Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення радіочастотного пульта керування дальнього радіусу дії для мобільного робота
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-2
Назаренко В.Д.
(прізвище, ініціали)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник Ст. викл. Теслюк С.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР _____ Невлюдов І.Ш.
(підпис) (прізвище, ініціали)
2024 р.

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

«17» червня 2024 р. Назаренко В.Д.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)
«_____»_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Назаренку Владиславу Денисовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення радіочастотного пульта керування дальнього радіусу дії для мобільного робота

затверджена наказом по університету від 03.06.2024р. № 544Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Напруга живлення в порядку та її рівень від 2 В до 10 В.

3.2 Чутливість радіо модулю від 20 дБм.

3.3 Енергоспоживання в режимі прийому: від 12 мА до 13 мА.

3.4 Максимальна швидкість SPI інтерфейсу не більше10 МГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ.

4.2Аналіз методів зв'язку оператора з мобільними роботами.

4.3Аналіз принципів побудови пультів дистанційного управління рухом мобільного робота.

4.4 Розробка архітектури системи дистанційного керування мобільним роботом.

4.5 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного управління мобільними роботом.

4.6 Розробка системи дистанційного керування.

4.7 Моделювання роботи системи дистанційного управління мобільним роботом.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Провести аналіз літератури за темою роботи	08.04.24 – 16.04.24	Виконано
2	Провести методів зв'язку оператора з мобільними роботами	16.04.24 – 27.04.24	Виконано
3	Провестианаліз принципів побудови пультів дистанційного управління рухом мобільного робота	01.05.24 – 04.05.24	Виконано
4	Розробити архітектуру системи дистанційного керування мобільним роботом	28.05.24 – 13.06.24	Виконано
5	Провести розробку алгоритму роботи системи дистанційного управління мобільними роботом	26.05.24 – 13.06.24	Виконано
6	Провести моделювання роботи системи дистанційного управління мобільним роботом	14.06.24 – 16.06.24	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	17.06.24 – 18.06.24	Виконано
8	Подання роботі до ЕК	19.06.24 – 20.06.24	Виконано

Дата видачі завдання 03.06.2024 року

Студент Назаренко В.Д.

(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи ст. викл. Теслюк С.І.

(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 1 табл., 44 рис., 1 дод., 22 джерела.

АЛГОРИТМ, КЕРУВАННЯ, МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПУЛЬТ, РАДІОКАНАЛ, СТАНЦІЯ, LORA.

Метою даної роботи є збільшення радіусу дії мережевої системи зв'язку під час віддаленого дистанційного керування робототехнічними системами в ситуаціях, коли пристрої дистанційного керування знаходиться на великій відстані від об'єкту керування.

Об'єкт розробки – процеси дистанційного управління рухом мобільної платформи на основі бездротових технологій.

Предмет розробки – пульт дистанційного керування з радіомодемом великого радіусу дії.

У роботі проведено:

– аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи;

– розробка архітектури взаємодії між пультом дистанційного керування та мобільним пристроєм;

– побудова структурної схеми системи;

– обрано тип радіомодему для вирішення задачі збільшення радіусу дії системи дистанційного керування;

– описано розташування органів керування на пульті дистанційного управління;

– розроблено схему поєднання основних компонентів пульту дистанційного керування.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 pp., 1 table, 44 figures, 1 appendix, 22 sources.

ALGORITHM, CONTROL, LORA, MOBILE ROBOT, RADIO CHANNEL, REMOTE CONTROL, SIMULATION, STATION.

The purpose of this work is to increase the range of the network communication system during remote remote control of robotic systems in situations where the remote control device is located at a great distance from the control object.

The object of development is the processes of remote control of the movement of a mobile platform based on wireless technologies.

The subject of development is a remote control panel with a radio modem with a long range.

The work carried out:

– analysis of literary sources on the topic of the qualification work;

– development of the interaction architecture between the remote control and the mobile device;

– construction of the structural scheme of the system;

– the type of radio modem is chosen to solve the problem of increasing the range of the remote control system;

– the location of the controls on the remote control is described;

– a scheme for combining the main components of the remote control was developed.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень 9
Вступ 10
1 Аналіз технічного завдання 12
1.1 Аналіз методів зв’язку оператора з мобільними роботами 12
1.1.1 Сімплексний радіоканальний пристрій 12
1.1.2 Радіоканальна система з часовим рознесенням каналів 14
1.2.3 Дуплексна радіоканальна система 17
1.2 Аналіз принципів побудови пультів дистанційного управління рухом мобільного робота 19
1.2.1 Переносна базова станція 19
1.2.2 Стаціонарні базові станції управління безпілотними пристроями 23
1.2.3 Портативна апаратура для керування рухомими мобільними пристроями 24
1.3 Постановка задачі 26
2 Проектування системи дистанційного керування мобільним роботом 28
2.1 Розробка архітектури системи дистанційного керування мобільним роботом 28
2.2 Опис технології зв’язку на дальні відстані Lora 32
2.3 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного управління мобільними роботом 39
3 Розробка системи дистанційного керування 41
3.1 Опис конструкції пульту дистанційного керування 41
3.2 Вибір компонентів для пульту дистанційного керування 44
3.2.1 Вибір контролеру 44
3.2.2 Вибір радомодему 46

3.2.3 Вибір кнопок управління 49
3.2.4 Вибір тумблерів для перемикання режимів роботи 51
3.2.5 Вибір змінного резистору 52
3.3 Опис схеми підключень компонентів пульту дистанційного керування 52
4 Моделювання роботи системи дистанційного управління мобільним роботом 55
4.1 Моделювання автоматизованої система керування мобільним роботом 55
4.2 Розробка програми для системи дистанційного управління 58
4.2.1 Опис програми передавача 58
4.2.2 Опис програми приймача 63
4.3 Охорона праці 65
Висновки 68
Перелік джерел посилань 70
Додаток А Демонстраційний графічний матеріал 74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення;

РК – рідкокристалічний;

AMR – автономний мобільний робот;

CR – carriage return;

CSS – Chirp Spread Spectrum;

FPV – First Person View;

IoT – Інтернет речей;

LF – Line Feed;

Lora – Long Range;

SF – коефіцієнт поширення.

ВСТУП

Мережевірадіочастотні системи керування – це, по суті, системи замкнутого циклу, в яких пов’язана з керуванням інформація від датчиків, контролерів і виконавчих механізмів передається або приймається через мережу. Мережі стають популярними серед інженерів з управління, оскільки їм віддають перевагу в сценаріях, коли низка установок взаємодіє з кількома розподіленими датчиками та виконавчими механізмами. Використання мереж спрощує проектування та скорочує витрати на установку та обслуговування промислових систем. Мережеві системи керування використовуються у обробній промисловості, робототехніці, розподілених системах, системах виробництва енергії та навіть у аеронавтиці та космічних додатках.

Метою даної роботи є збільшення радіусу дії мережевої системи зв’язку під час віддаленого дистанційного керування робототехнічними системами в ситуаціях, коли пристрої дистанційного керування знаходиться на великій відстані від об’єкту керування.

Об’єкт розробки – процеси дистанційного управління рухом мобільної платформи на основі бездротових технологій.

Предмет розробки – пульт дистанційного керування з радіомодемом великого радіусу дії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– виконати аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи;

– розробити архітектуру взаємодії між пультом дистанційного керування та мобільним пристроєм;

– виконати побудову структурної схеми системи;

– обрати тип радіомодему для вирішення задачі збільшення радіусу дії системи дистанційного керування;

– описати розташування органів керування на пульті дистанційного управління;

– розробити схему поєднання основних компонентів пульту дистанційного керування;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками и з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» [2], та згідно положень [3-7].

1АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1Аналіз методів зв’язку оператора з мобільними роботами

1.1.1 Сімплексний радіоканальний пристрій

Даний спосіб організації зв’язку передбачає тільки один інформаційний канал для кожного мобільного робота. Для цього відводиться виділена смуга частот, що дозволяє здійснювати як періодичну, так і безперервну передачу команд керування. На рис.1.1 представлена структурна схема системи [8].

В першу чергу можна відзначити простоту наведеної системи.

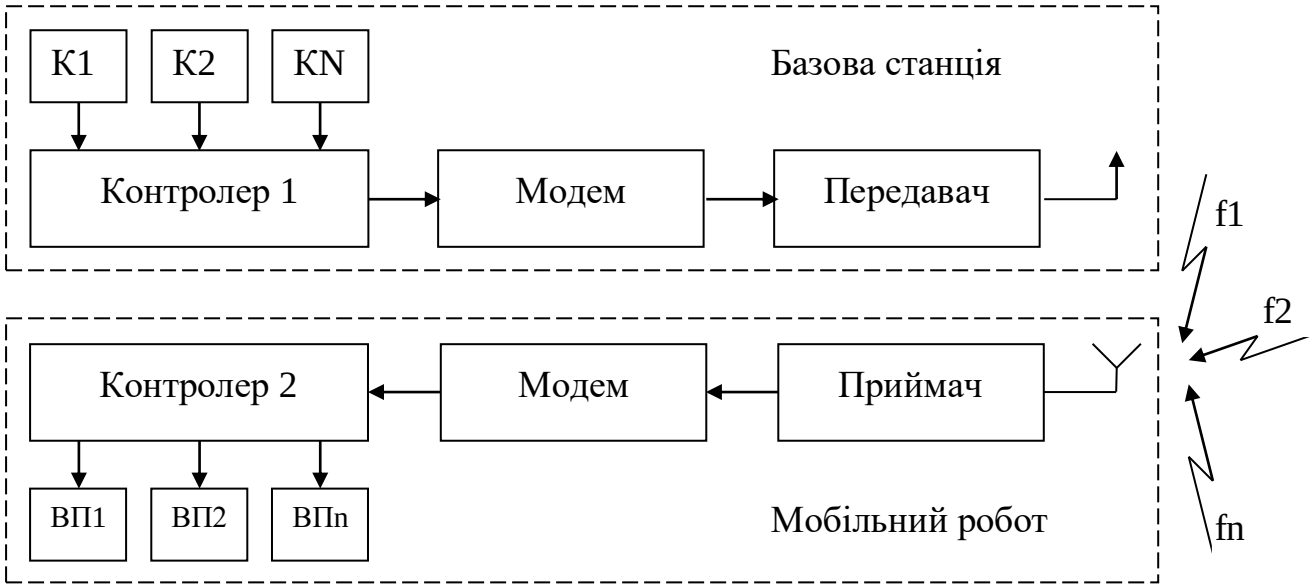

Рисунок 1.1 – Структурна схема односпрямованої радіоканальної системи з частотним рознесенням каналів

До складу системи дистанційного керування входять:

– К1-Кn –кнопки керування з дискретними виходами;

– контролер 1 –опитує стан кнопок керування, формує команди управління мобільним роботом, передає цю інформації модему і далі передавачу;

– контролер 2 – здійснює управління роботою мобільного роботу на основі прийнятих команд від передавальної станції;

– модуль радіопередавача;

– модуль радіоприймача;

– модеми приймального і передавального блоків;

– ВП1-ВПn – виконавчі пристрої мобільного робота.

В якості виконавчих пристроїв виступають:

– двигуни;

– маніпулятор;

– органи освітлення;

– звукові сигналізатори;

– відеокамери.

При побудові даної системи виникають складності в реалізації багатоканального приймача. Смуга частот, яку займає системою, буде дорівнювати:

$$\Delta F = \Delta f n, \tag{1.1}$$

де Δf – смуга частот, яку займає один радіоканал,

n – число необхідних радіоканалів для системи (число окремих мобільних роботів).

Таким чином, ця система ефективна в тих випадках, коли число мобільних роботів невелика, та необхідно забезпечити безперервне керування рухом віддалених пристроїв. Серед систем, які мають безліч об'єктових станцій і де не потрібно безперервне спостереження за станом датчиків, дана система є

неефективною,тому що вона буде займати більшу смугу частот, яка буде неефективно використовуватися.

Недоліком цієї системи є те, що інформація при передачі може спотворитися в каналі зв'язку і на приймальному кінці будуть отримані недостовірні дані про команди керування. При безперервному управлінні ці помилки будуть короткочасні й майже відразу видно. Усунення цього недоліку також можливо при застосуванні завадостійкого кодування, що застосовується в сучасних промислових радіомодемів.

1.1.2 Радіоканальна система з часовим рознесенням каналів

У даній системі, на відміну від попередньої, все мобільні роботи працюють в одному частотному каналі, та по черзі передають дані про стан датчиків. На рис.1.2 представлена структурна схема системи з часовим поділом каналів[8].

До складу схеми входять:

– Д1-Д3 – датчики з дискретними виходами;

– таймер зі стартовою корекцією, здійснює тимчасову синхронізацію режиму передачі;

– контролер 1 – здійснює оцінку стану датчиків, передачу цієї інформації модему і управління роботою модему;

– модуль радіопередавача;

– модуль радіоприймача;

– модеми на приймальні і передавальної сторони;

– контролер 2 – здійснює управління роботою модему і управляє світлодіодною індикацією;

– І1-І3 – світлодіодні індикатори на пульті керування.

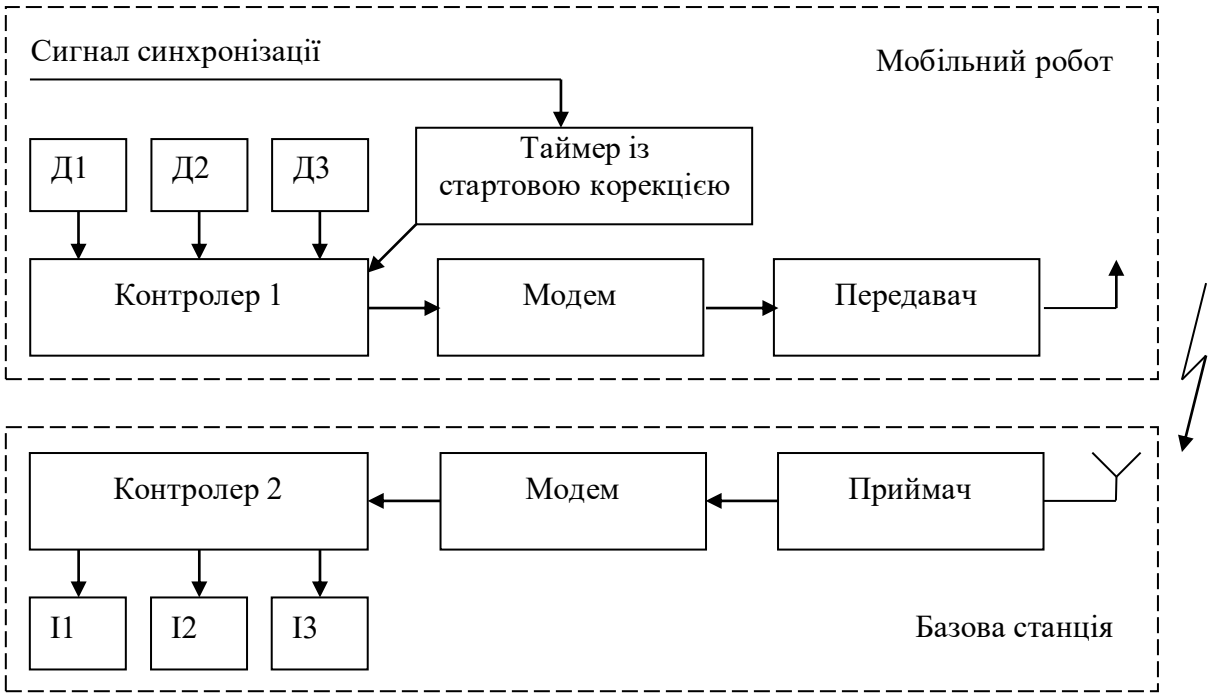

Рисунок 1.2 – Структурна схема радіоканальної система з часовим рознесенням каналів

Мінімальний час T_{min} для отримання даних про стан датчиків всіх мобільних роботів визначається з формули:

$$T_{min} \approx N(t_{сп} + t_{оп} + t_{сод} + t_{пп} + \Delta t_з), \quad (1.2)$$

де N – кількість об'єктових станцій, що працюють на одному частотному каналі;

$t_{сод}$ – час на збір і обробку даних з датчиків;

$t_{сп}$ – час на створення інформаційного пакету;

$t_{пп}$ – час на передачу інформаційного пакета в канал зв'язку та його прийом (часом поширення нехтуємо);

$t_{оп}$ – час на обробку інформаційного пакету, видачу даних;

$\Delta t_з$ – захисний інтервал.

При використанні сучасної елементної бази, яка має високу тактову частоту (високу швидкість обробки), деякими інтервалами можна знехтувати.

Тоді формула (1.2) матиме вигляд:

$$T_{min} \approx N(t_{nn} + \Delta t_з). \quad (1.3)$$

З формули (1.3) видно, що мінімальний час для отримання даних про стан датчиків всіх об'єктових станцій залежить:

– від часу на передачу даних і їх прийом, тобто від швидкісних характеристик модемів і довжини інформаційного пакету;

– від захисного інтервалу, який залежить від максимально можливої похибки синхронізації.

При проектуванні систем з часовим рознесенням, часто можуть виникати проблеми з організацією синхронізації рознесених в просторі передавачів об'єктових станцій.

Ця система ефективна в тих випадках, коли потрібно періодичне отримання даних про стан датчиків. Число об'єктових станцій в такій схемі теоретично необмежено.

Недоліком представленої вище системи є те, що інформація при передачі може спотворитися в каналі зв'язку, і на приймальному кінці будуть отримані недостовірні дані про стан датчиків. Перевірити достовірність цих даних можна тільки при аналізі наступних даних від датчиків цієї об'єктової станції. Якщо система підтримує завадостійке кодування з виявленням помилок, ця перекручена інформація буде втрачена. Також доведеться чекати наступних сеансів зв'язку з даною об'єктової станцією. Якщо навіть система підтримує завадостійке кодування з виправленням n – кратних помилок, завжди існує ймовірність що станеться n+1 кратна помилка, хоча ймовірність її появи і набагато менше.

Даний тип радіоканальної системи найчастіше використовується для вирішення задачі моніторингу стану роботи мобільних роботизованих пристроїв.

1.2.3 Дуплексна радіоканальна система

Даний тип системи радіочастного управління має два канали зв'язку [8]:

– інформаційний канал;

– канал управління.

Ця система позбавлена основних недоліків попередніх двох систем.

На рис.1.3 представлена структурна схема дуплексної радіоканальної системи.

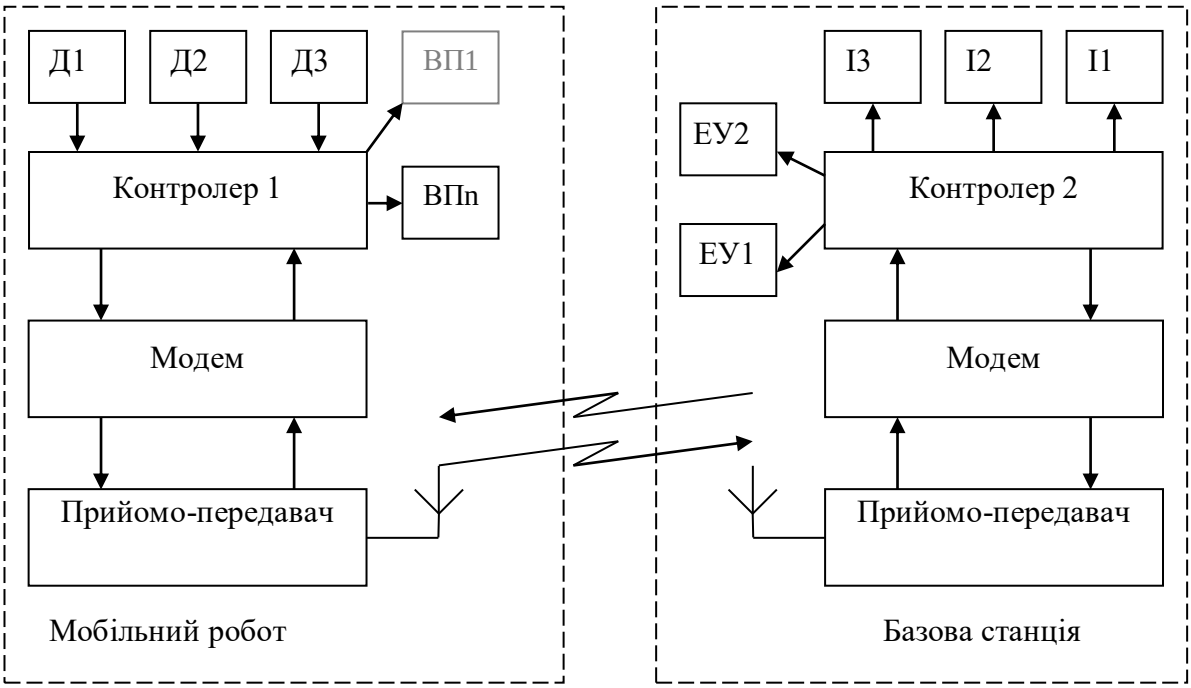

Рисунок 1.3 – Структурна схема двобічної радіоканальної системи

До складу схеми входять:

– Д1-Д3 – датчики з дискретними виходами;

– контролер 1, щоздійснює оцінку стану датчиків, передачу цієї інформації модему і управління режимами роботи модему, управління релейними керуючими елементами;

– два модуля приймача;

– модеми на приймальні і передавальної сторони;

– контролер 2, що здійснює управління режимами роботи модему і управляє світлодіодною індикацією, а так само по командної радіолінії управляє режимами роботи мобільного робота і його елементами управління;

– І1-І3 – світлодіодні індикатори на пульті керування;

– ВП1-ВПn – виконавчі пристрої мобільного робота;

– ЕУ1-ЕУ2 – елементи управління.

Дана система може працювати в 3 режимах:

– періодичний опитування об'єктових станцій про стан датчиків;

– "безперервне спостереження" за станом однієї з об'єктових станцій;

– дистанційне керування системами об'єктових станцій (мобільними роботами).

При періодичному опитуванні мінімальний час для отримання даних про стан датчиків всіх об'єктових станцій дорівнює:

$$T_{min} \approx 2Nt_{nn}, \tag{1.4}$$

де t_{nn}– час на передачу пакету "запит" в канал зв'язку і прийом пакета "відповідь" (часом поширення нехтуємо).

При "безперервному спостереженні" в даній системі опитується одна і та ж об'єктова станція, і дані про стан датчиків будуть надходити з інтервалом:

$$t_{min} \approx 2t_{nn}. \tag{1.5}$$

Таким чином, технічні характеристики даної системи залежать від швидкісних характеристик модемів і від довжини інформаційних пакетів. Перевагою даної системи є те, що в ній, при спотворенні інформаційного пакета, можна здійснити повторний запит на передачу даних про стан датчиків. Дана система є більш складною у порівнянні з розглянутими вище системами, тому що вона включає і апаратуру для каналу управління.

1.2 Аналіз принципів побудови пультів дистанційного управління рухом мобільного робота

1.2.1 Переносна базова станція

Базові станції часто використовуються для організації віддаленого зв’язку оператора з мобільним роботом. Вони можуть складатися з великої кількості різного обладнання та відсіків. Існують стаціонарні та переносні базові станції. Також існують портативні пульти керування, що можуть бути застосовані прямо з рук оператора.

Переносна базова станція може включати:

– основну батарею, можливо, використовувану для живлення РК-монітора та/або FPV окулярів і, можливо, відеоприймача;

– допоміжна батарея для передавача та/або відеоприймача;

– кріплення для РК-монітора та/або місце для FPV-окулярів;

– кріплення для відеоприймача;

– місце зберігання апаратури управління;

– кріплення для антени великої дальності (або місце для переносної спрямованої антени);

– місце зарядного пристрою для основного акумулятора;

– місце для запасних частин для дрона (пропелери, мотори, акумулятори, елементи рами).

Базова станція не обов'язково є комерційно виробленим продуктом, який легко може бути використаний з будь-яким безпілотним застосуванням, навпаки, вона може бути спроектована і побудована користувачами мобільних роботів або дронів самостійно. Приклад реалізації переносної базової станції показано на рисунку 1.4.

Рисунок 1.4 – Приклад реалізації переносної базової станції[9]

Зазвичай створення базової станції починається з вибору міцного футляра для перенесення (наприклад Pelican або Nanuk), хоча також можна використовувати/адаптувати рюкзак з жорсткою рамою. Часто для встановлення антени вище землі використовується штатив.

На рисунку 1.5 показано приклад реалізації компактної базової станції Drone Space.

Рисунок 1.5 – Drone Space [10]

Наземна станція керування для FPV-дронів Drone Space є незамінним інструментом для пілотів, яким потрібне надійне та ефективне управління їхніми дронами. Ця система розроблена з метою забезпечення безпеки польотів та підвищення комфорту операторів.

Першою важливою характеристикою системи є її універсальність. Вона підходить для управління FPV-дронами різних марок та моделей, що робить її універсальним рішенням для різних потреб. Крім того, вона сумісна із популярними системами FPV-трансляції та легко налаштовується під конкретні вимоги користувача.

Другою важливою характеристикою є надійне керування. Система забезпечує стабільний та точний контроль над дроном, що робить пілотування безпечним та ефективним. Вона також запобігає втраті сигналу та розширює можливості пілотування, дозволяючи оператору досліджувати нові горизонти.

Багатофункціональний дисплей є ще однією важливою складовою системи. Він відображає всю необхідну інформацію про політ, дозволяючи оператору стежити за параметрами дрону, FPV-трансляцією та телеметрією. Це забезпечує повний контроль за ситуацією під час польоту.

Система також відрізняється зручністю використання. Завдяки своєму ергономічному дизайну та простим елементам управління вона підходить для пілотів із будь-яким рівнем досвіду. Крім того, вона є розширюваною, що дозволяє підключати додаткові пристрої та розширювати функціонал системи.

На рисунку 1.6 показано приклад базової станції в розкладеному стані.

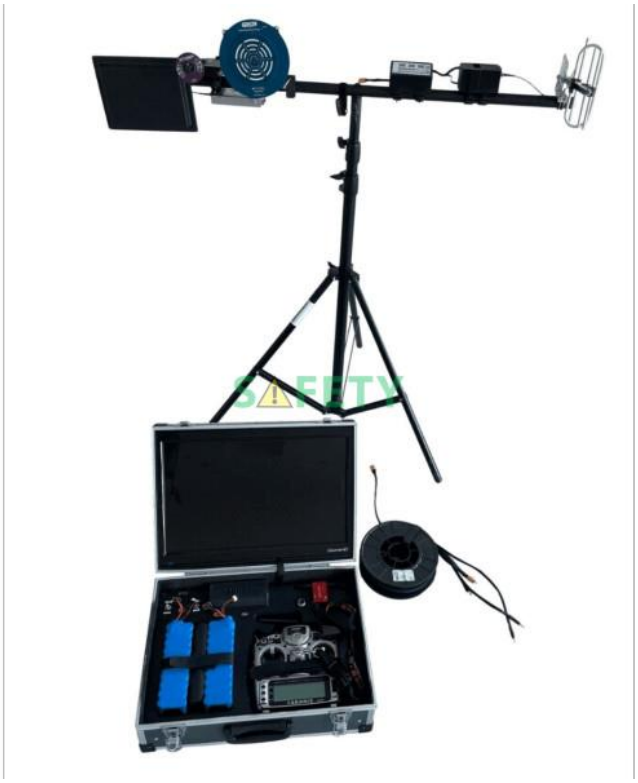

Рисунок 1.6 – Приклад базової станції в розкладеному стані [10]

Технічні характеристики наземної станції включають:

– робоча частота: 1,2 G, 5.8 G (868 /915 Мгц);

– довжина щогли: 3 м;

– довжина кабелю: 20 м;

– діагональ монітора: 19 дюймів;

– тип акумулятора: li-on 3s10p 18650 30Агод;

– час автономної роботи: 5 годин;

– вага: 15 кг (4,5 кг щогла, 10,5 кг кейс);

– габарити щогли: 120 см × 35 см × 35 см;

– габарити кейсу: 46 см × 33 см × 15 см;

– комплектація: кейс – 1 шт; модуль відеоприймання з антенами: 1,2 G – 2 шт; 5,8 G – 2 шт; антена управління 868 МГц – 1 шт; антена управління 915 МГц – 1 шт; TBS – 1 шт; ELRS – 1 шт; ПУ – 1 шт; щогла 3 м – 1 шт.

1.2.2 Стаціонарні базові станції управління безпілотними пристроями

Наземні стаціонарні станції управління та контролю призначені для прийому телеметричної інформації з безпілотних апаратів та роботів, передачі на мобільні рухомі пристрої керуючих впливів та програм, проведення траєкторних вимірювань (вимірювання кутових координат апарату та дальності до нього), контролю стану та функціонування корисного навантаження апарата під час проведення випробувань та у процесі эксплуатации.

Такі станції входять до складу Командно-вимірювального комплексу – сукупності засобів та служб, за допомогою яких здійснюється керування рухом різних безпілотних об'єктів [11]. Пункти командно-вимірювального комплексу можуть бути розташовані на суші, на суднах або на борту літаків. У складі контрольних станцій контролюбезпілотних угруповань та наглядових органів працюють також засоби геолокації земних станцій супутникового зв'язку та пошуку джерел перешкод у супутникових мережах (рис. 1.7).

Рисунок 1.7 – Приклад обладнання наземної стаціонарної базової станції

Через свою чутливу та критичну природу центри командування та управління повинні підтримувати 100% безвідмовну роботу, особливо під час запланованих навчань і реальних операцій. Розробка та впровадження програми технічного обслуговування, підтримки та ремонту допомагає забезпечити необхідний час безвідмовної роботи та оптимальну продуктивність центру.

Технічне обслуговування, підтримка та ремонт передбачає розробку та виконання стандартних операційних процедур, конкретних вимог до обслуговування та регулярного профілактичного обслуговування. Іноді командно-контрольному центру доводиться проводити планове відключення, щоб перемістити, оновити або внести інші зміни.

1.2.3 Портативна апаратура для керування рухомими мобільними пристроями

Компанія FORT Robotics, піонер у розробці рішень для керування роботами, представила пристрій Safe Remote Control Pro, який дозволяє користувачам керувати декількома машинами, такими як автономні роботи та

важке обладнання, з безпечної відстані, а також пропонує вбудований SIL 3– сертифікована кнопка аварійної зупинки (рис. 1.8) [12].

Рисунок 1.8 – Портативний пристрій Safe Remote Control Pro для керування автономними роботизованими пристроями

Надійний бездротовий контролер можна підключити до 30 машин, що дає користувачам можливість керувати парком машин за допомогою одного пульта дистанційного керування. Safe Remote Control Pro можна використовувати для тимчасового контролю над автономними транспортними засобами, дозволяючи користувачам переміщати транспортні засоби до та з місій і легко перемикатися між ручним і автономним режимами.

Пульт дистанційного керування можна використовувати з роботами на складах і виробництві, а також з важкою технікою в сільському господарстві, будівництві, гірничодобувній промисловості тощо. Дистанційне керування знижує ризик отримання травм навколо небезпечного обладнання, а простий у використанні контролер допомагає операторам підвищити продуктивність, мінімізувати потребу в додатковому персоналі та запобігти незапланованим простоям.

Safe Remote Control Pro від FORT використовує Bluetooth Low Energy (BLE) для додатків малого радіусу дії та радіодіапазон ISM для більших діапазонів (915МГц і 868 МГц). Він має сертифіковану SIL 3 кнопку аварійної зупинки для негайного вимкнення, щоб запобігти травмам, пошкодженню або простою в небезпечній ситуації. Легкий, міцний пульт дистанційного керування призначений для комфортного використання протягом усього дня, а знайомий ігровий дизайн вимагає мінімального навчання, що дозволяє користувачам швидко почати працювати.

Контролер також має функції визначення падіння, орієнтації та залишення, які призупинять машину чи транспортний засіб, якщо пульт дистанційного керування неправильно обробляється, його впускають або він тривалий час не працює. Додаткові функції включають програмування CANOpen, корпус IP65 і 18-годинний час автономної роботи.

Як і інші пристрої серії FORT Pro, Safe Remote Control Pro має безпечне мікропрограмне забезпечення для захисту від загроз кібербезпеці, включаючи надійні протоколи для безпечного завантаження, конфігурації та оновлень, що гарантує, що лише схвалені пристрої можуть спілкуватися один з одним. Контролер також можна безпечно налаштувати та керувати за допомогою хмарної платформи FORT Manager, доступної через веб-додаток без коду або через доступ через API для прямої інтеграції з існуючою системою.

1.3 Постановка задачі

Проведений аналіз літератури та аналогічних рішень показав, що існують різні види систем віддаленого керування мобільними рухомими роботами. Для цього використовуються рішення як з однобічним принципом керування, коли сигнал йде тільки в бік роботу, а назад вже не повертається, так і з двобічним принципом обміну повідомлення, коли базова станція отримаю зворотну інформацію про стан мобільного робота.

Розглянуті основні принципи побудови базових станцій для дистанційного керування. Серед різних типів базових станцій можна виділили стаціонарні, переносні та портативні пульти керування.

Розглянуті переваги та недоліки кожного з наведених типів дали змогу виділити тип пульту керування для подальшої розробки. Таким типом є портативний пульт дистанційного керування з реалізацією функції зворотного контролю за станом мобільного пристрою.

В подальшій роботі потрібнозробити наступне[13]:

– розробити архітектуру взаємодії між пультом дистанційного керування та мобільним пристроєм;

– виконати побудову структурної схеми системи;

– обрати тип радіомодему для вирішення задачі збільшення радіусу дії системи дистанційного керування;

– описати розташування органів керування на пульті дистанційного управління;

– розробити схему поєднання основних компонентів пульту дистанційного керування.

2 ПРОЕКТУВАННЯСИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

2.1 Розробка архітектури системи дистанційного керування мобільним роботом

На рисунку 2.1 показана архітектура системи дистанційного керування мобільним роботом.

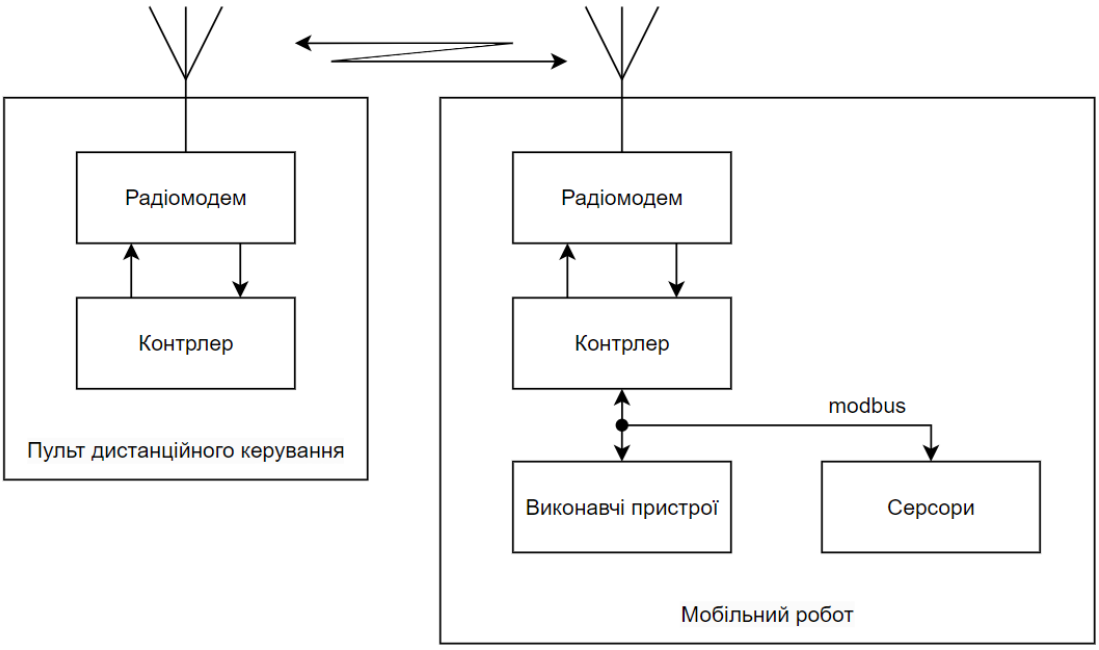

Рисунок 2.1 – Архітектура системи дистанційного керування мобільним роботом [14]

Наведена схема показує основні компоненти системи дистанційного керування:

– пульт дистанційного керування;

– модуль управління мобільним роботом.

Пульт дистанційного керування на основі радіопередавача є ключовим елементом управління мобільним роботам та його виконавчими пристроями, що працюють на великій відстані від оператора. Принцип його роботи полягає в передачі сигналів через радіохвилі, які забезпечують бездротовий зв'язок між пультом керування і роботом.

До складу пульту дистанційного керування входять:

– органи керування (кнопки, регулятор);

– індикатори;

– джерело автономного живлення.

Структурна схема пульта дистанційного керування показана на рисунку 2.2.

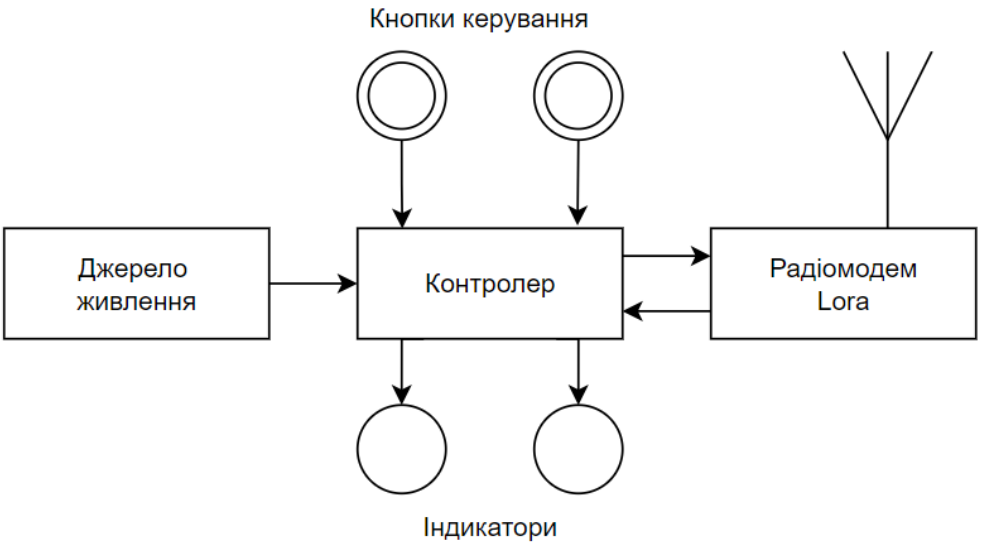

Рисунок 2.2 – Структурна схема пульта дистанційного керування

Кнопки та джойстик використовуються оператором для надання команд роботу. Вони можуть включати рухи вперед, назад, вліво, вправо, а також інші функції, такі як підйом, опускання, поворот маніпулятора і т.д.

Передавач радіосигналів знаходиться в пульті керування і відповідає за генерацію радіосигналів, які відправляються до приймача на роботі. Передавач

перетворює сигнали з контролеру, який, в свою чергу, отримує їх від кнопок або джойстика в радіосигнал, який потім відправляються через антенну.

В мобільному роботі використовується приймач радіосигналів, який отримує команди, відправлені з пульта керування. Приймач декодує ці сигнали і передає їх вбудованій системі управління роботом.

Пульт керування живиться від батарей або акумуляторів, що забезпечує його роботу в автономному режимі.

Структурна схема модуля управління мобільним роботом показана на рисунку 2.3.

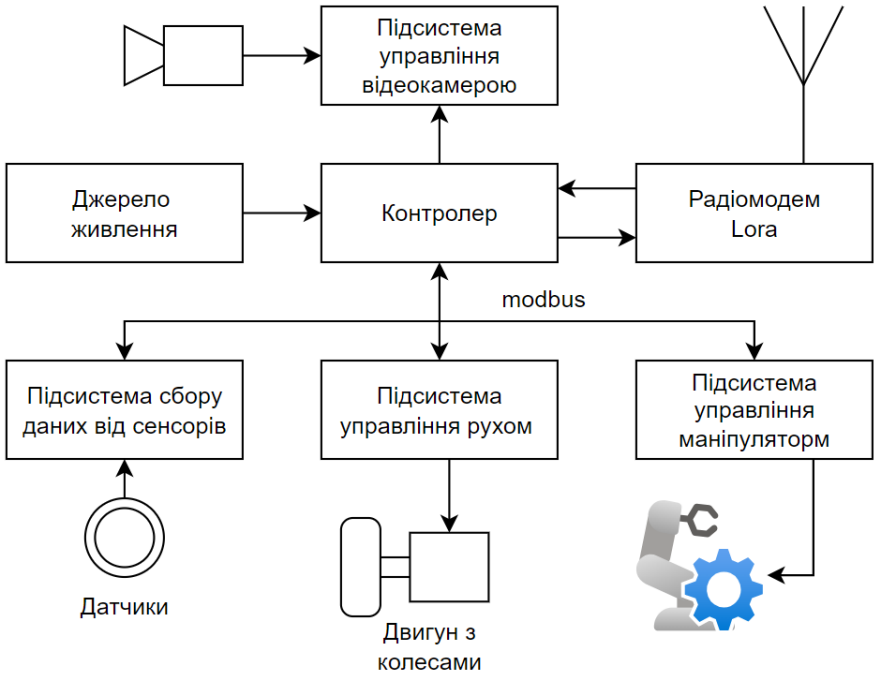

Рисунок 2.3 – Структурна схема модуля управління мобільним роботом [15]

Приймання команд від пульту дистанційного керування відбувається через радіомодем, що працює на основі технології Lora.

Контролер одержує прийняті пакети даних і виконує їх розкодування. Фізичний рівень LoRa включає 8 символів преамбули, 2 символи синхронізації, фізичні дані та додаткову CRC (рис. 2.4).

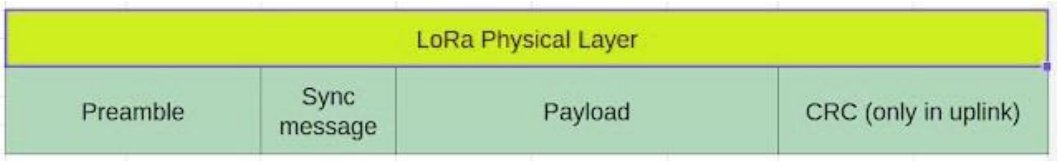

Рисунок 2.4 – Фізичний рівень LoRa [15]

Технологія LoRa використовує асинхронний режим прийому-передачі, у якому передавач може почати генерацію радіосигналу в будь-який момент часу. В цьому випадку потрібен механізм, що забезпечує синхронізацію приймача сигналом від передавача. Преамбула використовується для виявлення сигналів LoRa. Вона включає послідовність символів, що дозволяють приймачеві виявити активність передавача, визначити коефіцієнт розширення спектра (SF), що використовується передавачем, і виконати символьну синхронізацію.

Повідомлення синхронізації використовується для визначення початку даних. Дані містять MAC-команди та/або повідомлення. CRC використовується для перевірки помилок блоку.

На основі прийнятих даних формуються пакети інформації, що передаються внутрішню мережею за протоколом modbus. Даний протокол дозволяє адресувати 247 підлеглих пристроїв.

Дана мережа є універсальною і може підтримувати додавання нових модулів в процесі використання розробленої системи, що робить її гнучкою і придатною до змін.

На рисунку 2.3 до контролеру через інтерфейс RS-485 з використанням протоколу modbus підключені такі модулі:

– підсистема сбору даних від сенсорів;

– підсистема управління рухом;

– підсистема управління маніпулятором.

Окремо до контролеру підключається підсистема управління відеокамерою.

2.2 Опис технології зв’язку на дальні відстані Lora

LoRa (Long Range) – це технологія бездротового зв'язку, призначена для з’єднання на великі відстані та зв’язку з низьким енергоспоживанням. Ця технологія запатентована компанією Semtech і реалізована в мікросхемах приймачів (трансіверів), таких як SX1268, SX1276, SX1278 та ін[18].

Залежно від вихідної потужності передавача, типу антени, робочої частоти, наявності перешкод та інших чинників дальність зв'язку може становити від сотень метрів до десятків кілометрів. Ця технологія бездротового зв'язку широко використовується в промисловому IOT, розумних містах, логістиці, розумному сільському господарстві, в комунальних послугах, охороні здоров'я, торгівлі та ін.

Слід наголосити, що на основі модуляції LoRa існує протокол рівня керування доступом до медіа (MAC) – LoRaWAN. Це програмний рівень, який визначає, як пристрої використовують обладнання LoRa (наприклад, коли вони передають) і формат повідомлень(рис. 2.5).

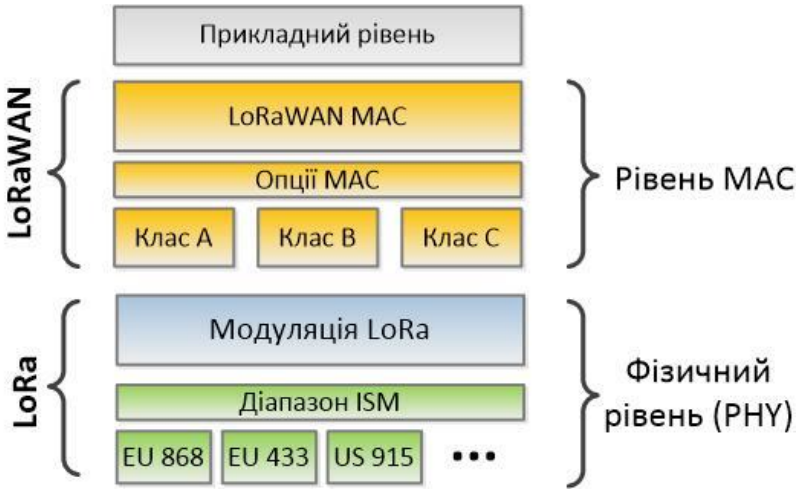

Рисунок 2.5 – OSI модель LoRaWAN [16]

Радіотехнологія LoRa має такі особливості:

– зв'язок на великих відстанях (більш ніж 15 км у сільській місцевості та 5+ км в міських районах);

– низька споживана потужність (датчики можуть працювати від 5 років до 10 і більше років на батарейках);

– безпека зв'язку (28-бітове шифрування AES);

– точна геолокація в мережі LoRaWAN (визначення місцезнаходження з точністю до десятків метрів без GPS);

– LoRa працює в безліцензійних діапазонах ISM, як 433, 868, і 915 МГц;

– можливість двонапрямного зв'язку;

– швидкість передачі даних LoRa невелика, близько від 2400біт/с до 9200 біт/с.

Ця технологія підходить для передачі даних невеликого розміру (наприклад, даних датчиків) на великі відстані. Модуляція LoRa забезпечує значно більший діапазон зв’язку з низькою пропускною здатністю, ніж інші конкуруючі технології бездротової передачі даних.

В таблиці 2.1 наведено порівняння технології LoRa з іншими технологіями зв'язку на велику відстань [17].

Таблиця 2.1 – Порівняння технології LoRa з іншими технологіями зв'язку на велику відстань

Параметр	LoRa	Narrow-Band	LTE Cat-1	LTE Cat-M	NB-LTE
Модуляція	SS Chirp	UNB/GSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Пропускна здатність	від 500 кГц до 125 кГц	100 Гц	20 МГц	від 20 МГц до1,4 МГц	200 кГц
Швидкість передачі даних	від 290 б/с до 50 кб/с	100 біт/с	10 Мбіт/с	від 200 кб/с до 1 Мб/с	20 кб/с
Максимальна вихідна потужність	20 дБм	20 дБм	від 23 дБм до 46 дБм	23/30 дБм	20 дБм
Час життя батареї	105 місяців	90 місяців	-	18 місяців	-
Безпека	Так	Ні	Так	Так	Так

З наведеної таблиці можна бачити, що технологія LoRa забезпечую мінімальне споживання енергії при високій швидкості передачі даних і великій відстані (на декілька кілометрів). Таким чином, дану технологію рекомендується використовувати в мобільній робототехніці, тому що в даній галузі основним критерієм є максимальний час автономної роботи, захищеність каналу зв’язку та велика відстань між передавачем і приймачем.

Радіопередавач LoRa використовує модуляцію з розширеним спектром, який поширює вузькосмуговий сигнал на ширшу смугу каналу (рис. 2.6).

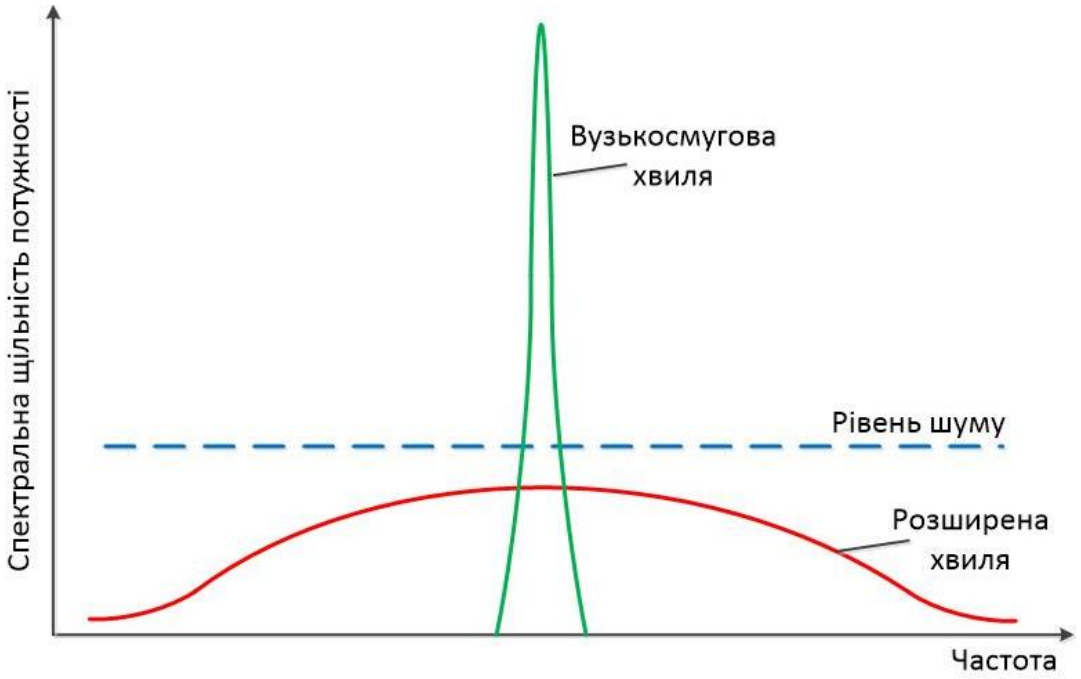

Рисунок 2.6 – Модуляція з розширеним спектром

Для розширення спектра використовується спеціальний код (псевдошум). І цей самий код слід використовувати для звуження спектра сигналу в приймачі. Під час множення сигналу даних на цей код з бітовою структурою зі значно вищою швидкістю, створюється «швидший» сигнал, який має компоненти з вищою частотою, ніж вихідний сигнал даних.

Таким чином радіосигнал поширюється у набагато ширшій смузі пропускання. При певних параметрах можна домогтись того, що потужність цілком може бути розсіяна так, що загальний сигнал впаде у фоновий радіошум

– і стане невидимим. Цей тип модуляції дозволяє бездротовим системам LoRa демодулювати сигнали, що знаходяться на 20 дБ нижче рівня шуму, коли демодуляція поєднується з корекцією помилок переадресації.

Для модуляції самих даних Lora використовує техніку лінійної частотної модуляції з розширеним спектром Chirp (Chirp Spread Spectrum, CSS) – спеціалізований тип модуляції FSK.

Суть CSS зводиться до варіації лінійної модуляції частоти. Це сигнал, частота якого з часом зростає або зменшується.

Доступні два типи Chirp – Chirp Up (збільшення частоти) і Chirp Down (зменшення частоти).

На рисунку 2.7 показано тип передачі Chirp Up [18].

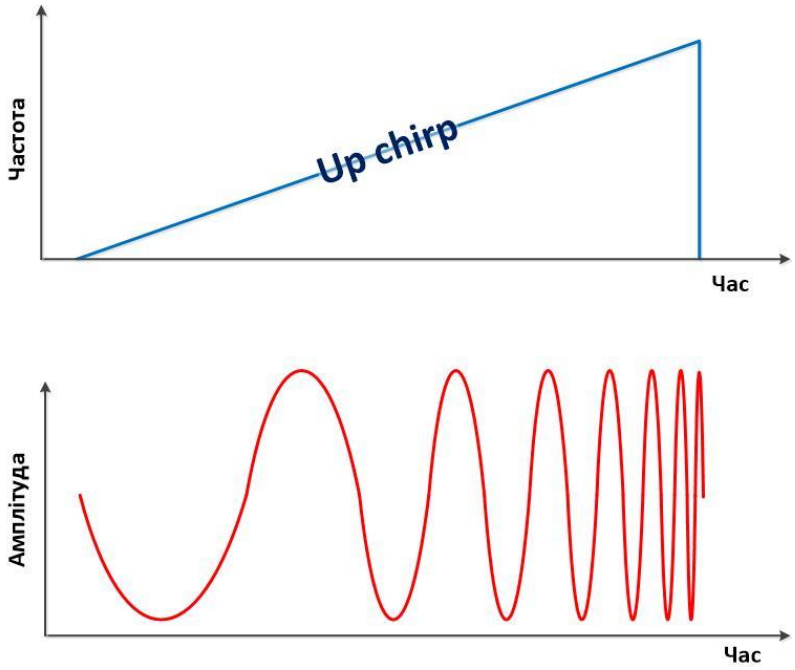

Рисунок 2.7 – Тип передачі Chirp Up

На рисунку 2.8 показано тип передачі Chirp Down [19].

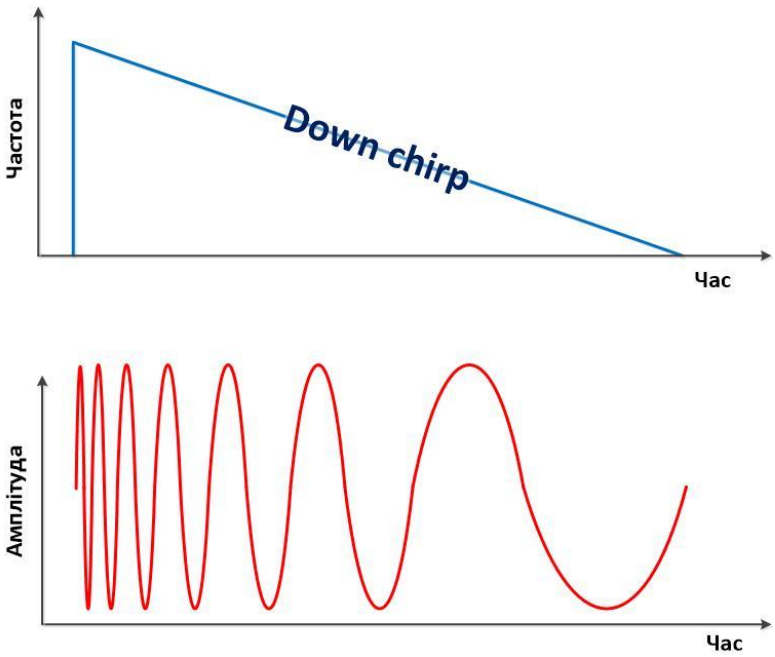

Рисунок 2.8 – Тип передачі Chirp Down

Кожен символ представлений циклічно зміщеним Chirp у частотному інтервалі від

$$f_0 - \frac{B}{2} \text{до} f_0 + \frac{B}{2}, \tag{2.1}$$

де f_0 – центральна частота;

B – смуга пропускання сигналу (у Герцах).

Коефіцієнт поширення (SF) – це параметр, який допомагає вирішити, скільки типів символів буде передано протягом одного періоду T_M.

Існує $M = 2^{SF}$ різних початкових частот циклічного зміщення Chirp.

Якщо SF = 7, тоді загальна кількість різних символів становить 128-1. Наприклад, SF = 2, він підтримує всього 4 типи символів. Приклад сигналу, що містить послідовність бітів 11 01 10 00, зображено на рисунку2.9.

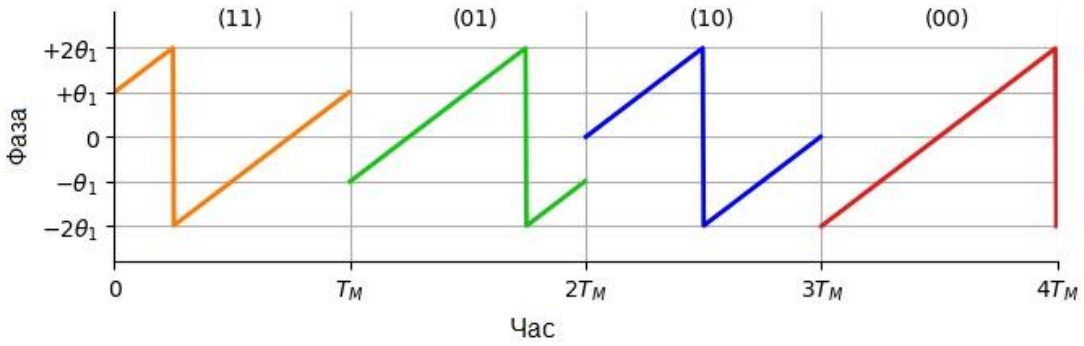

Рисунок 2.9 – Приклад сигналу, що містить послідовність бітів 11 01 10 00

З точки зору побудови сигналу, ці фази є круговими зсувами (за номером символу) одного базового сигналу, як показано на рисунку2.10, де вищевказані чотири сигнали накладені один на одного.

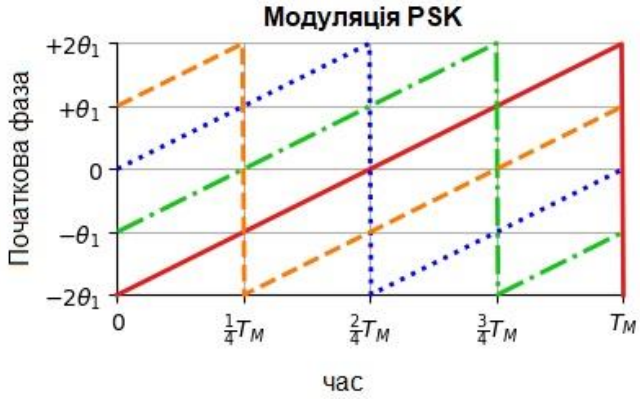

Рисунок 2.10 – Побудова сигналу в часі

Lora використовує коефіцієнти поширення від SF7 до SF12. Передавачі LoRa формують CSS радіосигнали з шириною спектра (BW) 125, 250 або 500 кГц (рис. 2.11). При фіксованій ширині спектра радіосигналу BW зміна його бази здійснюється внаслідок зміни тривалості Tsym та швидкості зміни частоти.

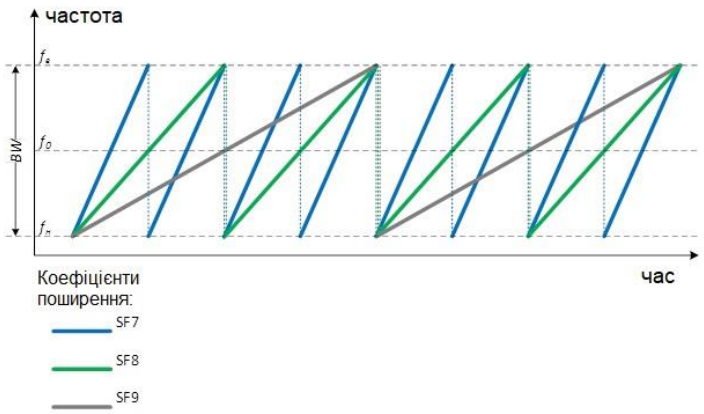

Рисунок 2.11 – Коефіцієнти поширення від SF7 до SF12

Демодуляція прийнятого сигналу на стороні приймача полягає в тому, щоб зрозуміти символи та зробити процедуру де-chirp. Це робиться шляхом математичної кореляції отриманого сигналу. Для цього перевіряють подібність кожного символу та визначають максимальний коефіцієнт кореляції.

На рисунку 2.12 наведено алгоритм демодуляції прийнятого сигналу.

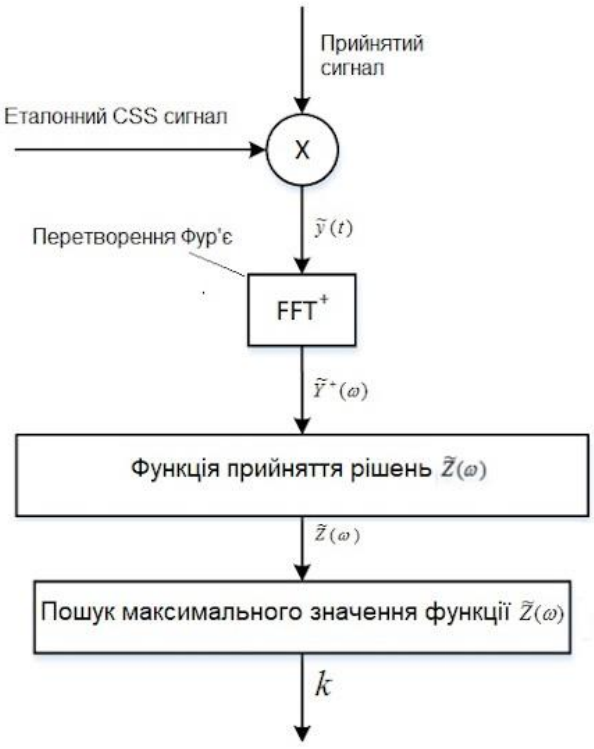

Рисунок 2.12 – Алгоритм демодуляції прийнятого сигналу

2.3 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного управління мобільними роботом

Алгоритм роботи системи дистанційного управління мобільними роботом представлено на рисунку 2.13.

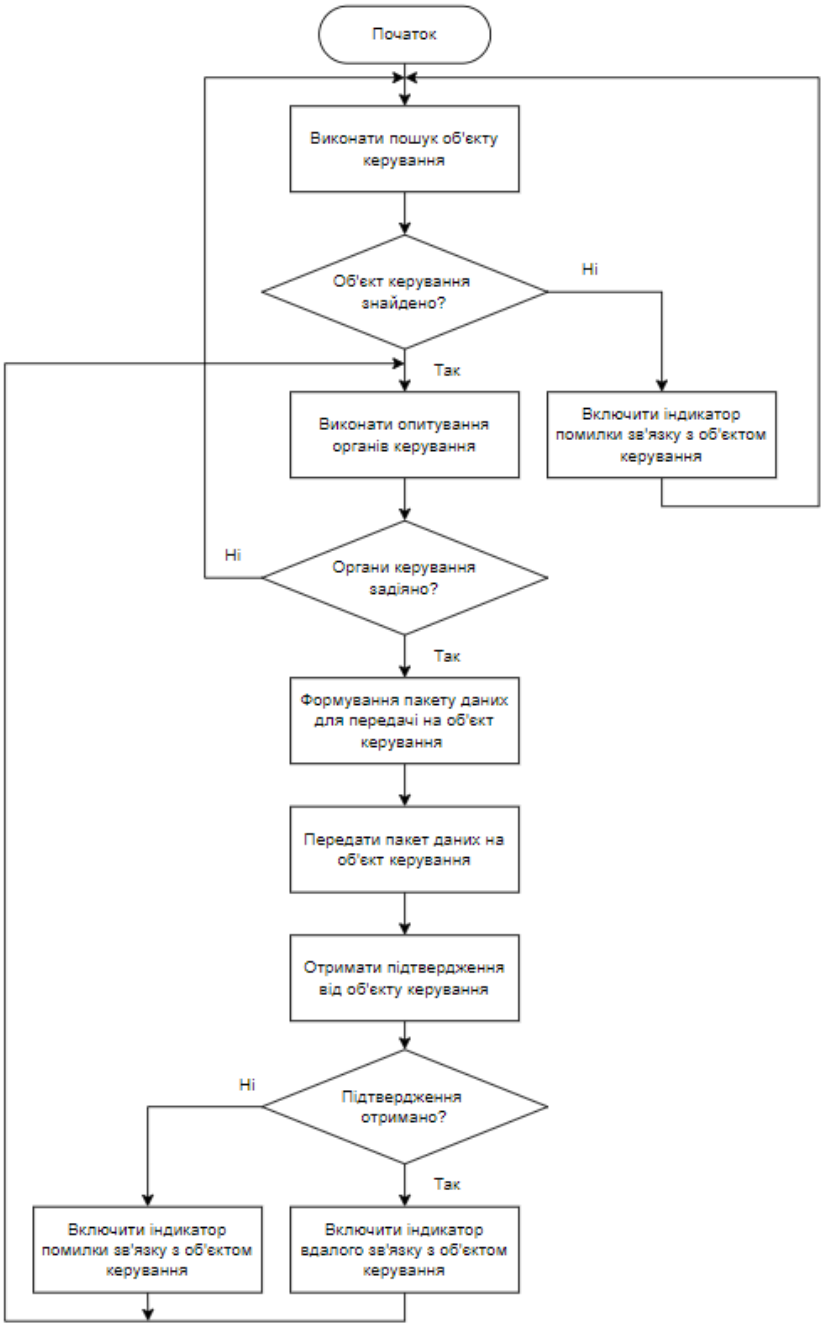

Рисунок 2.13 – Алгоритм роботи системи дистанційного управління мобільними роботом

Після включення пульту дистанційного керування виконується пошук об'єкту керування. Якщо об'єкт керування знайдено, виконати опитування органів керування. В якості органів керування виступають кнопки та змінний резистор.

Контролер виявляє зміни в стані органів керування. Якщо такі зміни виявлено, то обчислюється поточний стан відповідного пристрою та формується пакет даних для передачі на об'єкт керування.

За допомогою радіомодему LoRa виконується передача пакету даних на об'єкт керування.

Радіомодем підтримує функцію квітування, тобто підтвердження отриманих пакетів даних. Після отримання підтвердження від об'єкту керуваннявключається індикатор вдалого зв'язку з об'єктом керування.

Вразі не отримання підтвердження, або отримання повідомлення про помилку передачі пакету даних Вмикається індикатор помилки зв'язку з об'єктом керування.

Також, індикатор помилки зв'язку з об'єктом керування вмикається при невдалому пошуку мобільного роботу на початку роботи пульту дистанційного керування.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Опис конструкції пульту дистанційного керування

Ескіз пульта дистанційного керування показано на рисунку 3.1.

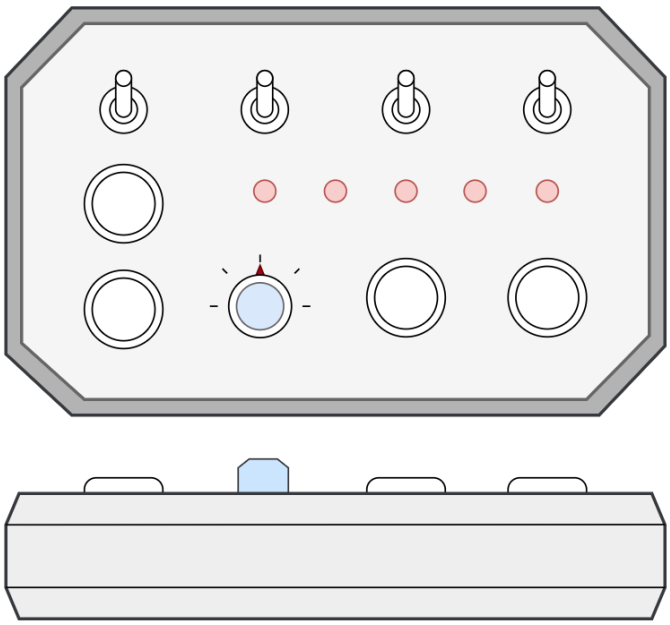

Рисунок 3.1 – Ескіз пульта дистанційного керування

Пульт дистанційного керування планується виготовити у вигляді портативного пристрою в пластиковому корпусі. Для виготовлення корпусу будуть застосовані технології 3D друку.

До складу органів управління входять:

– чотири кнопку управління;

– змінний резистор;

– п’ять світлодіодних індикатори;

– чотири перекидні тумблери.

На рисунку 3.2 наведено ескіз передньої панелі пульта дистанційного керування.

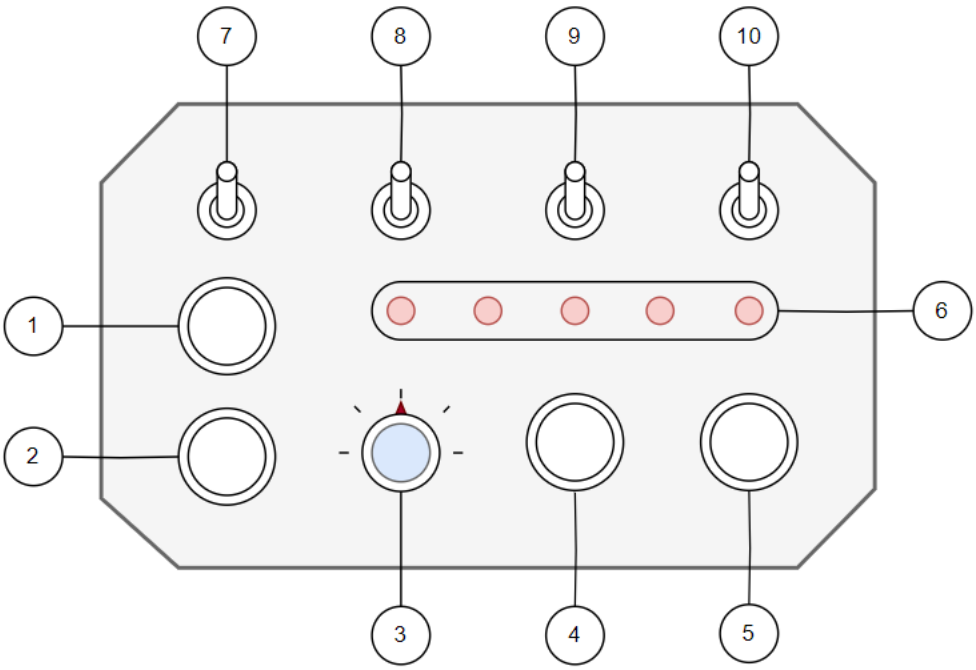

Рисунок 3.2 – Ескіз передньої панелі пульта дистанційного керування

Кнопки 1 та 2 призначені для керування рухом мобільної платформи. Кнопка 1 генерує команду для руху вперед, а кнопка 2 – для руху назад.

Для регулювання максимальної швидкості використовується змінний резистор 3. Його ручка має ділення, що дають змогу операторові визначати значення швидкості, що регулюється.

При натисканні на кнопки 1 та 2 робот плавно розганяється до максимальної швидкості. При відпускання кнопок робот зупиняється максимально швидко.

Кнопки 4 та 5 призначені для управління розворотом мобільного робота. Кнопка 4 дає команду на повертання ліворуч, а кнопка 5 – праворуч. Повороти робота виконуються плавно з максимальною швидкістю, що обмежена змінним резистором 3.

Індикатори 6 виконують інформаційну функцію. На рисунку 3.3 наведено нумерацію світлодіодних індикаторів для опису їх призначення.

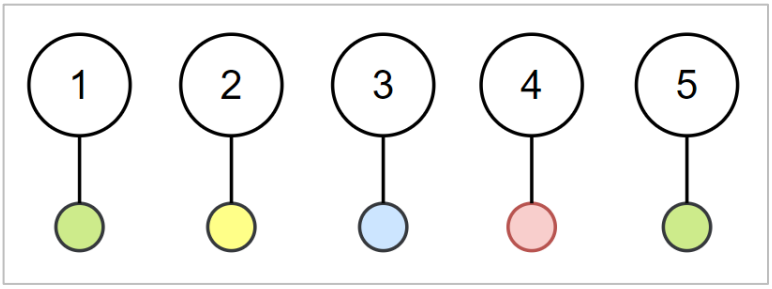

Рисунок 3.3 – Інформаційнісвітлодіодні індикатори

Індикатори 1 та 2 використовуються для виведення інформації про наявність та рівень напруги живлення. Індикатор 1 зеленого кольору показує, що напруга живлення в порядку та її рівень становить 6В.

Індикатор 2 жовтого кольору сигналізує про зниження напруги до мінімально припустимого рівня – 4В.

Індикатор 3 призначений для відображення факту успішного передавання команди до мобільного робота. Колір світлодіоду синій.

Індикатор 4 сигналізує про помилку в передаванні повідомлення на віддалений пристрій. Колір цього індикатора червоний.

Індикатор 5 призначений для виведення інформації про активацію режиму відео-зв’язку з мобільним роботом. Колір індикатора зелений.

Тумблери 7-10 (рис. 3.2) призначені для віддаленого перемикання режимів роботи мобільного робота. Конкретні режими обираються при програмуванні модуля керування мобільним пристроєм.

Для живлення пульта дистанційного керування використовується чотири батарейки розміру АА. Для їх утримання використовується два відсіки з кришкою та фланцем для кріплення (рис. 3.4).

Напруга живлення модулем дистанційного керування становить 6 В.

Рисунок 3.4 – Відсік для утримання батарейок живлення

3.2 Вибір компонентів для пульту дистанційного керування

3.2.1 Вибір контролеру

В основі модуля дистанційного керування лежить контролер ArduinoNano (рис. 3.5).

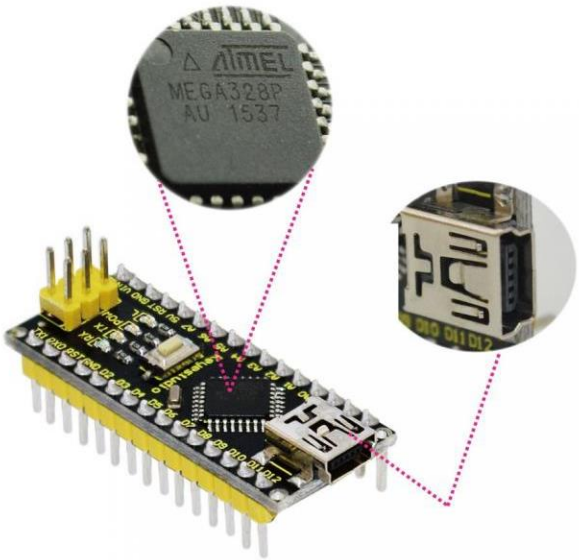

Рисунок 3.5 – Контролер ArduinoNano на базі ATMEGA328p

Контролер Arduino NANO CH340 від Keyestudio – це невелика, повністю функціональна плата контролера на базі ATmega328. Це платформа з відкритим кодом, з 12 цифровими виводами введення/виведення (з яких 6 забезпечують вихід PWM), 8 аналоговими вхідними контактами, контактами 0 (RX) і 1 (TX),

які використовуються для прийому (RX) та передачі (TX) TTL-послідовних даних, роз'ємом USB Mini-B, роз'ємом ICSP та кнопкою скидання.

Контролер Arduino Nano CH340 можна живити як від Mini-B USB роз'єму або зовнішнього джерела живлення 6-12В (пін "Vin") так і від 5В стабільного зовнішнього живлення (пін "5 В"). Живлення автоматично перемикається на джерело з більш високою напругою.

На рисунку 3.6 показано розташування та призначення контактів на корпусі пристрою.

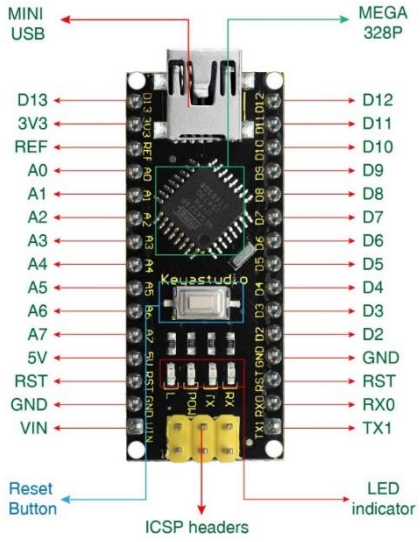

Рисунок 3.6 – Розташування та призначення контактів на корпусі пристрою

Характеристики контролера:

– 12 цифрових входів / виходів D2 ~ D13;

– 8 штирьків аналогового входу A0 ~ A7;

– контакт 0 (RX) і 1 (TX), який використовується для прийому (RX) та передачі (TX) послідовних даних TTL-UART;

– 6 штирьків ШІМ, D3, D5, D6, D9, D10, D11;

– Atmel Atmega328P-AU в якості мікроконтролера;

– роз'єм USB Mini-B для завантаження та живлення;

– підтримка зовнішнього джерела живлення від 5 В до 12 В постійного струму;

– підтримка завантаження ISP.

3.2.2 Вибір радомодему

В якості радіомодему для передавання команд від контролеру Arduino використовується модуль LoRa 433 МГц на чіпі SX1278 (рис. 3.7).

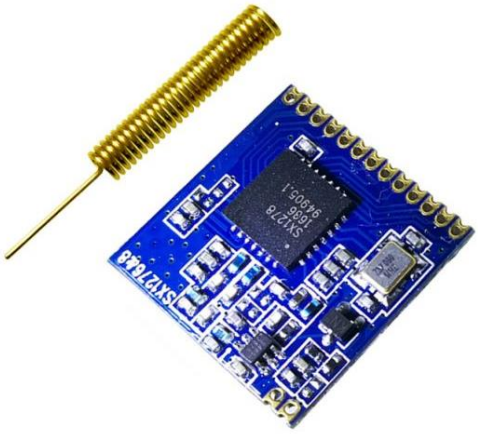

Рисунок 3.7 – Модуль LoRa 433 МГц на чіпі SX1278

Приймач SX1278 оснащений модемом дальнього радіуса дії LoRa, який забезпечує над широкосмуговий зв'язок з розширеним спектром і високу стійкість при мінімальному споживанні струму. Використовуючи запатентовану Semtech техніку модуляції LoRa, SX1278 може досягти чутливості понад -148 дБм, використовуючи недорогі мікросхеми та супутні комплектуючі. Висока чутливість в поєднанні з вбудованим підсилювачем потужності +20 дБм забезпечує кращий в галузі бюджет каналу зв'язку, що робить його оптимальним для будь-якого застосування, що вимагає частотного діапазону або надійності. LoRa-модуль також забезпечує переваги як в блокуванні, так і в вибірковості в порівнянні з традиційними методами

модуляції, вирішуючи традиційний компромісний задум між діапазоном, стійкістю до перешкод та споживанням енергії.

Характеристикирадіомодему:

– метод модуляції: FSK/GFSK, LoRa;

– тип зв'язку: напівдуплексних зв'язок;

– робоча частота: 433 МГц;

– відхилення каналу (ADJ): 56 dBm;

– чутливість RX: -148 dBm;

– робочий діапазон: ISM multiband;

– інтелектуальне скидання, монітор низької напруги, синхронний wakeup, режим низької потужності, режим сну;

– енергоспоживання в режимі прийому: від 12 мА до 13 мА;

– внутрішній буфер: 256 байт FIFO TX/RX;

– виявлення сигналу каналу передачі даних: ISSI;

– режим передачі: FIFO/прямий режим (рекомендований режим пакета FIFO);

– варіанти конфігурації:AFC, пробудження при наявності радіосигналу, зниження споживаної потужності,виявлення несучої, FEC корекція помилок, EC шифрування.

Особливості використання. Напруга має бути в діапазоні від 1,8 В до 3,6 В. Якщо напруга живлення перевищить 3,6 В мікросхема модуля вийде з ладу. Рекомендоване напруга 3,3 В.Антена повинна розташовуватися далеко від системи заземлення. Максимальна швидкість SPI інтерфейсу не більше 10 МГц.Виходи DIOO і DIO2 є звичайними виводами введення/виведення і можуть управлятися користувачем.

У багатоканальній системі рознос частот каналів має становити не менше 1 МГц. Якщо рознос менше 1 МГц це призведе до взаємних перешкод пристроїв.

На рисунку 3.8 показана схема підключення радіомодему до контролеру Arduino в режимі передавання команд.

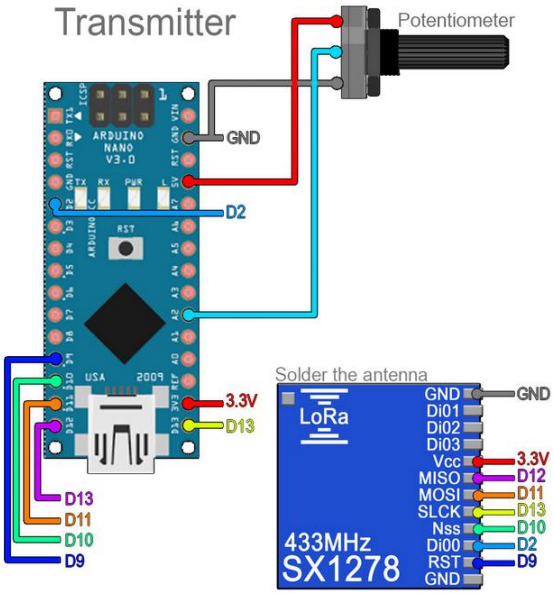

Рисунок 3.8 – Схема підключення радіомодему до контролеру Arduino в режимі передавання команд

На даній схемі використовується змінний резистор для регулювання швидкості руху мобільної платформи.

Швидкість зв'язку модуля впливає на відстань зв'язку, чим вище швидкість зв'язку, тим менше відстань зв'язку. Швидкість зв'язку модуля вплине на чутливість приймача, чим вище швидкість зв'язку, тим нижче буде чутливість. Напруга живлення вплине на потужність передачі, в межах допустимого діапазону робочої напруги живлення, чим нижче напруга, тим нижче буде потужність передачі.

Зміна робочої температури може призвести до зміщення робочої частоти. Це не впливає на роботу поки температура знаходиться в діапазоні робочих температур.

Антена сильно впливає на відстань зв'язку, тому слід застосовувати антену, яка відповідає частоті модуля, коефіцієнт стоячої хвилі повинен бути

невеликим і опір близько до 50 Ом. Розташування та спосіб установки модуля можуть вплинути на відстань зв'язку.

3.2.3 Вибір кнопок управління

Для побудови пульта дистанційного керування використовуються кнопки PBS-33B без фіксації OFF – (ON) (рис. 3.9).

Рисунок 3.9 – Кнопки керування

Діаметр різьби 11мм. Між різьбленням і тильною частиною корпусу є виступ, таким чином якщо ставити кнопку урівень, необхідний отвір складе 13 мм. В іншому випадку потрібно застосувати шайби.

Характеристики:

– функціональне призначення: кнопковий перемикач;

– фіксація: немає;

– підсвічування: немає;

– кількість контактів: 2 pin;

– алгоритм роботи: on/off;

– робоча напруга: 250 В;

– робочий струм: 1 А.

На рисунку 3.10 наведено приклад схеми підключення кнопок до контролеру Arduino.

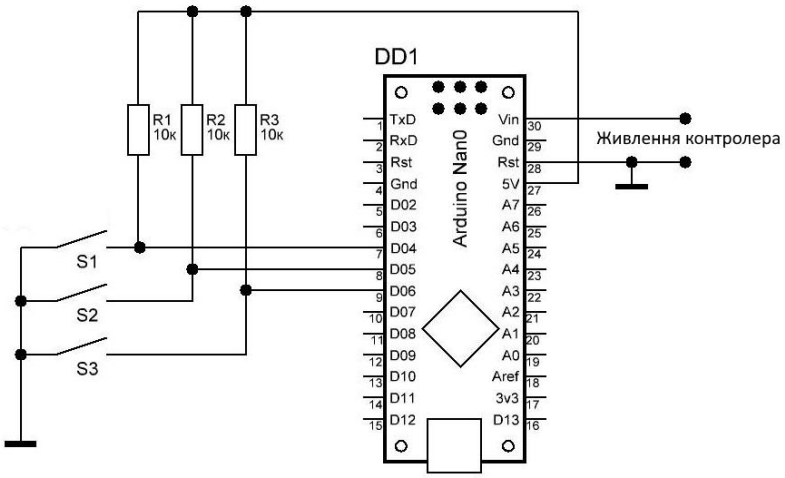

Рисунок 3.10 – Приклад схеми підключення кнопок до контролеру Arduino

При підключення кнопки один з її контактів поєднується з мінусом живлення, а інший підключається до цифрового входу мікроконтролера. Також до цього входу підключається резистор номіналом 10 кОм для підтягування входу до напруги живлення, коли кнопка відпущена.

Приклад коду для опитування кнопки:

```
#define PIN_BUTTON 4
 void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Test button ...");
  pinMode(PIN_BUTTON, INPUT_PULLUP);
}
 void loop(){
  if( digitalRead(PIN_BUTTON) == LOW ){
    Serial.println("Press key");
    delay(1000);
  }
}
```

Даний код опитує порт 4 контролеру Arduino і надсилає повідомлення через послідовний інтерфейс, коли кнопка натиснута.

3.2.4 Вибір тумблерів для перемикання режимів роботи

Для перемикання режимів роботи віддаленого пристрою використовується тумблер з фіксацією MTS-103 (рис. 3.11).

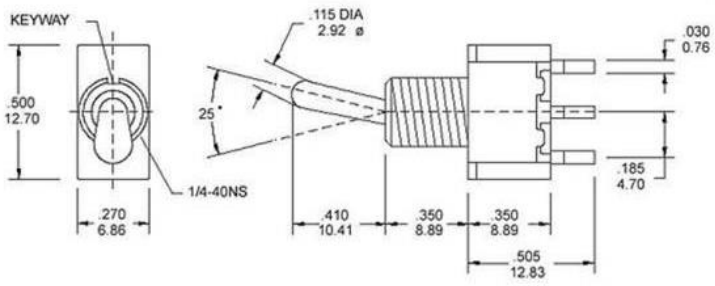

Рисунок 3.11 – Тумблер з фіксацією MTS-103

Перемикач MTS-103 тумблерний з фіксацією (SPDT) має три положеннях на 3-контакта з металевим важелем. Застосовується в якості ключа для механічного перемикання керованих ланцюгів або знеструмлення невеликого навантаження.

Приклад схеми підключення тумблерів до контролера Arduino показано на рисунку 3.12.

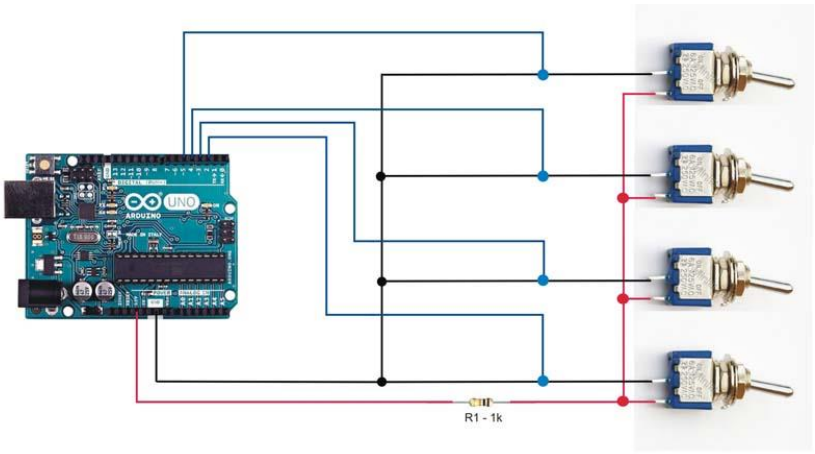

Рисунок 3.12 – Приклад схеми підключення тумблерів до контролера Arduino

3.2.5 Вибір змінного резистору

Для управління швидкістю руху мобільної платформи використовується змінний резистор WH148 номіналом 10 кОм. Зовнішній вигляд резистору показано на рисунку 3.13.

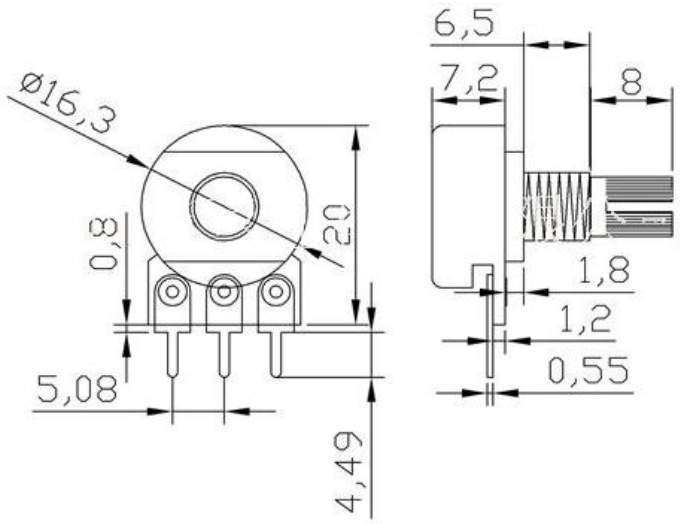

Рисунок 3.13 – Змінний резистор WH148 номіналом 10 кОм

Разом з резистором застосовується ручка SKV240 (рис. 3.14).

Рисунок 3.14 – Ручка SKV240

3.3 Опис схеми підключень компонентів пульту дистанційного керування

Схема підключень компонентів пульту дистанційного керування показана на рисунку 3.15.

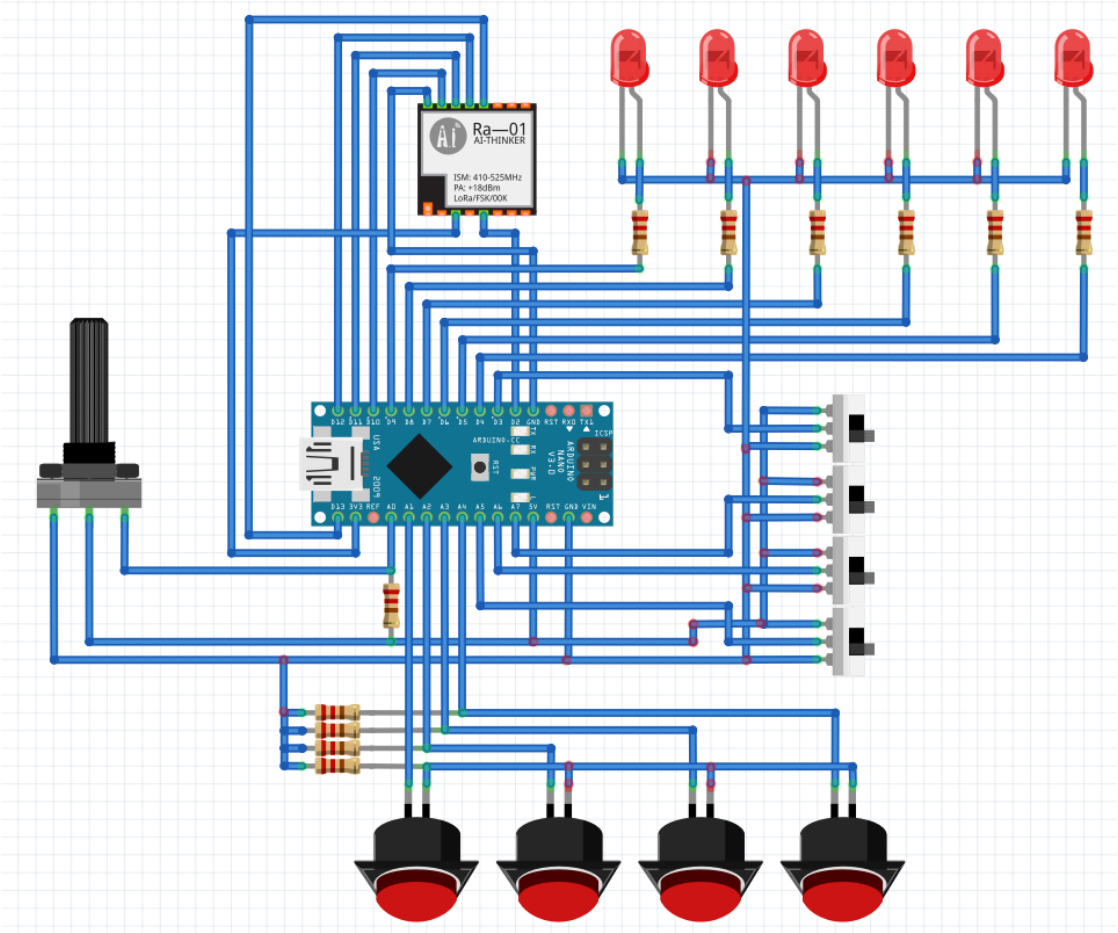

Рисунок 3.15 – Схема підключень компонентів пульту дистанційного керування

Підключення до модуля LoRa SX1278 до Arduino Nano виконується за наступною схемою:

– контакт VCC модуля LoRa підключений до контакту 3,3 В Arduino Nano;

– контакт GND модуля LoRa підключений до контакту GND Arduino Nano;

– контакт SCK модуля LoRa підключений до цифрового контакту 13 Arduino Nano;

– контакт MISO модуля LoRa підключений до цифрового контакту 12 Arduino Nano;

– контакт MOSI модуля LoRa підключений до цифрового контакту 11 Arduino Nano;

– контакт NSS модуля LoRa підключений до цифрового контакту 10 Arduino Nano;

– контакт DIO0 модуля LoRa підключений до цифрового контакту 2 Arduino Nano.

Світлодіоди підключені до цифрових виходів D4, D5, D6, D7, D8, D9. Катод світлодіоду підключений до лінії GNDArduino. Перед кожним позитивним виводом поставлено резистор номіналом 1 кОм для забезпечення потрібного струму споживання.

Чотири кнопки управління одним з контактів підключені до аналогових входів контролеру Arduino, відповідно A1, A2, A3, A4. До цих же входів під'єднані підтягуючи резистори номіналом 10 кОм. Резистори підключені до лінії живлення +5 В. Другий контакт кнопок підключено до лінії GND.

Змінний резистор підключено до аналогового входу A0Arduino. Інші два виводи резистора підключені до лінії +5 В та GND.

Три тумблери середнім контактом підключені до аналогових входів A5,A6, A7 Arduino. Ще один тумблер підключено цифрового входу D3. Перший контакт тумблерів підключено до лінії +5 В, а третій – до GND.

Напруга живлення 6 В подається на вхід Vin контролеру Arduino.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

4.1 Моделювання автоматизованої система керування мобільним роботом

Мобільні роботи мають можливість пересуватися в навколишньому середовищі й не прикріплені до одного фізичного місця. Мобільні роботи можуть бути «автономними» (AMR – автономний мобільний робот), що означає, що вони здатні орієнтуватися в неконтрольованому середовищі без потреби у фізичних або електромеханічних пристроях наведення. Крім того, мобільні роботи можуть покладатися на пристрої навігації, які дозволяють їм подорожувати заздалегідь визначеним навігаційним маршрутом у відносно контрольованому просторі.

Компонентами мобільного робота є контролер, датчики, виконавчі механізми та система живлення. Контролер, як правило, є мікропроцесором, вбудованим мікроконтролером або персональним комп’ютером (ПК). Використовувані датчики залежать від вимог робота. Вимогами можуть бути розрахунок мертвої точки, тактильне визначення та визначення наближення, тріангуляційне визначення дальності, уникнення зіткнень, визначення місця розташування та інші спеціальні програми. Приводи зазвичай стосуються двигунів, які рухають робота, який можна рухати на колесах або на ногах. Для живлення мобільного робота ми зазвичай використовуємо джерело живлення постійного струму (яке є акумулятором) замість змінного.

Система керування надсилає вхідні дані системі та веде змінні системи до бажаної мети (рис. 4.1).

Контролер повинен надати системі вхідні дані, необхідні для виконання бажаної дії (рис. 4.2).

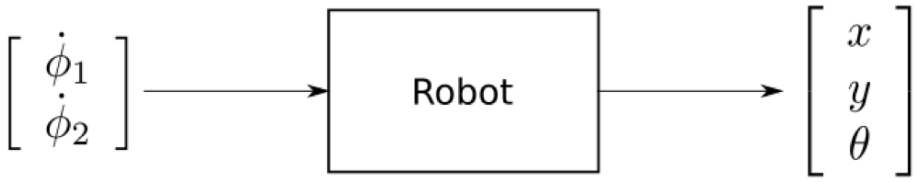

Рисунок 4.1 – Система керування мобільним роботом

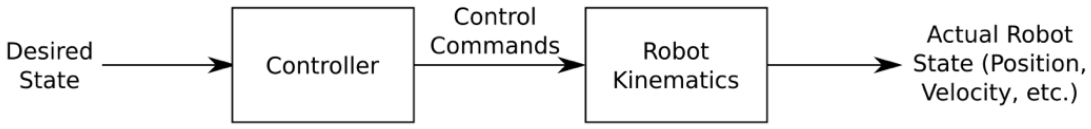

Рисунок 4.2 – Співвідношення компонентів системи

Положення робота можна описати наступною кінематичної схемою (рис. 4.3).

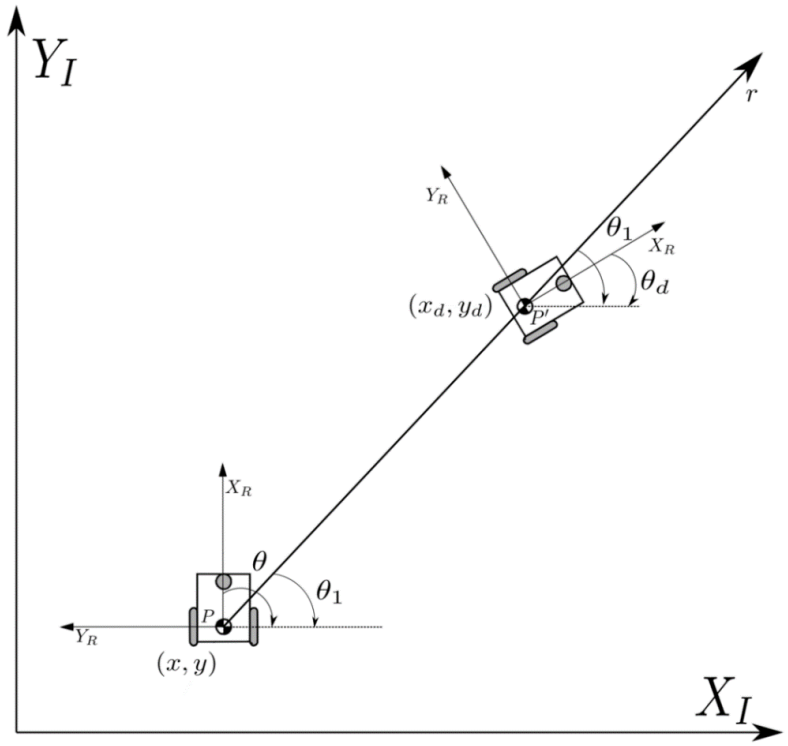

Рисунок 4.3 – Кінематика руху мобільного робота

Кінематика в класичній механіці вивчає опис руху точок, тіл (об'єктів) і груп тіл без урахування сил, які змушують їх рухатися. У мобільній робототехніці кінематика допомагає нам зрозуміти та кількісно визначити обмеження конструкції робота, що передбачає обмеження його руху.

На рисунку зображено робота та його системи відліку. Де XI і YI визначають глобальну систему відліку, також відому як інерціальна система, а Xr і Yr визначають локальну систему відліку або систему робота.

Координати x і y представляють положення робота в глобальній системі відліку, точці P, тоді як θ є різницею кутів між глобальною та локальною системами відліку:

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}, \tag{4.1}$$

де x, y – координати, що представляють положення робота в глобальній системі відліку;

θ – є різницею кутів між глобальною та локальною системами відліку.

Зміщення роботу можна записати наступним чином:

$$\begin{bmatrix} \acute{x} \\ \acute{y} \\ \acute{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \upsilon \cos\theta \\ \upsilon \sin\theta \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \upsilon \\ \omega \end{bmatrix}, \tag{4.2}$$

де υ – швидкість;

ω – кутове прискорення.

Таким чином, ми представляємо позу робота у вигляді вектора з цими трьома компонентами.

На рисунку 4.4 показана структурна схема системи автоматичного управління мобільного робота.

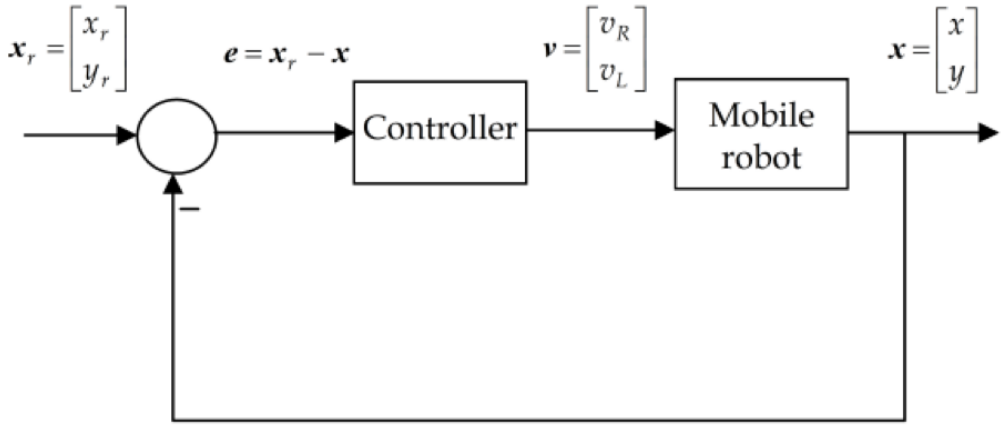

Рисунок 4.4 – Структурна схема системи автоматичного управління мобільного робота

Якщо ми хочемо перевести робота з будь-якої пози в іншу в глобальній системі кадрів, ми можемо розкласти рух на два оберти на місці та одне переміщення вздовж прямої лінії. Робот може повертатися на місці, вирівнюючи свою орієнтацію, націлюючись на цільову позицію (xd,yd), потім рухатися вперед до цільової позиції, а потім знову повертатися на місці, щоб досягти цільової орієнтації, θd.

4.2 Розробка програми для системи дистанційного управління

4.2.1 Опис програми передавача

Основу програми складає бібліотека «Arduino LoRa». Дана бібілотека є потужним інструментом для розробки систем передачі даних на великі відстані за допомогою технології LoRaWAN. Розроблена Сандіпом Містри, ця бібліотека надає можливість використовувати мікроконтролери Arduino для створення бездротових мереж і забезпечує зручний інтерфейс для роботи з LoRa-модулями.

Бібліотека Arduino LoRa відкриває широкі можливості для розробки інноваційних систем збору та передачі даних на великі відстані за допомогою мікроконтролерів Arduino. Її простота використання та висока ефективність

робить її важливим інструментом для розробників у сферах Інтернету речей (IoT), моніторингу навколишнього середовища, сільського господарства, медицини та багатьох інших галузях.

Технологія LoRaWAN дозволяє передавати дані на великі відстані, навіть до кількох кілометрів в міському середовищі та до десятків кілометрів в сільській місцевості. Це робить бібліотеку Arduino LoRa ідеальним вибором для застосування в системах моніторингу, вимірювання та віддаленого керування.

Бібліотека «Arduino LoRa» дозволяє використовувати мікроконтролери Arduino в батарейних або сонячних системах живлення, оскільки вона відзначається низьким споживанням енергії. Це робить Arduino LoRa ідеальним рішенням для довготривалого моніторингу та збору даних у віддалених або важкодоступних місцях.

LoRa дозволяє передавати дані навіть через стіни, будівлі та інші перешкоди, що робить її ідеальним рішенням для застосування в умовах з великою кількістю перешкод або обмежень.

Бібліотека Arduino LoRa має зрозумілий та легкий у використанні інтерфейс програмування, що дозволяє розробникам швидко реалізувати свої проекти без глибоких знань про бездротові технології.

Бібліотека підтримує різні версії протоколу LoRaWAN, включаючи версії 1.0.0 і 1.0.2, що дозволяє розробникам вибирати найбільш підходящий протокол для своїх проектів.

Відповідно до алгоритму роботи програма керування опитує органи управління та формує пакет даних, що необхідно передати за допомогою протоколу LoRaWAN.

Пакет даних містить інформацію про стан органів управління і має неуступний формат:

@ <Command> : <Value> #<Command> : <Value> # …<CR><LF>

Символ «@» використовується, як ознака початку кадру даних.

Далі йде слово, що визначає команду, яка передається. В якості команд може бути такі слова:

– move – передавання напрямку руху;

– turn– передавання напрямку обертання;

– speed – передавання значення поточної швидкості;

– key_N – передавання стану кожного тумблеру на пульті керування.

Байти CR і LF використовуються для управління переведенням каретки (CR – carriage return) і переведення рядка (LF – line feed) при обміні повідомленнями через послідовний інтерфейс.

CR (ASCII код 13 або 0x0D) вказує на те, що поточна позиція курсора (або точка вставки тексту) повинна бути перенесена на початок рядка. Утім, символ CR не виконує переведення рядка, тобто не переходить на новий рядок. Він просто переміщує курсор (або позицію вставки) до початку поточного рядка.

LF (ASCII код 10 або 0x0A) вказує на те, що курсор (або точка вставки) повинен бути перенесений на новий рядок. Використання символу LF без CR може призвести до неправильного відображення тексту на деяких платформах. У такому разі текст може відображатися у вигляді неправильної структури або навіть у вигляді однієї довгої лінії.

Разом символи CR і LF використовуються як кінцева послідовність, щоб перемістити курсор на новий рядок у текстовому повідомленні. У стандарті ASCII ці символи часто використовуються як керуючі символи для форматування тексту. Наприклад, при використанні у текстових файлів, вони вказують на перехід на новий рядок після кожного рядка тексту.

Для передавача фрагмент коду налаштування змінних та підключення органів керування до пінів контролеру має вигляд, що показано на рисунку 4.5.

```
const int ledPin1 = 9; // Пін для першого світлодіода
const int ledPin2 = 8; // Пін для другого світлодіода
const int ledPin3 = 7; // Пін для третього світлодіода
const int ledPin4 = 6; // Пін для четвертого світлодіода
const int ledPin5 = 5; // Пін для п'ятого світлодіода
const int ledPin6 = 4; // Пін для шостого світлодіода

const int buttonPin1 = 15; // Пін для першої кнопки
const int buttonPin2 = 16; // Пін для другої кнопки
const int buttonPin3 = 17; // Пін для третьої кнопки
const int buttonPin4 = 18; // Пін для четвертої кнопки

const int togglePin1 = 19; // Пін для першого тумблера
const int togglePin2 = 20; // Пін для другого тумблера
const int togglePin3 = 21; // Пін для третього тумблера
const int togglePin4 = 3; // Пін для четвертого тумблера

const int analogInPin = A0; // Пін для аналогового входу зі змінного резистора

int buttonState1 = 0; // Змінна для зберігання стану першої кнопки
int buttonState2 = 0; // Змінна для зберігання стану другої кнопки
int buttonState3 = 0; // Змінна для зберігання стану третьої кнопки
int buttonState4 = 0; // Змінна для зберігання стану четвертої кнопки

int toggleState1 = 0; // Змінна для зберігання стану першого тумблера
int toggleState2 = 0; // Змінна для зберігання стану другого тумблера
int toggleState3 = 0; // Змінна для зберігання стану третього тумблера
int toggleState4 = 0; // Змінна для зберігання стану четвертого тумблера

int sensorValue = 0; // Змінна для зберігання значення з аналогового входу
```

Рисунок 4.5 – фрагмент коду налаштування змінних та підключення органів керування до пінів контролеру

В функції Setip() передавача відбувається початкова ініціалізація компонентів системи (рис. 4.6).

```
void setup() {
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  pinMode(ledPin2, OUTPUT);
  pinMode(ledPin3, OUTPUT);
  pinMode(ledPin4, OUTPUT);
  pinMode(ledPin5, OUTPUT);
  pinMode(ledPin6, OUTPUT);

  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  pinMode(buttonPin3, INPUT);
  pinMode(buttonPin4, INPUT);

  pinMode(togglePin1, INPUT);
  pinMode(togglePin2, INPUT);
  pinMode(togglePin3, INPUT);
  pinMode(togglePin4, INPUT);

  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}
```

Рисунок 4.6 – Вміст функції Setup передавача

У функції setup(), яка використовується в мікроконтролерах Arduino, проводиться початкова ініціалізація різних компонентів, таких як світлодіоди, кнопки, тумблери, послідовний порт і радіомодуль LoRa.

Спочатку встановлюється режим вихідного сигналу для пінів, до яких підключені світлодіоди, а потім режим вхідного сигналу для пінів, до яких підключені кнопки та тумблери. Після цього встановлюється з'єднання з послідовним портом і перевіряється його наявність. У разі відсутності з'єднання програма залишається у циклі очікування.

Наступним кроком є ініціалізація радіомодуля LoRa на частоті 433 МГц. Якщо ініціалізація не вдається, програма виводить повідомлення про помилку і залишається у безкінечному циклі.

На рисунку 4.7 показано приклад функції Loop в якій виконується опитування органів управління пульта дистанційного керування.

```
void loop() {
  buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
  buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
  buttonState3 = digitalRead(buttonPin3);
  buttonState4 = digitalRead(buttonPin4);

  toggleState1 = digitalRead(togglePin1);
  toggleState2 = digitalRead(togglePin2);
  toggleState3 = digitalRead(togglePin3);
  toggleState4 = digitalRead(togglePin4);

  sensorValue = analogRead(analogInPin);

  //Create package
  String out = "@";
  if (buttonState1 == 1) {
    out += "Move:";
    out += (char)'F';
    out += '#';
  }
  if (buttonState2 == 1) {
    out += "Move:";
    out += (char)'B';
    out += '#';
  }
  if (buttonState3 == 1) {
    out += "Turn:";
    out += (char)'L';
    out += '#';
  }
  if (buttonState4 == 1) {
    out += "Turn:";
    out += (char)'R';
    out += '#';
  }

  if (togglePin1 == 1) {
    out += "Key1:1#";
  }
  else out += "Key1:0#";
  if (togglePin2 == 1) {
    out += "Key2:1#";
  }
  else out += "Key2:0#";
  if (togglePin3 == 1) {
    out += "Key3:1#";
  }
  else out += "Key3:0#";
  if (togglePin4 == 1) {
    out += "Key4:1#";
  }
  else out += "Key4:0#";
  out += "\r\n";

  // send packet
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print(out);
  LoRa.endPacket();

  delay(1000);
}
```

Рисунок 4.7 – Приклад функції Loop

У функції loop() здійснюється постійне опитування стану кнопок та тумблерів, зчитування значення з аналогового входу і створення пакету даних для відправлення по радіоканалу.

Спочатку зчитуються стани всіх чотирьох кнопок і тумблерів за допомогою функції digitalRead(). Далі зчитується значення з аналогового входу, яке відповідає значенню на змінному резисторі.

Після зчитування станів кнопок і тумблерів формується пакет даних у вигляді рядка, який починається з символу "@" і містить інформацію про стани кнопок та тумблерів. Якщо стан кнопки або тумблера дорівнює 1, то до рядка додається відповідна команда та значення. Якщо ж стан дорівнює 0, то до рядка додається команда зі значенням 0. Після кожної команди додається символ "#", який використовується для розділення команд у пакеті.

Після формування пакету даних він відправляється по радіоканалу за допомогою функцій LoRa.beginPacket(), LoRa.print() та LoRa.endPacket(). Після відправлення пакету програма затримується на 1000 мілісекунд за допомогою функції delay().

4.2.2 Опис програми приймача

На рисунку 4.8 наведено приклад функції Setup приймача.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }

  Serial.println("LoRa Receiver Started");
}
```

Рисунок 4.8 – Приклад функції Setup приймача

У функції setup() проводиться початкова ініціалізація мікроконтролера для встановлення зв'язку з комп'ютером та роботи з радіомодулем LoRa.

Спочатку ініціалізується Serial порт з швидкістю передачі даних 9600 біт на секунду. Після цього встановлюється перевірка на наявність з'єднання з Serial портом для запобігання втрати даних.

Далі викликається функція begin() для роботи з радіомодулем LoRa на частоті 433 МГц. Якщо ініціалізація не вдалася, на моніторі виводиться повідомлення про помилку та програма зупиняється.

Якщо ініціалізація LoRa модуля пройшла успішно, на моніторі виводиться повідомлення про старт роботи приймача LoRa.

На рисунку 4.9 наведено функцію розпізнавання отриманих команд, що передані за допомогою протоколу LoRa.

```
void parseStr(String input )
{
  input.trim(); // Видаляємо пробіли з початку та кінця рядка

    // Перевіряємо, чи рядок починається з символу '@' (ознака початку кадру даних)
    if (input.startsWith("@")) {
      // Розбиваємо рядок на окремі команди та їх значення
      int index = 0;
      int start = 0;
      while (true) {
        int end = input.indexOf("#", start); // Знаходимо індекс символу '#'
        if (end == -1) break; // Якщо символ не знайдено, виходимо з циклу
        String commandValue = input.substring(start + 1, end); // Витягуємо команду та її значення
        int separatorIndex = commandValue.indexOf(":"); // Знаходимо індекс розділювача між командою та значенням
        if (separatorIndex != -1) { // Якщо розділювач знайдено
          commands[index] = commandValue.substring(0, separatorIndex); // Зберігаємо команду
          values[index] = commandValue.substring(separatorIndex + 1).toInt(); // Зберігаємо значення (перетворивши його в ціле число)
          index++; // Збільшуємо лічильник команд
          if (index >= MAX_COMMANDS) break; // Якщо досягнуто максимальну кількість команд, виходимо з циклу
        }
        start = end + 1; // Переміщуємо позицію старту наступної команди
      }

      // Виводимо команди та їх значення на монітор серійного порту
      for (int i = 0; i < index; i++) {
        Serial.print("Command: ");
        Serial.print(commands[i]);
        Serial.print(", Value: ");
        Serial.println(values[i]);
      }
    }
}
```

Рисунок 4.9 – Функція розпізнавання отриманих команд, що передані за допомогою протоколу LoRa

Функція parseStr призначена для обробки рядка тексту, який містить команди та їх значення у певному форматі. Початковий рядок передається у функцію як параметр input.

Спочатку функція видаляє всі пробіли з початку та кінця рядка, щоб уникнути непотрібних символів, які можуть вплинути на правильність обробки команд.

Потім функція перевіряє, чи рядок починається з символу '@', що вказує на початок кадру даних. Це допомагає відрізнити потрібні дані від інших.

Якщо рядок починається з символу '@', функція розбиває рядок на окремі команди та їх значення. Вона шукає символ '#' для визначення меж кожної пари "команда : значення".

Кожна команда та її значення розділені двокрапкою ':'. Після розбиття рядка, команди та значення зберігаються у відповідних масивах commands та values.

Після обробки рядка, функція виводить команди та їх значення на монітор серійного порту для подальшого аналізу або використання.

Ця функція дозволяє ефективно розбирати та обробляти рядки тексту з командами та їх значеннями у зазначеному форматі.

4.3 Охорона праці

Роботи в лабораторії відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи.

Оптимальні норми мікроклімату згідно і ДСН 3.3.6.042–99 для холодного та теплого періоду року: температура 22–25 °С; відносна вологість 40–60 %; швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с забезпечуються місцевим кондиціонером.

Шум в приміщенні відповідає нормативним значенням – 50 дБА згідно з ДСН 3.3.6–037–99 .

Розрахунок штучного освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку. Мета перевірочного розрахунку – визначення фактичної освітленості в приміщенні.

Основна розрахункова формула методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F_{СВ} = \frac{E_{ф} \cdot k_{з} \cdot S \cdot z}{n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma}. \quad (4.3)$$

З формули (4.3) отримуємо розрахункову формулу фактичної освітленості:

$$E_{Ф} = \frac{F_{СВ} \cdot n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma}{k_{з} \cdot S \cdot z}, \quad (4.4)$$

де S – площа освітлюваного приміщення; залежить від розмірів приміщення, S=36,4 м^2;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості, z= 1,1;

$k_{з}$ – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників і знос джерел запасу світла в процесі експлуатації. Для приміщення дисплейного залу, освітлюваного люмінесцентними лампами та за умови чистки світильників не рідше двох разів на рік, $k_{з}$ =1,4;

N – число світильників в ряду, N=2;

η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп, η=0,65;

γ – коефіцієнт затінення, γ=0,8;

ϕ n – число рядів світильників, n=2;

$E_{н}$ – мінімальна нормована освітленість;

$F_{св}$= 7200;

n – кількість ламп в світильнику.

Тоді:

$$\text{Еф} = \frac{720 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}8}{1{,}4 \cdot 36{,}4 \cdot 1{,}1} = 267\text{лк}.$$

Так як фактична освітленість входить в діапазон мінімальної нормованої освітленості (від 200лк до 500 лк), тоді дана кількість ламп з даним числом світильників відповідає нормі.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено пульт дистанційного керування на відстані до 1 км за допомогою радіомодему, що працює за технологією LoRa.

Проведено аналіз методів зв’язку оператора з мобільними роботами та аналіз принципів побудови пультів дистанційного управління рухом мобільного робота. Розглянуті основні принципи побудови базових станцій для дистанційного керування. Серед різних типів базових станцій можна виділили стаціонарні, переносні та портативні пульти керування.

Виконана розробка архітектури системи дистанційного керування мобільним роботом. Пульт дистанційного керування на основі радіопередавача є ключовим елементом управління мобільним роботам та його виконавчими пристроями, що працюють на великій відстані від оператора. Принцип його роботи полягає в передачі сигналів через радіохвилі, які забезпечують бездротовий зв'язок між пультом керування і роботом.

Наведена структурна схема пульта дистанційного керування та структурна схема модуля управління мобільним роботом. Описана технологія передавання даних на великі відстані LoRa. Виконана розробка алгоритму роботи системи дистанційного управління мобільними роботом.

Описана запропонована конструкція пульту дистанційного керування на наведено ескіз передньої панелі пульта дистанційного керування. Виконано вибір компонентів для пульту дистанційного керування. Наведена схема підключення обраних компонентів до контролеру Arduino.Схема розроблена за допомогою інструменту Fritzing.

Виконано моделювання автоматизованої система керування мобільним роботом. Наведена кінематика руху мобільного робота та математична модель обраного типу роботизованої платформи. Показана структурна схема системи

автоматичного управління мобільного робота. Розроблена програмадля системи дистанційного управління.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. Введ. 2015-06-22. К.: Держстандарт України, 2015. 31 с.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарєва, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.

3. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.

4. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-diju-rishennja-vchenoi-radi -universitetu.pdf

5. Закон України "Про вищу освіту" від 01.07.2014 No 1556-VII. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text.

6. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. No 400. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf.

7. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки

[Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 03.05. 2019 р. No 222. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf.

8. Три способи зв'язку радіозв'язку: симплекс, дуплекс, напівдуплекс[Електронний ресурс] – Режим доступу: www/URL:https://ua.ecomeradio.com/info/three-communication-methods-of-radio-communica-57097451.html.

9. Portable groundcontrol station [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/URL: https://www.ukrspecexport.com/uploads/redactor/4%20USE_UMEX_Pult_PRINT.pdf.

10. Наземна станція керування для FPV-дронів DRONESPACE[Електронний ресурс] – Режим доступу: www/URL:https://safety.kiev.ua/nazemna-stants-ya-keruvannya-dlya-fpv-dron-v-drone-space-z-kabelem-20-m-dvoma-akb/.

11. Ground Station Solutions [Електронний ресурс] – Режим доступу: www / URL: https://www.diamondaircraft.com/en/special-mission/ground-station-solutions/.

12. Remote Control Operation of Machines [Електронний ресурс] – Режим доступу: www / URL:https://www.ien.com/new-products/automation/product/22881506/fort-robotics-remote-control-operation-of-machines.

13. Невлюдов І.Ш. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023 . – 150 с.

14. B. Holfeld et al., "Radio channel characterization at 5.85 GHz for wireless M2M communication of industrial robots," 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Doha, Qatar, 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/WCNC.2016.7564890.

15. International Conference on Applications and Techniques in Cyber Intelligence ATCI 2019 / ed. by J. H. Abawajy et al. Cham : Springer International Publishing, 2020. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25128-4 (date of access: 05.05.2024).

16. Monitor the performance of your robot fleet. Reality Capture | Drone Mapping Software | Photo Documentation. URL: https://www.dronedeploy.com/blog/monitor-the-performance-of-your-robot-fleet.

17. M. S. Uddin, M. Gianni and A. Lab, "Long range robot teleoperation system based on internet of things," 2017 2nd International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), Krakow, Poland, 2017, pp. 163-167, doi: 10.1109/CCOMS.2017.8075288.

18. Zeashan Hameed Khan. Wireless Network Architecture for Long range Teleoperation of an Autonomous System. Automatic. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2010. English.

18. LoRa технологія – IT Master - електроніка та програмування. Головна – IT Master - електроніка та програмування. URL: https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/lora.html (дата звернення: 07.05.2024).

19. Невлюдов І. Ш. Комп’ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: підручник для студентів заклавдів вищої осіти ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ФОП Панов А.М., 2021. – 604 с. ISBN 978-617-7947-67-6

20. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об’єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. Кривий Ріг: КК НАУ. 2018. – 332 с.

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

22.Природне і штучне освітлення[Електронний ресурс] – Режим доступу: www / URL:https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf