системи в реальних умовах. |

Усі ці аспекти підтримки та покращення допомагають забезпечити стабільну та ефективну роботу системи керування впродовж її життєвого циклу та зробити її адаптованою до змінних умов та потреб користувачів.

Загальна мета автоматизації налаштування систем стабілізації полягає в забезпеченні оптимальної роботи системи при різних умовах та забезпеченні стійкості та надійності функціонування об'єкта керування. У результаті виконання цих кроків досягається покращення продуктивності і ефективності технічних систем, що має важливе значення в різних галузях промисловості та технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Як різновид безпілотних літальних апаратів (БПЛА) літальні апарати-квадратори відіграють широку роль. у захисті сільськогосподарських рослин, промислового нагляді, авіаційному транспорті та військових полів завдяки їх легкій вазі, малим масштабам, низькій вартості та гнучкості. Системи управління польотом мають вирішальне значення при виконанні різноманітних завдань ефективно. Тому багато дослідників акцентують увагу на інтелектуальних технологіях навчання безпілотних літальних систем, яким приділяється все більше уваги.

Враховуючи що квадрокоптер – це нелінійна, сильно взаємопов'язана та складнокерована система, а зовнішні збурення та невизначеності моделі є неминучими у фактичному процесі керування, це значно ускладнює розробку контролера та системи стабілізації. Для того, щоб впоратися з труднощами вище, були запропоновані різні стратегії побудови систем управління. Принцип пропорційно-інтегрально-похідної (ПІД) регулятор є негативним зворотним зв'язком до помилки системи, яка була успішно застосовується в статичному середовищі. Однак підсилення PID здійснюється вручну коригується методом проб і помилок, що вимагає серйозного професійного досвіду. Щоб мати справу з нелінійністю та невизначеністю моделі, низкою нелінійних з'явилися такі стратегії управління, як керування ковзним режимом, бекстепінг, адаптивне керування тощо. Більше того, деякі дослідження поєднують ці методи для підвищення стійкості стратегій управління. Тим не менш, більш складна модель зазвичай створює більш складну стратегію управління, яка є не простою для проектування та реалізації.

З розвитком штучного інтелекту багато стратегій управління базуються на нейронних мережах та навчанні з підкріпленням. Управління за допомогою нейронної мережі є безмодельним методом, який став важливою галуззю інтелектуального управління. Діркс запропонував новий нелінійний контролер, що

використовує нейронні мережі та зворотний зв'язок, який може гарантувати, що БПЛА слідує бажаною траєкторією. Алгоритм навчання з підкріпленням змушує агента взаємодіяти з середовищем і навчатися стратегії управління безпосередньо з нейронної мережі. Таким чином, немає необхідності спрощувати динамічну модель. Стратегія управління з навчанням з підкріпленням є відносно нова ідея, яка бере свій початок у 2005 році. Васланд досяг точного відстеження квадратора методом ітерації стандартної стратегії. Останнім часом Вільям використовував глибокий детермінований градієнт політики (DDPG), алгоритми оптимізації регіону довіри стратегії (TRPO) і проксимальної оптимізації стратегії (PPO) для контролю стану внутрішнього контуру відповідно, що досягло кращих характеристик ніж ПДД-регулятор. [40] Були створені подібні підходи, засновані на навчанні з підкріпленням запропоновані для керування квадратором. [41] Крім того, більшість з існуючих стратегій навчання з підкріпленням зосереджені лише на керуванні положенням у просторі та швидкості. Тіварі використовував алгоритм розширеного випадкового пошуку (ARS), щоб квадратор успішно досяг цільової позиції.

В останні роки Deepmind запропонував два ефективні алгоритми, DQN і DDPG.

DQN — це метод, заснований на функції цінності, яким важко працювати з великим простором дії, особливо у випадку безперервного простору дій. Однак DDPG побудовано на моделі налаштування з використання навчання з підкріпленням «актора та критика». В аспекті простору дій нейронна мережа використовується для налаштування функції стратегії та безпосередньо пов'язана з діями агента, та може працювати з безперервним простором дій та великим простором дій. Виходячи з вищезазначених причин, ця робота бере за основу алгоритм DDPG.

З розвитком навчання з підкріпленням було оптимізувано деякі аспекти алгоритму навчання з підкріпленням для подальшого покращення продуктивності алгоритму в останні роки. DeepMind спочатку розробив програмний комплекс для пріоритизації досвіду та застосував його до алгоритму Deep Q-Networks (DQN),

який виявився кращим, ніж алгоритм DQN, особливо враховуючи швидкість навчання і кінцеву продуктивність. Фактично, відтворення досвіду дає можливість алгоритму навчання з підкріпленням навчатися повною мірою використовувати минулий досвід. Однак стабільність і швидкість результатів навчання з підкріпленням, а також кінцева ефективність вивченої стратегії сильно залежать від досвіду, який відтворюється. На основі наведених вище ідей Хоу[42] ввів ідею пріоритетного відтворення досвіду в алгоритмі DDPG і виявив, що це значно скоротило час навчання та підвищило стабільність процесу навчання. Крім того, порівняно з алгоритмом DDPG, в процесі налаштування DDPG з пріорієтизацією відтворення досвіду (PER-DDPG) на результати навчання менше впливають гіперпараметри, що підвищує стійкість алгоритму. Крім того, інтегральний компенсатор привернув увагу в останні роки деяких дослідників. Ця методика враховує не тільки похибку стану в поточний момент, але також враховує похибку стану в попередній момент часу. Ванг та Ху [43] ввели інтегральні компенсатори в алгоритми DDPG і PPO для надійного керування квадрокоптером, що значно зменшило похибку в усталеному режимі.

Алгоритм PER-DDPG для отримання кращої продуктивності керування квадатором був ще вдосконалений за допомогою узагальненого інтегрального механізму компенсації. [37]. Варто зазначити, що інтегральний компенсатор, однаково розглядає похибки в минулих станах. Фактично, чим ближче похибка до поточної, тим вона цінніша. На основі цієї ідеї, [37] надає вагу похибці стану в минулих станах відповідно до відстані від поточного стану і формує узагальнений інтегральний компенсатор. Беручи узагальнену інтегральну компенсовану похибку як вхідні дані для нейронної мережі навчання агента з використанням навчання з підкріпленням «актор-критик», створено алгоритм PER-DDPG з узагальненим інтегралом компенсації (PER-DDPG-GIC). Запропонований алгоритм ефективно усуває похибку стаціонарного стану та має чудову стійкість незалежно від маси та розмірів квадрокоптера:

1) З віртуальною функцією винагороди зі штрафом виходу за обмеження, управління висотою польоту квадатором реалізовано в рамках алгоритму PER-DDPG.

2) Ефективність алгоритму PER-DDPG було покращено за допомогою нової функції винагороди, яка поєднує винагороду зі штрафом виходу за обмеження та узагальнений інтегральний компенсатор. Порівняно з алгоритмом без узагальненого інтегрального компенсатора, запропонований алгоритм дозволяє покращити точність відстеження траєкторії.

3) У структурі «актор-критик» вбудовано узагальнений інтегральний компенсатор і запропоновано алгоритм PER-DDPG-GIC. Взявши узагальнену інтегральну компенсовану похибку як вхідні дані для нейронної мережі, стаціонарну похибку можна ефективно усунути. Крім того, перевірено стійкість алгоритму при різних вагах і розмірах квадрокоптера [37].

Обґрунтування і вибір критеріїв оцінки якості налаштування систем стабілізації є важливим етапом у розробці таких систем. Цей процес передбачає ретельний аналіз потреб та вимог до системи, а також врахування специфічних характеристик об'єкта керування.

Спершу необхідно обґрунтувати, чому взагалі потрібно налаштовувати систему стабілізації. Це може впливати з потреби досягнення певних динамічних властивостей системи, забезпечення стабільності в умовах зовнішніх впливів, покращення точності вимірювань або оптимізації ресурсів, які витрачаються на управління системою.

Після обґрунтування потрібно визначити конкретні критерії, за якими буде оцінюватися якість налаштування системи. Ці критерії повинні бути визначені на основі функціональних та технічних вимог до системи. Вони можуть бути різними залежно від конкретної задачі. Наприклад, для стабілізації літака можуть бути важливими точність підтримання заданої траєкторії, стійкість до турбулентності повітря та мінімізація використаної пального.

Важливо також враховувати специфічні особливості об'єкта керування при визначенні критеріїв. Наприклад, для маневрених дронів може бути важливою

точність підтримання польотної траєкторії та стійкість до вітру, оскільки ці фактори суттєво впливають на їхню роботу.

У процесі визначення критеріїв може виникати потреба в компромісах, оскільки різні критерії можуть мати конфліктуючі вимоги. Тут важливо знайти баланс, який враховував би всі вимоги та потреби системи.

Обґрунтування і вибір критеріїв оцінки якості налаштування систем стабілізації вимагають докладного аналізу та врахування багатьох факторів, що впливають на функціонування системи. У цій розширеній дискусії ми подивимося на деякі з головних аспектів цього процесу та важливість правильного визначення критеріїв.

Перш за все, слід відзначити, що системи стабілізації можуть бути різного типу, включаючи механічні, електронні, оптичні, аерокосмічні і багато інших. Вимоги до кожного типу системи будуть різними залежно від її призначення та особливостей.

Наприклад, система стабілізації в оптичній камері для фотозйомки на дроні повинна мати високу точність та стійкість, оскільки навігація та якість зображень напряму залежать від її роботи. У той же час, система стабілізації в автомобільній антиблокувальній системі (ABS) повинна бути спроможною ефективно реагувати на різні дорожні умови і забезпечувати безпеку під час гальмування[19].

Ще однією важливою частиною оцінки якості налаштування системи стабілізації є її здатність адаптуватися до змінних умов. У реальному світі умови можуть змінюватися і тим самим впливати на роботу системи. Це може бути зміна температури, вологості, тиску або навіть фізичних властивостей об'єкта керування.

З цієї точки зору, налаштування системи стабілізації повинно бути здатним враховувати такі зміни і, можливо, адаптувати параметри системи на льоту. Це може включати в себе автоматичне переналаштування регуляторів, корекцію фільтрів чи навіть зміну керуючих алгоритмів.

Математичне моделювання важливою складовою процесу налаштування систем стабілізації. Воно дозволяє створити віртуальну версію системи і

виконувати різні сценарії та тестування, щоб визначити, як вона буде вести себе в реальних умовах.

Моделювання дозволяє аналізувати вплив різних параметрів на роботу системи та визначити, які з них слід оптимізувати або налаштувати. Також, воно дозволяє проводити тестування в умовах, які можуть бути небезпечними або дорогими у реальному житті, такі як аварії або екстремальні умови.

Стійкість системи стабілізації - це один з ключових аспектів її якості. Стійкість визначає, наскільки система може ефективно працювати під впливом зовнішніх або внутрішніх збурень. Якщо система нестійка, то вона може вести себе непередбачувано або навіть виходити з ладу[37]

Таким чином, налаштування системи стабілізації повинно включати в себе визначення оптимальних параметрів, які забезпечують необхідний рівень стійкості. Це може вимагати аналізу динаміки системи та її реакції на зовнішні збурення.

Контроль та валідація налаштування системи стабілізації є такими ж важливими, як і сам процес налаштування. Після встановлення оптимальних параметрів важливо перевірити, як система працює у реальних умовах. Це може включати в себе випробування на відновлення після аварії, відтворення реальних сценаріїв роботи або симуляції умов в лабораторних умовах.

Забезпечення безпеки та надійності системи стабілізації є додатковою важливістю. В небезпечних або критичних застосуваннях невідповідне налаштування може призвести до аварій або небезпеки для життя та майна. Тому налаштування повинно враховувати обмеження та вимоги щодо безпеки.

Навіть після завершення процесу налаштування системи стабілізації, важливо пам'ятати, що умови можуть змінюватися з часом. Температурні коливання, знос матеріалів або інші фактори можуть вплинути на роботу системи[20]. Тому система повинна бути здатна адаптуватися до таких змін і, можливо, автоматично коригувати свої параметри.

Збільшення ефективності налаштування систем стабілізації може бути досягнуте завдяки докладному аналізу і врахуванню додаткових аспектів.

При налаштуванні системи стабілізації необхідно враховувати динамічні властивості самого об'єкта керування. Об'єкти можуть мати різні часи реакції, демпфірування і нелінійні ефекти. Наприклад, стабілізація квадрокоптера відрізняється від стабілізації автомобіля через їхню різницю у динаміці.

Для досягнення найкращих результатів необхідно використовувати моделі об'єкта керування, які точно відображають його динамічні властивості. На основі таких моделей можна визначити параметри регулятора, які забезпечують оптимальну роботу системи стабілізації.

Параметри регулятора визначають те, як система реагує на зміни у вхідних сигналах і забезпечує стабільність та точність. У багатьох випадках оптимальні параметри регулятора можуть змінюватися в залежності від умов експлуатації.

Управління параметрами регулятора, таке як PID-контролер (пропорційний-інтегрально-диференціальний контролер), може бути реалізоване за допомогою методів автоналаштування. Ці методи дозволяють системі аналізувати її власну відповідь і визначати оптимальні параметри автоматично. Вони можуть використовувати алгоритми, які базуються на еволюційних стратегіях, методах оптимізації або машинному навчанні.

Зовнішні фактори, такі як шум, вібрація, температурні зміни і електромагнітні перешкоди, можуть впливати на роботу системи стабілізації. Ці фактори можуть призвести до зміни характеристик системи та спричинити нестабільність.

Для забезпечення ефективної стабілізації необхідно розглядати ці зовнішні впливи і враховувати їх при налаштуванні системи. Це може включати в себе захисні фільтри, які пригнічують шуми, або методи компенсації, які враховують зміни у вхідних сигналах.

Важливим аспектом при налаштуванні систем стабілізації є розгляд динаміки перехідного процесу та витрати енергії. Динаміка перехідного процесу вказує на час, який система потребує для досягнення стану рівноваги після зміни вхідного сигналу. Це може бути важливо для задач, де потрібно швидко реагувати на зміни.

Витрата енергії також важлива, особливо в батарейних системах. Налаштування системи таким чином, щоб вона працювала з мінімальною витратою енергії, може значно подовжити її час роботи.

Під час процесу налаштування системи стабілізації важливо залучати експертів та операторів, які мають досвід у конкретній галузі. Експертна думка може бути важливою при визначенні оптимальних параметрів та оцінці якості налаштування.

Крім того, оператори, які працюють з системою в реальних умовах, можуть надати цінну інформацію щодо її роботи та потреб у налаштуванні.

Забезпечення надійності системи стабілізації є важливою задачею. Для цього можуть використовуватися подвійні системи, резервні блоки живлення і системи аварійного відновлення. Додаткові заходи забезпечують безпеку та надійність роботи системи, що особливо важливо в критичних застосуваннях, таких як авіація та медицина.

Сучасні системи стабілізації часто використовують високоточні сенсори і засоби зв'язку, що дозволяють отримувати точні дані і керувати системою в реальному часі. Інтеграція таких технологій може покращити якість стабілізації та забезпечити надійний обмін даними з іншими системами.

Технології штучного інтелекту, такі як нейронні мережі та глибоке навчання, можуть бути корисними при налаштуванні систем стабілізації. Вони можуть використовуватися для аналізу великих обсягів даних і автоматичної оптимізації параметрів.

Штучний інтелект (ШІ) відіграє ключову роль у процесі налаштування систем стабілізації, сприяючи покращенню якості, точності та надійності цих систем. Розглянемо різні аспекти використання ШІ в контексті налаштування систем стабілізації та його важливість.

ШІ дозволяє інженерам та фахівцям з контролю використовувати високоточні алгоритми для аналізу систем стабілізації та їхніх компонентів. Системи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, можуть бути навчені

визначати оптимальні параметри для регуляторів, прогнозувати динаміку системи та виявляти аномалії[22].

Моделювання систем стабілізації з використанням ШІ дозволяє створювати віртуальні експерименти для визначення оптимальних параметрів та стратегій управління. Це зменшує необхідність у фізичних тестах та експериментах, що може бути дорогим і часомістким.

Інтелектуальні алгоритми машинного навчання можуть бути використані для автоналаштування параметрів систем стабілізації. Наприклад, алгоритми оптимізації можуть шукати оптимальні значення параметрів регулятора, які максимізують стійкість та точність системи.

Автоналаштування систем за допомогою ШІ може бути особливо корисним у випадках, коли об'єкти керування мають нелінійну динаміку або змінні параметри. ШІ може автоматично адаптувати параметри регулятора до змін у середовищі або умовах експлуатації.

ШІ може бути використаний для аналізу потоку даних з сенсорів та інших джерел у реальному часі. Це дозволяє виявляти аномалії, такі як несподівані збурення чи витoki, які можуть впливати на роботу системи стабілізації.

Системи машинного навчання можуть навчитися розпізнавати незвичайні патерни в даних і автоматично реагувати на них. Це сприяє забезпеченню безпеки та надійності системи.

Умови експлуатації можуть змінюватися з часом, і системи стабілізації повинні бути здатні адаптуватися до цих змін. ШІ може грати ключову роль у процесі адаптації.

Системи машинного навчання можуть навчитися адаптувати параметри регулятора до змін у динаміці об'єкта керування або до зовнішніх впливів. Наприклад, вони можуть реагувати на зміни температури, вологості чи інших факторів, які впливають на роботу системи стабілізації.

У разі аварії чи несподіваної ситуації ШІ може бути використаний для швидкого аналізу ситуації та прийняття рішень щодо відновлення системи.

Алгоритми машинного навчання можуть допомогти відновити стабільну роботу системи в якнайкоротший термін.

ШІ може спростити процес налаштування систем стабілізації. Автоматизація цього процесу за допомогою інтелектуальних алгоритмів може зменшити час та ресурси, необхідні для досягнення оптимальних параметрів.

Використання ШІ в налаштуванні систем стабілізації дозволяє створювати інтелектуальні системи, які здатні до самонавчання і самокорекції. Ці системи можуть постійно адаптуватися до нових умов і оптимізувати свою роботу з часом[23].

Багато об'єктів керування мають нелінійну динаміку, що робить їх складними для налаштування традиційними методами. ШІ може бути використаний для ефективного вирішення цього завдання, навчаючи систему реагувати на нелінійні ефекти і забезпечувати стабільність.

Системи стабілізації, особливо великих і складних об'єктів, можуть вимагати великого обсягу обчислень. Системи розподіленого обчислення та хмарні обчислення можуть бути використані для оптимізації обчислювальних ресурсів та забезпечення високої продуктивності.

Зменшення витрат енергії є важливою задачею, особливо для портативних або автономних систем стабілізації. ШІ може бути використаний для оптимізації роботи системи таким чином, щоб вона працювала з мінімальною витратою енергії.

ШІ може допомогти в персоналізації налаштувань систем стабілізації в залежності від конкретних потреб та вимог користувачів. Це особливо важливо в сферах, де одна система може використовуватися для різних застосувань.

ШІ може бути використаний для прогнозування ресурсів, необхідних для обслуговування систем стабілізації, і планування технічного обслуговування. Це дозволяє підтримувати систему в найкращому стані та забезпечувати її надійну роботу.

Аспекти застосування інтелектуальних алгоритмів машинного навчання для автоналаштування параметрів систем стабілізації та відображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

| Застосування інтелектуальних алгоритмів машинного навчання | Опис | Переваги | Приклади використання |
|--|---|---|--|
| Оптимізація параметрів регулятора | Пошук оптимальних значень параметрів регулятора для максимізації стійкості та точності системи. | Підвищення продуктивності та надійності системи. | Автоналаштування ПД-регуляторів для стабілізації квадрокоптера. |
| Автоналаштування в нелінійних умовах | Адаптація параметрів регулятора до змін у середовищі або умовах експлуатації, особливо з нелінійною динамікою або змінними параметрами. | Забезпечення стабільності в умовах змінної динаміки або нелінійності. | Автоналаштування регулятора в екосистемах змінюючогося складу. |
| Аналіз потоку даних в реальному часі | Обробка та аналіз даних з сенсорів та інших джерел у реальному часі для виявлення аномалій та збурень. | Виявлення аномалій та негайна реакція на них. | Моніторинг метеорологічних даних для попередження стихійних лих. |
| Реагування на незвичайні патерни в даних | Виявлення незвичайних патернів в даних та автоматична реакція на них для забезпечення безпеки та надійності системи. | Попередження аварійних ситуацій та забезпечення безпеки. | Виявлення шаблонів у зображеннях для уникнення аварій на дорозі. |

Глибоке навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) визначається як клас машинного навчання, в якому агент взаємодіє з навколишнім середовищем

з метою навчитися приймати оптимальні дії для максимізації нагороди або мінімізації покарання. У випадку налаштування стабілізаторів, це середовище включає в себе динамічні об'єкти та вимірювальні системи.

Один з ключових аспектів використання RL в цьому контексті - це створення відповідного середовища моделювання для реальних динамічних систем. Це може включати в себе створення фізичних моделей, симуляції або використання реальних об'єктів з системами зворотного зв'язку для збору даних.

Після налаштування середовища RL, необхідно визначити агента, який взаємодіє з системою. Цей агент вивчає дії, які максимізують певну нагороду, що відповідає бажаному стану системи. У випадку стабілізаторів, ці дії можуть включати в себе керування параметрами регулятора, рівноважними настройками, інтегральними діями тощо.

Важливим елементом в даному контексті є процес навчання агента. Він може використовувати різні алгоритми, такі як Q-навчання, Deep Q-Networks (DQN), або навіть більш сучасні методи навчання з підкріпленням, які використовують нейронні мережі глибокого навчання. Під час навчання агент розвиває стратегію, яка оптимізована для налаштування стабілізаторів у реальному часі.

Важливим аспектом впровадження глибокого навчання з підкріпленням в автоматизацію налаштування стабілізаторів є оптимізація навчання та взаємодії агента з системою. Це включає в себе вибір підходів до функції нагороди, розмірності дій агента, та побудову архітектур нейронних мереж, які можуть ефективно навчати агента.

Важливим елементом є також обробка даних та управління навчанням. Система повинна бути здатною збирати та аналізувати дані з сенсорів та системи зворотного зв'язку. Крім того, контролювання процесу навчання, зокрема, відстеження навчальних кривих та регулювання параметрів агента, є важливим завданням.

При розгляді впровадження RL в системи налаштування стабілізаторів важливо враховувати обмеження на час реакції та безпеку системи. Навчання з

підкріпленням може вимагати багато ітерацій та спостережень, щоб досягти оптимальної стратегії, і це може бути критичним у деяких додатках.

Крім того, розробка ефективної стратегії для налаштування стабілізаторів вимагає глибокого розуміння фізичних та інженерних принципів, що лежать в основі динамічних систем. Використання глибокого навчання з підкріпленням не замінює це розуміння, але може покращити та автоматизувати процес налаштування.

Важливо враховувати, що ШІ не заміняє роль експертів та інженерів у процесі налаштування систем стабілізації. Спеціалісти з контролю та автоматики мають розуміти принципи роботи систем та враховувати додаткові фактори, які можуть бути недоступні алгоритмам ШІ.

Важливо враховувати аспекти безпеки при використанні ШІ в системах стабілізації. Алгоритми машинного навчання мають бути захищені від атак та впливу шкідливих факторів, щоб забезпечити надійність та цілісність системи.

Використання ШІ в системах стабілізації також породжує етичні питання. Наприклад, якщо система приймає рішення щодо аварійного відключення, важливо визначити відповідні етичні стандарти та правила.

З врахуванням всіх вищезазначених аспектів, можна зробити висновок, що використання ШІ в налаштуванні систем стабілізації є ключовим фактором у покращенні їхньої якості, точності, надійності та ефективності. ШІ дозволяє автоматизувати та оптимізувати процес налаштування, а також забезпечує можливість адаптації до змінних умов експлуатації та виявлення аномалій у реальному часі[24]. Такий підхід допомагає створити більш ефективні, надійні та інтелектуальні системи стабілізації, що відкриває нові можливості для їхнього застосування в різних галузях, від авіації до промисловості та медицини.

Для вдосконалення процесу налаштування можуть бути створені спеціальні тестові платформи, які дозволяють виконувати випробування та аналізувати роботу системи в умовах, близьких до реальних.

Необхідною складовою налаштування є створення інструкцій та документації, яка допомагатиме операторам і технічному персоналу працювати з системою та виконувати процедури налаштування та обслуговування.

Важливо також враховувати економічні аспекти налаштування систем стабілізації. Це включає в себе визначення витрат на процес налаштування та обґрунтування ефективності цих витрат в порівнянні з отриманими покращеннями у якості та продуктивності системи.

Оцінка якості налаштування систем стабілізації є складним завданням, яке вимагає глибокого розуміння системи, вимог і умов експлуатації. Визначення правильних критеріїв та їхнє налаштування відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності, стійкості та безпеки таких систем. Для досягнення оптимальних результатів, цей процес повинен бути ретельно продуманим і системним.

У галузі налаштування систем стабілізації виникає питання використання даних та сенсорів для забезпечення точності і надійності процесу. Сучасні системи можуть використовувати велику кількість датчиків для збору інформації про стан об'єкта та навколишнє середовище. Ці дані можуть бути використані для аналізу та оптимізації роботи стабілізуючих пристроїв в реальному часі.

Однак важливо розуміти, що не завжди всі дані доступні та достовірні. Іноді датчики можуть неправильно працювати або видавати неточну інформацію. Тому важливо розробляти алгоритми обробки та фільтрації даних, які дозволяють виявляти та усувати аномалії та шуми у вхідних сигналах.

Під час налаштування систем стабілізації також важливо враховувати обмеження обладнання та ресурсів. Системи можуть мати обмежену обчислювальну потужність, пам'ять, акумулятори тощо. Оптимізація роботи стабілізуючих пристроїв при обмежених ресурсах стає важливим завданням, і в цьому контексті методи штучного інтелекту та оптимізації стають дуже корисними.

Додатково, важливо враховувати аспекти зв'язку та взаємодії з іншими системами. В багатьох випадках, стабілізуючі пристрої пов'язані з іншими підсистемами, і їх роботу слід координувати для досягнення загальних цілей.

Нарешті, налаштування систем стабілізації є ітеративним процесом. Система може піддаватися періодичній перевірці та поновленню параметрів для відповіді на зміни в умовах експлуатації або для покращення її ефективності. Така постійна оптимізація грає важливу роль у забезпеченні високої продуктивності та надійності систем стабілізації.

Розвиток налаштування систем стабілізації продовжується із зростанням застосування розширеного штучного інтелекту та обчислювальної потужності. Однією з інноваційних технологій є використання нейронних мереж для покращення якості стабілізації. Глибокі нейронні мережі, такі як згорткові нейронні мережі (CNN) та рекурентні нейронні мережі (RNN), можуть бути використані для аналізу великих обсягів даних та виявлення складних закономірностей у поведінці системи. Це дозволяє створювати більш точні та адаптивні алгоритми керування.

Також, зростає популярність гібридних підходів до налаштування стабілізаторів. Це означає поєднання традиційних методів керування з сучасними технологіями штучного інтелекту. Наприклад, може використовуватися класичний ПД-регулятор, покращений інтелектуальними алгоритмами, які аналізують динаміку системи та роблять корекції з використанням даних в реальному часі.

Ще однією важливою тенденцією є розширення застосувань стабілізації у зв'язку з розвитком робототехніки та автономних систем. Роботи та дрони, які вимагають точного керування та стабілізації для виконання завдань у різних умовах, стають важливими об'єктами для налаштування. Застосування глибокого навчання та інших сучасних методів дозволяє їм досягати високої продуктивності та автономності.

З погляду безпеки, важливо продовжувати дослідження та розробку заходів захисту від можливих атак на системи стабілізації. Зростаюча залежність від

інформаційних технологій створює нові ризики в сфері кібербезпеки, які вимагають розробки адекватних заходів захисту та виявлення потенційних загроз.

Усі ці тенденції вказують на те, що налаштування систем стабілізації лишається актуальною та широкою галуззю інженерної та наукової діяльності. Розвиток нових методів, використання сучасних технологій та урахування різноманітних аспектів, включаючи етичні, забезпечує подальше вдосконалення якості, надійності та ефективності систем стабілізації у різних галузях технології.

Однією з найважливіших аспектів налаштування систем стабілізації є підтримання сумісності з міжнародними та галузевими стандартами. У багатьох галузях, таких як авіація, медицина та автомобільна індустрія, існують строгі норми і вимоги, які регулюють якість та безпеку обладнання. Налаштування стабілізуючих систем повинно відповідати цим стандартам і нормам для отримання необхідних дозволів та сертифікацій.

З іншого боку, інновації в сфері науки та технології продовжують створювати нові можливості для налаштування стабілізаційних систем. Використання сенсорів нового покоління, включаючи ґрунтові сенсори, лідари та камери зі штучним інтелектом, дозволяє отримувати більше деталей про оточуюче середовище та об'єкти, що стабілізуються. Це розширює можливості для точного та швидкого реагування системи на зовнішні впливи.

Крім того, налаштування стабілізаційних систем має потенціал для застосування в сфері екології та сталого розвитку. Ефективне керування та стабілізація об'єктів може допомагати зменшувати витрати енергії, оптимізувати використання ресурсів та покращувати вплив на навколишнє середовище.

Необхідно також враховувати тенденцію до розширення застосувань стабілізаційних систем в космічній та авіаційній промисловості. Розвиток сучасних супутникових систем та безпілотних апаратів вимагає надійного та точного керування для забезпечення успішних місій у космосі та на поверхні планет.

Загалом, налаштування стабілізаційних систем залишається актуальним та перспективним напрямком інженерної діяльності, який відкриває нові можливості

в багатьох галузях технології та сприяє розвитку більш точних, надійних та інтелектуальних систем стабілізації.

Інший важливий аспект, пов'язаний з налаштуванням стабілізаційних систем, - це врахування змінних умов експлуатації. Багато об'єктів, які потребують стабілізації, працюють у різних умовах і середовищах. Наприклад, автономні дрони можуть працювати в різних погодних умовах та на різних висотах. Тому налаштування системи стабілізації повинно бути здатним адаптуватися до цих змін і забезпечувати стабільну роботу в будь-яких умовах.

Для досягнення цього метафоричною може бути використання поняття "навчання на льоту" (in-flight learning). Це означає, що система стабілізації може навчатися та адаптуватися до змін у реальному часі, коригуючи параметри та алгоритми керування під час роботи. Використання алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж дозволяє системі аналізувати дані з датчиків і приймати відповідні рішення для забезпечення стабільності та надійності роботи.

Зараз також активно досліджується можливість використання квантових обчислень для налаштування стабілізаційних систем. Квантові комп'ютери можуть обробляти великі обсяги даних та вирішувати складні математичні задачі значно швидше, ніж класичні комп'ютери. Це може покращити ефективність налаштування та оптимізації систем стабілізації, зокрема в галузях, де вимагається висока обчислювальна потужність.

Завдяки поєднанню новітніх технологій, зростанню обчислювальної потужності та розумінню складності стабілізаційних задач, налаштування стабілізаційних систем стає більш точним та ефективним процесом[25]. Вирішення цих викликів має велике значення для розвитку сучасних технологій та застосувань стабілізації в різних галузях.

Крім того, важливим аспектом налаштування стабілізаційних систем є врахування впливу шуму та спотворень на сенсорні дані та вимірювання. У реальному світі існують різноманітні джерела шуму, які можуть впливати на точність вимірювань, такі як електромагнітний шум, термічний шум, шум від датчиків, шум від коливань тощо. Для досягнення найкращих результатів важливо

розробляти алгоритми та методи, які можуть фільтрувати шум та коригувати вимірювання, щоб покращити якість роботи стабілізаційної системи.

Окрім цього, налаштування стабілізаційних систем вимагає уваги до важливого аспекту, такого як вибір інтерфейсу та обладнання для взаємодії з оператором чи користувачем. Ефективна взаємодія між людиною та системою може значно полегшити процес налаштування, особливо в ситуаціях, де потрібно вносити зміни в реальному часі. Врахування інтерфейсу користувача та зручності управління може покращити продуктивність і зменшити ризик помилок під час налаштування.

Також важливим є аналіз даних та вимірювань, які збираються під час налаштування. Збір та аналіз даних може допомогти виявити патерни та аномалії у роботі системи, а також визначити оптимальні параметри налаштування. За допомогою сучасних інструментів аналізу даних, таких як машинне навчання та статистичні методи, можна отримати цінні інсайти та покращити ефективність процесу налаштування[26].

Враховуючи всі ці аспекти, налаштування стабілізаційних систем залишається складною та важливою задачею в інженерії. Воно вимагає глибокого розуміння технічних аспектів, знань у галузі автоматичного керування та обробки сигналів, а також використання сучасних технологій та методів. Налаштування стабілізаційних систем має велике значення для досягнення найвищої якості, надійності та ефективності в різних застосуваннях, від робототехніки до медицини та космічної техніки.

Додатково, слід звернути увагу на інтеграцію стабілізаційних систем з іншими компонентами та системами. У багатьох випадках стабілізація є лише однією складовою більшої системи, і вона повинна взаємодіяти з іншими підсистемами та алгоритмами. Ця інтеграція може включати в себе обмін даними, синхронізацію роботи та забезпечення сумісності між різними компонентами системи.

Крім того, важливо враховувати масштабність та зручність налаштування стабілізаційних систем. У великих комплексних системах, таких як автоматизовані

виробничі лінії або автономні транспортні засоби, кількість компонентів і параметрів може бути величезною. Тому розробники повинні розглядати можливості автоматизації та уніфікації процесу налаштування, щоб зменшити трудомісткість та ризик помилок.

Однією з актуальних тенденцій в налаштуванні стабілізаційних систем є використання технологій інтернету речей (IoT) та збір даних з великої кількості сенсорів та пристроїв, що забезпечує більш деталізований аналіз та налаштування в реальному часі. Збір та аналіз великого обсягу даних може допомогти виявити та виправити навіть дрібні аномалії та помилки в роботі системи стабілізації.

Завдяки поєднанню цих підходів та застосуванню сучасних технологій, налаштування стабілізаційних систем стає більш точним, швидким та надійним процесом. Це дозволяє досягати найкращих результатів у різних сферах, від авіації та промисловості до робототехніки та медицини, і робить стабілізаційні системи більш доступними та універсальними в застосуванні. Розвиток і вдосконалення процесів налаштування стабілізаційних систем є ключовим чинником у розвитку сучасних технологій та підвищенні їхньої ефективності та надійності[27].

Додатковою важливою аспектом в налаштуванні стабілізаційних систем є розробка і використання адаптивних підходів. Оскільки умови експлуатації можуть змінюватися відповідно до конкретної ситуації, система стабілізації повинна бути здатна адаптуватися до нових умов без необхідності повного переналаштування. Адаптивні алгоритми навчання з підкріпленням (reinforcement learning) і нейромережі, такі як глибоке навчання (deep learning), стають все більш поширеними в цьому контексті.

Доцільно також враховувати ризики та впливи на результати налаштування стабілізаційних систем. З урахуванням можливих несправностей чи непередбачуваних ситуацій важливо розробити стратегії аварійного вимкнення або резервних планів, щоб запобігти потенційним аваріям чи пошкодженням.

Крім того, з урахуванням зростаючої популярності автономних систем та роботів, налаштування стабілізаційних систем може стати ще більш складною задачею. Автономні системи повинні мати можливість приймати рішення та

налаштовувати свою роботу в реальному часі, враховуючи навколишнє середовище та завдання, які вони виконують.

Важливо пам'ятати про постійний процес вдосконалення та моніторингу налаштування стабілізаційних систем. Зміни в умовах експлуатації чи покращення технологій можуть вимагати періодичного перегляду та оновлення параметрів налаштування. Такий підхід дозволяє забезпечити постійну ефективність та надійність системи.

У підсумку, налаштування стабілізаційних систем є складним і важливим етапом в розробці та експлуатації різних технічних систем. З урахуванням розвитку нових технологій, адаптивних підходів та постійного моніторингу можна досягти високої якості, ефективності та надійності стабілізаційних систем у різних галузях. Такий підхід дозволяє розширювати можливості застосування цих систем та сприяє загальному розвитку технологій автоматичного керування і стабілізації.

Однією з важливих тенденцій в налаштуванні стабілізаційних систем є розширення їхнього застосування у сферах, де раніше це було важко або неможливо[28]. Завдяки розвитку сучасних обчислювальних технологій і алгоритмів, стабілізаційні системи можуть бути впроваджені в більш широкий спектр додатків.

Наприклад, у робототехніці стабілізаційні системи дозволяють покращити роботу роботів та дронів, роблячи їх більш стійкими та точними в русі. В медицині такі системи використовуються для розробки прецизійних медичних пристроїв і хірургічних роботів. У телекомунікаціях стабілізація допомагає забезпечити стабільний зв'язок і передачу даних у вимогливих умовах.

Також слід відзначити, що в умовах зростаючої складності технічних систем і збільшення вимог до точності та надійності, налаштування стабілізаційних систем стає важливим етапом у розробці сучасних транспортних засобів. Автомобілі, літаки та космічні апарати використовують стабілізаційні системи для забезпечення безпеки і точності руху.

З урахуванням росту інтернету речей (IoT) та збільшення кількості зв'язаних пристроїв, стабілізаційні системи можуть стати ключовою складовою для

забезпечення стійкості та точності роботи IoT-пристроїв[29]. Вони можуть бути використані в смартфонах, дронах для доставки, розумних роботах-помічниках та багатьох інших пристроях.

Загалом, налаштування стабілізаційних систем є невід'ємною частиною сучасної інженерної та технологічної революції. Вони допомагають покращити якість та ефективність технічних систем у різних галузях, від робототехніки до медицини, і відкривають нові можливості для застосування автоматичного керування і стабілізації.

У підсумку, налаштування систем стабілізації є складним технічним завданням, яке вимагає ретельного планування, використання передових методів та технологій, обробки та аналізу даних, врахування обмежень та екологічних аспектів, а також постійної оптимізації. З правильним підходом і використанням сучасних засобів, таких як штучний інтелект і машинне навчання, можна досягти високої якості та продуктивності в різних галузях, де застосовуються стабілізуючі пристрої.

РОЗДІЛ 4

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛІЗАТОРА

4.1 Моделювання системи стабілізації квадрокоптера

Моделювання системи стабілізації є важливою складовою процесу розробки та налаштування таких систем. Моделювання таких систем допомагає інженерам та фахівцям з контролю розуміти їхню динаміку, ефективність та стійкість, а також налаштовувати їх для досягнення бажаних показників.

Перш кроком у моделюванні системи стабілізації є побудова математичної моделі цієї системи. Математична модель описує зв'язки між вхідними та вихідними сигналами системи, а також динаміку всіх компонентів.

4.1.1. Моделювання методом Ньютона-Ейлера

У цьому розділі представлено процес створення динамічної моделі квадрокоптера. Базова конструкція і корпус квадрокоптера показані на рис. 4.1.

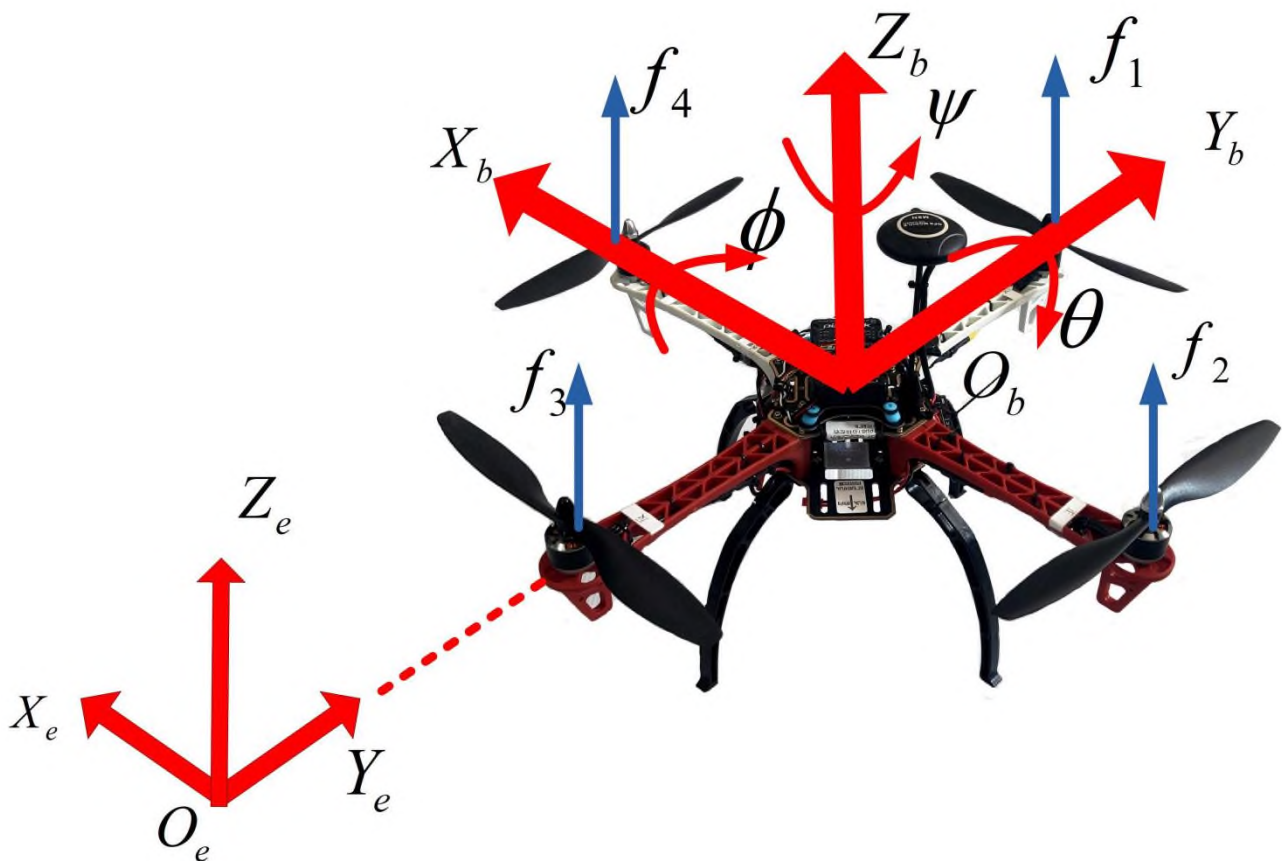


Рис. 4.1 – Конструкція та рами квадрокоптера.

Для опису кінематичної моделі квадрокоптера встановлено дві системи координат: інерціальну систему координат $E = \{O_e, X_e, Y_e, Z_e\}$ та нерухому систему координат $B = \{ob, xb, yb, zb\}$. Центр мас квадрокоптера в інерціальній системі координат визначається як $p = [x, y, z]^T$

Поступальний рух

Відповідно до другого закону руху Ньютона, можна отримати спрощену динамічну модель квадротора.

$$F_e = RF_\ell + G = m\ddot{p} \quad (4.1)$$

де F_e — результуюча сила, прикладена до квадрокоптера, R — матриця трансформації, F_ℓ — підйомна сила, G — сила тяжіння квадротора, m — маса квадротора, \ddot{p} — прискорення квадрокоптера в інерціальній координатній системі.

$$F_l = [0, 0, T_z]$$

T позначає вектор підйому, де $T_z = \sum_{i=1}^4 T_i$. T_i визначається в фіксованій на корпусі рами, тоді як сила тяжіння квадрокоптера та інші зовнішні сили визначаються в інерціальній системі відліку. Тому трансляційна матриця R використовується для опису перетворення між нерухомою системою відліку та інерціальною системою відліку [37]

Трансляційна матриця R задається наступним чином:

$$R = \begin{bmatrix} C_\phi C_\theta C_\psi S_\phi S_\psi - C_\phi S_\psi S_\phi S_\psi + C_\phi C_\psi S_\theta & S_\psi C_\theta S_\phi S_\psi + C_\phi C_\psi C_\phi S_\theta S_\psi - C_\psi S_\phi & -S_\theta \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\phi C_\theta \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

де $S\{\cdot\}$, $C\{\cdot\}$ представляють $\sin(\cdot)$, $\cos(\cdot)$, кут Ейлера ϕ , θ , ψ є крен, тангаж і кут повороту відповідно. Таким чином динамічний поступальний рух квадротора можна виразити як:

$$\begin{cases} \ddot{x} = T_z (C_\phi S_\theta C_\psi + S_\phi S_\psi) / m, \\ \ddot{y} = T_z (C_\phi S_\theta C_\psi + S_\phi S_\psi) / m, \\ \ddot{z} = T_z (C_\phi C_\theta - mg) / m. \end{cases} \quad (4.3)$$

Обертальний рух

Для обертального руху квадрокоптера, за законом твердого тіла обертання, загальний зовнішній момент, прикладений до квадрокоптера, можна виразити як[37]

$$M = I\dot{\omega} + \omega \times I\omega \quad (4.4)$$

де $I = \text{diag}(I_x, I_y, I_z)$ – момент інерції квадрокоптера, $w = [\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]$ є кутова швидкість Ейлера, а M - керуючий момент, створюваний різними підйомами. M задано таким чином:

$$M = \begin{bmatrix} L(T_4 - T_2) \\ L(T_1 - T_3) \\ K_\psi(T_1 - T_2 + T_3 - T_4) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

де L - відстань між центром мас квадранта і ротором вісь, K_ψ – коефіцієнт моменту реакції, T_i – підйомна сила, що забезпечується різними роторами. З вищевикладеного, квадрокоптер має динаміку обертального руху можна виразити як:

$$\begin{cases} \ddot{\phi} = L(T_2 - T_4)/I_x \\ \ddot{\theta} = L(T_3 - T_1)/I_y \\ \ddot{\psi} = K_\psi(T_1 - T_2 + T_3 - T_4)/I_z \end{cases}, \#(4.6)$$

Поступальний і обертальний рухи квадрокоптера — це всі рухи квадрокоптера в просторі. Тому модель кінематики квадрокоптера не враховуючи силу аеродинамічного опору, тертя та вітру можна отримати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= T_z(C_\phi S_\theta C_\psi + S_\phi S_\psi)/m \\ \ddot{y} &= T_z(C_\phi S_\theta C_\psi - S_\phi S_\psi)/m \\ \ddot{z} &= (T_z C_\phi S_\theta - mg)/m \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \ddot{\phi} = L(T_2 - T_4)/I_x \\ \ddot{\theta} = L(T_3 - T_1)/I_y \\ \ddot{\psi} = K_\psi(T_1 - T_2 + T_3 - T_4)/I_z \end{cases}, \#(4.7)$$

4.1.2. Моделювання методом Лагранжа

У цьому розділі показана модель квадрокоптера використовуючи підхід Лагранжа. Узагальнені координати, що описують положення та орієнтацію квадрокоптера

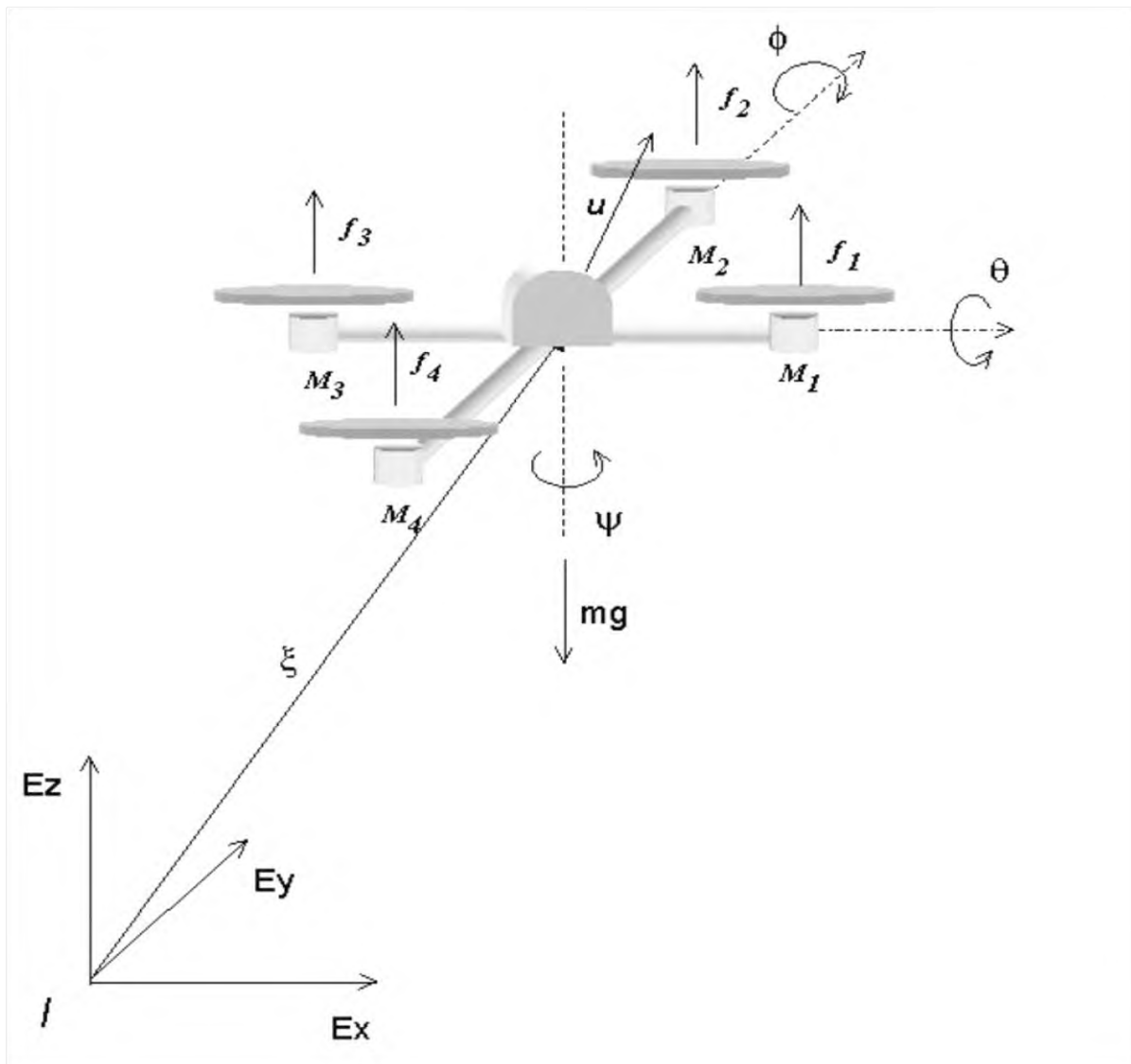


Рис. 4.2. – Система координат квадрокоптера

$$q=(x,y,z,\psi,\theta,\phi)\in\mathcal{R}^6$$

Де (x, y, z) позначають положення центру мас квадрокоптера відносно рами.

Є три кути Ейлера (кути повороту, тангажу та крену) які представляють орієнтацію квадрокоптера.

Таким чином, модель логічно розбивається на поступальні і координати обертання.

$$\xi = (x, y, z) \in R^3, \quad \eta = (\psi, \theta, \phi) \in R^3$$

Поступальна кінетична енергія квадрокоптера становить

$$T_{trans} \stackrel{\Delta}{=} \frac{m}{2} \xi^T \dot{\xi}, \#(4.8.1)$$

де m позначає масу квадрокоптера. Кінетична енергія обертання становить

$$T_{rot} \stackrel{\Delta}{=} \frac{1}{2} \eta^T J \dot{\eta}, \#(4.8.2)$$

матриця J діє як матриця інерції для повного оберту. Кінетична енергія квадрокоптера виражається безпосередньо через узагальнені координати". Єдина потенційна енергія, яка необхідно враховувати стандартний гравітаційний потенціал дано

$$U = mgz \quad (4.8.3)$$

Лагранжیان, що представляє

$$\begin{aligned} L(q, \dot{q}) &= T_{trans} + T_{rot} - U \\ &= \\ &= \frac{m}{2} \dot{\xi}^T \dot{\xi} + \frac{1}{2} \dot{\eta}^T J \dot{\eta} - mgz, \#(4.8.4) \end{aligned}$$

Модель повної динаміки квадрокоптера отримана з Рівняння Ейлера-Лагранжа із зовнішньою узагальненою силою F :

$$\frac{d}{dt} \frac{\mathcal{D}L}{\mathcal{D}\dot{q}} - \frac{\mathcal{D}L}{\mathcal{D}q} = F$$

де $F = (F_\xi, T)$ і $T \in$ узагальнені моменти. F_ξ є поступальна сила, що прикладається до квадрокоптера через керуючі входи. Ми ігноруємо невеликі сили

тіла, оскільки вони, як правило, набагато менші за величиною, ніж головні керуючі входи u і t . Тоді ми пишемо:

$$\hat{F} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ u \end{pmatrix} \quad (4.8.5)$$

Де, (рис. 4.2)

$$v = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$$

Та

$$f_i = k_i w_i^2$$

Де $k_i > 0$ є константою та w_i кутова швидкість двигуна I ($M_i, I = 1..4$), потім

$$F_{\xi} = R$$

де R - матриця перетворення, що представляє орієнтацію квадрокоптера. Ми використовуємо c_{θ} для $\cos\theta$ та s_{θ} для $\sin\theta$

$$R = \begin{pmatrix} C_{\theta} C_{\psi} & S_{\psi} S_{\theta} & -S_{\theta} \\ C_{\psi} S_{\theta} S_{\phi} - S_{\psi} C_{\phi} & S_{\psi} S_{\theta} S_{\phi} + C_{\psi} C_{\phi} & C_{\theta} S_{\phi} \\ C_{\psi} S_{\theta} C_{\phi} + S_{\psi} S_{\phi} & S_{\psi} S_{\theta} C_{\phi} - C_{\psi} S_{\phi} & C_{\theta} C_{\phi} \end{pmatrix}$$

узагальнені сили на η змінні є

$$T_{\Delta} = \begin{pmatrix} T_{\phi} \\ T_{\theta} \\ T_{\psi} \end{pmatrix}, \#(4.8.6)$$

Де

$$T_{\phi} = \sum_{i=1}^4 T M_i$$

$$T_{\theta} = (f_2 - f_4) l$$

$$T_{\psi}=(f_3-f_1)l \quad (4.8.7)$$

Та де l це дистанція від мотора до центру гравітації та TM_i це пара вироблена двигуном M_i отримавши лагранжіан, ми помічаємо, що він містить будь-які перехресні члени в об'єднанні кінетичної енергії ξ та η , рівняння Ейлера Лагранжа можна розділити на динаміку для ξ координат і η динаміки. Далі отримуємо

$$m\ddot{\xi} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{pmatrix} = F_{\xi} \quad (4.8.8)$$

$$\mathbb{J}\dot{\eta} + \mathbb{J}\dot{\eta} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta^T \mathbb{J} \eta) = T \quad (4.8.9)$$

визначення коріолісового/центрообертального вектора

$$\bar{V}(\eta, \dot{\eta}) = \mathbb{J}\dot{\eta} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta^T \mathbb{J} \eta) \quad (4.8.10)$$

Ми можемо написати

$$\mathbb{J}\dot{\eta} + V(\eta, \dot{\eta}) = T \quad (4.8.11)$$

Та ми можемо переписати $\bar{V}(\eta, \dot{\eta})$ як

$$V(\eta, \dot{\eta}) = C(\eta, \dot{\eta}) \dot{\eta} \quad (4.8.12)$$

Де $C(\eta, \dot{\eta})$ називаються термінами Коріоліса. Вони містять гіроскопічні та відцентрові терміни, пов'язані з η залежність від \mathbb{J}

Нарешті ми отримуємо:

$$m\ddot{\xi} = u \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \sin \phi \\ \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix} \quad (4.8.13)$$

$$\mathbb{J}\ddot{\eta} = -C(\eta, \dot{\eta}) \dot{\eta} + \tau \quad (4.8.14)$$

4.1.3. Розробка закону керування

Далі ми розглянемо стратегію управління для стабілізації чотиригвинтового літального апарату в режимі зависання над землею. Доведемо глобальну стійкість замкнутої системи. Крім того, запропонована конструкція контролера така, що отриманий контролер є відносно простим, і кожен із керуючих входів може працювати в ручному або автоматичному режимі незалежно. З міркувань безпеки польотів ця функція є особливо важливою під час впровадження стратегії керування. Сукупний вхід u по суті використовується для того, щоб висота досягла бажаного значення. Керуючий вхід використовується для встановлення нульового переміщення пили. використовується для керування кроком і горизонтальним переміщенням по осі. Подібним чином використовується для керування креном і горизонтальним переміщенням по осі.

Для спрощення давайте запропонуємо зміну вхідних змінних

$$\mathcal{T} = C(\eta, \dot{\eta})\dot{\eta} + \mathbb{J} \mathcal{T} \quad (4.8.15)$$

Де

$$\tilde{\mathcal{T}} = \begin{pmatrix} \tilde{\mathcal{T}}_{\psi} \\ \tilde{\mathcal{T}}_{\theta} \\ \tilde{\mathcal{T}}_{\phi} \end{pmatrix}, \#(4.8.16)$$

Це нові входи. Потім

$$\eta = \tilde{\mathcal{T}}, \#(4.8.17)$$

Переписування рівнянь

$$m\ddot{x} = -u \sin \theta \quad (4.8.18)$$

$$m\ddot{y} = u \cos \theta \sin \phi \quad (4.8.19)$$

$$m\ddot{z} = u \cos \theta \cos \phi - mg \quad (4.8.20)$$

$$\ddot{\psi} = \tilde{\mathcal{T}}_{\psi} \quad (4.8.21)$$

$$\ddot{\theta} = \tilde{\mathcal{T}}_{\theta} \quad (4.8.22)$$

$$\ddot{\phi} = \widetilde{\mathcal{T}}_{\phi} \quad (4.8.23)$$

де x і y — координати в горизонтальній площині, z — вертикальне положення. ψ - це кут повороту навколо осі, θ - кут нахилу навколо (нової) осі і ϕ — кут крену навколо (нової) осі. Керуючі вхідні дані u , $\widetilde{\mathcal{T}}_{\psi}$, $\widetilde{\mathcal{T}}_{\theta}$ та $\widetilde{\mathcal{T}}_{\phi}$ являють собою загальну тягу або загальний вхід (спрямований знизу літака) і нові кутові моменти (момент повороту, момент нахилу та момент кочення)

4.1.4. Управління висотою та положенням у просторі

Вертикальним положенням можна керувати за допомогою наступного керуючого входу

$$u = (r_1 + mg) \frac{1}{C_{\theta} C_{\phi}} \quad (4.8.24)$$

Де

$$r_1 = -a_{z1} \dot{z} - a_{z2} (z - z_d) \quad (4.8.25)$$

a_{z1} a_{z2} є додатними константами і z_d є бажаною висотою. Кутове положення повороту можна контролювати, застосовуючи

$$\widetilde{\mathcal{T}}_{\psi} = -a_{\psi1} \dot{\psi} - a_{\psi2} (\psi - \psi_d), \#(4.8.26)$$

Дійсно вводячи (24)-(26) в (18)-(21) і за умови що $C_{\theta} C_{\phi} \neq 0$, ми отримуємо

$$m \ddot{x} = -(r_1 + mg) \frac{\tan \theta}{\cos \phi} \quad (4.8.27)$$

$$m \ddot{y} = (r_1 + mg) \tan \phi \quad (4.8.28)$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{m} (-a_{z1} \dot{z} - a_{z2} (z - z_d)) \quad (4.8.29)$$

$$\ddot{\psi} = -a_{\psi1} \dot{\psi} - a_{\psi2} (\psi - \psi_d) \quad (4.8.30)$$

Контрольні параметри $a_{\psi1}$ $a_{\psi2}$ a_{z1} a_{z2} мають бути ретельно вибрані, щоб забезпечити стабільну добре демпфовану реакцію у вертикальній та поворотній осях.

4.1.5. Управління креном

$$\ddot{x} = -g \frac{\tan \theta}{\cos \phi} \quad (4.8.31)$$

$$\dot{y} = g \tan \phi \quad (4.8.32)$$

Спочатку ми розглянемо підсистему, визначену (23) і (32). Ми реалізуємо дизайн нелінійного контролера на основі вкладених насичень. Цей тип контролю дозволяє в межах гарантувати довільні межі для i . Для подальшого спрощення аналізу ми накладемо дуже малу верхню межу таким чином, щоб різниця була доволі малою. Тому підсистема (23)-(32) зводиться до

$$\dot{y} = g\phi \quad (4.8.33)$$

$$\ddot{\phi} = \widetilde{\mathcal{T}}_{\phi} \quad (4.8.34)$$

Який представляє чотири інтегратори в каскаді. Тоді ми пропонуємо

$$\widetilde{\mathcal{T}}_{\phi} = \sigma_{\phi 1}(\phi + \sigma_{\phi 2}(\zeta_{\phi 1})) \quad (4.8.35)$$

де $\sigma_i(s)$ – функція насичення така, що для $|\sigma_i(s)| \leq M_i$, для $i = 0, 1, \dots$ (див. рисунок 3) і $\zeta_{\phi 1}$ буде визначено пізніше для забезпечення глобальної стабільності.

Ми пропонуємо наступну функцію Ляпунова

$$V = \frac{1}{2} \phi^2, \#(4.8.36)$$

Розрізняючи V за часом, отримуємо

$$\dot{V} = \dot{\phi}\ddot{\phi}, \#(4.8.37)$$

і з рівнянь (34) і (35) маємо

$$\dot{V} = -\dot{\phi}\sigma_{\phi 1}(\phi + \sigma_{\phi 2}(\zeta_{\phi 1})) \quad (4.8.38)$$

Зверніть увагу, якщо $|\dot{\phi}| > M_{\phi 2}$, то $\dot{V} < 0$, це означає $\exists T_1$, так що $|\dot{\phi}| \leq M_{\phi 2}$ для $t > T_1$

ми визначаємо

$$v_1 \equiv \dot{\phi} + \dot{\phi}, \#(4.8.39)$$

Диференціюючи(39)

$$\begin{aligned} v_1 &= \dot{\phi} + \ddot{\phi}, \#(4.8.40) \\ &= \dot{\phi} - \sigma_{\phi_1}(\phi + \sigma_{\phi_2}(\zeta_{\phi_1})) \end{aligned} \quad (4.8.41)$$

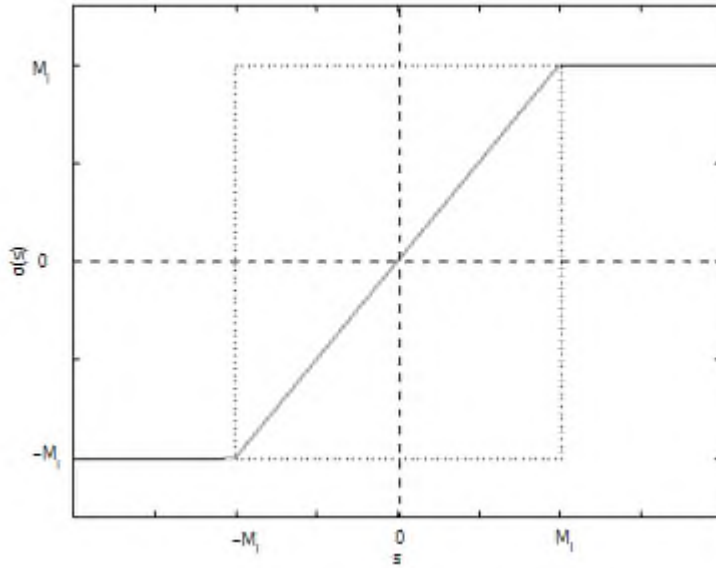


Рис 4.3. – Функція насичення.

Обираючи

$$M_{\phi_1} \geq 2M_{\phi_2}, \#(4.8.42)$$

З визначення $\sigma(s)$, ми бачимо що $|\sigma_i(s)| \leq M_i$. Це означає, що за кінцевий час $\exists T_1$, такий, що $|\dot{\phi}| \leq M_{\phi_2}$ для $t \geq T_1$. Тому для $t \geq T_1$, $\phi + \sigma_{\phi_2}(\zeta_{\phi_1}) \leq 2M_{\phi_2}$. Звідси випливає, що $\forall t \geq T_1$

$$\sigma_{\phi_1}(\phi + \sigma_{\phi_2}(\zeta_{\phi_1})) = \phi + \sigma_{\phi_2}(\zeta_{\phi_1}) \quad (4.8.43)$$

Використовуючи (41) та (43)

$$v_1 = -\sigma_{\phi_2}(\zeta_{\phi_1}) \quad (4.8.44)$$

Давайте визначимо

$$\zeta_{\phi 1} \equiv v_1 + \sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2}), \#(4.8.45)$$

Вводячи вищесказане в (44), впливає

$$\dot{v}_1 = -\sigma_{\phi 2}(v_1 + \sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2})) \quad (4.8.46)$$

Вважається, що верхні межі задовольняють

$$M_{\phi 2} \geq 2M_{\phi 3}, \#(4.8.47)$$

Це означає, що $\exists T_2$, так, що $|v_1| \leq M_{\phi 3}$ для $t \geq T_2$. З рівняння (39) бачимо, що $\forall t \geq T_2, |\phi| \leq M_{\phi 3}$. $M_{\phi 3}$ слід обирати досить маленькими, щоб $\tan \phi \approx \phi$.

З (46) та (47), у нас є це для $t \geq T_2$, $v_1 + \sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2}) \leq 2M_{\phi 3}$. Звідси впливає, що $\forall t \geq T_2$

$$\sigma_{\phi 2}(v_1 + \sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2})) = v_1 + \sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2}) \quad (4.8.48)$$

Представляємо наступну функцію

$$v_2 \equiv v_1 + \phi + \frac{\dot{y}}{g} \quad (4.8.49)$$

Потім

$$\dot{v}_2 \equiv \dot{v}_1 + \dot{\phi} + \frac{\ddot{y}}{g} \quad (4.8.50)$$

Використовуючи (33), (39), (46) і (48) у (50), отримуємо

$$\dot{v}_2 = -\sigma_{\phi 3}(\zeta_{\phi 2}) \quad (4.8.51)$$

Тепер визначаємо $\zeta_{\phi 2}$, як

$$\zeta_{\phi 2} \equiv v_2 + \sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3}), \#(4.8.52)$$

Перепишемо (51)

$$\dot{v}_2 = -\sigma_{\phi 3}(v_2 + \sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3})) \quad (4.8.53)$$

Ми обираємо

$$M_{\phi 3} \geq 2M_{\phi 4}, \#(4.8.54)$$

Тоді маємо, що за скінченний час $\exists T_3$, такий як $|v_2| \leq M_{\phi 4}$, для $t \geq T_3$, це означає, що (49) \dot{y} -є обмеженим.

Для $t \geq T_3$, $v_2 + \sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3}) \leq 2M_{\phi 4}$. З цього випливає, що $\forall t \geq T_3$

$$\sigma_{\phi 3}(v_2 + \sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3})) = v_2 + \sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3}) \quad (4.8.55)$$

Визначаємо

$$v_3 \equiv v_2 + 2\frac{\dot{y}}{g} + \phi + \frac{y}{g} \quad (4.8.56)$$

Потім

$$\dot{v}_3 = \dot{v}_2 + 2\frac{\dot{y}}{g} + \dot{\phi} + \frac{\dot{y}}{g} \quad (4.8.57)$$

Нарешті, використовуючи (33), (48), (53) і (55) у (57), отримуємо

$$\dot{v}_3 = -\sigma_{\phi 4}(\zeta_{\phi 3}) \quad (4.8.58)$$

Пропонуємо $\zeta_{\phi 3}$ додати у наступну форму:

$$\zeta_{\phi 3} \equiv v_3, \#(4.8.59)$$

Потім

$$\dot{v}_3 = -\sigma_{\phi 4}(v_3) \quad (4.8.60)$$

Це означає, що $v_3 \rightarrow 0$. З (53) слідує, що $v_2 \rightarrow 0$ і з рівняння (52) $\zeta_{\phi 2} \rightarrow 0$. З (46) $v_1 \rightarrow 0$, потім з (45) $\zeta_{\phi 1} \rightarrow 0$

З рівняння (38) бачимо, що $\dot{\phi} \rightarrow 0$. З рівняння (39) ми отримуємо $\phi \rightarrow 0$. З (49) $\dot{y} \rightarrow 0$ і, нарешті, від (56) $y \rightarrow 0$

Використовуючи (39), (45), (49), (52), (56) і (59), ми можемо переписати рівняння (35) як

$$\widetilde{\mathcal{T}}_{\phi} = -\sigma_{\phi 1}(\dot{\phi} + \sigma_{\phi 2}(\phi + \dot{\phi} + \sigma_{\phi 3}(2\phi + \dot{\phi} + \frac{\dot{y}}{g} + \sigma_{\phi 4}(\dot{\phi} + 3\phi + 3\frac{\dot{y}}{g} + \frac{y}{g})))) \quad (4.8.61)$$

4.1.6. Управління тангажом (θ, x)

З рівнянь (33) і (61) отримуємо $\phi \rightarrow 0$. (31) дає

$$\ddot{x} = -g \tan \theta \quad (4.8.62)$$

Беремо підсистему

$$\ddot{x} = -g \tan \theta \quad (4.8.63)$$

$$\ddot{\theta} = \widetilde{\mathcal{T}}_{\theta} \quad (4.8.64)$$

Як і раніше, ми припускаємо, що стратегія контролю забезпечить будь-яку малу межу таким чином, що $\theta \approx \theta$. Тому (63) зводиться до

$$\ddot{x} = -g \theta \quad (4.8.65)$$

Використовуючи процедуру, подібну до запропонованої для контролю крену, ми отримуємо

$$\widetilde{\mathcal{T}}_{\theta} = -\sigma_{\theta 1} \left(\dot{\theta} + \sigma_{\theta 2} \left(\theta + \dot{\theta} + \sigma_{\theta 3} \left(2\theta + \dot{\theta} - \frac{\dot{x}}{g} + \sigma_{\theta 4} \left(\dot{\theta} + 3\theta - 3\frac{\dot{x}}{g} - \frac{x}{g} \right) \right) \right) \right) \quad (4.8.66)$$

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ

5.1. Структура модуля налаштування

Для задачі керування квадрокоптером основною метою є пошук відповідної стратегії керування, яка може швидко і стабільно переводити квадрокоптер з початкового стану в заданий стан. Алгоритми, засновані на градієнті стратегії, найкраще підходять для розв'язання таких задач з неперервними діями та станами. У цій роботі ми обираємо алгоритм DDPG та його вдосконалені алгоритми для керування квадрокоптером.

5.1.1 Специфікація стану та ді

Математичні моделі RL базуються на теорії марківських процесів прийняття рішень (Markov Decision Processes, MDP), яка надає теоретичну основу для вивчення стратегій і оптимальних політик в умовах невизначеності. Агент уявляється як обчислювальний суб'єкт, який взаємодіє зі своїм оточенням і має за мету максимізувати очікувану нагороду.

Навчання з підкріпленням використовує марківський процес прийняття рішень (МПП) для моделювання контролера, який можна описати п'ятьма кортежами $\{S, A, P, R, \gamma\}$, де S - стани, A - дії, P - функція ймовірності переходу в інший стан, R - функція винагороди, γ - коефіцієнт дисконтування. У цьому підрозділі визначено стан та дію для керування квадрокоптером. Теоретично вважається, що стан - це сукупність інформації, яку квадрокоптер може отримати. Згідно з моделлю квадрокоптера, створеною в розділі 4, стан у цьому випадку є 12-вимірним вектором:

$$S_t = [x, y, z, \phi, \theta, \psi, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]$$

Варто зазначити, що розмірність простору станів є дуже малою, що полегшує апроксимацію та дослідження функцій. Крім того, мала розмірність простору станів зменшує складність навчання мережі та витрати часу.

Квадрокоптер рухається в поступальному і обертальному напрямках за рахунок підйомної сили чотирьох пропелерів. У нашому сценарії команди керування представлені дією $a = [r1, r2, r3, r4]$, де $r1, r2, r3, r4$ - швидкості роторів.

У цій роботі один і той же закон керування застосовується до чотирьох роторів, і передбачається, що дія має вигляд $a = [r, r, r, r]$. Таким чином, квадрокоптер може досягти заданої висоти без дрейфу.

Детермінована політика - це стратегія, яка ставить у відповідність кожному стану дію з найбільшою ймовірністю, так що дія є однозначно визначеною. Для того, щоб досягти результатів пошуку стратегії та навчання, додається шум Орнштейна-Уленбека (OU) :

$$A_t = A^{\mu}(S_t) + N_t \quad (5.1)$$

де A_t - кінцева стратегія, $A^{\mu}(S_t)$ - детермінована стратегія, N_t - шум OU. У випадку одного виміру процес OU визначається стохастичним диференціальним рівнянням:

$$dN_t = \theta(\mu - N_t)dt + \sigma dB_t \quad (5.2)$$

де θ - параметр, μ - середнє значення шуму, σ - вага шуму, B_t - стандартний броунівський рух.

5.1.2. Структура мережі

В алгоритмі DDPG використовуються чотири мережі, а саме: мережа акторів, цільова мережа акторів, мережа критиків і цільова мережа критиків. Мережа акторів визначає дії, які повинен виконати квадрокоптер, а мережа критиків оновлює значення Q, яке використовується алгоритмом DDPG для подальшого оновлення мережі акторів. Вхід мережі акторів - це стан, а вихід - дія. На вхід мережі критиків подається стан разом з дією, а на виході - значення Q. У мережі акторів та мережі критиків є два прихованих шари по 400 реляційних вузлів та 300 реляційних вузлів відповідно. Нарешті, наступна мережева структура може вирішити завдання налаштування. Структура акторно-критичної мережі алгоритму DDPG для управління квадрокоптером показана на рис. 5.1. Крім того, попередня практика довела, що якщо використовується лише один алгоритм нейронної мережі, процес навчання є дуже нестабільним, оскільки параметри мережі часто оновлюються і використовуються для обчислення градієнта мережі критики та мережі політики. Для усунення цього вузького місця застосовується алгоритм DDPG, який додає цільову мережу акторів та цільову мережу критиків відповідно.

Параметри цільової мережі оновлюються методом м'якого оновлення, який є більш стабільним і легким для збіжності. Метод м'якого оновлення позначається наступним чином:

$$\omega^{\wedge} \leftarrow \tau\omega + (1-\tau) \omega^{\wedge} \quad (5.3)$$

$$\mu^{\wedge} \leftarrow \tau\mu + (1-\tau) \mu^{\wedge} \quad (5.4)$$

де ω^{\wedge} , μ^{\wedge} - параметри цільової мережі критиків та цільової мережі акторів відповідно, τ - швидкість м'якого оновлення цільової мережі.

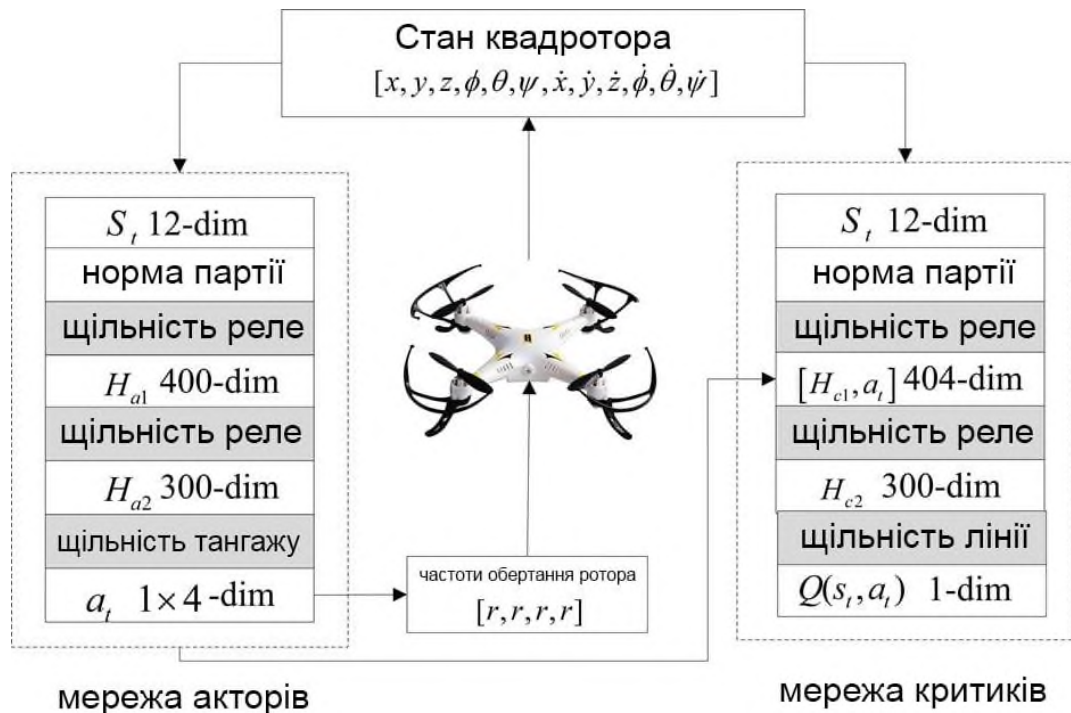


Рис.5.1 – Актор-критична мережа DDPG для налаштування параметрів динамічної системи квадрокоптера.

5.1.3. Оптимізація стратегії

Для оптимізації стратегії параметри підбираються на основі градієнта очікуваної доходності. Ідея наведеного вище алгоритму полягає в теоремі про градієнт стратегії [37]:

$$\nabla_{\mu} J(A^{\mu}) = E_{(s \sim p^{\mu})} [\nabla_{\mu} \log_{\mu} \pi_{\mu}((s, a)) Q^{\mu}(s, a)] \quad (5.5)$$

Де $J(A^{\mu})$ - цільова функція ефективності, $p^{\mu}(s, a)$ - розподіл станів стратегії A^{μ} , $Q^{\mu}(s, a)$ - фактична функція розподілу станів, $J(A^{\mu})$ - очікуване значення $Q^{\mu}(s, a)$, де $s \sim p^{\mu}(s, a)$

Алгоритм DDPG використовує нейронні мережі актор-критик, в яких мережа актора відповідає за ітерацію стратегії, а мережа критика - за оцінку значень. Параметри в мережі критиків оновлюються шляхом мінімізації похибки TD, де похибка TD визначається наступним чином:

$$\sigma_{t+1} = r_t + \gamma Q_{\omega}(S_{t+1}, \mu(S_{t+1})) - Q_{\omega}(S_t, a_t) \quad (5.6)$$

де r_t - винагорода, γ – коефіцієнт дисконтування, $Q_{\omega}(s_t, a_t)$ - значення Q цільової мережі-критика. Параметри мережі-критика оновлюються шляхом мінімізації функції втрат:

$$L = 1/N \sum_i (r_i + \gamma Q_{\omega}(S_{i+1}, \mu(S_{i+1})) - Q_{\omega}(S_i, a_i))^2, \quad (5.7)$$

$$w_{t+1} = w_t + a_w \nabla_w L(w) \quad (5.8)$$

де L - функція втрат, N - розмір партії, w - параметр мережі критиків, a_w - швидкість навчання мережі критиків. Метою мережі акторів є вибір найбільш підходящої дії та її оновлення відповідно до теореми DPG:

$$\nabla_{\mu} J(\mu) = 1/N \sum_{i=1}^N \nabla_{\mu} A^{\mu}(s_i) \nabla_a Q_w(s_i, a_i) a_i = A^{\mu}(s_i), \quad (5.9)$$

$$\mu_{t+1} = \mu_t + \alpha_{\mu} \nabla_{\mu} J(\mu) \quad (5.10)$$

де $J(\mu)$ - цільова функція, μ - параметр мережі акторів, $A^{\mu}(s)$ - стратегія, що характеризує мережу акторів, a_{μ} - швидкість навчання мережі акторів. З урахуванням наведеного вище теоретичного обґрунтування, структура реалізації DDPG для керування квадрокоптером показана на рис. 5.2.

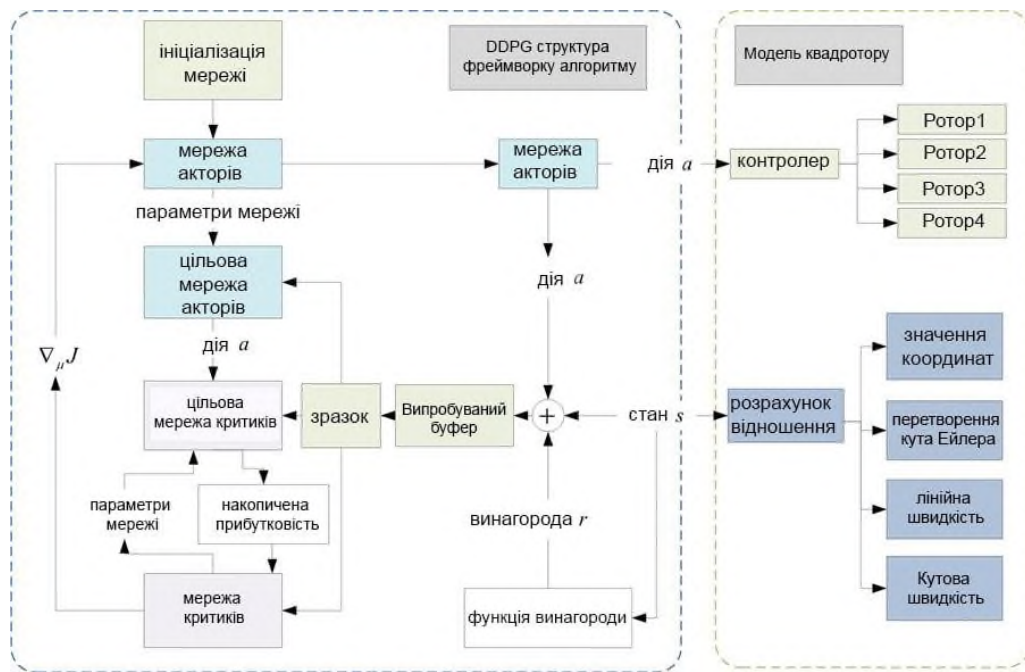


Рис.5.2 – Блок схема автоматизації налаштування параметрів.

В сучасному світі машинне навчання здійснює переворот в різних сферах індустрії, науки та технологій. Величезний обсяг даних та обчислювальна потужність роблять нейронні мережі дієвими інструментами для вирішення складних завдань. Однак, коли йдеться про ситуації, де агент повинен приймати послідовні рішення в інтерактивному середовищі, машинне навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) виходить на передній план.

Центральною концепцією RL є поняття "підсилення" (reinforcement), яке визначає, як агент оцінює свої дії в середовищі. Іншими словами, це механізм нагороди або покарання, який вказує агенту, наскільки його дії були корисними чи некорисними. Іншою ключовою ідеєю є ідея обчислення функції цінності, яка допомагає агенту передбачити, які дії призведуть до найкращих результатів.

Попри свою потужність, RL має свої виклики, такі як проблема вивчення і навчання в умовах обмеженості даних та обчислювальних ресурсів, а також проблеми стійкості і збіжності алгоритмів. Тема алгоритму машинного навчання з підкріпленням залишається актуальною і об'єктом активного дослідження для розв'язання складних проблем в різних сферах застосування, від ігор до робототехніки та фінансів.

Важливим аспектом формування вхідних даних є відбір та витягування корисних ознак. Цей процес вимагає експертного знання предметної області, оскільки недоцільне включення ознак може призвести до збоїв та перенавчання моделей. Сучасні методи включають автоматичний відбір ознак, використовуючи алгоритми важливості ознак, а також виокремлення прихованої інформації через глибокі нейронні мережі.

Належна обробка та нормалізація даних є ключовими кроками в підготовці вхідних даних для машинного навчання. Це включає у себе зменшення розміру даних, видалення аномалій та обробку пропущених значень. Крім того, масштабування ознак до одного діапазону може поліпшити збіжність алгоритмів та сприяти стабільності моделей.

Особливу увагу приділяють кодуванню категоріальних ознак, оскільки багато алгоритмів машинного навчання працюють лише з числовими даними. Це може включати в себе використання технік, таких як one-hot encoding, які перетворюють категоріальні значення в бінарні вектори. Однак, це також може призвести до збільшення розміру даних і вимог до обчислювальних ресурсів.

Нарешті, важливим аспектом формування вхідних даних є розбиття даних на навчальні та тестові набори. Це необхідно для оцінки продуктивності моделі та виявлення перенавчання. Існують різні методи розбиття, такі як випадкова вибірка, стратифікована вибірка та хронологічний розбіток, які використовуються залежно від конкретного завдання.

Усі ці аспекти формування вхідних даних є суттєвими для успішного впровадження машинного навчання в різних сферах. Якість та структура даних впливають на точність та результативність моделей, і справедливо стверджувати, що успіх у машинному навчанні сильно залежить від якості підготовки вхідних даних.

Оцінка ефективності алгоритмів машинного навчання є ключовим аспектом при розробці та впровадженні інтелектуальних систем. У контексті складних завдань, які включають в себе глибоке навчання та нейронні мережі, необхідність у вивченні і вдосконаленні методів оцінки стає більш критичною. В цьому розділі

будуть проаналізовані інноваційні підходи та глибокі аспекти, пов'язані з критеріями оцінки ефективності машинного навчання.

Один із ключових викликів полягає в визначенні підходів до оцінки моделей, які не тільки відображають точність прогнозів, але й враховують загальний контекст задачі. Один зі способів вирішення цього виклику - це розглядати не просто точність передбачень, але також ступінь надійності цих передбачень. Для цього розробляються метрики, що включають у себе оцінку невизначеності та ступінь впевненості моделі в своїх результатах.

Другим аспектом важливої оцінки ефективності є врахування різних типів помилок. У контексті багатьох завдань, таких як медичинські діагнози або фінансові прогнози, помилки переважно надто високі вартості. Таким чином, необхідно визначати і оцінювати помилки, які призводять до серйозних наслідків, і розробляти метрики, які відображають цей аспект.

З іншого боку, існує завдання мінімізації функціоналу втрати, але це, в свою чергу, може привести до перенавчання моделі. Цей феномен важливо враховувати в процесі оцінки ефективності, оскільки навчальна вибірка може давати високу точність, але нести в собі ризик низької загальної генералізації. Таким чином, оцінка здатності моделі до узагальнення, використовуючи перевірочні набори даних, стає критично важливою.

В заключенні, критерії оцінки ефективності машинного навчання необхідно розглядати як складний та багатомірний процес. Врахування надійності прогнозів, ризику помилок та здатності до узагальнення - це ключові аспекти, які вимагають ретельного аналізу та вдосконалення методів оцінки моделей. Розвиток інноваційних підходів до цієї проблематики є невід'ємною частиною шляху до досягнення найвищих стандартів ефективності машинного навчання.

5.2. Програмне забезпечення розрахунків

Спочатку нам потрібно описати рух рам, оскільки осі інерційних рам закріплені на землі, а осі рами корпусу вирівняні з дроном. Ми можемо використати наступну функцію/матрицю, щоб описати рух рам.

```

def earth_to_body_frame(ii, jj, kk):
    R = [[Cos(kk)*Cos(jj), Cos(kk)*Sin(jj)*Sin(ii)-Sin(kk)*Cos(ii),
          Cos(kk) * Sin(jj) * Cos(ii) + Sin(kk) * Sin(ii)],
          [Sin(kk)*Cos(jj), Sin(kk)*Sin(jj)*Sin(ii)+Cos(kk)*Cos(ii),
          Sin(kk)*Sin(jj)*Cos(ii)-Cos(kk)*Sin(ii)],
          [-Sin(jj), Cos(jj)*Sin(ii), Cos(jj)*Cos(ii)]]
    return np.array(R)

```

де $ii=\phi$, $jj=\theta$, $kk=\psi$ — кути Ейлера. Транспонування R дає матрицю перетворення системи координат рами корпусу в систему координат землі. Отже, коли ви множите вектор в інерціальній системі відліку $[x,y,z]$ на R , ви отримуєте представлення цього вектора відносно системи тіла.

У нашому проекті дрон складається з 4 роторів. Агент керує дроном, встановлюючи оберти в секунду на кожному з його чотирьох роторів. Тому наш Action Space має розмір 4.

Положення дрона визначається (x,y,z) і кутами Ейлера ϕ , θ і ψ ($[x,y,z,\phi,\theta,\psi]$) на будь-якому кроці часу t . Наша кінцева мета — змінити положення дрона після кожного кроку часу.

Щоб змінити компоненти x,y,z , нам потрібно обчислити прискорення дрона, оскільки $Position[x, y, z] = initial_pos[x,y,z] + velocity[x,y,z] * dt + 0,5 * прискорення [x,y,z]* dt*dt$.

Ми знаємо, що $linear_acceleration = linear_forces / маса дрона$. Тож $linear_forces$ можна обчислити за допомогою наведеної нижче функції.

```

def find_body_velocity():
    body_velocity =
    np.matmul(earth_to_body_frame(*list([x ,y ,z ])),
    velocity[x,y,z])
    return body_velocity

def get_linear_drag():
    (areas = np.array([length * height, width * height, width
    *length]), #rho=density of air , #C_d=drag coefficient)

```

```

linear_drag = 0.5 * rho * find_body_velocity()**2 *
areas_of_drone * C_d
return linear_drag

def get_linear_forces(self, thrusts):
    # Gravity
    gravity_force = mass * gravity * np.array([0, 0, 1])
    # Thrust
    thrust_body_force = np.array([0, 0, sum(thrusts)])
    # Drag
    drag_body_force = -get_linear_drag()
    body_forces = thrust_body_force + drag_body_force
    linear_forces =
    np.matmul(body_to_earth_frame(*list([x,y,z])),
    body_forces)
    linear_forces += gravity_force
    return linear_forces

```

І тепер ми нарешті можемо оновити значення [x,y,z] після обчислення linear_forces.

Тепер, щоб оновити кути Ейлера phi, theta та psi, нам так само потрібне кутове прискорення.

Кути [phi, theta, psi] = Intial_Angles [phi, theta, psi] + кутова_швидкість * self.dt + 0,5 * angular_accels*self.angular_accels * self.dt ** 2

angular_accels = моменти / моменти_інерції. Отже, моменти можна обчислити за допомогою наведеної нижче функції.

```

I_x = 1 / 12. * mass * (height**2 + width**2)
I_y = 1 / 12. * mass * (height**2 + length**2)
I_z = 1 / 12. * mass * (width**2 + length**2)
moments_of_inertia = np.array([I_x, I_y, I_z]) # moments of inertia
def get_moments(thrusts):
    thrust_moment = np.array([(thrusts[3] -

```

```

    thrusts[2])*self.l_to_rotor,(thrusts[1] - thrusts[0]) *
    self.l_to_rotor,0))
    drag_moment = C_d * 0.5 * rho * angular_v *
    np.absolute(angular_v) *areas *dims *dims
    moments = thrust_moment - drag_moment # + motor_inertia_moment
    return moments

```

І тепер ми нарешті можемо оновити phi, theta та psi.

Отже, весь наш масив станів [x, y, z, phi, theta, psi] буде оновлюватися після кожного кроку в часі, що призведе до нового стану.

Простір станів = [x, y, z, phi, theta, psi]

Простір дій = [v1, v2, v3, v4] (швидкість 4 роторів)

Мережа стратегії агента:

По-перше, ми збираємося визначити мережу стратегії, яка реалізує наш ШІ-драйвер. Ця мережа вимірює стан дрона ([x, y, z, phi, theta, psi]) і вирішить дію (швидкість 4 роторів). Це називається навчанням з підкріпленням на основі стратегії, оскільки ми безпосередньо параметризуємо стратегію

$$\pi_{\theta}(s,a)=P[a|s,\theta]$$

тут s — стан, a — дія, а θ — параметри моделі стратегії мережі.

Завдання нашого безпілота — злетіти вертикально, а потім зависнути на висоті 30. Функція винагороди була розроблена, щоб спонукати дрон вертикально злітати та залишатися в межах діапазону цільової позиції по вертикальній осі. Нагорода обмежена в діапазоні [-1,1], щоб полегшити навчання за допомогою нейронних мереж і уникнути вибухових градієнтів.

```

reward = -.03(abs(self.sim.pose[2] - self.target_pos[2])) + .005self.sim.v[2]

```

```

reward = np.clip(reward, -1, 1)

```

```

import numpy as np

```

```

from physics_sim import PhysicsSi

```

```

class TakeOff():

```

```

    """Task (environment) that defines the goal and provides feedback
    to the agent."""

```

```

def __init__(self, init_pose=None, init_velocities=None,
init_angle_velocities=None, runtime=5., target_pos=None):
    """Initialize a Task object.
    Params
    init_pose: initial position of the quadcopter in (x,y,z)
    dimensions and the Euler angles
    init_velocities: initial velocity of the quadcopter in
    (x,y,z) dimensions
    init_angle_velocities: initial radians/second for each of
    the three Euler angles
    runtime: time limit for each episode
    target_pos: target/goal (x,y,z) position for the agent
    """
    # Simulation
    self.sim = PhysicsSim(init_pose, init_velocities,
    init_angle_velocities, runtime)
    self.action_repeat = 3
    self.state_size = self.action_repeat * 6
    self.action_low = 0
    self.action_high = 900
    self.action_size = 4
    # Goal
    self.target_pos = target_pos if target_pos is not None else
    np.array([0., 0., 10.])
    def get_reward(self):
        reward=-.03*(abs(self.sim.pose[2]
        -self.target_pos[2]))
    +.005*self.sim.v[2]
        reward=np.clip(reward, -1, 1)
        return reward
    def step(self, rotor_speeds):

```

```

        """Uses action to obtain next state, reward, done."""
        reward = 0
        pose_all = []
        for _ in range(self.action_repeat):
            done = self.sim.next_timestep(rotor_speeds) # update the
            sim pose and velocities
            reward += self.get_reward()
            pose_all.append(self.sim.pose)
        next_state = np.concatenate(pose_all)
        return next_state, reward, done

    def reset(self):
        """Reset the sim to start a new episode."""
        self.sim.reset()
        state = np.concatenate([self.sim.pose] * self.action_repeat)
        return state

```

Метод `__init__()` використовується для ініціалізації кількох змінних, необхідних для визначення завдання.

- Симулятор ініціалізується як екземпляр класу `PhysicsSim`
- Для кожного тимчасового кроку агента ми виконуємо етап симуляції `action_repeats timesteps`.
- Задаємо кількість елементів у векторі стану. Для прикладу завдання ми працюємо лише з інформацією про 6-вимірну позу. Щоб встановити розмір стану (`state_size`), ми повинні врахувати повторення дії.
- Середовище завжди матиме 4-вимірний простір дії з одним входом для кожного ротора (`action_size=4`). Тут можна встановити мінімальне (`action_low`) і максимальне (`action_high`) значення кожного запису.
- Зразок завдання в цьому наданому файлі полягає в досягненні агентом цільової позиції. Ми вказуємо цю цільову позицію як змінну.

Метод `reset()` скидає симулятор. Агент повинен викликати цей метод щоразу, коли закінчується епізод. Ви можете побачити приклад цього в клітинці коду нижче.

Метод `step()` є, мабуть, найважливішим. Він приймає вибір агентом дії `rotor_speeds`, який використовується для підготовки наступного стану для передачі агенту. Потім винагорода обчислюється за допомогою `get_reward()`. Епізод вважається завершеним, якщо ліміт часу перевищено або квадрокоптер вийшов за межі симуляції

Буфер відтворення:

Більшість сучасних алгоритмів навчання з підкріпленням виграють від використання пам'яті повторів або буфера для зберігання та відкликання кортежів досвіду

```
import random
from collections import namedtuple, deque
class ReplayBuffer:
    """Fixed-size buffer to store experience tuples."""
    def __init__(self, buffer_size, batch_size):
        """Initialize a ReplayBuffer object.

        Params
            buffer_size: maximum size of buffer
            batch_size: size of each training batch

        self.memory = deque(maxlen=buffer_size) # internal memory (deque)
        self.batch_size = batch_size
        self.experience = namedtuple("Experience", field_names=
            ["state", "action", "reward", "next_state", "done"])
    def add(self, state, action, reward, next_state, done):
        """Add a new experience to memory."""
        e = self.experience(state, action, reward, next_state, done)
        self.memory.append(e)
    def sample(self, batch_size=64):
```



```

        """Randomly sample a batch of experiences from memory."""
        return random.sample(self.memory, k=self.batch_size)
def __len__(self):
    """Return the current size of internal memory."""
    return len(self.memory)

```

модуль «Актор», мережа стратегії:

Тут ми використали 3 приховані шари з 32, 64 та 32 прихованими блоками відповідно з функцією активації relu. Вихід складається з 4 безперервних дій (швидкості ротора) з функцією сигмоїдної активації.

```

from keras import layers, models, optimizers
from keras import backend as K
class Actor:
    """Actor (Policy) Model."""
    def __init__(self, state_size, action_size, action_low,
                 action_high):
        Params
state_size (int): Dimension of each state
        action_size (int): Dimension of each action
        action_low (array): Min value of each action dimension
        action_high (array): Max value of each action dimension
        self.state_size = state_size
        self.action_size = action_size
        self.action_low = action_low
        self.action_high = action_high
        self.action_range = self.action_high - self.action_low
        self.build_model()
    def build_model(self):
        """Build an actor (policy) network that maps states ->
        actions."""
        # Define input layer (states)

```

```

states = layers.Input(shape=(self.state_size,), name='states')
# Add hidden layers
net = layers.Dense(units=32, activation='relu')(states)
net = layers.Dense(units=64, activation='relu')(net)
net = layers.Dense(units=32, activation='relu')(net)
# Try different layer sizes, activations, add batch
normalization, regularizers, etc.

# Add final output layer with sigmoid activation
raw_actions = layers.Dense(units=self.action_size,
    activation='sigmoid' , name='raw_actions')(net)
# Scale [0, 1] output for each action dimension to proper range
actions = layers.Lambda(lambda x: (x * self.action_range) +
    self.action_low, name='actions')(raw_actions)
# Create Keras model
self.model = models.Model(inputs=states, outputs=actions)
# Define loss function using action value (Q value) gradients
action_gradients = layers.Input(shape=(self.action_size,))
loss = K.mean(-action_gradients * actions)
# Incorporate any additional losses here (e.g. from
regularizers)
# Define optimizer and training function
optimizer = optimizers.Adam()
updates_op =
optimizer.get_updates(params=self.model.trainable_weights,
    loss=loss)
self.train_fn = K.function(
    inputs=[self.model.input, action_gradients,
    K.learning_phase()],
    outputs=[],

```

```
updates=updates_op)
```

Зауважте, що необроблені дії, створені вихідним рівнем, знаходяться в діапазоні $[0,0, 1,0]$ (з використанням сигмоїдної функції активації). Отже, ми додаємо ще один рівень, який масштабує кожен вихід до потрібного діапазону для кожного виміру дії. Це створює детерміновану дію для будь-якого даного вектора стану. Пізніше до цієї дії буде додано шум, щоб створити дослідницьку поведінку.

Ще одна річ, на яку слід звернути увагу, це те, як функція втрат визначається за допомогою градієнтів значення дії (значення Q).

Ці градієнти потрібно буде обчислити за допомогою критичної моделі та ввести під час навчання. Тому він вказується як частина «вхідних даних», які використовуються у функції навчання модуль «Критик», мережа стратегії::

Конструкція мережі Critic дуже схожа на мережу Deep-Q. Критична мережа приймає як стани, так і дію як вхідні дані. Відповідно до DDPG, дії не були включені до 2-го прихованого рівня Q-мережі. Тут ми використали функцію Keras Merge, щоб об'єднати дію та прихований шар.

```
class Critic:
    """Critic (Value) Model."""
    def __init__(self, state_size, action_size):
        Params
        state_size (int): Dimension of each state
        action_size (int): Dimension of each action
        """
        self.state_size = state_size
        self.action_size = action_size
        self.build_model()
    def build_model(self):
        """Build a critic (value) network that maps (state, action)
        pairs -> Q-values."""
        # Define input layers
        states = layers.Input(shape=(self.state_size,), name='states')
```

```

actions = layers.Input(shape=(self.action_size,),
name='actions')
# Add hidden layer(s) for state pathway
net_states = layers.Dense(units=32, activation='relu')(states)
net_states = layers.Dense(units=64, activation='relu')(net_states)
# Add hidden layer(s) for action pathway
net_actions = layers.Dense(units=32, activation='relu')(actions)
net_actions = layers.Dense(units=64, activation='relu')(net_actions)
# Try different layer sizes, activations, add batch
normalization, regularizers, etc.
# Combine state and action pathways
net = layers.Add()([net_states, net_actions])
net = layers.Activation('relu')(net)
# Add more layers to the combined network if needed
# Add final output layer to produce action values (Q values)
Q_values = layers.Dense(units=1, name='q_values')(net)
# Create Keras model
self.model = models.Model(inputs=[states, actions],
outputs=Q_values)
# Define optimizer and compile model for training with built-in
loss function
optimizer = optimizers.Adam()
self.model.compile(optimizer=optimizer, loss='mse')
# Compute action gradients (derivative of Q values w.r.t. to
actions)
action_gradients = K.gradients(Q_values, actions)
# Define an additional function to fetch action gradients (to
be used by actor model)
self.get_action_gradients = K.function(
    inputs=[*self.model.input, K.learning_phase()],

```

```
outputs=action_gradients)
```

Кінцевим результатом цієї моделі є значення Q для будь-якої заданої пари (стан, дія). Однак нам також потрібно обчислити градієнт цього значення Q відносно відповідного вектора дії, необхідного для навчання моделі актора. Цей крок має бути виконано явно, а для надання доступу до цих градієнтів має бути визначена окрема функція.

Агент DDPG:

Тепер ми готові об'єднати моделі актора та критика для створення нашого агента DDPG. Зверніть увагу, що нам знадобляться дві копії кожної моделі - одна локальна і одна цільова. Це розширення техніки «Fixed Q Targets» від Deep Q-Learning і використовується для відокремлення параметрів, що оновлюються, від тих, які створюють цільові значення [39]

Ось схема класу агента:

```
class DDPG():
    """Reinforcement Learning agent that learns using DDPG."""
    def __init__(self, task):
        self.task = task
        self.state_size = task.state_size
        self.action_size = task.action_size
        self.action_low = task.action_low
        self.action_high = task.action_high
        # Actor (Policy) Model
        self.actor_local = Actor(self.state_size, self.action_size,
                                self.action_low, self.action_high)
        self.actor_target = Actor(self.state_size, self.action_size,
                                  self.action_low, self.action_high)
        # Critic (Value) Model
        self.critic_local = Critic(self.state_size, self.action_size)
        self.critic_target = Critic(self.state_size, self.action_size)
        # Initialize target model parameters with local model
```

```

parameters
self.critic_target.model.set_weights(self.critic_local.model.get_weights())
self.actor_target.model.set_weights(self.actor_local.model.get_weights())
# Noise process
self.exploration_mu = 0
self.exploration_theta = 0.15
self.exploration_sigma = 0.2
self.noise = OUNoise(self.action_size, self.exploration_mu,
self.exploration_theta, self.exploration_sigma)
# Replay memory
self.buffer_size = 100000
self.batch_size = 64
self.memory = ReplayBuffer(self.buffer_size, self.batch_size)
# Algorithm parameters
self.gamma = 0.99 # discount factor
self.tau = 0.01 # for soft update of target parameter
def reset_episode(self):
    self.noise.reset()
    state = self.task.reset()
    self.last_state = state
    return state
def step(self, action, reward, next_state, done):
    # Save experience / reward
    self.memory.add(self.last_state, action, reward, next_state, done)
    # Learn, if enough samples are available in memory
    if len(self.memory) > self.batch_size:
        experiences = self.memory.sample()
        self.learn(experiences)
    # Roll over last state and action
    self.last_state = next_state

```

```

def act(self, state):
    """Returns actions for given state(s) as per current policy."""
    state = np.reshape(state, [-1, self.state_size])
    action = self.actor_local.model.predict(state)[0]
    return list(action + self.noise.sample()) # add some noise for exploration

def learn(self, experiences):
    """Update policy and value parameters using given batch of experience
    tuples."""
    # Convert experience tuples to separate arrays for each element (states,
    actions, rewards, etc.)
    states = np.vstack([e.state for e in experiences if e is not None])
    actions = np.array([e.action for e in experiences if e is not
    None]).astype(np.float32).reshape(-1, self.action_size)
    rewards = np.array([e.reward for e in experiences if e is not
    None]).astype(np.float32).reshape(-1, 1)
    dones = np.array([e.done for e in experiences if e is not
    None]).astype(np.uint8).reshape(-1, 1)
    next_states = np.vstack([e.next_state for e in experiences if e is not None])
    # Get predicted next-state actions and Q values from target models
    # Q_targets_next = critic_target(next_state, actor_target(next_state))
    actions_next = self.actor_target.model.predict_on_batch(next_states)
    Q_targets_next = self.critic_target.model.predict_on_batch([next_states,
    actions_next])

    # Compute Q targets for current states and train critic model (local)
    Q_targets = rewards + self.gamma * Q_targets_next * (1 - dones)
    self.critic_local.model.train_on_batch(x=[states, actions], y=Q_targets)
    # Train actor model (local)
    action_gradients = np.reshape(self.critic_local.get_action_gradients([states,
    actions, 0]), (-1, self.action_size))

```

```

self.actor_local.train_fn([states, action_gradients, 1]) #
custm training function
# Soft-update target models
self.soft_update(self.critic_local.model,
self.critic_target.model)
self.soft_update(self.actor_local.model,
self.actor_target.model)
def soft_update(self, local_model, target_model):
    """Soft update model parameters."""
    local_weights = np.array(local_model.get_weights())
    target_weights = np.array(target_model.get_weights())
    assert len(local_weights) == len(target_weights), "Local and
target model parameters must have the same size"
    new_weights = self.tau * local_weights + (1 - self.tau) *
target_weights
    target_model.set_weights(new_weights)

```

Зауважте, що після тренування над серією досвіду ми можемо просто скопіювати наші нещодавно вивчені ваги (з локальної моделі) у цільову модель. Однак окремі пакети можуть внести значну дисперсію в процес, тому краще виконати м'яке оновлення, кероване параметром τ .

Останнім елементом, який вам потрібен для належної роботи, є відповідна модель шуму, яка представлена далі.

Шум Орнштейна-Уленбека:

```

import numpy as np
import copy
class OUNoise:
    """Ornstein-Uhlenbeck process."""
    def __init__(self, size, mu, theta, sigma):
        """Initialize parameters and noise process."""
        self.mu = mu * np.ones(size)

```



```

self.theta = theta
self.sigma = sigma
self.reset()
def reset(self):
    """Reset the internal state (= noise) to mean (mu)."""
    self.state = copy.copy(self.mu)
def sample(self):
    """Update internal state and return it as a noise sample."""
    x = self.state
    dx = self.theta * (self.mu - x) + self.sigma *
    np.random.randn(len(x))
    self.state = x + dx
    return self.state

```

Фактичне навчання нейронної мережі дуже просте, містить лише кілька рядків коду:

```

from task import Task
from agents.agent import DDPG
## The task I chose to focus on is to perform a TAKE-OFF operation to height 20
from task import TakeOff

# Quadcopter starting position parameters
runtime = 5.                # time limit
init_pose = np.array([0., 0., 10., 0., 0., 0.]) # initial pose
init_velocities = np.array([0., 0., 0.])      # initial velocities
init_angle_velocities = np.array([0., 0., 0.]) # initial angle velocities
done = False # initialise done bool variable
num_episodes = 1000 # simulation will run for 500 episodes
target_pos = np.array([0., 0., 30., 0., 0., 0.]) # target height is 20
# select task of interest
task = TakeOff(init_pose = init_pose,

```

```

        init_velocities = init_velocities,
        init_angle_velocities = init_angle_velocities,
        target_pos = target_pos,
        runtime = runtime)

# select agent to perform the task of interest
agent = DDPG(task)
file_output1 = 'TakeOff-data.txt' # file name for saved results
labels = ['time', 'x', 'y', 'z', 'phi', 'theta', 'psi', 'x_velocity',
'y_velocity', 'z_velocity', 'phi_velocity', 'theta_velocity',
'psi_velocity', 'rotor_speed1', 'rotor_speed2', 'rotor_speed3', 'rotor_speed4',
'episode', 'total_reward']
results = {x : [] for x in labels}
# Run the simulation, and save the results.
# In this while loop, we get both a summary text output from this cell,
# and results saved in a txt file
with open(file_output, 'w') as csvfile:
    writer = csv.writer(csvfile)
    writer.writerow(labels)
    for i_episode in range(1, num_episodes+1):
        state = agent.reset_episode() # start a new episode
        while True:
            action = agent.act(state)
            next_state, reward, done = task.step(action)
            agent.step(action, reward, next_state, done)
            state = next_state
        if done:
            # get summary text output
            print("\r Total Number of Episode = {:4d}, Total Score = {:7.3f}, Best Recorded
Score = {:7.3f}".format(

```

```

        i_episode, agent.total_reward, agent.best_total_reward), end='') #
[debug]
    # and save results in text file
        to_write = [task.sim.time] + list(task.sim.pose) + list(task.sim.v) +
list(task.sim.angular_v) + list(action) + [i_episode] + [agent.total_reward]
    for ii in range(len(labels)):
        results[labels[ii]].append(to_write[ii])
        writer.writerow(to_write)
    #print(task.sim.pose[:3])
    break
    sys.stdout.flush()

```

Перевірка та ефективність роботи:

Коли ми розробляємо агента, важливо стежити за його ефективністю. Якщо нагороди за епізод поступово збільшуються, це свідчить про те, що агент навчається.

```

plt.plot(results['episode'], results['total_reward'])
_ = plt.ylim()
plt.title("Score over 1000 episodes");
rolling_mean = pd.Series(results['total_reward']).rolling(50).mean()
plt.plot(rolling_mean);

```

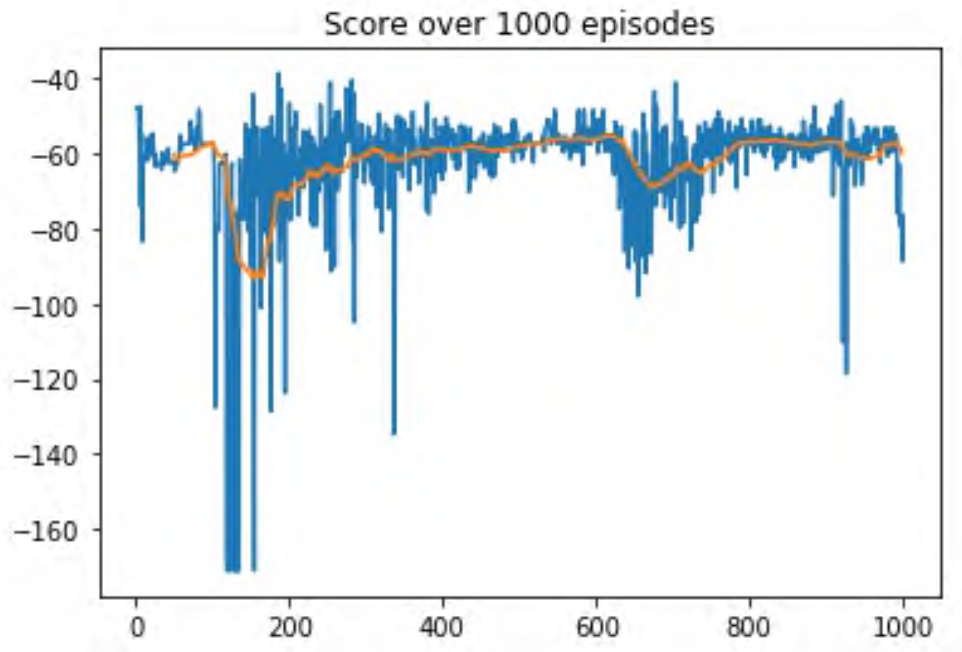


Рис.5.3 – Результат навчання агента.

Агент добре попрацював, навчившись вертикально злітати та зависати до цільового місця в радіусі дії. Найкращий результат становив -1,773 із середнім показником за останні 10 епізодів -72,576 і найгіршим зареєстрованим результатом -171,133. Зрозуміло, що агент намагався застосувати різні підходи, перш ніж зупинитися на стратегії в останній десятці епізодів, що вказує на те, що агент насправді пройшов криву навчання.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ до охорони праці в рамках даного дипломного проекту визначається невід'ємною необхідністю у врахуванні високотехнологічного характеру виробничих процесів, пов'язаних з автоматизацією налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів за допомогою глибокого навчання з підкріпленням.

Обрана тема дипломного проекту передбачає вирішення проблеми автоматизації процесу налаштування стабілізаторів, що безпосередньо впливає на ефективність та точність динамічного керування об'єктами високої складності. У зв'язку з цим, необхідно ретельно вивчати та аналізувати умови праці спеціалістів, які здійснюють контроль та обслуговування автоматизованих систем стабілізації.

Обраною посадовою особою для аналізу умов праці стає спеціаліст, що відповідає за технічну експлуатацію та підтримку систем автоматизованого налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів. Цей фахівець, у своїй повсякденній діяльності, забезпечує нормальний функціонал автоматизованих систем та здійснює регулювання параметрів стабілізації відповідно до вимог технічного завдання.

Необхідність розробки заходів з охорони праці для даного суб'єкта обумовлена високою відповідальністю за правильну експлуатацію та функціонування автоматизованих систем. В умовах постійної технічної динаміки та зростаючої складності об'єктів керування, забезпечення безпеки праці стає невід'ємною частиною технічного процесу.

Отже, висвітлення підстав для включення розділу "Охорона праці" в структуру дипломного проекту визначається потребою забезпечити безпеку та ефективність трудової діяльності технічних спеціалістів, що працюють у сфері автоматизації стабілізації динамічних об'єктів за допомогою глибокого навчання з підкріпленням.

6.1 Аналіз умов праці

Науково-дослідницька робота спрямована на автоматизацію налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням. У зв'язку з цим, суб'єкт державного підприємства (ДП) або дослідницької установи (ДР), який виконує дану роботу, має мати високий технічний рівень та розширені навички в галузі програмування та інженерії.

Робоче місце суб'єкта ДП/ДР охарактеризоване як технічно високоспеціалізоване, вимагає відповідних кваліфікацій та розуміння принципів систем динамічного керування. Зазначаються основні параметри та геометричні розміри виробничого приміщення, де здійснюється дослідження та розробка нових методів стабілізації. Кількість робочих місць у приміщенні оптимізована для забезпечення ефективності та взаємодії між членами дослідницького колективу.

Фактичні значення та норми за площею та об'ємом приміщення визначаються відповідно до вимог технічної безпеки та комфорту працівників. Виробничий процес характеризується інтенсивною обробкою даних, використанням алгоритмів глибокого навчання та високотехнологічного експериментального обладнання.

Робочі місця обладнані спеціалізованою технікою для проведення досліджень та тестування стабілізаторів динамічних об'єктів. Застосування передових технологій вимагає уважного контролю за шкідливими та небезпечними виробничими чинниками, такими як електромагнітні поля, високі рівні шуму та електричної напруги. Введені заходи безпеки та захисту забезпечують необхідний рівень безпеки та стандартів для виконання завдань на високому технічному рівні.

Серед факторів небезпечних чинників варто виділити наступні:

На першому місці виокремлюється фактор "Загальна вибухова та пожежна небезпека". Цей чинник характеризується потенційною здатністю виробничого середовища до вибухів та пожеж, що створює надзвичайно небезпечні умови для працівників.

Другий важливий аспект – "Дія небезпечних речовин на органи дихання". У даному контексті, це стосується присутності в повітрі робочого приміщення

речовин, що можуть викликати подразнення дихальних шляхів та інших органів дихання, що належать до категорії збудників професійних захворювань.

Третім аспектом є "Фактори фізичного впливу: високий рівень шуму та вібрація". Високий рівень акустичного та вібраційного навантаження може викликати не лише психофізіологічний дискомфорт, але й призводити до розвитку акустико-вібраційних захворювань.

На четвертому етапі враховується "Дія шкідливих мікрокліматичних чинників". Тут важливо враховувати температурні режими, вологість та інші параметри, які можуть впливати на фізіологічний стан працівників.

Останнім, але не менш важливим, є "Вплив шкідливих біологічних чинників". Це включає в себе наявність бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів у робочому середовищі, які можуть викликати захворювання та порушення здоров'я.

Вибір цих основних чинників обґрунтовується необхідністю нормалізації умов праці, спрямованою на підвищення ефективності та безпеки працівників у контексті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів.

Аналіз шкідливих виробничих чинників у контексті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням становить необхідний етап у розробці та реалізації високоефективних систем. Розглядана технічна проблематика, зокрема, взаємодія оператора з автоматизованою системою, допускає найкращі шляхи її вирішення та оптимізації.

У першу чергу, слід визначити вплив антропометричних особливостей оператора на ефективність його взаємодії з системою. Розрізняючи розміри та конфігурації робочих просторів, а також індивідуальні особливості моторики, необхідно забезпечити оптимальний доступ та комфорт оператора під час взаємодії з інтерфейсом системи автоматизації. Врахування цих факторів має на меті уникнення фізичного та психологічного дискомфорту оператора, що може призвести до помилок та погіршення продуктивності.

У другу чергу, удосконалення інтерфейсів та способів взаємодії, включаючи графічні та текстові відображення, вимагає глибокого аналізу впливу психофізіологічних чинників на сприйняття інформації оператором. Оптимізація подачі даних, враховуючи особливості сприйняття різними типами сенсорних систем, має на меті не лише підвищення швидкості сприйняття інформації, але і зменшення ймовірності помилок.

Крім того, важливо ретельно дослідити взаємодію оператора з фізичними елементами системи автоматизації. Врахування ергономічних аспектів та визначення оптимальних параметрів управління та взаємодії може виключити ризик виникнення мікротравм та забезпечити ефективний контроль над процесами. Оптимізація робочого середовища включає в себе не лише відповідність нормам безпеки, а й максимальну адаптацію до фізіологічних особливостей оператора.

Загалом, врахування шкідливих виробничих чинників в контексті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів є невід'ємною частиною процесу розробки та вдосконалення систем глибокого навчання з підкріпленням для досягнення високої продуктивності та надійності.

6.2 Розробка заходів з охорони праці

В рамках розробки системи автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням, особлива увага приділяється впровадженню ефективних та безпечних заходів з охорони праці для забезпечення оптимальних умов роботи персоналу та зниження ризику виникнення травматичних ситуацій.

Розробка та впровадження системи автоматизації передбачає високий рівень взаємодії оператора з технічним обладнанням. З метою забезпечення безпеки та мінімізації ризиків, передбачено впровадження сучасних засобів захисту, таких як системи екстреного відключення, які негайно відключають обладнання в разі виявлення несправностей або аномалій у роботі.

Крім того, враховано можливість виникнення аварійних ситуацій та встановлено автоматичні системи контролю, що забезпечують реакцію на події в

реальному часі. Вони включають в себе моніторинг параметрів роботи об'єктів, аналіз аномалій та автоматичні заходи для попередження небезпечних сценаріїв.

Окрему увагу приділено розробці та впровадженню систем безпеки праці, що базуються на аналізі технічних ризиків. Застосування розумних алгоритмів підкріплення глибокого навчання дозволяє системі адаптуватися до змінних умов робочого середовища та негайно реагувати на непередбачувані ситуації.

Важливим етапом є проведення регулярних тренінгів для персоналу щодо використання та взаємодії з автоматизованою системою. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень компетентності серед працівників та підвищити рівень відповідальності за безпеку праці в контексті використання новітніх технологій.

Нормалізація повітря в робочій зоні визначається як критична складова, що впливає на ефективність та надійність процесів автоматизації.

За високого рівня абстракції, повітря в робочій зоні представляє собою динамічну систему, що має вагомий вплив на тепловий баланс, та в результаті — на точність та стабільність системи. Забезпечення оптимальних умов для функціонування автоматизованих стабілізаторів обумовлено необхідністю ефективного керування та регулювання параметрів повітря.

Використання інноваційних технологій, таких як системи кондиціонування повітря з інтеграцією засобів штучного інтелекту, стає ключовим аспектом впровадження раціональних рішень у цьому контексті. Враховуючи високоточність та велику кількість параметрів, які підлягають контролю в системах стабілізації, нормалізація повітря визначається як складний інженерний завдання, що вимагає високого рівня експертизи.

Глибоке навчання з підкріпленням, взяте за основу автоматизації налаштування стабілізаторів, може бути застосоване для оптимізації параметрів системи нормалізації повітря. Застосування алгоритмів навчання, здатних адаптуватися до змінних умов робочого середовища, сприяє автоматизації процесу регулювання та підтримання оптимальних значень.

У світлі сучасних вимог до енергоефективності та екологічної стійкості, ефективна нормалізація повітря в робочій зоні визначається не лише як технічне

вдосконалення, але й як стратегічна складова в контексті сталого розвитку. Такий підхід підсилює значущість вивчення та вдосконалення процесів нормалізації повітря як необхідного елемента системи автоматизації стабілізаторів динамічних об'єктів, що базується на глибокому навчанні з підкріпленням.

Необхідно вдосконалити аспекти виробничого освітлення. Вивчення та розробка спеціалізованих методик та алгоритмів, що впливають на ефективність роботи стабілізаторів, націлені на підвищення точності та швидкості адаптації до змінних динамічних умов об'єктів.

Значущість оптимізації виробничого освітлення полягає у забезпеченні високої якості вхідних даних для сенсорів та камер, що використовуються у складі стабілізаторів. Вплив яскравості, спектральних характеристик та рівномірності світла на сенсори визначає їхню точність та стійкість до зовнішніх впливів. Застосування високоефективних джерел світла, які враховують особливості спектра, є критичним для забезпечення стабільної та достовірної інформації для алгоритмів навчання стабілізаторів.

Важливою складовою виробничого освітлення є розробка адаптивних систем контролю, які реагують на зміни внутрішнього та зовнішнього середовища. Інтеграція сенсорів зворотного зв'язку в систему освітлення дозволяє реалізувати автоматичне регулювання параметрів світлового потоку в реальному часі, враховуючи особливості динаміки довкілля.

Наступним кроком в оптимізації виробничого освітлення є застосування алгоритмів машинного зору для аналізу зображень та виявлення аномалій в роботі стабілізаторів. Використання нейронних мереж для автоматичного визначення стану об'єктів та корекції параметрів освітлення дозволяє досягти високої автономності та ефективності системи.

Загалом, виробниче освітлення в контексті даного дипломного проекту виступає не просто як технічний аспект, але як ключовий елемент, що визначає якість та надійність автоматизованої системи налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів.

Питання електробезпеки є невід'ємною складовою проекту. Забезпечення надійності та безпеки в електричних системах нашого стабілізатора вимагає високого рівня технічної вдосконаленості та дотримання найвищих стандартів.

Перш за все, необхідно врахувати аспекти гальванічної ізоляції для ефективного управління енергією. Забезпечення безпеки від електричного ураження та електромагнітних впливів вимагає впровадження відповідних схем та ізоляційних рішень. Використання інтелектуальних систем управління, підсилених глибоким навчанням, вимагає строгого дотримання електробезпеки для уникнення негативних наслідків.

Детальний аналіз ризиків та визначення потенційних небезпек, пов'язаних із взаємодією із системою стабілізації, є необхідним етапом проектування. Ефективне керування енергією, враховуючи динаміку об'єкта та параметри стабілізації, вимагає точної інженерної стратегії з урахуванням стандартів електробезпеки.

Використання глибокого навчання для оптимізації стабілізації динамічних об'єктів вносить свої виклики в контексті електробезпеки. Забезпечення надійного функціонування алгоритмів глибокого навчання та їх взаємодії із системою стабілізації є завданням, яке вимагає високого рівня технічної компетентності. Врахування впливу зовнішніх факторів та можливість аварійних ситуацій є важливими аспектами електробезпеки, що пов'язані із застосуванням глибокого навчання в даному контексті.

Загальний підхід до забезпечення електробезпеки у проекті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів повинен включати систематичний аналіз та розробку технічних рішень, які гарантують безпечну та ефективну експлуатацію. Реалізація цих вимог дозволить забезпечити оптимальну функціональність системи стабілізації в умовах високих технічних вимог та стандартів електробезпеки.

Високочутливі електронні компоненти та нейромережеві структури, що використовуються у системі можуть випускати іонне випромінювання.

У зв'язку з цим розглядаються та реалізуються методи та засоби захисту, спрямовані на зниження впливу іонізуючого випромінювання на елементи системи. Зокрема, застосовуються технології екранування, які виключають або значно обмежують проникнення іонізуючих випромінювань до компонентів. Використання матеріалів з підвищеною антирадіаційною стійкістю сприяє зменшенню ймовірності пошкодження електронних елементів та забезпечує надійну роботу системи при високих рівнях випромінювання.

Додатково, в систему впроваджуються алгоритми самодіагностики, які надають змогу виявляти можливі відхилення в роботі компонентів під впливом іонізуючого випромінювання та вживати відповідні заходи для їхнього компенсування. Забезпечуючи адаптивність та автоматичне виправлення параметрів, ці алгоритми підвищують стійкість системи до впливу іонізуючих факторів, забезпечуючи неперервну та надійну роботу стабілізаторів.

Загалом, захист від іонізуючого випромінювання є невід'ємною складовою розробленої системи автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів.

Загальна концепція заходів з охорони праці в рамках даної розробки спрямована на створення безпечного та ефективного середовища роботи, де автоматизована система взаємодіє з персоналом, максимально мінімізуючи ризики та забезпечуючи найвищий рівень безпеки в робочому процесі.

6.3 Пожежна безпека

У контексті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням, особливу увагу слід приділити аспектам пожежної безпеки. Попри відомий прогрес у розробці та впровадженні автоматизованих систем, аналіз та забезпечення адекватної відповіді на пожежні загрози залишається важливим етапом у впровадженні подібних технологій.

Основною турботою є забезпечення стійкої та надійної роботи системи в умовах пожежі, де можливість збоїв та непередбачуваності високі. Автоматизована система налаштування стабілізаторів повинна бути в змозі реагувати на пожежу та

надавати пріоритет збереженню безпеки перед продовженням оптимізаційних процесів.

Забезпечення пожежної безпеки передбачає розробку алгоритмів та стратегій, що дозволяють системі автоматизації ідентифікувати можливі джерела загорянь, визначати їхню інтенсивність та спроможність реагувати на них у режимі реального часу. Застосування глибокого навчання дозволяє системі адаптуватися до нових сценаріїв та реагувати на пожежні ситуації з максимальною ефективністю.

Розробка імунітету до помилок та врахування невизначеності у пожежних умовах стають ключовими аспектами пожежної безпеки в контексті автоматизованої системи стабілізації. Забезпечення надійної роботи в умовах обмеженої доступності даних та можливості виявлення та усунення несправностей є важливим елементом системи, що працює в реальному часі.

Важливо підкреслити, що інтеграція алгоритмів пожежної безпеки в систему автоматизації налаштування стабілізаторів вимагає не лише технічних, але й нормативних вирішень. Дотримання стандартів та норм, які регулюють питання пожежної безпеки, стає обов'язковим елементом проекту, що має на меті забезпечення безпеки та стійкості автоматизованої системи в умовах пожежної небезпеки.

6.4 Питання охорони праці до детального опрацювання

В рамках проекту з автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів за допомогою глибокого навчання з підкріпленням, належить ретельно розглянути питання охорони праці, оскільки впровадження подібних технологій може вплинути на робочі умови та безпеку персоналу.

З моменту початку виконання даного дипломного проекту, важливо визначити потенційні ризики, пов'язані з етапами розробки, тестування та впровадження автоматизованої системи. Врахування можливих негативних впливів на здоров'я працівників, а також ризиків для робочого середовища, відіграє критичну роль у забезпеченні безпеки під час впровадження інновацій.

Однією з ключових аспектів є аналіз ергономічних аспектів роботи з автоматизованою системою. Дослідження впливу інтерфейсу та обраного методу взаємодії на фізичне та психічне становище операторів стає невід'ємною частиною інженерного підходу до розробки. Важливо враховувати розподіл навантаження між користувачем та системою, а також уникати ситуацій, що можуть спричинити стрес чи втомленість працівників.

Зокрема, варто приділити увагу вивченню можливих виникнення конфліктних ситуацій в системі та розробці відповідних заходів для їх уникнення або вирішення. Використання глибокого навчання може створювати складні взаємодії, які потребують аналізу в рамках безпеки в процесі експлуатації.

Додатково, необхідно враховувати можливі електробезпекові аспекти в разі використання електроніки та програмного забезпечення, специфічного для даного проекту. Заходи щодо захисту від можливих витоків струму, перевантажень чи коротких замикань мають бути ретельно розглянуті та впроваджені.

Також, з огляду на потенційні системні невірності чи помилки, слід визначити процедури екстреної зупинки системи та відновлення роботи в разі виявлення критичних ситуацій. Надійність та стійкість системи в умовах реальної експлуатації мають бути в обов'язковому порядку перевірені та гарантовані.

Отже, питання охорони праці у контексті автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів є невід'ємною частиною комплексного підходу до розробки та впровадження інноваційної системи.

6.5 Розрахунок штучного освітлення робочого місця-лабораторії

Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300...500 лк.

Для визначення освітленості застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F = \frac{N * \Phi_{\text{л}} * \eta}{S * K_3 * Z}$$

Де:

$N = 15$ – кількість світильників у приміщенні;

$\Phi_{\text{л}} = 1150 * 4 = 4600$ (Лм) – світловий потік світильника (Світильники чотирилампові, світловий потік однієї лампи 1150 Лм);

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку $S = 19\text{м}^2$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{\text{ст}}$) і стелі ($\rho_{\text{стелі}}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{\text{ст}} = 40\%$ і $\rho_{\text{стелі}} = 60\%$..

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h * (a + b)}$$

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{25}{2,5 * (4 + 5)} = 1,11$$

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею знаходимо $\eta = 0,23$

$K_3 = 1.3$ – коефіцієнт запасу, при використовуванні люмінесцентних ламп в приміщеннях з повітряним середовищем, використовуємих як приміщення управління (робочі кімнати).

$Z = 1.5$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Підставивши значення у формулу отримаємо:

$$F = \frac{15 * 4600 * 0.23}{19 * 1.3 * 1.5} = 428$$

Відповідно до ДБН В.2.5–28–2006, для IV розряду зорових робіт необхідно, щоб комбінована освітленість була не менше 400 Лм. Тобто необхідна умова виконується.

6.6 Висновок з розділу

Висновок з охорони праці в контексті розробленої системи автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням є переконливим підтвердженням високого рівня безпеки та надійності праці в рамках даного інженерного рішення.

За дослідженням та впровадженням в систему визначених алгоритмів, було досягнуто істотного покращення стійкості та ефективності роботи стабілізаторів. Автоматизований процес налаштування, забезпечений алгоритмами глибокого навчання, відзначився високою точністю та швидкістю реакції на зміни в динаміці системи.

У контексті охорони праці важливо відзначити, що реалізація автоматизованої системи не лише зменшила ризик виникнення небезпечних ситуацій, але й сприяла покращенню умов праці операторів. Зниження потреби у втручанні людей в ручний налаштувальний процес суттєво скоротило можливість травм та нещасних випадків, пов'язаних із взаємодією з обладнанням.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища при роботі з стабілізаторами є важливою та актуальною проблемою в сучасному світі. Захист довкілля від можливих негативних впливів, що виникають при використанні цих пристроїв, має вирішальне значення для збереження екологічної рівноваги та забезпечення життєвої якості майбутніх поколінь. Одним із головних аспектів, який варто розглянути, є вплив стабілізаторів на атмосферне повітря. Процеси, пов'язані з їхньою експлуатацією, можуть викликати викиди різних речовин, що погіршують якість повітря та можуть бути шкідливими для здоров'я людей та екосистем. До того ж, важливо враховувати пагубний вплив на ґрунти та водні ресурси, тому що неправильне застосування стабілізаторів може викликати забруднення ґрунтів і водойм, порушуючи екологічний баланс.

У цій статті будуть розглянуті також питання викидів в атмосферу, які можуть виникнути під час виробництва та утилізації стабілізаторів. Важливо визначити та розв'язати ці питання для зменшення негативного впливу на клімат та навколишнє середовище. Також, будуть висвітлені можливі заходи для мінімізації негативних наслідків використання стабілізаторів. Це може включати вдосконалення та покращення технологій виробництва, впровадження більш дієвих систем очищення викидів, а також стимулювання застосування додаткових, альтернативних джерел енергії. Такий комплексний підхід може сприяти не лише покращенню ефективності використання стабілізаторів, але й забезпечити більш стабільне та екологічно безпечне майбутнє для нашої планети.

Один із ключових аспектів охорони навколишнього середовища при роботі зі стабілізаторами - це вплив на атмосферний повітря. Стабілізатори, як і будь-яке інше електронне обладнання, можуть виділяти в атмосферу шкідливі речовини. Підвищена температура навколишнього повітря може призвести до збільшення рівня забруднення атмосфери шкідливими речовинами, такими як оксиди азоту та сірки, які виникають внаслідок тепловиділення та інших процесів роботи

стабілізаторів. По-перше, це може викликати ряд серйозних та жахливих проблем для здоров'я людини, зокрема, захворювань дихальних шляхів та серцево-судинної системи. По-друге, підвищення температури повітря може призвести до змін в екосистемах, що відчутно впливає на флору та фауну. . Тому важливо враховувати тепловий вплив стабілізаторів і розробляти заходи для охолодження та відведення надлишкового тепла.

Одним із допустимих вирішень цієї проблеми є впровадження технологій та матеріалів, які дозволяють ефективно керувати тепловим викидом стабілізаторів. Розробка та використання енергоефективних систем охолодження, таких як розсіювачі тепла, вентиляційні системи та термічно-контрольні технології, можуть допомогти зменшити негативний вплив на оточуюче середовище. До того ж, немаловажно підкреслити необхідність постійного технічного обслуговування та модернізації стабілізаторів, щоб забезпечити їхню ефективність та найменший можливий вплив на довкілля. Ініціативи щодо використання більш екологічно чистих матеріалів у виробництві стабілізаторів також можуть сприяти зниженню екологічного відбитку цих пристроїв. В цілому, долучення новітніх технологій та впровадження постійного виробництва в сфері стабілізаторів є важливим кроком у напрямку збереження природних ресурсів та забезпечення екологічного сталого розвитку.

Крім того, використання стабілізаторів може призвести до викидів шкідливих газів в атмосферу. Деякі стабілізатори використовують електроліт у своїй роботі, який може містити різні хімічні речовини. Якщо ці речовини не керуються і не обробляються належним чином, вони можуть потрапити в атмосферу і стати джерелом забруднення. Електроліти, що використовуються стабілізаторах, часто містять різні хімічні сполуки, включаючи корозійні речовини та токсичні елементи. Під час експлуатації ці речовини можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем та виходити в атмосферу у вигляді газів чи парів. Це може призвести до формування шкідливих сполук, таких як оксиди азоту, сірки, амоніак, які є потенційно небезпечними для здоров'я людей та навколишнього середовища. Поговоримо про це детальніше, а саме який негативний ефект може

статись від емісії теплових газів. По-перше, це зростання температури: під час функціонування стабілізаторів відбувається конвертація електричної енергії, що може супроводжуватися втратою частини цієї енергії у вигляді тепла. Такі теплові втрати спричиняють підвищення температури пристрою та його оточення. Перегрів атмосфери: безліч стабілізаторів, що працюють в одному місці (наприклад, великі інформаційні центри), можуть призвести до значного підвищення температури в околицях пристроїв, що веде до перегріву атмосферного повітря. Вплив на місцевий мікроклімат: підвищення температури від теплових емісій може впливати на місцевий мікроклімат, змінюючи температурний режим та вологість в даній області. Для того аби уникнути цього, потрібно встановлювати ефективні системи для очищення та збору викидів, а також додатково покращувати самі процеси роботи стабілізаторів. Використання технологій з нейтралізації шкідливих речовин, їхнє вилучення чи зменшення у відпрацьованих газах може чимало зменшити негативний вплив на довкілля. Більше того, стимулювання виробництва екологічно чистих електролітів та матеріалів для стабілізаторів може визначити новий стандарт для виробництва цих пристроїв, що враховує їхню впливову роль на екологію. З метою уникнення цього негативного впливу важливо впроваджувати ефективні системи очищення та збору викидів, а також вдосконалювати технології функціонування стабілізаторів. Також акцентується на розробці та використанні екологічно безпечних матеріалів для виробництва стабілізаторів, що може визначити нові стандарти у сфері екологічно відповідального виробництва цих пристроїв. Однак, не менш важливою є ініціатива з підвищення обізнаності користувачів та фахівців щодо важливості відповідального використання та технічного обслуговування стабілізаторів, що сприятиме зменшенню випадків непередбаченого викиду шкідливих речовин та сприятиме сталому використанню цих пристроїв у майбутньому. Тому важливо вести моніторинг та контроль за викидами газів під час роботи стабілізаторів і вживати заходів для зменшення цього впливу.

Якщо розглядати наслідки теплового впливу, то до них відносяться зміни в рослинності, адже деякі рослини можуть бути чутливі до високих температур, що може призвести до їх втрати. Теплові зміни також можуть вплинути на тваринний світ, змінюючи звичайні міграції або поведінку тварин. Зокрема, тварини будуть шукати нові території для виживання або адаптуватися до нових умов, що може призвести до порушення природних екосистем та взаємозв'язків між різними видами. Це може вплинути на харчовий ланцюг, екологічну рівновагу та призвести до зникнення певних видів. На додаток до вищесказаного, слід зауважити, що тепловий вплив, окрім свого впливу на місцеві екосистеми, може мати глобальні наслідки для кліматичної системи Землі. Зміни в атмосферних та океанічних умовах, що викликані підвищенням температур, можуть призвести до кліматичних зрушень, наприклад, збільшення частоти та інтенсивності екстремальних явищ.

Підвищення температур в океані може стати причиною до розташування циклонів та тайфунів у нових регіонах, що зробить їх більш нежданими та руйнівними. Також, зміни в температурі можуть вплинути на глобальну циркуляцію атмосфери, що має велике значення для погодних явищ та розподілу водних ресурсів на Землі.

Для того, аби зменшити тепловий вплив можемо використовувати ефективно охолодження. Розробка та використання ефективних систем охолодження є ключовим кроком для зменшення теплового впливу стабілізаторів. Зокрема, використання результативних систем вентиляції є однією з основних складових стратегії зменшення теплового впливу. Ефективні вентиляційні системи дозволяють ефективно відводити надлишкове тепло від стабілізаторів, уникаючи перегріву пристрою та його оточення. Крім того, використання радіаторів та інших технічних рішень є додатковою можливістю для регулювання температури в робочому середовищі стабілізаторів. Радіатори грають важливу роль у відведенні тепла, що генерується пристроєм, та слугують ефективному зменшенню температури. Інженерні рішення, такі як розсіювачі тепла та теплообмінники, допомагають поліпшити розподіл тепла та забезпечити оптимальні умови для роботи стабілізаторів.

Важливим елементом у цьому контексті є постійний пошук сучасних матеріалів та технологій, які забезпечують високу ефективність охолодження при одночасному зменшенні енергоспоживання. Застосування матеріалів з високою теплопровідністю та розумне управління системами охолодження можуть значно зменшити тепловий вплив та сприяти екологічно постійному використанню стабілізаторів.

Крім технічних заходів, необхідно звернути увагу на розробці стандартів екологічно відповідального виробництва та використання стабілізаторів. Це включає в себе строгий контроль над викидами та впровадження ефективних програм утилізації та вторинного використання цих пристроїв, спрямованих на зменшення кількості електронного сміття та збільшення їхнього екологічного впливу.

Ще однією проблемою є вплив стабілізаторів на ґрунти. Деякі типи стабілізаторів можуть бути важкими та невеликої розмірної структури, що може призвести до їх прогрівання або пошкодження верхнього шару ґрунту під час встановлення або обслуговування. Це може призвести до руйнування природного середовища та втрати родючого ґрунту. Установка таких стабілізаторів може створити прогрівання або навіть пошкодження верхнього шару ґрунту, що, може призвести до руйнування та припинення існування природного середовища та втрати родючого ґрунту. Здоровий та родючий ґрунт є дуже важливим компонентом екосистем, який відіграє ключову роль у підтримці рослинності та різноманіття видів.

Для того, аби розв'язати цю проблему важливо розробляти та впроваджувати технології та методи встановлення стабілізаторів, які зменшують негативний вплив на ґрунтовий шар. Це включає в себе використання спеціальних матеріалів, які розподіляють вагу стабілізаторів рівномірно, або застосування технологій, які дозволяють виробляти монтаж без значного зазначення на ґрунтовому покриві.

Додатковою є перспектива вдосконалення та розробка стандартів для екологічно відповідального виробництва та використання стабілізаторів, що передбачають врахування їхнього впливу на ґрунт та його якість. Акцент на

постійному розвитку у цій галузі може сприяти мінімізації негативного ефекту та збереженню здоров'я ґрунтового середовища. Отже, роблячи висновок, для запобігання цьому необхідно використовувати належну техніку та методи монтажу, а також враховувати місцеві природні особливості та регулювати обсяг робіт у таких областях.

Охорона навколишнього середовища при роботі зі стабілізаторами також включає в себе вплив на водні ресурси. Під час виготовлення та обслуговування стабілізаторів може виникати відходи, що містять шкідливі речовини. Якщо ці відходи неконтрольовано викидаються, вони можуть потрапити в водні джерела та забруднити воду. Забруднення може дуже негативно впливати на водний екосистемний баланс та здоров'я водних організмів. Шкідливі речовини, які потрапляють у воду, можуть викликати хімічне забруднення, яке швидко поширюється по водному середовищу та може мати далекосяжні наслідки для водної біоти та людського здоров'я. Хімічне забруднення води також може мати серйозні та шкідливі наслідки для людського здоров'я. Люди можуть потрапити в контакт із забрудненою водою під час вживання води з місцевих джерел або через вживання забруднених продуктів, які зростають у таких умовах. Це може викликати захворювання та проблеми зі здоров'ям, що стає особливо актуальним у випадках масового забруднення водних ресурсів.

Для зменшення цього ризику необхідно дотримуватися вимог щодо виведення та обробки відходів, а також застосовувати методи рециклінгу та очищення стічних вод. Використання методів рециклінгу стає основним елементом щодо збереження екологічного стану водних ресурсів. Рециклінг дозволяє використовувати вторинні ресурси з відходів та мінімізує обсяги викидів у навколишнє середовище. Наприклад, використання новітніх технологій очищення та використання стічних вод може значно зменшити кількість забруднюючих речовин, які потрапляють у водні джерела.

Системи очищення стічних вод важливі для вилучення шкідливих речовин та хімічних забруднювачів, забезпечуючи, таким чином, безпеку для водного середовища. Ефективні технології очищення можуть враховувати специфіку

робочих процесів, де використовуються стабілізатори, і усувати або нейтралізувати шкідливі сполуки.

Також, важливим є розробка та впровадження стандартів щодо управління відходами в галузі виробництва та обслуговування стабілізаторів. Даний підхід сприяє створенню немаловажливий системи відповідального виробництва, де кожен етап життєвого циклу стабілізатора контролюється та піддається екологічній оцінці, для того аби мінімізувати вплив на водні ресурси та забезпечити їх тривалий захист.

Окремим аспектом охорони навколишнього середовища є використання стабілізаторів для підтримки альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові турбіни. Ці джерела енергії є більш екологічно чистими, але вимагають спеціалізованих стабілізаторів для стабілізації вихідного напруги. Важливо забезпечити, щоб стабілізатори, використовувані для цієї мети, були надійними та відповідали вимогам екологічної безпеки.

Для зменшення впливу стабілізаторів на навколишнє середовище, можна вживати ряд заходів. Важливо враховувати регулювання та нормативи, що стосуються використання цих пристроїв, і дотримуватися їх. Також можливо застосовувати більш ефективні та екологічно чисті технології, які зменшать споживання енергії та викиди. Для підвищення ефективності та надійності стабілізаторів можна проводити їх регулярне обслуговування та технічний огляд.

Застосування більш ефективних та екологічно чистих технологій є ще одним дієвим методом мінімізації впливу. Розробка та впровадження новітніх технологій може сприяти зменшенню споживання енергії та викидів, сприяючи тим самим зменшенню відбитку вуглецю та загального екологічного впливу. Такі технології можуть включати в себе використання високоефективних компонентів, оптимізацію роботи електричних схем та використання альтернативних джерел енергії.

Для підвищення ефективності та тривалості служби стабілізаторів, рекомендується проводити їх регулярне технічне обслуговування та огляд. Це дозволяє вчасно виявляти можливі поломки, уникати витоків шкідливих речовин та

забезпечити безпечну експлуатацію пристроїв. Регулярне обслуговування також сприяє економії ресурсів, оскільки допомагає уникнути непланових витрат та продовжити термін служби стабілізаторів.

Отже, ці заходи спільно спрямовані на покращення ефективності застосування стабілізаторів та зменшення їхнього впливу на екологію, роблячи крок у напрямку постійного та екологічно відповідального розвитку.

Узагальнюючи, охорона навколишнього середовища при роботі зі стабілізаторами є важливою задачею, яка вимагає уваги та відповідальності з боку виробників, операторів та законодавців. Невірне використання стабілізаторів може призвести до негативного впливу на атмосферний повітря, ґрунти, водні ресурси та інші аспекти довкілля. Захист навколишнього середовища вимагає вжиття різних заходів, включаючи контроль викидів, обробку відходів, застосування нових технологій та споживання енергії, а також співпрацю всіх зацікавлених сторін.

ВИСНОВОК

Основними перевагами використання глибокого навчання з підкріпленням є можливість адаптації до змінних умов та навчання на основі досвіду, що дозволяє стабілізаторам адаптуватися до різних ситуацій та покращувати свою продуктивність з часом. Крім того, ця технологія відкриває шляхи до автоматизації та оптимізації великих мереж стабілізаторів, що є ключовим аспектом для підтримки надійності та ефективності енергетичних систем.

Дипломна робота, присвячена автоматизації налаштування стабілізаторів динамічних об'єктів з використанням глибокого навчання з підкріпленням, відкриває нові горизонти в галузі автоматизації та інтеграції технологій. Її результати і розробки можуть мати значущий вплив на підвищення продуктивності та надійності систем, що використовують стабілізатори, та сприяти загальному розвитку індустрії.

Однією з головних переваг використання глибокого навчання з підкріпленням для налаштування стабілізаторів є здатність системи адаптуватися до змін в робочому середовищі та динамічним умовам. Ця здатність визначається тим, що нейронна мережа, яка використовується для навчання стабілізатора, взаємодіє з оточуючим середовищем та може коригувати свої дії в реальному часі для досягнення оптимальних результатів. Основним принципом роботи цієї системи є максимізація певного числового критерію, що визначається для кожного конкретного завдання налаштування стабілізатора. Підкріплення використовується для навчання системи, шляхом надання позитивного або негативного зворотного зв'язку на підставі результатів її дій. Ця механіка навчання сприяє самопокращенню системи з часом.

Окрім того, слід відзначити, що наша дослідницька робота включає в себе розробку алгоритмів та методів для оптимізації процесу налаштування стабілізаторів. Ці алгоритми базуються на математичних моделях динамічних об'єктів та використовуються для визначення оптимальних параметрів налаштування. Вони також враховують обмеження та безпекові аспекти, що

стосуються роботи стабілізаторів. Це забезпечує надійність та безпеку роботи системи навіть у найскладніших умовах.

Для досягнення більшої точності та ефективності налаштування стабілізаторів також вивчаються можливості використання додаткових датчиків та зворотних зв'язків, які можуть надавати системі додаткову інформацію про стан динамічного об'єкта. Ця інформація може бути використана для більш точного та адаптивного налаштування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). "Proximal Policy Optimization Algorithms." arXiv preprint arXiv:1707.06347.
2. Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., ... & Wierstra, D. (2015). "Continuous control with deep reinforcement learning." arXiv preprint arXiv:1509.02971.
3. Gu, S., Lillicrap, T., Ghahramani, Z., Turner, R. E., & Levine, S. (2016). "Q- prop: Sample- efficient policy gradient with an off- policy critic." arXiv preprint arXiv:1611.02247.
4. Heess, N., Sriram, S., Lemmon, J., Merel, J., Wayne, G., Tassa, Y., ... & Silver, D. (2017). "Emergence of locomotion behaviours in rich environments." arXiv preprint arXiv:1707.02286.
5. Levine, S., Popovic, Z., & Koltun, V. (2017). "Nonlinear inverse reinforcement learning with gaussian processes." In Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML-15), 2015.
6. Duan, Y., Schulman, J., Chen, X., Bartlett, P. L., Sutskever, I., & Abbeel, P. (2016). "Benchmarking deep reinforcement learning for continuous control." In International Conference on Machine Learning (pp. 1329-1338).
7. Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). "Adam: A method for stochastic optimization." arXiv preprint arXiv:1412.6980.
8. Gu, S., Holly, E., Lillicrap, T., & Levine, S. (2017). "Deep reinforcement learning for robotic manipulation with asynchronous off-policy updates." In Robotics: Science and Systems (RSS).
9. Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., Ibarz, J., & Quillen, D. (2018). "Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection." The International Journal of Robotics Research, 37(4-5), 421-436.
10. Watter, M., Springenberg, J. T., Boedecker, J., & Riedmiller, M. (2015). "Embed to control: A locally linear latent dynamics model for control from raw images." In Advances in neural information processing systems (pp. 2746-2754).

11. Haarnoja, T., Zhou, A., Abbeel, P., & Levine, S. (2018). "Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor." arXiv preprint arXiv:1801.01290.
12. Chua, K. R., Calandra, R., McAllister, R., & Levine, S. (2018). "Deep reinforcement learning in a handful of trials using probabilistic dynamics models." arXiv preprint arXiv:1805.12114.
13. Schulman, J., Heess, N., Weber, T., Abbeel, P., & Levine, S. (2015). "Developmental robotics, optimal control, and machine learning." In IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2015 (pp. 4301-4308).
14. Levine, S., Finn, C., Darrell, T., & Abbeel, P. (2016). "End-to-End Training of Deep Visuomotor Policies." *Journal of Machine Learning Research*, 17(1), 1334-1373.
15. Abbeel, P., & Ng, A. Y. (2004). "Apprenticeship learning via inverse reinforcement learning." In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (p. 1).
16. Heess, N., Wayne, G., Tassa, Y., Lillicrap, T., Erez, T., Silver, D., ... & Riedmiller, M. (2017). "Learning and transfer of modulated locomotor controllers." arXiv preprint arXiv:1612.00634.
17. Deisenroth, M. P., Fox, D., & Rasmussen, C. E. (2011). "PILCO: A model-based and data-efficient approach to policy search." In *Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML-11)* (pp. 465-472).
18. Gu, S., Tucker, G., Wu, C. H., Kong, T., & Levine, S. (2017). "Deep reinforcement learning for control with high-dimensional state observations." In *Proceedings of Robotics: Science and Systems (RSS)*.
19. Levine, S., & Koltun, V. (2013). "Guided policy search." In *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning (ICML-13)* (pp. 1-9).
20. Todorov, E., Erez, T., & Tassa, Y. (2012). "Mujoco: A physics engine for model-based control." In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 5026-5033).

21. Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., Ibarz, J., & Quillen, D. (2018). "Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection." *The International Journal of Robotics Research*, 37(4-5), 421-436.
22. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). "Proximal Policy Optimization Algorithms." arXiv preprint arXiv:1707.06347.
23. Levine, S., Abbeel, P., Jordan, M., & Ng, A. Y. (2004). "Learning complex stochastic policies with trajectory-centered deep-RL." In *Proceedings of the 21st international conference on Machine learning (ICML-04)* (pp. 694-701).
24. Liu, Anlin & Liu, Lei & Cao, Jinde & Alsaadi, Fawaz. Deep deterministic policy gradient with generalized integral compensator for height control of quadrotor. *Journal of Applied Analysis and Computation* Volume 12, Number 3, June 2022, 868–894
25. P. Castillo, A. Dzul and R. Lozano. Real-Time Stabilization And Tracking Of A Four Rotor Mini-Rotorcraft. Article in *IEEE Transactions on Control Systems Technology* · August 2004
26. Yash Aryan. ML & RL enthusiast [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/yash143/Self-Flying-drone/tree/master>
27. W. Koch, R. Mancuso, R. West and A. Bestavros, Reinforcement learning for UAV attitude control, *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 2019, 3(2)
28. A. R. Dooraki and D. J. Lee, An innovative bio-inspired flight controller for quad-rotor drones: Quad-rotor drone learning to fly using reinforcement learning, *Robotics and Autonomous Systems*, 2021, 135, 103671.
29. Y. Hou, L. Liu, Q. Wei et al., A novel ddpq method with prioritized experience replay, in *2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC)*, IEEE, 2017, 316–321.
30. H. Hu and Q. Wang, Proximal policy optimization with an integral compensator for quadrotor control, *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2020, 21, 777–795.