

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення програмного забезпечення для бездротового управління  
з мобільним роботом NXT MindStorms  
(тема)

Виконав:  
Здобувач 4 року навчання,  
групи АКТАКІТи-21-1  
Рашад АХМАЛЛІ  
(власне ім'я прізвище)

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

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

Освітня програма Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Роман АРТЮХ  
(посада, власне ім'я прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри КІТАР

Невлюдов І. Ш.  
(підпис) (власне ім'я прізвище)

2025р.

Я, Ахмадлі Рашад Зульфугар оглу, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



«16» червня 2025 р.

Рашад АХМАДЛІ

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  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_  
(підпис)

« 28 » квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві Ахмадлі Рашаду Зульфугар оглу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення програмного забезпечення для бездротового управління з мобільним роботом NXT MindStorms

затверджена наказом по університету від “ 19 ” травня 2025 р. № 389 Ст.

2. Термін подання здобувачем роботи “ 25 ” червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Мобільний робот – NXT MindStorms;

3.2 Інтерфейси бездротового зв'язку;

3.3 Мова програмування – C++;

3.4 Операційна система – Microsoft Windows 10;

3.5 Оформлення текстової документації – ДСТУ 3008-2015.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ;

4.2 Аналіз технічного завдання та предметної області;

4.3 Розробка моделі комунікації мобільного робота;

4.4 Розроблення програмного забезпечення системи бездротової комунікації з мобільним роботом;

4.5 Заходи з безпеки життєдіяльності для забезпечення безпечних умов праці;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 18 с. формату А4

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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання та предметної області	28.04 – 04.05.25	виконано
2	Розробка моделі комунікації мобільного робота	05.05 – 14.05.25	виконано
3	Розроблення програмного забезпечення системи бездротової комунікації з мобільним роботом	15.05 – 28.05.25	виконано
4	Заходи з безпеки життєдіяльності для забезпечення безпечних умов праці	29.05 – 10.06.25	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	11.06 – 14.06.25	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-системою StrikePlagiarism	15.06 – 17.06.25	виконано
7	Подання роботи на рецензію	18.06 – 20.06.25	виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	21.06 – 23.06.25	виконано
9	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.06.25	виконано

Дата видачі завдання 28.04.2025 р.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рашад АХМАДЛІ

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент Роман Артюх  
(посада, власне ім'я прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 3 табл., 15 рис., 2 дод., 17 джерел.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, NXT MINDSTORMS, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, БЕЗДРОВОТА КОМУНІКАЦІЯ, МЕРЕЖА, WI-FI, BLUETOOTH, СИСТЕМА.

Мета роботи – розроблення програмного забезпечення системи бездротової комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

Об'єкт розробки – система бездротової комунікації мобільного робота NXT MindStorms.

Предмет розробки – програмне забезпечення для бездротової комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз вихідних даних і літератури за темою роботи. Розглянуто наявні технології, що дають змогу без дротів передавати інформацію. Проведено порівняльний аналіз наявних систем керування мобільним роботом NXT MindStorms. Розроблено модель і програмне забезпечення для системи бездротової комунікації мобільного робота NXT MindStorms. Проведено розрахунки трудомісткості розробки програмного забезпечення. Розраховано штучне освітлення в дослідницькій лабораторії, де виконувалась кваліфікаційна робота.

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 71 pp., 3 tab., 15 figs., 2 appendices, 17 sources.

**MOBILE ROBOT, NXT MINDSTORMS, SOFTWARE, WIRELESS COMMUNICATION, NETWORK, WI-FI, BLUETOOTH, SYSTEM.**

Purpose – to develop software for a wireless communication system with the NXT MindStorms mobile robot.

The object of development is the wireless communication system of the mobile robot NXT MindStorms.

Subject of development – software for wireless communication with the mobile robot NXT MindStorms.

The qualification work analyzes the initial data and literature on the topic. The existing technologies that allow wireless transmission of information are considered. A comparative analysis of existing control systems for the NXT MindStorms mobile robot was conducted. The model and software for the wireless communication system of the NXT MindStorms mobile robot are developed. The labor intensity of software development was calculated. Artificial lighting in the research laboratory where the qualification work was performed was calculated.

The results of the work can be attributed to Sustainable Development Goal 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, in particular to paragraph 9.4 “Development of high-tech engineering”.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз технічного завдання та предметної області .....	12
1.1 Аналіз технічного завдання .....	12
1.2 Класифікація бездротових мереж .....	13
1.3 Аналіз комунікаційних систем мобільних роботів .....	20
2 Розробка моделі комунікації мобільного робота .....	29
2.1 Дослідження загальної схеми комунікації робота .....	29
2.2 Механізми захисту у бездротових мережах .....	37
3 Розроблення програмного забезпечення системи бездротової комунікації з мобільним роботом .....	44
3.1 Огляд програмно-апаратних засобів для створення бездротового з'єднання з мобільним роботом .....	44
3.2 Створення Bluetooth-з'єднання з мобільним роботом .....	46
3.3 Опис програмного забезпечення для створення бездротового з'єднання з мобільним роботом .....	48
3.4 Опис програмного забезпечення для бездротового керування мобільним роботом .....	54
3.5 Обчислення трудомісткості програмного продукту .....	58
4 Заходи з безпеки життєдіяльності для забезпечення безпечних умов праці .....	64
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці .....	64
4.2 Промислова безпека на робочому місці .....	64
4.3 Виробнича санітарія у приміщенні .....	65
4.4 Пожежна безпека виробничого приміщення .....	67
Висновки .....	69
Перелік джерел посилання .....	70

Додаток А Лістинг програми .....	72
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	73

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БТ – бездротові технології;

ІЧ – інфрачервоний;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

МР – мобільний робот;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

ПОД – протоколів обміну даними;

СТЗ – система технічного зору;

УДЦР – Український державний центр радіочастот.

## ВСТУП

Бездротові технології – інформаційні технології, призначені для бездротової передачі інформації на відстань між двома й більше об'єктами. Для передачі інформації може використовуватися інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання. На сьогодні існує безліч бездротових технологій, відомих користувачам по їхніх маркетингових назвах, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth та інші. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування.

Роботи – автоматичні системи, призначені для відтворення рухових та інтелектуальних функцій людини. Від традиційних автоматів відрізняються більшою універсальністю і здатністю адаптації на виконання різних завдань, в тому числі в мінливих обстановці.

В даний час робототехніка перетворилася в розвинену галузь промисловості: тисячі роботів працюють на різних підприємствах світу, підводні маніпулятори стали неодмінною приналежністю підводних дослідницьких і рятувальних апаратів, вивчення космосу спирається на широке використання роботів з різним рівнем інтелекту. Особлива увага приділяється автоматизації важких, шкідливих, утомливих і монотонних робіт в різних галузях за допомогою роботів-маніпуляторів.

Виходячи з вищесказаного тема кваліфікаційної роботи є актуальною.

Мета роботи – розроблення програмного забезпечення системи бездротової комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

Об'єкт розробки – система бездротової комунікації мобільного робота NXT MindStorms.

Предмет розробки – програмне забезпечення для бездротової комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

Для досягнення цієї мети планується розв'язати наступні задачі:

- провести аналіз вихідних даних і літератури за темою кваліфікаційної роботи;
- розглянути існуючі технології, що дозволяють бездротово передавати інформацію;
- провести порівняльний аналіз існуючих систем управління мобільним роботом;
- розробити модель комунікації з мобільним роботом;
- розробити програмне забезпечення системи безпроводної комунікації з мобільним роботом;
- опрацювати заходи з безпеки життєдіяльності для забезпечення безпечних умов праці в лабораторії, де виконувалась кваліфікаційна робота.

Робота виконується згідно з [1-3], результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи роботи апробовані та опубліковані у [4]. Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування»

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Аналіз технічного завдання

З огляду на технічне завдання, в кваліфікаційній роботі можна виокремити ключові вимоги до засобів щодо бездротової комунікації з мобільним роботом.

Спершу необхідно розв'язати такі завдання:

- вивчити чинні технології, що дозволяють передавати інформацію без допомоги дротів;
- проаналізувати головні параметри, що впливають на ефективність передавання;
- налаштування взаємодії мобільного робота з комп'ютером;
- розробити застосунок для персонального комп'ютера;
- провести перевірку розробленої моделі щодо наукової новизни.

Ключові вимоги до інтерфейсу:

- інтуїтивно зрозуміле керування, що не вимагає спеціальних навичок.

Перефразуємо: під інтуїтивною зрозумілістю інтерфейсу йдеться про доступність будь-якої функції системи шляхом застосування не більше ніж п'яти кліків по елементах інтерфейсу;

- застосування сучасних технологій (актуальні версії мов програмування та фреймворків).

Бездротові технології розроблені для організації якісних магістральних каналів зв'язку та ефективної «останньої милі», незважаючи на наявність чинних каналів зв'язку. У порівнянні з традиційними дротовими мережами бездротова технологія налічує цілу низку переваг. Одну з таких ключових переваг визначимо як можливість швидко і зручно встановлювати мережеві з'єднання в будь-який час і з будь-якої точки. Так, активне функціонування бездротових мереж у громадських місцях забезпечує встановлення зв'язку з

мережею Інтернет, завантаження інформації, обмін електронною поштою та файлами. Бездротова технологія доволі проста і недорога з позиції монтажу. До того ж вартість домашніх і комерційних бездротових пристроїв не перестає знижуватися. Втім, незважаючи на зниження вартості, збільшується швидкість передавання даних, водночас покращується функціональність цих пристроїв, що сприяє більшій швидкості та надійності зв'язку. Бездротова технологія розширює послуговування мережами без обмежень, що кабельним з'єднанням – не властиве. Проте окрім гнучкості і значних переваг бездротових мереж, також їм властиві певні обмеження і ризики.

Так, у технологіях бездротових локальних мереж (Wireless LAN, WLAN) застосовують неліцензовані області радіочастотного спектру. У зв'язку з тим, що дані області діапазону не регламентуються, у них використовують безліч різних пристроїв. Це спричиняє переповнення областей спектру і породжує перешкоди від різних пристроїв. До того ж такі частоти функціонують у безлічі пристроїв, як-от мікрохвильових печах і бездротових телефонах, які можуть спричинити перешкоди у роботі бездротових локальних мереж. Ще одна проблема бездротового зв'язку полягає у безпеці. Оскільки доступ до бездротових мереж є відкритим, то кожен може скористатися доступом до даних, які передаються в сеансі широкотрансляційного розсилання. Водночас рівень захисту даних у бездротовій мережі також набуває обмежень. Таким чином, навіть ненавмисно кожен може перехоплювати потоки даних. У зв'язку з цим з метою підвищення безпеки даних у бездротових мережах було розроблено низку методів, зокрема шифрування й аутентифікацію.

## 1.2 Класифікація бездротових мереж

Бездротові мережі розподіляються на чотири ключові категорії: бездротові персональні мережі WPAN (Wireless Personal Area Network), бездротові локальні мережі WLAN (Wireless Local Area Network), бездротові

міські мережі WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) і бездротові глобальні мережі WWAN (Wireless Wide Area Network) (рисунок 1.1).

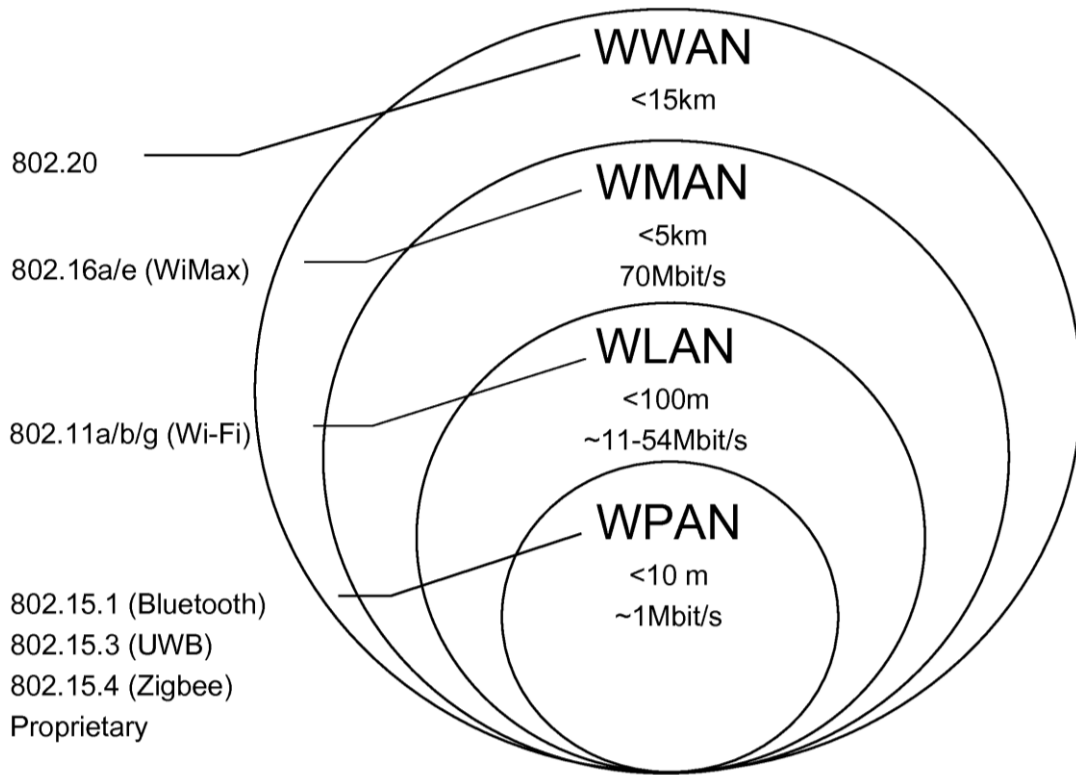


Рисунок 1.1 – Класифікація бездротових мереж

Проте зазначений поділ є умовним, оскільки межі реалізації бездротових технологій важко розмежувати. Це аргументується тим, що, на відміну від кабельних, у бездротових мережах чітко визначені межі не окреслюються. Діапазон передавання даних у бездротових мережах може змінюватися під дією різних чинників. Крім того, бездротові мережі чутливі до зовнішніх джерел перешкод як-от природних або штучних. Зміна температури і вологості можуть значно вплинути на зону покриття бездротових мереж. Утім фізичні перешкоди в середовищі бездротових мереж теж чинять вплив на області їхнього поширення [4].

Так, бездротові мережі WPAN актуальні для під'єднання різних периферійних пристроїв: миші, клавіатури, PDA (Personal Digital Assistant – персональний кишеньковий секретар) тощо до комп'ютера, до того ж характеризуються найменшим радіусом дії. Всі ці пристрої підключають до одного вузла, прослужуючись технологією інфрачервоного зв'язку або Bluetooth.

Проте мережі WLAN розширюють межі локальних кабельних мереж (LAN). Послужуються мережі WLAN радіочастотною технологією і дотримуються вимог стандартів IEEE 802.11 (Wi-Fi). У зазначених мережах користувачі під'єднуються до точок доступу (Access Point, AP). Точка доступу реалізує зв'язок між бездротовими вузлами та вузлами в кабельній мережі Ethernet.

Зі свого боку, мережі WMAN утілюють широкосмуговий доступ до мережі через радіоканал у межах міста. Мережі WMAN дотримуються стандарту IEEE 802.16 (WiMAX), який описує wireless MAN Air Interface. 802.16 вважається технологією «останньої милі», корій притаманний діапазон частот від 10 до 66 ГГц. Стандарт підтримує топологію «точка-безліч», технології frequency-division duplex (FDD) і time-division duplex (TDD), із підтримкою quality of service (QoS). Крім того, через них можна передавати звук і відео [5].

Водночас мережі WWAN реалізують покриття великих територій. Популярним прикладом такої буде мережа мобільного зв'язку, для функціонування яких послужуються такими технологіями: багатостанційним доступом із кодовим поділом каналів CDMA (Code Division Multiple Access), а також глобальною системою мобільного зв'язку GSM (Global System for Mobile Communication). Проте їхня діяльність здебільшого регламентується урядовими організаціями. До тогож, як приклади WWAN наведемо мережі, що ґрунтуються на супутниковому та радіорелейному зв'язку.

### 1.2.1 WPAN – бездротові персональні мережі

Технологія IrDA міститься у передаванні даних на базі інфрачервоних (14) каналів, яке реалізовано відповідно до стандартів IrDA (Infrared Data Association – ІЧ-порт). IrDA визначає стандарти фізичних параметрів і протоколів інтерфейсу передавання даних шляхом застосування інфрачервоного випромінювання (довжина хвилі від 850 – 900) на малі відстані, зокрема для функціонування в WPAN. IrDA було розроблено Hewlett-Packard як напівдуплексну технологію передавання даних із обмеженим радіусом дії (стандартом визначається межа в 100 см). Завдяки обмеженню радіуса дії втілюється безпека від прослуховування. Водночас зменшується вартість обладнання, втім передавання даних повинно реалізовуватися власне за умов прямої видимості між портами.

Зі свого боку, протоколи IrDA формують процедури, котрі підтримують ініціалізацію зв'язку, визначення адреси пристрою, встановлення з'єднання й узгодження швидкості передавання даних, обмін даними, розрив з'єднання, припинення зв'язку, а також розв'язання конфліктів адрес пристроїв.

Апаратна реалізація зазвичай втілюється як пара передавач – світлодіод, і приймач – фотодіод, які встановлені на кожній зі сторін лінії зв'язку. Застосування на кожній зі сторін і передавача, і приймача – це необхідна умова для залучення протоколів гарантованої доставки даних.

Однак є низка випадків, у яких одна зі сторін може бути обладнана лише передавачем, а інша – лише приймачем, на кшталт пультів дистанційного керування побутовою технікою. Проте іноді обладнують пристрої і кількома приймачами, що дозволяє підтримувати зв'язок із декількома пристроями одночасно. Втім застосування у таких пристроях одного передавача цілком можливо, оскільки протоколи логічного рівня потребують лише незначного зворотного трафіку з метою забезпечення гарантованої доставки даних. Проте устаткування декількома передавачами спостерігається набагато рідше. Більшість переносних комп'ютерів, а також

кишенькових пристроїв обладнані інфрачервоними приймачами, котрі підтримують асинхронне послідовне передавання даних із максимальною швидкістю 115,2 Кбіт/с або 4 Мбіт/с, зрідка – 16 Мбіт/с.

Технологія Bluetooth («синій зуб», назва походить від прізвища середньовічного короля Данії Гаральда I Синьозубого) вважається технологією бездротового зв'язку, котру було розроблено в 1998 році групою компаній: Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba. Згодом розроблення в напрямку Bluetooth реалізуються групою Bluetooth SIG (Special Interest Group), до якої також входять Lucent, Microsoft та інші компанії, чия діяльність базується на мережевих технологіях. Потім Bluetooth SIG і IEEE досягли угоди, за результатами якої специфікація Bluetooth стала частиною стандарту IEEE 802.15.1. Головне призначення Bluetooth полягає у забезпеченні дешевого радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, зокрема між мобільними телефонами й аксесуарами до них, портативними та стаціонарними комп'ютерами, принтерами тощо. Значна увага приділяється компактності електронних компонентів, що реалізує можливість послуговуватися Bluetooth у малогабаритних пристроях.

Через інтерфейс Bluetooth можна передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт/с), так і дані. Так, для передавання даних можна застосувати асиметричний (721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому) та симетричний (432,6 Кбіт/с в обох напрямках) методи. Функціонуючи на частоті 2,4 ГГц, приймально-передавальний Bluetooth дозволяє встановлювати зв'язок на відстані 10 – 100 м. Крім того, у стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних шляхом застосування ключа довжиною 8 – 128 біт, а також можливістю вибору односторонньої чи двосторонньої аутентифікації. Зауважимо, що на рівні протоколу, додатково до шифрування, може бути застосовано шифрування на програмному рівні. Так, у Bluetooth послуговуються методом розширення спектра зі стрибкоподібним переналаштуванням частоти FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Власне метод FHSS є простим у реалізації. До того ж забезпечує стійкість до

широкосмугових завад і супроводжується недорогим обладнанням. Протокол Bluetooth підтримує не лише з'єднання «точка-точка», але й з'єднання «точка-безліч» [5].

### 1.2.2 WLAN – бездротові локальні мережі

Мережа Wi-Fi є торговою маркою, що належить Wi-Fi Alliance. Водночас це загальноживана назва для стандарту бездротового зв'язку передавання даних, який об'єднує декілька протоколів і базується на сімействі стандартів IEEE 802.11. Утім спершу термін «Wi-Fi» було вигадано як гру слів з метою привернення уваги споживача, зокрема натяком на Hi-Fi (High Fidelity, висока точність). Зауважимо, що спочатку в деяких прес-релізах WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) фігурувало словосполучення «Wireless Fidelity» («бездротова точність»), проте наразі від такого формулювання відмовилися, тому термін «Wi-Fi» не містить жодного розшифрування. Так, стандарт IEEE 802.11 регламентує функціонування пристроїв у мережах WLAN. Зважаючи на різні характеристики бездротового зв'язку до стандарту IEEE 802.11 було внесено чотири поправки. На сьогодні чинними є такі поправки: 802.11 a, 802.11b, 802.11 g і 802.11 n. Усі ці технології належать до категорії Wi-Fi:

IEEE 802.11a:

- застосовує радіочастотний спектр 5 ГГц;
- несумісний зі спектром 2,4 ГГц, тобто пристроями 802.11b/g/n;
- максимальна швидкість передавання даних – 54 Мбіт/с;
- радіус дії – 50 м;
- дороговартісний у реалізації (у порівнянні з іншими технологіями);
- обладнання, що відповідає стандарту 802.11a, стає все більш унікальним.

IEEE 802.11b:

- перша технологія, що застосовує радіочастотний спектр 2,4 ГГц;
- максимальна швидкість передавання даних – 11 Мбіт/с;

– радіус дії – приблизно 46 м у приміщенні і 96 м на відкритому просторі.

IEEE 802.11g:

- застосовує радіочастотний спектр 2,4 ГГц;
- максимальна швидкість передавання даних – 54 Мбіт/с;
- радіус дії – аналогічний до 802.11b;
- сумісний із 802.11b.

IEEE 802.11n:

- застосовує радіочастотний спектр 2,4 – 2,5 ГГц або 5 ГГц;
- максимальна швидкість передавання даних – до 600 Мбіт/с;
- радіус дії – до 250 м на відкритому просторі;
- сумісний із чинним обладнанням 802.11g і 802.11b (у проєкті стандарту передбачено підтримку 802.11a).

### 1.2.3 WMAN – бездротові міські мережі

До бездротових міських мереж WMAN належить технологія WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Це телекомунікаційна технологія, що розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великі відстані для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до смартфонів). WiMAX ґрунтується на стандарті IEEE 802.16, який також йменують як Wireless MAN [6].

Власне назву «WiMAX» було створено WiMAX Forum. Дану організацію було засновано в червні 2001 року задля просування та розвитку технології WiMAX. Форум описує WiMAX як «засновану на стандарті технологію, котра реалізує високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, тобто альтернатива виділеним лініям і DSL».

WiMAX послугуються для розв'язання таких задач:

- з'єднання точок доступу Wi-Fi між собою, а також з іншими сегментами Інтернет;

- забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і DSL;
- надання високошвидкісних сервісів передавання даних і телекомунікаційних послуг;
- створення мобільних точок доступу.

#### 1.2.4 WWAN – бездротові глобальні мережі

До того ж до бездротових глобальних мереж (WWAN) належить радіорелейний зв'язок. Так, радіорелейні станції (PPC) застосовують з метою передавання аналогового сигналу на телебаченні та цифрового послідовного коду відповідно до стандарту ITU G.703 у телефонії. Власне радіорелейна лінія зв'язку утворюється за допомогою декількох веж, які устатковані параболічними спрямованими антенами. Кожна така лінія функціонує в мікрохвильовому діапазоні на частотах у декілька гігагерц. Спрямована антена концентрує енергію у вузькому пучку, що дозволяє передавати інформацію на значні відстані, як правило до 60-80 км. Високі вежі забезпечують безпосередньо пряму видимість антен. Ними можуть бути як магістральні лінії, так і лінії доступу. Оператори зв'язку здебільшого послуговуються подібними лініями, у разі неможливості монтажу оптичного волокна (через природні умови), або коли такий монтаж економічно є не вигідним. Утім пропускна здатність лінії може досягати 155 Мбіт/с (потік STM-1 синхронної цифрової ієрархії, SDH) або 140 Мбіт/с (потік E4 плезіохронної цифрової ієрархії, PDH). Для наземного радіорелейного зв'язку застосовують частотні діапазони 0,39 ГГц – 40,5 ГГц.

### 1.3 Аналіз комунікаційних систем мобільних роботів

#### 1.3.1 Технологія бездротового зв'язку Bluetooth.

Наразі майже в кожному мобільному пристрої задіяна одна чи декілька технологій передавання даних [7]. Переважно це бездротові технології. Зі

свого боку всі виробники мобільних пристроїв слідкують за розвитком бездротових технологій, а іноді створюють власні нові стандарти, на базі яких згодом утілюється нова технологія [7]. На сьогодні найбільш відомими технологіями бездротового зв'язку визначено Bluetooth, IrDA (технологія інфрачервоного випромінювання) та безумовно Wi-Fi. Розглянемо більш детально їхні переваги та недоліки.

Bluetooth позначає міжнародний стандарт бездротових комунікацій малого радіусу дії. Ключове призначення Bluetooth полягає у забезпеченні економічного радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, зокрема велике значення надається компактності електронних компонентів, що сприяє застосуванню даної технології у малогабаритних пристроях [4].

У версії стандарту 1.1 швидкість передавання даних складала лише 512 кбіт/с. Однак розробники на цьому не зупинялися, тому вже у 2004 році презентували «Bluetooth 2.0» та впровадили нову технологію EDR, яка збільшила швидкість обміну даними до 3 Мбіт/с. Згодом ця версія технології стал актуальною для більшості мобільних пристроїв, незважаючи на те, що з часом було прийнято нову специфікацію 3.0 + HS. Так, у грудні 2009 р. було проанонсовано стандарт Bluetooth 4.0. Зазначена технологія була призначена для мініатюрних датчиків (зокрема для пацієнтів лікарень, спортивного обладнання тощо). Особливість нової версії полягала у низькому рівні енергоспоживання. Такого ефекту було досягнуто шляхом нового спеціального алгоритму роботи. Так, пристрій передавання даних вмикався лише на період передавання даних. Це забезпечувало можливість роботи від однієї батарейки типу CR2032 протягом кількох років. Стандарт дозволяв проводити обмін даними зі швидкістю 1 Мбіт/с, при розмірі пакету даних від 8 до 27 байт. До того ж зменшувалась швидкість встановлення зв'язку між пристроями до 5 мілісекунд, водночас збільшувалась можлива дистанція між пристроями з 10 до 100 метрів. З метою забезпечення безпеки передавання даних послуговувались AES-шифруванням [7]. Через шифрування даних

отримати доступу до пристрою без дозволу користувача стало майже неможливим. Для того, щоб розпочати процес обміну даними між мобільними пристроями було необхідно, щоб на цих пристроях користувачі пройшли процедуру авторизації, тобто обмінялися кодами доступу [7, 8].

Підкреслимо, що Bluetooth із самого початку було розроблено як стандарт бездротового обміну даними між мобільними пристроями, і тільки згодом почався випуск спеціальних пристроїв для стаціонарних комп'ютерів. Крім того, даною технологією все частіше стали послуговуватися у бездротових периферійних пристроях [7, 8] (рисунок 1.2).

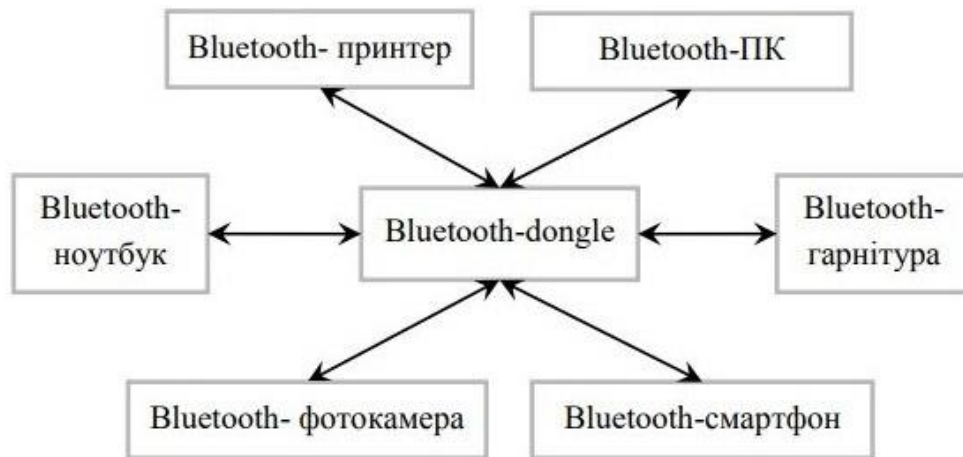


Рисунок 1.2 – Приклад використання Bluetooth на базі універсального прийомопередавача

Як приклад застосування Bluetooth наведемо дистанційну роботу з периферійними пристроями, на кшталт роботи з принтером. Таким чином, можна зменшити кількість дротів. До того ж цілком можливо користуватись принтером декільком ПК, без обов'язкового підключення до мережі або напряду до принтера за допомогою дротів.

Наразі ця технологія властива майже всім галузям господарської діяльності, особливо галузі інформаційних технологій. Завдяки компактності пристрою та зручності застосування більшість компаній-виробників і периферійних пристроїв, на кшталт мишек, клавіатур, джойстиків, принтерів

тощо, послуговуються Bluetooth для забезпечення функціонування своїх пристроїв із ПК без використання великої кількості дротів. З позиції виробників мобільних пристроїв і ноутбуків, застосування такої технології актуальне для обміну даними між самими пристроями та додатковими периферійними пристроями (мишками, клавіатурами, принтерами тощо) [7].

З огляду на все, сказане вище, до переваг даної технології належать:

- мобільність;
- доволі висока швидкість передавання даних;
- доступність;
- безпечність передавання даних;
- необхідність авторизації пристрою;
- низька чутливість до перешкод.

Проте, на жаль, досліджуваній технології властиві й недоліки. Якщо, наприклад, два користувача забажають обмінятися даними, то коли один із них розпочне пошук пристрою іншого, то пристрій першого користувача знайде всі пристрої, що будуть увімкненими у радіусі 10 – 15 м, це спричинить зниження швидкості ініціалізації пристрою другого користувача.

### 1.3.2 Технологія інфрачервоного випромінювання

IrDA (Infrared Data Association) або інфрачервоний порт позначає набір стандартів, які описують фізичний і логічний рівні передавання даних із застосуванням діапазону світлових хвиль як засобу передавання. Ця технологія є аналогом оптичної лінії зв'язку близького радіусу дії. Наразі вона актуальна для дуже вузького напрямку діяльності. Згодом розвиток нових протоколів обміну даними витіснив цей стандарт на другий план, тому більшість виробників відмовились від встановлення модулю до мобільних пристроїв. Ключовими причинами відмови від цієї технології можна назвати значні труднощі під час монтування до мобільних пристроїв ІЧ-прозорого віконця, обмежену дальність дії під час передавання інформації (до 2 м), а також відносно низьку швидкість передавання даних. Хоча проблему зі

швидкістю було вирішено з часом, утім швидкісні варіанти IrDA широкого розповсюдження не набули [8, 9].

Зазвичай для обміну даними через IrDA на пристрої встановлюються два датчики: світлодіод для передавання даних і фотодіод для приймання даних, однак рідше встановлюється тільки світлодіод або лише фотодатчик, яке-от на телевізорі та пульті дистанційного керування. Наразі інфрачервоні порти встановлюються не тільки до пультів і телевізорів, але й до комп'ютерів, деяких мобільних пристроїв, а також до деяких моделей принтерів і цифрових фотоапаратів.

Хоча дана технологія наразі вважається застарілою (отже, не є актуальною для мобільних пристроїв з метою передавання даних) існує багато пристроїв, для яких застосування цієї технології залишається на часі.

У підсумку перелічимо переваги даної технології:

- мобільність;
- безпечність передавання даних.

Водночас недоліки даної технології полягають у:

- труднощах у монтуванні до пристроїв;
- передаванні даних лише на невеликій дистанції між пристроями;
- високій чутливості до перешкод.

### 1.3.3 Технологія бездротового зв'язку

Технологія бездротового зв'язку Wi-Fi складається з кількох протоколів і базується на стандарті IEEE 802.11. Така технологія призначена для побудови бездротової мережі. Так, ядром бездротової мережі Wi-Fi є точка доступу (Access Point), яка під'єднується до будь-якої наземної мережевої інфраструктури, на кшталт офісної Ethernet-мережі, та забезпечує передавання радіосигналу. Зазвичай точка доступу устаткована приймачем, передавачем, інтерфейсами для під'єднання до дротової мережі та програмного забезпечення для конфігурації пристрою та оброблення даних.

Як тільки точка доступу стає активною, то навколо неї утворюється територія радіусом 50 – 100 м (її ще називають зоною дії Wi-Fi) [10].

Ця технологія була створена як стандарт для побудови корпоративних мереж. Утім зараз точку доступу може встановити кожен охочий, оскільки вони стали доступними на масовому ринку. На сьогодні виробники мобільних пристроїв почали вмонтовувати Wi-Fi-передавачі до своїх мобільних пристроїв, щоб забезпечити доступ до мережі Інтернет і локальних мереж через відкриті точки доступу [10]. На рисунку 1.3 наведено приклад застосування точки доступу Wi-Fi різними пристроями для передавання даних і доступу до мережі Інтернет.

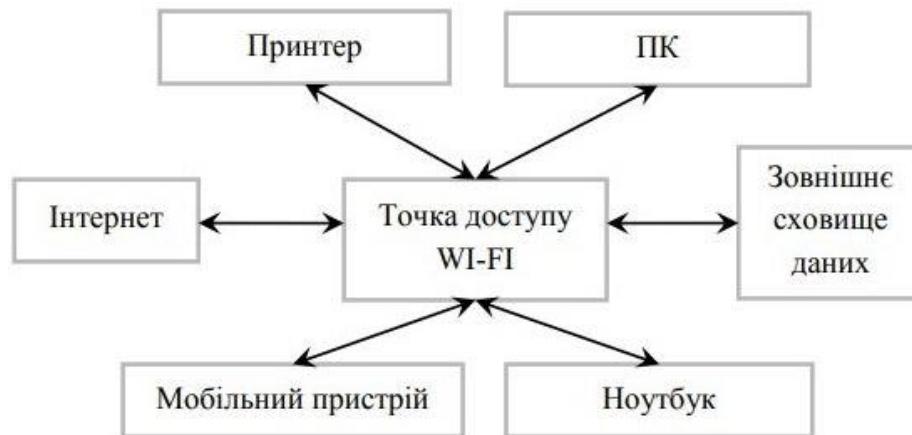


Рисунок 1.3 – Приклад роботи точки доступу Wi-Fi для передачі даних та доступу до мережі Інтернет

За приклад застосування технології розглянемо бездротову мережу університету. В університеті обладнано декілька відкритих точок доступу, що забезпечують бездротовий доступ до Інтернет.

У цій зоні можна послуговуватися бездротовою мережею. Щоб підключитися до неї через мобільний пристрій, необхідно лише потрапити до радіусу її дії. Всі дії щодо налагодження зв'язку виконуються автоматично. У разі, якщо користувач потрапить до зони дії декількох точок доступу до мережі, він зможе обрати, до якої власне він хоче підключитися, або автоматично буде реалізовано підключення до тієї точки доступу, що

забезпечуватиме найбільш потужний сигнал. Водночас під час користування клієнтом мережею у зоні дії декількох точок доступу відбувається перевірка інших точок доступу. Якщо сигнал нової точки доступу виявиться потужнішим, то пристрій автоматично перепідключиться до неї та налаштує всі параметри таким чином, що користувач навіть не помітить цих дій. Крім того, можна встановити зв'язок між двома та більше пристроями без застосування точки доступу. Для цього необхідно створити маленьку локальну мережу, в якій користувачі можуть обмінюватися файлами, проте у даному разі кількість видимих станцій обмежується [10].

У сьогоденні Wi-Fi застосовується у багатьох напрямках діяльності. Найбільшого попиту технологія набула серед Інтернет-провайдерів, оскільки це дозволяє їм відмовитися від десятків кілометрів дротів. Ба більше, дана технологія популярна в ігровій індустрії, зокрема такі відомі бренди, як Sony та Nintendo, вмонтовують Wi-Fi-пристрої до власних ігрових консолей з метою забезпечення доступу до Інтернету. До того ж деякі комерційні організації, як-от заклади харчування, надають доступ до мережі Інтернет, що базується на даній технології. Утім великі компанії та корпорації послуговуються Wi-Fi для створення корпоративної мережі, оскільки це дешевше, ніж застосовувати дротову мережу Ethernet [10].

В Україні користуватися Wi-Fi без дозволу Українського державного центру радіочастот (УДЦР) дозволено, якщо використовувати точки доступу зі стандартною антеною для внутрішніх потреб організації чи приватних користувачів. У разі дії сигналу більшої потужності чи надання послуг доступу до мережі Інтернет, необхідно зареєструвати пристрій та отримати ліцензію від УДЦР.

Отже, переваги даної технології полягають у:

- мобільності;
- безпечності передавання даних;
- великому радіусі дії сигналу;
- високій швидкості передавання даних;

- можливості створення бездротової мережі;
- низькому рівні чутливості до перешкод.

Недоліками даної технології є:

- у діапазоні частот 2,4 ГГц функціонує безліч пристроїв, зокрема ті, що устатковані Bluetooth-адаптером, який погіршує якість передавання інформації;
- частотний діапазон та експлуатаційні обмеження у різних країнах індивідуальні;
- необхідність реєстрації пристроїв із потужністю понад 100 мВт;
- стандарт шифрування WEP, який застосовується для захисту доступу до мережі, досить легко обходять хакери.

#### 1.3.4 Технологія NFC

NFC (Near Field Communication). Цю технологію було представлено у 2004 році некомерційною асоціацією NFC Forum, яку було засновано компаніями Nokia, Sony Ericson та Nix Semiconductors. Згодом до цієї асоціації приєдналась компанія Google. NFC є технологією бездротового радіочастотного зв'язку малого радіусу дії, що надає можливість обмінюватися даними на відстані не більше 10 сантиметрів. NFC реалізовано як розширення до стандарту безконтактних карток (ISO 14443), а також поєднує у собі смарткартку разом із пристроєм зчитування даних у єдиний прилад. Максимальна швидкість обміну даними складає всього 0,8 Мбіт/с.

Області застосування цієї технології:

- емуляція смарт карток, тобто пристрій функціонує як звичайна безконтактна картка;
- режим зчитування, тобто пристрій може зчитувати та розпізнавати, наприклад, інтерактивний рекламний стенд або смарт-постери;
- режим P2P (Point-to-point) режим обміну даними між пристроями;
- безготівкові платежі, тобто подібні до банківської картки;
- соціальні сервіси;

- муніципальний транспорт;
- система обліку та контролю часу виконання певних робіт;
- системи ідентифікації та контролю доступу до інформації;

У разі порівняння цієї технології з іншими, як-от зі схожою на неї технологією Bluetooth, можна зазначити, що істотна перевага NFC полягає у меншому часі щодо встановлення з'єднання (менше ніж 0,1 с). До того ж у NFC менший радіус дії (10 см), що зменшує ризик атаки на пристрій та зчитування даних. На відміну від Bluetooth, NFC сумісний із RFID (Radio Frequency Identification – радіочастотна ідентифікація) структурами (на кшталт електронної рекламної дошки). Однак NFC суттєво поступається Bluetooth за швидкістю передавання даних, яка складає лише 424 кбіт/с порівняно із 2,1 Мбіт/с у Bluetooth. Тому, наразі, розглянутою технологією доцільно послуговуватися лише як пристроєм, який може емулювати безконтактну картку [11].

Зараз дана технологія перебуває на стадії тестування та впроваджена лише до вузької сфери діяльності у країнах Європи, США та Японії. Проте незважаючи на це, NFC актуально для мобільної покупки квитків у транспорті, мобільних платежів, тобто мобільний телефон, у якому присутній NFC-чіп, можна застосовувати як платіжну картку чи електронну дошку для зчитування рекламних об'яв. У майбутньому ця технологія зможе втілити ще більше можливостей та функцій, зокрема як електронні гроші, електронні посвідчення, карти мандрівника тощо.

#### 1.4 Аналіз програмних продуктів бездротового зв'язку

На сьогодні на ринку є безліч застосунків, які можуть передавати файли між двома приладами на базі Android, або від смартфона до ПК через технологію Bluetooth. Майже до всіх менеджерів файлів вбудовано функцію передавання файлів через Bluetooth. Проте таких застосунків, які в автоматичному режимі передаватимуть новостворені за допомогою

форкамери зображення, знайдено не було ані в магазині застосунків Google Play, ані на тематичному форумі 4pda.

Перед тим, як перейти до реалізації завдання з кваліфікаційної роботи, доцільно проаналізувати чинні системи подібного роду і тематики. Окресливши переваги та недоліки конкурентів, необхідно зробити правильні висновки про те, які функції потрібно додати до майбутньої системи бездротової комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

## 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОМУНІКАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

### 2.1 Дослідження загальної схеми комунікації мобільного робота

Смарт-робот із вбудованим Wi-Fi є системою, керувати якою можна за допомогою спеціально розробленої веб-сторінки. Для цього застосовується плата мікроконтролера Arduino з екраном Arduino Ethernet, яка спрямовує робота на шлях, обраний оператором. Перемикач режиму керування мобільним роботом функціонує за допомогою джойстика і містить такі режими: назад, вперед, ліворуч і праворуч. Розширений інтерфейс для режиму керування перемикачем, який успішно взаємодіє з інтерфейсом робота за допомогою Arduino, а також контролює його в бездротовому середовищі за допомогою кнопок керування на власній веб-сторінці.

Як продемонстровано на блок-схемі (рисунок 2.1), контроль над мобільним роботом можна реалізувати через спеціально розроблену веб-сторінку. Отже, робот зможе маневрувати в зазначених напрямках.

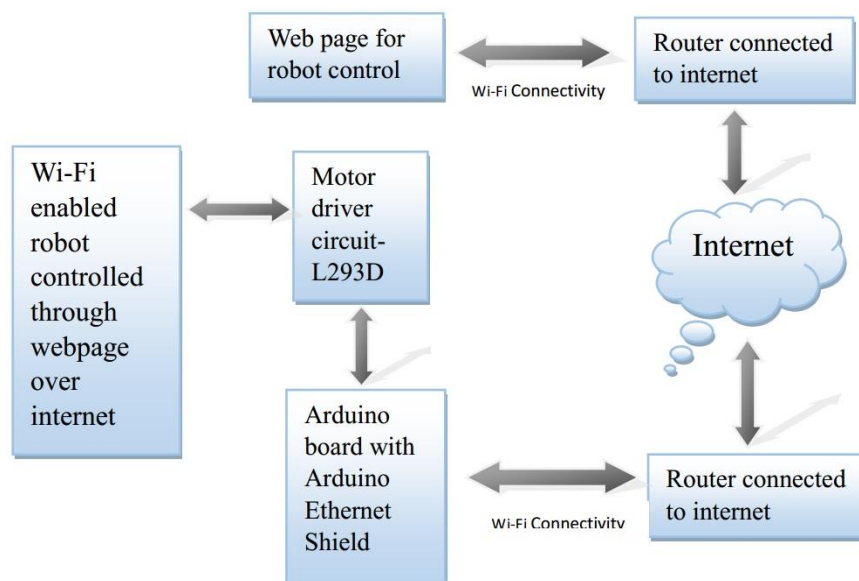


Рисунок 2.1 – Функціональна блок діаграма Wi-Fi мобільного робота

Коли виділена веб-адреса вводиться до веб-браузера, то завантажується вебсторінка, що містить контроль над роботом. Під час натискання на відповідні елементи керування на вебсторінці формуються контрольні пакети, котрі передаються через Інтернет і приймаються серійним Arduino Ethernet Shield через маршрутизатор, який знаходиться в кінці приймача. Згодом із Ethernet Shield через інтерфейс SPI дані передаються на плату Arduino за допомогою схеми драйверів двигуна, після чого надаються призначені напрямки.

У першому випадку було розглянуто робота, мобільність якого було реалізовано через Інтернет. Наразі більш детально розглянемо процес керування роботом за допомогою Bluetooth. Тут доцільно застосувати модуль Bluetooth, який підключено до плати Arduino. Так, на високорівневій мові програмування Java було створено аплет Android, який послідовно зв'язується з дошкою Arduino, вводячи виділену MAC-адресу.

Завдяки модулю Bluetooth реалізується зв'язок між платою Arduino та телефоном Android. Контроль напрямку руху робота досягається шляхом натискання на спеціальну піктограму на телефоні Android, як це продемонстровано на рисунку 2.2.

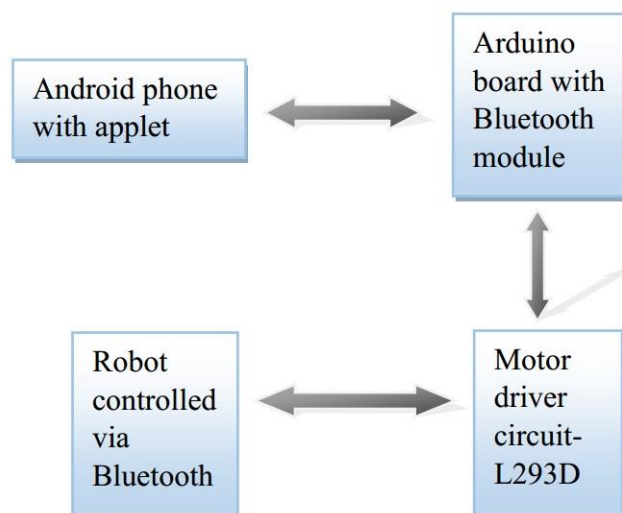


Рисунок 2.2 – Функціональна блок діаграма Bluetooth робота

Зі свого боку керівництво роботом передбачає різні завдання, зокрема відеопередачу та зв'язок, моделювання середовища та планування руху, оброблення зображень та злиття сенсорних даних у режимі реального часу, контроль за відстеженням шляху та навігацією.

Одночасна локалізація та зображення, що надходить з робота, покращує якість виконання завдання мобільним роботом у разі навігації в невизначеному чи невідомому середовищі [12]. Робот досліджує навколишнє середовище, будує карту та, водночас, рухається без зовнішнього керівництва. Разом із тим система одночасної локалізації та передавання зображення служить для підтримки точності задання цільової позиції системі координат робота. Крім того, є метод оптичного керування. Ціль (позиція) передається неявно (оптично).

Візуальний сервіс ґрунтується на обробленні зображень для керування роботом відносно орієнтира [12]. Цільова позиція позначається цільовим зображенням, яке надійшло від цієї позиції. Мета полягає у досягненні зближення заданого зображення з поточним, яке було задано роботу, шляхом контролю руху робота. В результаті робот досягає своєї цільової позиції. Втім метод оптичного наведення має відмінності у порівнянні з візуальними сервісами, оскільки в навколишньому середовищі маршрут для робота вказується за допомогою лазерних маяків. До того ж зв'язок між роботом та системою наведення реалізується тоді, коли робот досяг свого поточного цільового положення, задля передачі наступної позиції.

Утім лазерне світло, для позначення зони нової цільової позиції, можна застосувати за декількома сценаріями. Так, для керування мобільними роботами оператор спрямовує лазерну вказівку на новий об'єкт, а два мобільні роботи, кожен із устатковано кольоровою камерою із зарядовим зв'язком, виявляють точку лазера. Зі стереотипів надходять відносні координати місця, на яке спрямовано лазерну вказівку. Таким чином, даний метод потребує інформації щодо точного місцезнаходження робота. Втім, на практиці, точна локалізація мобільних роботів вимагає безлічі обчислень.

Доволі поширеним є керування роботом за допомогою інформації, що надходить від сенсорного пристрою. Оператор, у граничному оточенні, керує роботом, на якому присутні датчики, обладнані процесорами. Кожен мобільний робот ідентифікується за допомогою колірного штрих-коду та зберігається в базі даних. Утім місцезнаходження робота можна виявити за допомогою одного з візуальних датчиків шляхом вимірювання відстані між роботом і датчиком. Через бездротову локальну мережу до робота надходить контрольна команда згідно з бажаним шляхом і оцінкою позиції. Отже, керування досягається через інформацію про місцезнаходження.

Камери, що розташовані на роботі, зв'язані з системою з лазером. Лазер, зі свого боку, точно вирівняний із оптичною віссю своєї камери і центром над вершиною об'єктива камери. Така система дозволяє вимірювати відстань до об'єкта, що розглядається.

Комп'ютерна лазерна вказівка світить у місцях на поверхні, зазначених користувачем, що представляє інтерес для просторової камери. Світлові маркери сприймаються як спільні просторові точки, орієнтуючись на які потребується встановити відображення між камерами, що аналізують робочу область, відповідно до заданих умов. Під час застосування методу камерно-просторової маніпуляції досягається висока точність позиціонування.

Перевагами оптичного методу керування є:

- цільові позиції точно позначені в навколишньому середовищі шляхом комп'ютерного сервісу лазерного покажчика чи покажчиків, які розташовані у навколишньому середовищі;
- візуальні зворотні зв'язки забезпечують кращу точність позиціонування робота;
- весь шлях, який робот подолає, розбивається на декілька відрізків (лазерні маяки);
- накопичення помилок, які спричинені неточним визначенням локалізації робота в навколишньому середовищі, не відбувається, оскільки локалізація виконується, коли робот досягнув зазначеної цільової позиції;

– у разі функціонування декількох роботів зв'язок між ними та системою наведення дозволяє отримувати додаткові данні і використовувати їх для більш точного визначення місцеположення робота;

– одна система наведення може вказувати цільові позиції для декількох роботів.

Система керування спирається на бездротовий зв'язок із системами керування роботами. Система бачення робота обробляє кольорові зображення для виявлення лазерного маяка на землі та оцінювання. Щоб уникнути перекриття лазерних маяків, застосовують два або більше лазерних вказівників, які функціонують, наприклад, у протилежних кутах робочої зони.

У наступній системі було прийнято вже створений протокол щодо передавання даних. Розглянемо більш докладно головну інформацію про цей протокол.

Запропонований протокол окреслює простий синтаксис пакетів, який від фізичного транспортного середовища не залежить. Протокол розраховано на підтримку до 15 однозначно адресованих вузлів, де власне вузол може бути роботом або базовою станцією. У межах мережі всі вузли є рівноправними. Таким чином, будь-який вузол може взаємодіяти з будь-яким іншим вузлом. Зі свого боку, окремі пакети можуть містити один із 16 ідентифікаторів FXN, які більш детально опрацюємо далі.

Вивчимо більш розгорнуто мережу. Запропонований протокол найбільш придатний до моделі OSI (Open Systems Interconnection Basic Reference Model – базові моделі взаємозв'язку відкритих систем), яка накладена, абстрактним описом для комунікацій та розроблення комп'ютерного мережевого протоколу, що сформовано в межах ініціативи з'єднання відкритих систем. Власне діаграму наведено на рисунку 2.3.

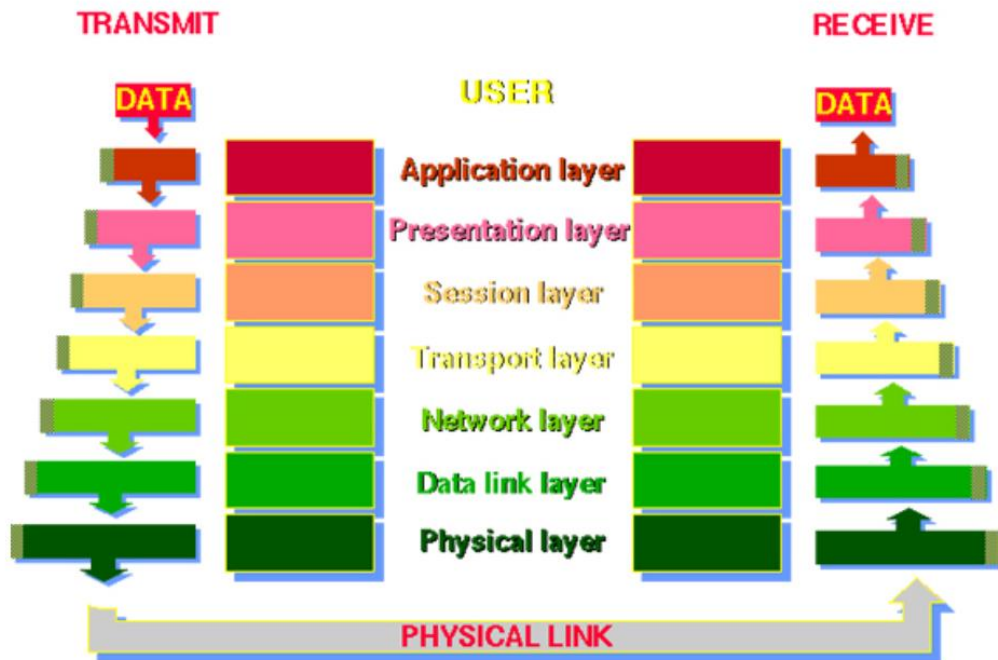


Рисунок 2.3 – Шари організації моделі OSI 7

З огляду на те, що запропонований протокол може застосовуватися в низці мережевих топологій, його було оптимізовано для реалізації в одноранговій, асинхронній, завантаженій мережі. Кожен вузол у мережі повинен послуговуватися унікальною, ненульовою адресою. Це дозволяє кожному пакету бути як носієм інформації так і вузлом, який цю інформацію приймає. У зв'язку з цим будь-який вузол за замовчуванням може спрямовувати пакет на будь-який інший вузол. Утім інші конфігурації мережі можна побудувати поверх запропонованого протоколу (master, slave, synchronous тощо), проте вони не визначені як частина поточного стандартного протоколу.

Для того, щоб бути максимально гнучким, пакети набувають обмеження 8-бітними байтами. Це сприяє його простоті й ефективності на багатьох платформах, зокрема 8-бітному мікроконтролері AVR, який функціонує як основний процесор на багатьох роботах. Довжина пакета в один байт робить його добре сумісним із низкою фізичних транспортних шарів (на кшталт RS232).

Пакет складається з чотирьох розділів: START, HEADER, DATA та CHECKSUM, що передаються у такому порядку. Дані розділи зведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Структура пакету передачі даних

Тип пакету	Байти	Опис		
START	1	Завжди 0x5A		
HEADER	1	DST	SRC	Перший байт тримає адресу призначення (DST) у верхній частині і адресу джерела (SRC) у нижній. SRC ніколи не повинно бути 0. LEN ніколи не повинно бути 0
	1	FXN	LEN	Другий байт тримає функцію (FXN) у верхній частині і довжину даних (LEN) в нижній. DST від 0 – загальний виклик
DATA	LEN	Основні дані (D [1] ... D [LEN]). Має бути щонайменше один байт даних. Організація даних залежить від реалізації, але для більшості даних рекомендується декілька байт		
CHECKSUM	2	16-бітна циклічна перевірка надмірності, перша MSB (CRC1, CRC0). Поліноміум використовується в $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ .		

Байт START актуальний для синхронізації передавача та приймача. Оскільки байт START завжди набуває відомого значення, то приймач, із високою вірогідністю, буде знати, що пакет починає працювати. Втім значення байтів START не зарезервовано, тому воно може відобразитися в розділах HEADER, DATA та / або CHECKSUM.

У розділі HEADER внесено всі важливі відомості про пакет. Він складається з чотирьох ниток, які розділені між двома байтами, що разом створюють пакет. Перший байт містить інформацію про вихідну та цільову адреси (SRC, DST). Так, адреса джерела ніколи не може співпадати з адресою

вихідного вузла завжди. Зауважимо, що адреса 0 зарезервована для подальшого використання і тому не може бути застосована як вихідна адреса. Адреса призначення може бути як адресою призначеного одержувача, так і 0 для загального виводу. Кожен вузол повинен приймати загальну трансляцію повідомлень з одного вузла автоматично. Трансляція з одного вузла змушує всі інші вузли в діапазоні перейти на прийом.

Другий байт HEADER складається з ідентифікатора функції (FXN) та довжини даних корисного навантаження (LEN). Ідентифікатор функції застосовується для того, щоб позначити, які дані є носіями корисної інформації. Точне значення кожного ідентифікатора функції залишається до реалізації. Наразі стандартів не встановлено.

Параметр length визначає кількість завантажених байтів корисної інформації до пакетів. LEN відмінний від 0 і зарезервовано для подальшого застосування, тому кожен пакет повинен містити як мінімум 1 байт корисного навантаження. У зв'язку з тим, що параметр довжини дорівнює 1, таким чином, максимальна довжина корисного навантаження становить 15 байт.

Розділ DATA – це фактичні дані корисної завантаженості. Нагадаємо, що пакет може містити 1 – 15 байтів даних, отже, будь-які значення даних є прийнятними, тому дані можна структурувати за будь-яким бажаним способом.

## 2.2 Механізми захисту у бездротових мережах

На сьогодні безпека даних вважається одним із найважливіших параметрів технології, оскільки користувач може передавати конфіденційні дані. Так, безпечність застосування технології Bluetooth реалізується через аутентифікацію, шифрування, контроль QoS (quality of service), а також низку інших засобів. У специфікації наголошено, що інформація користувача може бути захищена власне шляхом шифрування даних, які передаються тоді, коли

код доступу і заголовок пакету даних передаються у відкритому вигляді. З огляду на це, стає ймовірною можливість атаки на рівні каналу передавання даних. Для шифрування застосовується стандарт шифрування AES. Утім Bluetooth може функціонувати в одному з трьох режимів безпеки:

- незахищеному режимі. Тобто шифрування та аутентифікація не працюють, а власне пристрій функціонує у ширококомовному каналі.
- захищеному на рівні застосунку чи служби (L2CAP). У даному режимі після встановлення з'єднання з пристроєм менеджер безпеки здійснює аутентифікацію, через що значно обмежується доступ до пристрою.
- захисті на рівні каналу зв'язку (link-layer PIN authentication/ MAC address encryption). Аутентифікація застосовується до встановлення з'єднання з пристроєм. Під час передавання даних функціонує прозоре шифрування.

Базою, на якій ґрунтується безпека Bluetooth, стає генерація ключів, яка реалізується на рівні PIN-коду. Довжина PIN-коду може бути від 1 до 16 байт. Наразі більшість пристроїв послуговуються 4-байтовим кодом. Отже, розглянемо, як проходить процес встановлення зв'язку між пристроями, приклад якого продемонстровано на рисунку 2.4 [14].

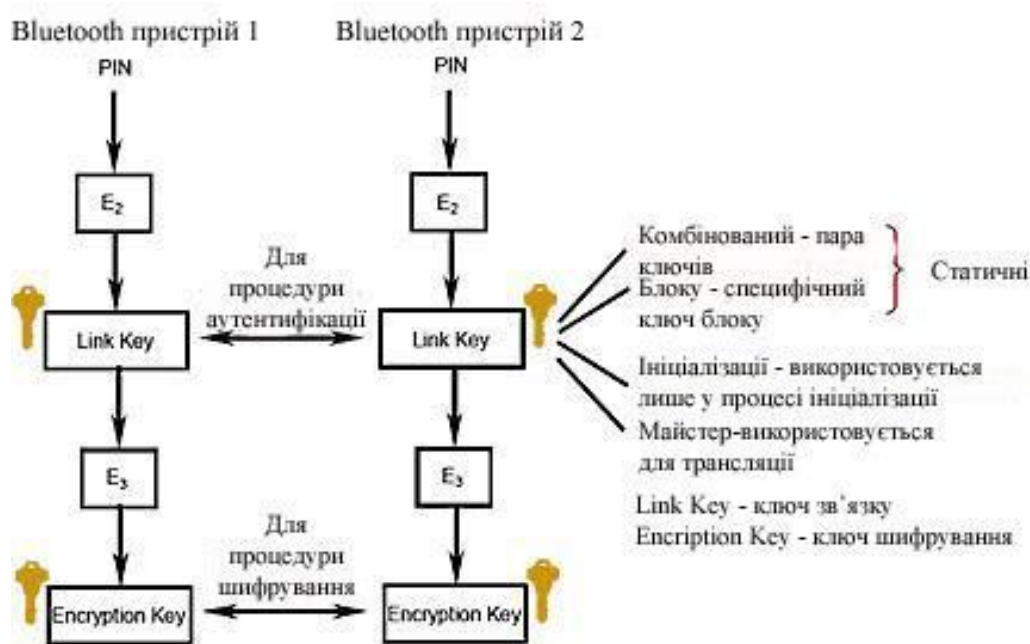


Рисунок 2.4 – Процес встановлення зв'язку між пристроями

Власне процес встановлення зв'язку виконується у два етапи. На першому етапі на базі PIN-коду за алгоритмом E2 (Rijndael) генерується 16-байтовий ключ Link.

Так, Key (ключ зв'язку) призначений для попереднього встановлення зв'язку з пристроєм. Далі за алгоритмом E3(RC4) на базі згенерованого ключа Link Key обчислюється Encryption Key (ключ шифрування). Власне процес аутентифікації пристрою продемонстровано на рисунку 2.5.

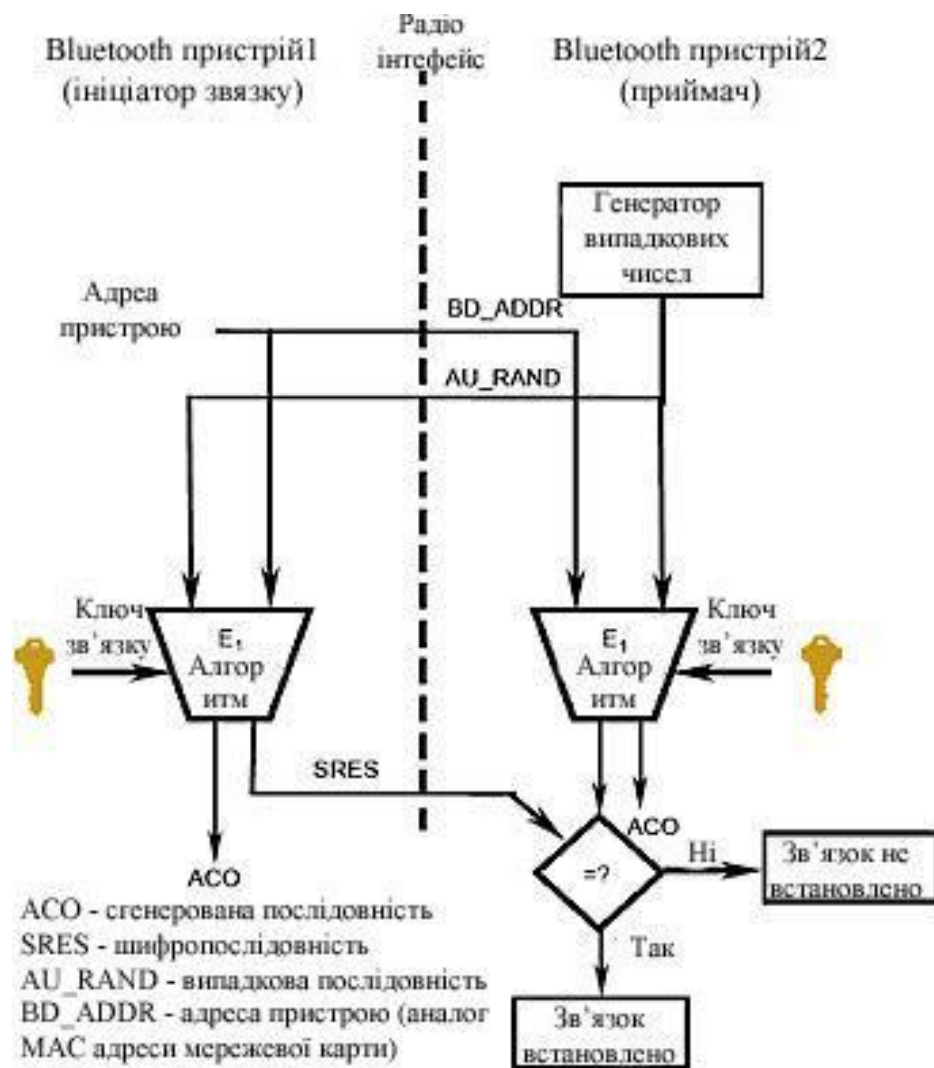


Рисунок 2.5 – Процес аутентифікації пристрою

Аутентифікація реалізується за такою схемою [14]:

– пристрій, який ініціює встановлення з'єднання, надсилає свою адресу (BD\_ADDR). Її довжина складає 48 біт. До того ж адреса має бути

унікальною, на кшталт MAC – адреси мережевої карти. За такою адресою можна визначити виробника пристрою.

- у відповідь надходить випадкова 128-бітна послідовність (AU\_RAND).

- на основі BD\_ADDR, Link Key та AU\_RAND обидва пристрої генерують шифропослідовність SRES (послідовність, яка створена з BD\_ADDR, Link Key та AU\_RAND).

- пристрій, який виконує запит на встановлення з'єднання, надсилає власну SRES.

- пристрій, з яким встановлюється зв'язок, порівнює отриману SRES зі своєю і у разі їхньої ідентичності реалізується успішне встановлення зв'язку між пристроями. Хоча PIN-код не передається у відкритому вигляді, проте він може бути зламаний за наявності перехоплених BD\_ADDR, AU\_RAND и SRES. Утім це можна зробити лише за допомогою спеціальних програмних засобів, яких у відкритому доступі знайти майже не можливо.

Механізми безпеки Wi-Fi. Крім власне вибору радіочастотного діапазону і типу модуляції однією з найбільших проблем бездротових мереж з моменту їхньої появи вважається низька захищеність від перехоплення даних. На відміну від кабельних мереж, у яких навряд чи можливе перехоплення інформації без фізичного доступу до середовища передавання (без кабелю чи комутаційного обладнання), бездротові мережі виявляються практично беззахисними, якщо не послуговуватися спеціальними заходами. Частково питання безпеки розв'язуються шляхом застосування спрямованих антен. Однак ця технологія передбачає шифрування даних з метою підвищення рівня безпеки застосування бездротової мережі [15].

Першою спробою системи захисту з шифруванням даних стала специфікація WEP (Wireless Equivalent Privacy), яка ґрунтувалась на шифруванні даних за допомогою 24-бітного ключа RC4. Однак уже цей механізм піддавався зламу, точніше, були знайдені способи, що дозволяють або швидко визначити ключ шляхом аналізу даних, які передаються (так,

ключ виявився занадто «слабким», а в деяких випадках для його розрізнення достатньо проаналізувати всього близько 8 000 пакетів), або підмінити заголовок пакета, котрий не підлягає шифруванню (в радіомережах таку підміну можна виконати набагато легше, ніж у провідних мережах) для того, щоб переспрямувати декодований точкою доступу пакет до іншого одержувача, для якого він буде закодований його власним ключем. Згодом було впроваджено WEP 2, де збільшувалися вектори ініціалізації та ключі до 128 біт, проте це не поліпшило ситуації щодо забезпечення безпеки [15].

З часом було прийнято специфікацію TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), яка дозволяла усунути певні недоліки WEP, однак значно вплинула на пропускну здатність мережі. TKIP забезпечила лише мінімальний рівень захисту, оскільки більш серйозні рішення потребували б зміни апаратної частини бездротових пристроїв, а також серйозної зміни інших протоколів [15]. На зміну WEP прийшли технології захисту WPA та WPA2 (Wireless Protected Access). Тобто оновлені програми сертифікації пристроїв бездротового зв'язку.

Так, переваги WPA полягають у посиленій безпеці даних разом із посиленням контролем доступу до бездротових мереж. Вагомою складовою стає сумісність між безліччю бездротових пристроїв, зокрема на апаратному та програмному рівнях. Наразі WPA та WPA2 розробляються та підтримуються організацією Wi-Fi Alliance. У WPA реалізовано підтримку стандартів 802.1X, а також протоколу EAP (Extensible Authentication Protocol – розширеного протоколу аутентифікації). Підкреслимо, що в WPA2 підтримується шифрування відповідно до стандарту AES (Advanced Encryption Standard, удосконалений стандарт шифрування). Найбільш популярним представником стандарту AES визначено шифр Rijndael, який є найстійкішим до атак. На рисунку 2.6 продемонстровано процес аутентифікації клієнта в мережі Wi-Fi [15].

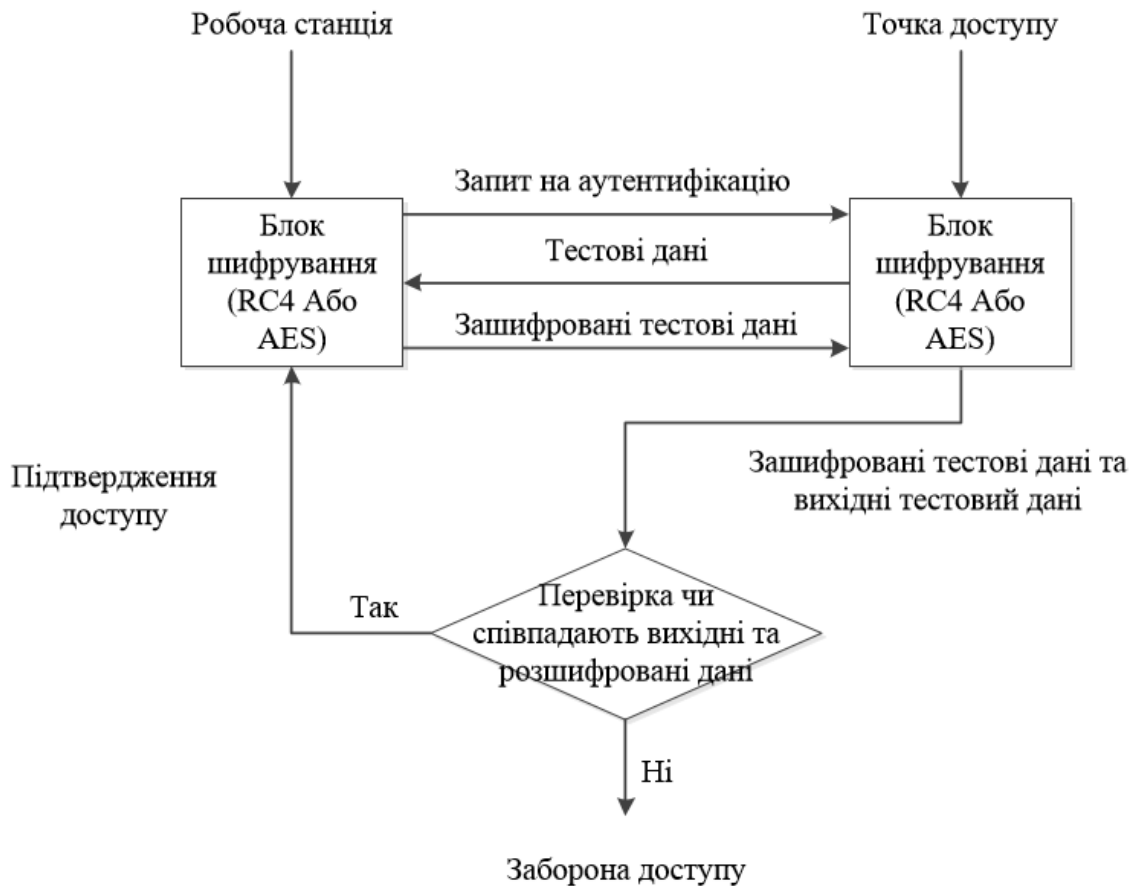


Рисунок 2.6 – Процес аутентифікації клієнта

Аутентифікацію виконано за схемою запит/відгук (request/response). Клієнт (Client або Station), який бажає підключитися до точки доступу (Access Point), надсилає запит щодо аутентифікації (Authentication Request). Точка доступу генерує 128-байтовий псевдовипадковий "тестовий текст" (Response Text) і надсилає його клієнту. Отримавши "тестовий текст відповіді", клієнт шифрує його 64-бітовим ключем, який було створено на основі секретного WEP (WPA) – ключа і довільного вектора ініціалізації. Зашифрований тестовий текст відповіді (Encrypted Response Text) разом із вектором ініціалізації передається на точку доступу, де виконується зворотний процес: застосовуючи секретний WEP (WPA) – ключ і відкритий вектор ініціалізації, Точка Доступу розшифровує пакет, після чого порівнює отриманий текст із оригінальним. Якщо вони збігаються, то аутентифікація вважається успішною, тому клієнту надходить підтвердження доступу

(Confirm Success) [15, 16]. Як варіант розв'язання проблеми щодо безпеки стандарту 802.1X пропонується одночасне внесення змін до апаратної частини, а також перегляд конструкції протоколів і застосування спеціального стандарту шифрування AES (Advanced Encryption Standard), що передбачає застосування 128-бітних ключів.

Згляду на опрацьовану інформацію можна зробити висновок, що лише деякі протоколи Wi-Fi є сумісними між собою. До того ж технології характерні вразливості у безпеці, проте цієї проблеми з часом можна позбутися, оскільки вже сьогодні впроваджуються криптостійкі алгоритми шифрування з метою захисту мережі. Зважаючи на види файлів, які можна передавати за допомогою технології, то доцільно підкреслити, що передавати можна усі види файлів.

### 3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗДРОТОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ З МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

#### 3.1 Огляд програмно-апаратних засобів для створення бездротового з'єднання з мобільним роботом

Платформа MRDS (Microsoft Robotics Developer Studio – орієнтоване середовище розроблення застосунків для робототехніки та симуляції. Серед особливостей було визначено: мову графічного програмування VPL, Web і Windows – орієнтовані інтерфейси, середовище симуляції VSE, спрощений доступ до датчиків, мікроконтролерів і виконавчих механізмів робота, підтримку мови програмування C#, бібліотеки для багатопоточного програмування та розподіленого реалізації застосунків CCR і DSS, підтримку багатьох робототехнічних платформ (Eddie, Voe-Bot, CoroBot, iRobot, LEGO NXT тощо).

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) є середовищем розроблення та платформою для виконання програм, які створено на графічній мові програмування «G» фірми National Instrument. Так, LabVIEW є придатною для систем збирання й оброблення даних, а також для керування технічними об'єктами і технологічними процесами. Ідеологічно LabVIEW дуже подібна до SCADA-систем, однак на противагу їм здебільшого орієнтована на розв'язання завдань не так у напрямку АСК ТП (автоматизовані системи керування технологічним процесом), як у напрямку АСНД (автоматизованих систем наукових досліджень). Графічна мова програмування «G», якою послуговуються в LabVIEW, ґрунтується на архітектурі потоків даних. Так, послідовність виконання операторів у таких мовах утворюється не за порядком їхнього слідування (як в імперативних мовах програмування), а за наявністю даних на входах цих операторів. Оператори, котрі з даними не пов'язані, реалізуються паралельно в

довільному порядку. До того ж програма LabVIEW називається і є віртуальним приладом (англ. Virtual Instrument), також складається з двох частин:

- блокової діаграми, що описує логіку роботи віртуального приладу;
- лицьовій панелі, що описує інтерфейс користувача віртуального приладу.

Стандарт Bluetooth призначений для забезпечення взаємодії низькошвидкісних (зі швидкістю передавання даних до 700 Кбіт/с) малопотужних пристроїв, до яких належать портативні та кишенькові комп'ютери PDA, мобільні телефони на базі iOS, Android тощо.

Bluetooth – це сумісні пристрої, котрі вперше потрапили до комп'ютерного ринку в другій половині 2000 року, набули все більшого та більшого поширення. Аналіз ринку мобільних телефонів виявив, що на сьогодні 98% учнів користуються мобільним телефон і 70% телефонів устатковані радіомодулем Bluetooth. Так, застосування радіомодулів Bluetooth є безкоштовним, отже, дозволяє автоматизувати навчальний процес. До того ж апаратними засобами Bluetooth можна постуговуватися для створення тимчасової мережі, в якій один з одним пристрої з'єднуються лише протягом певного часу, необхідного для передавання даних.

Радіозв'язок Bluetooth реалізується в діапазоні, що є вільним від ліцензування, 2,40 – 2,48 ГГц. Спектр сигналу формується за методом частотних стрибків. Послідовність перемикання між частотами для кожного з'єднання буде псевдовипадковою, час перемикання становитиме 625 мкс. Це сприяє спільній роботі кількох пар приймачів-передавачів. До того ж цей алгоритм є складовою частиною системи захисту конфіденційності інформації, котру необхідно передати: перехід виконується за псевдовипадковим алгоритмом і визначається окремо для кожного з'єднання. Без завадостійкого кодування це забезпечуватиме передавання даних зі швидкостями 723,2 Кбіт/с зі зворотним каналом 57,6 Кбіт/с, або 433,9 Кбіт/с

в обох напрямках. Радіосигнал Bluetooth надійно поширюється на приблизну відстань від 10 м до 100 м.

### 3.2 Створення Bluetooth-з'єднання з мобільним роботом

Мова NXT-G є підґрунтям для пов'язування блоків NXT між собою каналом Bluetooth. Такий зв'язок дозволяє збирати пульт дистанційного керування роботом на базі другого мікроконтролера. Зі свого боку, два роботи можуть надсилати один одному різні повідомлення, як-от інформацію про власне місцезнаходження або про стан навколишнього середовища.

Розглянемо більш докладно процедуру зв'язку блоків каналом Bluetooth. Перед початком налаштування Bluetooth-з'єднання, спершу доцільно впевнитися, що в радіусі хоча б трьох метрів знаходяться мікроконтролери з увімкненим Bluetooth. Ознайомимось із підключенням двох блоків NXT Brick, які необхідно пов'язати між собою.

На першому блоці, послуговуючись сірими кнопками зі стрілками, виберемо у меню пункт Bluetooth і натиснемо помаранчеву кнопку три рази поспіль для підтвердження (рисунок 3.1).

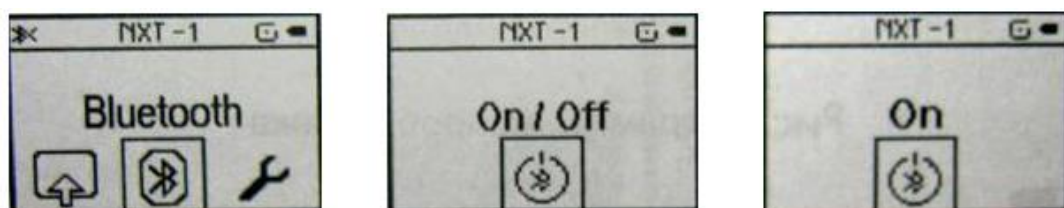


Рисунок 3.1 – Включення Bluetooth на блоці NXT

Напис на екрані «Turning on» інформує про те, що зараз відбувається процес активації Bluetooth. Повторимо такі ж дії з другим блоком NXT. Тепер повернемося до налаштування першого блоку, тому знову виберемо в меню пункт Bluetooth. Шляхом застосування сірих кнопок зі стрілками оберемо підпункт Visibility (видимість) та натиснемо помаранчеву кнопку.

Після появи напису Visible (видимий) знову натиснемо підтвердження. За результатами таких дій було встановлено налаштування видимості блоку. Таким чином, його зможе «побачити» другий блок і підключитися до нього.

За аналогією до попередніх дій зробимо видимим другий блок із вже ввімкненим Bluetooth. Потім у меню Bluetooth перейдемо до підпункту Search (Пошук) і двічі натиснемо підтвердження. Зауважимо, що обов'язковою умовою буде вимикання Bluetooth на пристроях користувача (телефоні, комп'ютері, планшеті тощо), інакше блок NXT зможе під'єднатися до них замість другого блоку. Зрідка такі підключення залишаються активованими, коли виникає необхідність керувати роботом через комп'ютер або телефон за допомогою спеціальної програми.

Після того, як блок NXT «знайшов» другий блок і вивів його ім'я в списку підключень, вибираємо його за допомогою сірих стрілок і натискаємо помаранчеву кнопку підтвердження. Висвітяться цифри 1, 2 і 3 – це канали підключення. Зупиняємо свій вибір на запропонованому за замовчанням першому каналі та натискаємо помаранчеву кнопку. На екрані з'явиться напис Connecting (з'єднання), після чого активується звуковий сигнал у разі успішного встановлення з'єднання. На екрані буде виведено пароль (Pass key), за замовчуванням – “1234”, а також буде показана галочка успішного пошуку пристрою для з'єднання. Отже, залишається натиснути підтвердження.

Якщо блоки поєднуються вперше, то блок, до якого користувач намагається підключитися, запросить пароль. Уведемо послідовність “1234”. Якщо під час з'єднання виникне напис «Line is busy» (лінія зайнята), це свідчить про те, що обраний канал зайнятий іншим пристроєм. У такому разі необхідно обрати інший канал, отже, повторити спробу. Як тільки два блоки під'єднуються один до одного, то в лівому верхньому кутку кожного з них значок «стрілка вліво», що позначає ввімкнений Bluetooth, зміниться на значок ромба. Це підтверджуватиме, що з'єднання встановлено. Схему підключення продемонстровано на рисунку 3.2.

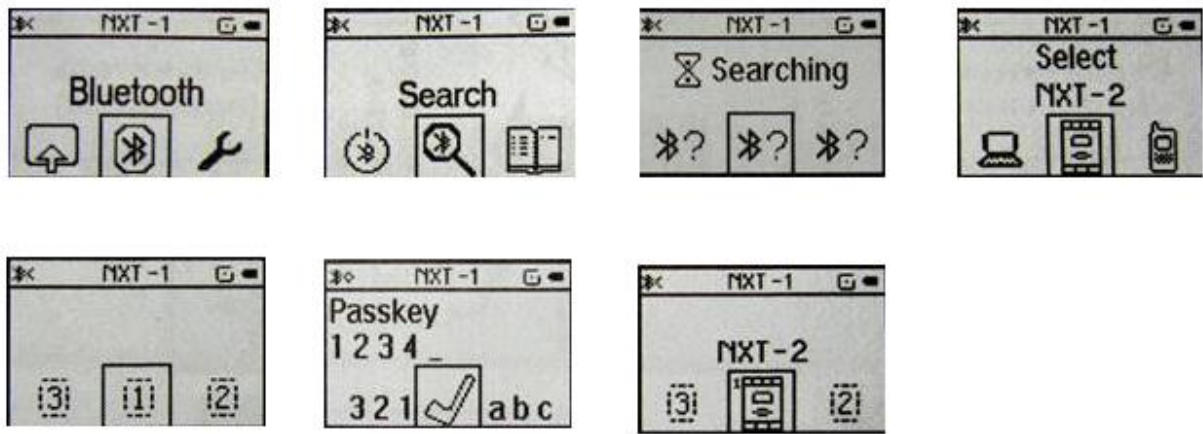


Рисунок 3.2 – Послідовність з'єднання двох NXT-пристроїв

### 3.3 Опис програмного забезпечення для створення бездротового з'єднання з мобільним роботом

З метою створення програмного забезпечення мобільного робота NXT MindStorms (продемонстрованого на рис. 3.3) доцільно застосувати програмну бібліотеку NXT SDK, яка має у своїй структурі набір заголовкових файлів для роботи з блоком керування мобільного робота.



Рисунок 3.3 – Вигляд мобільного робота NXT Mindstorms

Серед окреслених файлів найбільш вагомими є:

- bluetooth.h (забезпечення підтримки Bluetooth-з'єднань);
- error.h (оброблення помилок);
- i2c.h (абстрактний клас для датчиків мобільного робота);
- motor.h (підтримка програмних засобів керування двигунами);
- nxt.h (об'єднання основних бібліотек NXT);
- sensor.h (підтримка загальних класів забезпечення роботи сенсорів);
- sonar.h (підтримка ультразвукового датчика дальності);
- sound.h (підтримка мікрофона).

Загальну структуру файлів, які повинні входити до складу проєкту продемонстровано на рисунку 3.4.

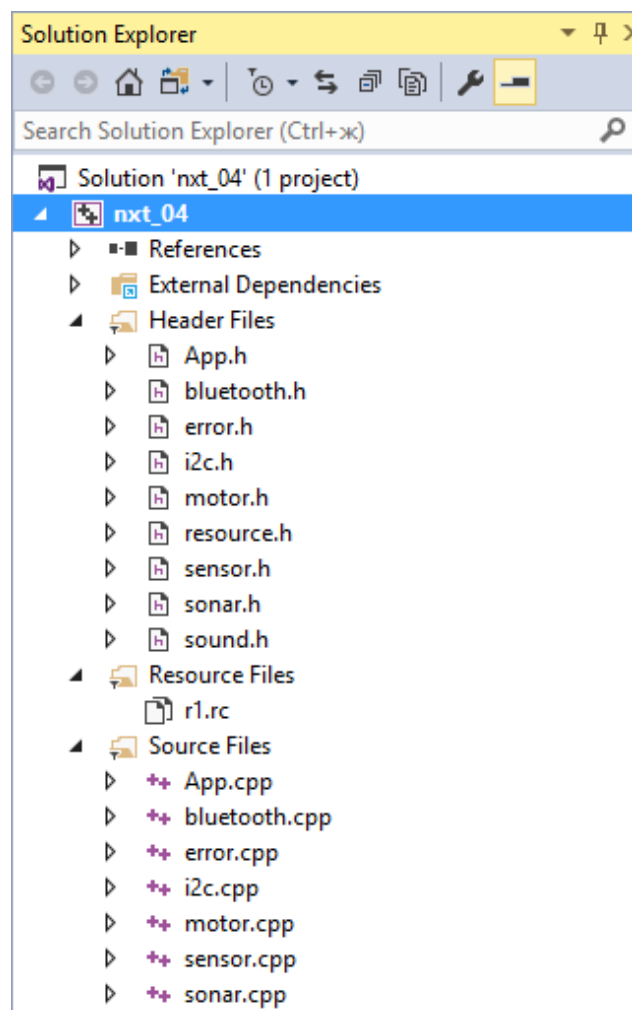


Рисунок 3.4 – Структура файлів проєкту

До того ж, складовими проєкту можуть бути такі файли: brick.h (підтримка функцій блоку керування), color.h (підтримка датчика кольору), compass.h (підтримка помпаса), connection.h (підтримка каналу з'єднання), gyro.h (підтримка гіроскопа), network.h (підтримка мережі), light.h (підтримка датчика світла), temperature.h (підтримка датчика температури), rotation.h (підтримка датчика обертання), tilt.h (підтримка акселерометра), touch.h (підтримка датчика дотику).

З метою забезпечення підтримки бездротового з'єднання застосовується клас Bluetooth:

```
class Bluetooth : public Connection{
public:
    Bluetooth(); // Constructor for Bluetooth connection
    ~Bluetooth();
    void send(unsigned char *buffer, unsigned int num_bytes);
    void connect(unsigned int comport);
    void disconnect();
    void receive(unsigned char *buffer, unsigned int length);
    void flush();
    Connection_type get_type();
protected:
    HANDLE handle;

    BYTE *byte;
    DWORD number_bytes;
    COMMTIMEOUTS timeout;
    DCB dcb;
    unsigned int comport;
};
```

Його ключові засоби полягають у:

- конструкторі об'єктів класу Bluetooth;
- методі Send() надсиланні даних до порту;
- методі Connect() для з'єднання з необхідним послідовним портом;
- методі Disconnect() для розірвання з'єднання;
- методі Receive() для отримання даних із порту;

- методі Flush() для перезапуску порту;
- методі GetType() для отримання типу з'єднання.

Разом із тим клас Bluetooth містить дескриптор порту, покажчик щодо надісланих/отриманих даних, кількість байт для надсилання/отримання, параметри затримки порту (структура TIMEOUT), параметри керування портом (структура DCB), номер порту.

Для надсилання даних послуговуються функцією Send():

```
void Bluetooth::send(unsigned char *buffer, unsigned int num_bytes){
    unsigned int i=0;
    if (handle == INVALID_HANDLE_VALUE){
        throw Nxt_exception::Nxt_exception("send","Bluetooth",
BT_INVALID_COM_PORT);
    }
    byte = (BYTE *) malloc(num_bytes*sizeof(BYTE));
    while(i<num_bytes){
        byte[i]=buffer[i];
        i++;
    }
    if(!WriteFile(handle, byte, num_bytes, &number_bytes, NULL)!=0){
        free(byte);
        throw Nxt_exception::Nxt_exception("send","Bluetooth",
BT_ERROR_WRITING_COM_PORT);
    }
    if(number_bytes!= num_bytes){
        free(byte);
        throw Nxt_exception::Nxt_exception("send","Bluetooth",
BT_ERROR_WRITING_COM_PORT);
    }
    free(byte);
    return;
}
```

Для отримання даних послуговуються функцією Receive():

```
void Bluetooth::receive(unsigned char *buffer, unsigned int length){
    unsigned int i=0;
    byte = (BYTE *) malloc(length*sizeof(BYTE));
    number_bytes=0;
```

```

buffer[0]='\0';
if(ReadFile(handle, byte, length, &number_bytes, NULL) == 0){
    free(byte);
    throw Nxt_exception::Nxt_exception("receive","Bluetooth",
BT_ERROR_READING_COM_PORT);
}
//printf("Reveive length %d No of bytes %d\n",length, nrBytes);
if(number_bytes==0 && length != 0){
    free(byte);
    throw Nxt_exception::Nxt_exception("receive","Bluetooth",
BT_NO_REPLY);
}
i=(unsigned int) number_bytes;
//printf("No bytes received:%d\n", i);
if(number_bytes<length){
    free(byte);
    throw Nxt_exception::Nxt_exception("receive","Bluetooth",
BT_NOT_ENOUGH_BYTES);
}
i=0;
while(i<number_bytes){
    buffer[i]=byte[i];
    //printf("Receive: %d\n ",buffer[i]);
    i++;
}
buffer[i]='\0';
free(byte);
return;
}

```

Для забезпечення з'єднання послуговуються функцією Connect():

```

void Bluetooth::connect(unsigned int comport){
    std::stringstream temp;
    temp << comport;
    string port = "\\.\COM" + temp.str();
    handle = CreateFile(port.c_str(), GENERIC_READ | GENERIC_WRITE,
0,0,OPEN_EXISTING,0,0);
    if (handle == INVALID_HANDLE_VALUE){
        throw Nxt_exception::Nxt_exception("connect","Bluetooth",
BT_INVALID_COM_PORT);
    }
    this->comport = comport;
}

```

```

dcb.ByteSize = 8;//sets bit-size
dcb.BaudRate = CBR_9600;//sets baudrate
//Sets timeout for reading - 0 = deactivate
timeout.ReadIntervalTimeout=3000;
timeout.ReadTotalTimeoutConstant=0;
timeout.ReadTotalTimeoutMultiplier=200;
timeout.WriteTotalTimeoutConstant=3000;
timeout.WriteTotalTimeoutMultiplier=200;
SetCommTimeouts(handle, &timeout);
dcb.Parity=0;
SetCommState(handle, &dcb);
flush();
//Try to read firmware check if a NXT is at the other end
unsigned char answer[NXT_BUFFER_SIZE];
unsigned char command[4];
command[0]=0x02; //command length
command[1]=0x00;
command[2]=0x01;
command[3]=0x88;
try{
    this->send(&command[0],4);
    this->receive(&answer[0],9);
}
catch (Nxt_exception& e){
    this->disconnect();
    throw Nxt_exception::Nxt_exception("connect","Bluetooth",
BT_UNABLE_TO_CONNECT);
}
return;
}

```

Для роз'єднання встановленого з'єднання послуговуються функцією  
Disconnect():

```

void Bluetooth::disconnect(){
    if(handle!=INVALID_HANDLE_VALUE){
        CloseHandle(handle);
        handle=INVALID_HANDLE_VALUE;
    }
    this->comport=0;
    return;
}

```

### 3.4 Опис програмного забезпечення для бездротового керування мобільним роботом

Під час розроблення ПЗ для бездротового керування мобільним роботом, доцільно врахувати те, що в даному разі влісне процедура створення та використання каналу з'єднання буде допоміжною. Таким чином, ключовими елементами програмного інтерфейсу стануть функції керування роботом. Наочно приклад вікна інтерфейсу програмного керування МР продемонстровано на рисунку 3.5.

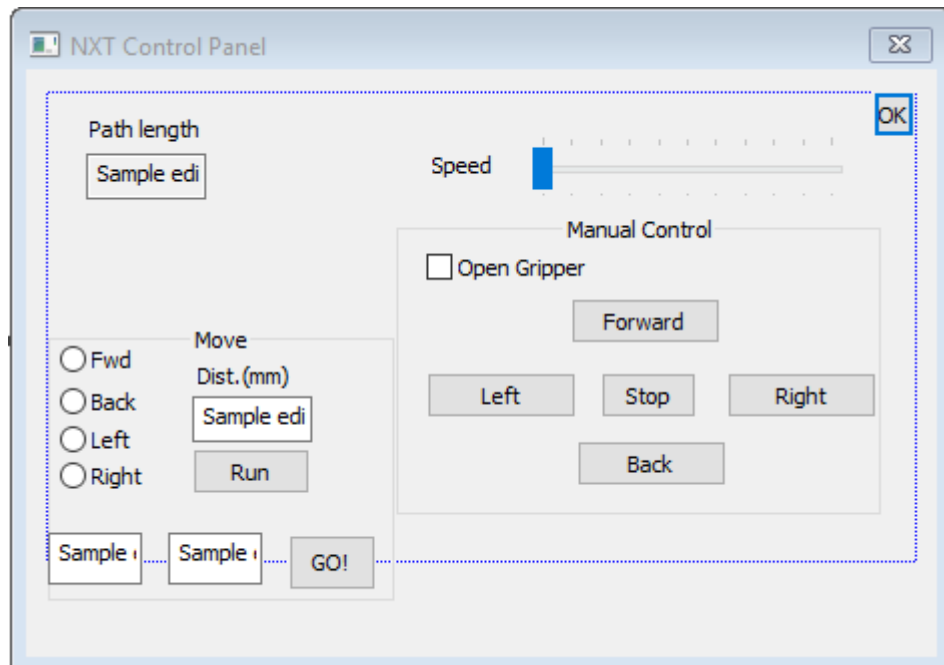


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програмного керування МР NXT MindStorms

З метою забезпечення функціонування МР NXT MindStorms у програмі анонсуються глобальні змінні:

```

Connection *connection = new Bluetooth();
Sensor *sensor1 = new Touch(IN_1, connection);
Sensor *sensor2 = new Sonar(IN_4, connection);
Motor *motorA = new Motor(OUT_A, connection);
Motor *motorB = new Motor(OUT_B, connection);
Motor *motorC = new Motor(OUT_C, connection);

```

Серед зазначених функцій присутні покажчик на об'єкт Bluetooth-з'єднання connection, покажчики на два сенсори (дотику та дальності), покажчики на об'єкти двигунів робота (три мотори).

Так, функція забезпечення бездротового з'єднання не є частиною інтерфейсу керування, втім вона запускається під час ініціалізації головного вікна програми керування:

```

BOOL CSDialog::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();
    InitCommonControls();
    ch1=(CButton*)GetDlgItem(IDC_CHECK1);
    ed1=(CEdit*)GetDlgItem(IDC_EDIT1);
    //////////////////////////////////////
    LPath = (CEdit*)GetDlgItem(IDC_EDIT4);
    rb1=(CButton*)GetDlgItem(IDC_RADIO1);
    //////////////////////////////////////
    sl1=(CSliderCtrl*)GetDlgItem(IDC_SLIDER1);
    try{
        wsprintf(a,"Try to connect to the NXT");
        connection->connect(18);
        MessageBox("Connected");
    }
    catch (Nxt_exception& e){
        MessageBox(e.what());
        connection->disconnect();
        EndDialog(1);
    }
    return TRUE;
}

```

Із наведеного коду прослідковується, що робота функції OnInitDialog() розпочинається з ініціалізації спільних елементів керування (виклик InitCommonControls()), далі реалізується поєднання елементів класу діалогового вікна (наведено у Додатку А) з елементами ресурсів (рисунок 3.4), далі виконується власне з'єднання з комунікаційним портом.

Спроба з'єднання з портом виконується за допомогою пари операторів try/catch – для забезпечення коректного оброблення похибок з'єднання.

Власне спроба з'єднання реалізується безпосередньо описаною вище функцією `connect()`, аргументом якої стає номер порту, призначеного пристрою Bluetooth:

```
connection->connect(18);
MessageBox("Connected");
```

Так, мобільний робот, у разі успішного з'єднання, подає звуковий сигнал, а програма, зі свого боку, виводить вікно повідомлення «Connected» («З'єднано»).

У разі неуспішного з'єднання генерується виняткова ситуація `Nxt_exception &e`, через що з'являється службова інформація про виявлену причину похибки (`e.what()`). З'єднання власне скасовується функцією `Disconnect()`. Зокрема неправильне налаштування каналу Bluetooth-з'єднання призводить до виведення вікна, приклад якого наведено на рисунку 3.6:

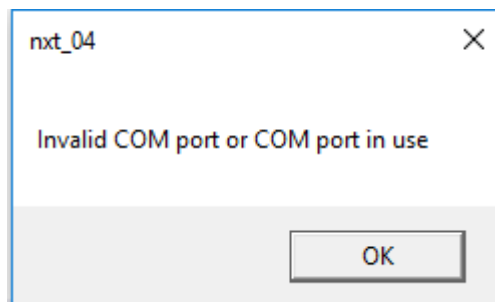


Рисунок 3.6 – Вікно помилки у разі неправильного налаштування Bluetooth

Зауважимо, що аналогічним шляхом можна реалізувати й інше з'єднання з послідовним портом, беручи за основу інші фізичні принципи.

До того ж у проєкті було реалізовано низку функцій керування роботом. Зокрема функції пересування робота у прямому та зворотному напрямках набувають такого вигляду:

```
void CSDialog::OnForward()
{
    motorB->on(s11->GetPos());
```

```

    motorC->on(s11->GetPos());
    int SensorValue = sensor2->read();
    char str[3]="";
    wprintf(str,"%d",SensorValue);
    LPath->SetWindowText(str);
}

```

```

void CSDialog::OnBack()
{motorB->on(-s11->GetPos());
 motorC->on(-s11->GetPos());
}

```

Функції поворотів ліворуч/праворуч та зупинки:

```

void CSDialog::OnLeft()
{motorB->on(s11->GetPos());
 motorC->on(0);
//this->GetParentFrame()->Invalidate(FALSE);
}

```

```

void CSDialog::OnRight()
{motorB->on(0);
 motorC->on(s11->GetPos());
//this->GetParentFrame()->Invalidate(FALSE);
}

```

```

void CSDialog::OnStop()
{motorB->on(0);
 motorC->on(0);
//this->GetParentFrame()->Invalidate(FALSE);
}

```

Функція відкриття/закриття схвату робота:

```

void CSDialog::OnGripperOpen()
{if(ch1->GetCheck())
 {motorA->on(s11->GetPos());
 //Sleep(50);
 }
 else motorA->on(-s11->GetPos());
 //this->GetParentFrame()->Invalidate(FALSE);
}

```

Розроблена програма може функціонувати як у ручному (вибираються відповідні кнопки керування), так і у командному режимах. Удосконалення програми полягає у застосуванні в ній систем технічного зору (СТЗ), які забезпечують отримання інформації про навколишнє робоче середовище. Так, глобальна СТЗ отримує інформацію про весь робочий простір робота, тому її встановлюють над робочим простором (реалізується шляхо використання веб-камери), бортову СТЗ встановлюють переважно на мобільний робот із метою отримання візуальної інформації про об'єкти, що безпосередньо знаходяться перед мобільною платформою.

Розроблене ПЗ сприяє вивченню робота як мультиагентної системи, що є складовою агента руху (підсистеми керування рухом мобільного робота), до якого можуть бути під'єднані: агент зору (система комп'ютерного зору робота), агент чуття (реалізується сенсорною системою мобільного робота та засобами оброблення інформації), агент навігації (пов'язаний із системою керування рухом робота та системою комп'ютерного зору), агент планування стратегій (інтелектуальна складова системи керування мобільним роботом).

### 3.5 Обчислення трудомісткості програмного продукту

З метою обчислення трудомісткості програмного продукту в людино-годинах [24] доцільно застосувати формулу:

$$T = T_o + T_{\text{досл}} + T_a + T_{\text{п}} + T_{\text{нал}} + T_{\text{док}}, \quad (3.1)$$

де  $T$  – загальні витрати праці в людино-годинах;

$T_o$  – витрати праці на опис завдання;

$T_{\text{досл}}$  – витрати на дослідження предметної області;

$T_a$  – витрати на розроблення алгоритму розв'язання задачі;

$T_{\text{п}}$  – витрати на програмування;

$T_{\text{нал}}$  – витрати на налаштування програми;

$T_{\text{док}}$  – витрати на підготовку документації.

Складові витрати праці, зі свого боку, можна окреслити через умовне число команд у програмному забезпеченні, що розробляється. До їх числа належать ті команди, котрі необхідно написати програмісту в процесі роботи над завданням, водночас зважаючи на можливі уточнення та вдосконалення програми. Умовну кількість команд  $Q$  у програмі завдання можна прорахувати за формулою:

$$Q = q \times c \times (1 + p), \quad (3.2)$$

де  $q$  – кількість операторів;

$c$  – коефіцієнт складності завдання (1,25...2);

$p$  – коефіцієнт корекції програми, що враховує новизну проєкту (для повністю нової програми він дорівнюватиме 0,1).

Коефіцієнтом складності програми йменують відносну складність програмних завдань по відношенню до так званої типової задачі, складність якої приймається за одиницю. Так, типовою задачею можуть стати завдання обліку, результат розв'язання яких не подається на друк, утім оновлення зберігається в пам'яті комп'ютера. Для задач оперативного керування коефіцієнт складності програми дорівнює 1,25...1,5. Під час розрахунків приймемо значення 1,5.

Кількість операторів у кодї, дорівнює приблизно 800. З огляду на це, умовна кількість команд дорівнюватиме:

$$Q = 800 \times 1,5 \times (1 + 0,1) = 1320 \text{ (люд/год)}.$$

На базі умовної кількості команд  $Q$ , можна обчислити загальні витрати праці в людино-годинах. Для цього доцільно знайти:  $T_o$ ,  $T_{\text{досл}}$ ,  $T_a$ ,  $T_p$ ,  $T_{\text{нал}}$ ,  $T_{\text{док}}$ .

$T_o$  приймається в діапазоні 30 – 40 людино-годин, зважаючи на складності продукту. У даному разі на опис праці було витрачено 33 год.

$T_{\text{досл}}$  обчислюється за формулою:

$$T_{\text{досл}} = \frac{(Q \times B)}{(S_{\text{досл}} \times k)}, \quad (3.3)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат характеризує збільшення витрат праці через недостатній опис завдання, додаткові уточнення та деякі доопрацювання. Цей коефіцієнт може приймати значення від 1,2 до 5. Зупинимось на його середньому значенні  $B = 3,1$ ;

$S_{\text{досл}}$  – кількість операторів, які припадають на 1 людину-годину (75...85);

$k$  – коефіцієнт кваліфікації працівника, що залежить від його досвіду роботи. Власне залежність наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність коефіцієнта кваліфікації працівника від досвіду

Стаж роботи	Коефіцієнт кваліфікації $k$
до двох років	0,8
від двох до трьох років	1
від трьох до семи років	1,3 – 1,4
понад сім років	1,5 – 1,6.

Обчислимо  $T_{\text{досл}}$ :

$$T_{\text{досл}} = \frac{(1320 \times 3,1)}{(85 \times 0,8)} = 60,18 \text{ (люд/год).}$$

Обчислимо витрати праці на розроблення алгоритму розв'язання задачі в людину-годинах за формулою:

$$T_a = \frac{Q}{(S_a \times k)}, \quad (3.4)$$

де  $T_a$  – витрати праці на розроблення алгоритму розв'язання задачі в людино-годинах;

$Q$  – кількість умовних операторів;

$K$  – коефіцієнт кваліфікації розробника;

$S_a$  – кількість операторів, які залучаються під час розроблення блок-схеми, що припадає на одну людино-годину;

$k$  – коефіцієнт кваліфікації працівника залежить від його досвіду роботи.

Обчислимо  $T_a$ :

$$T_a = \frac{1320}{(50 \times 0,8)} = 33 \text{ (люд/год)},$$

Витрати часу на програмування окреслюються методом самофотографії і складають приблизно 20-30% від загальних витрат на працю. Прорахуємо їх за формулою:

$$T_{\pi} = \frac{Q}{(S_{\pi} \times k)}, \quad (3.5)$$

де  $Q$  – кількість умовних операторів;

$K$  – коефіцієнт кваліфікації розробника;

$S_{\pi}$  – кількість операторів, які займаються програмуванням, що припадає на одну людино-годину, в даному випадку дорівнює 25.

Підставивши  $Q = 1320$ ,  $k = 0,8$  і прийнявши  $S_{\pi}$  рівним 25, прорахуємо витрати часу на програмування:

$$T_{п} = \frac{1320}{(25 \times 0,8)} = 66 \text{ (люд/год)}.$$

Витрати на налаштування програми на ПК у разі автономного налаштування одного завдання обчислюється за формулою:

$$T_{нал} = \frac{Q}{(S_{нал} \times k)}, \quad (3.6)$$

де  $Q$  – кількість умовних операторів;

$K$  – коефіцієнт кваліфікації розробника;

$S_{нал}$  – кількість операторів, які відповідають за налаштування програми, що припадає на одну людино-годину.

Підставивши  $Q = 1320$ ,  $K = 0,8$ , і прийнявши  $S_{нал}$  рівним 40, прорахуємо витрати на налаштування програми:

$$T_{нал} = \frac{1320}{(40 \times 0,8)} = 41,25 \text{ (люд/год)}.$$

Витрат на підготовку документації в даній роботі не передбачувалось. У зв'язку з цим, щоб прорахувати загальні витрати праці в людино-годинах доцільно знайти суму всіх витрат:

$$T = 33 + 60 + 33 + 66 + 41,25 + 0 = 233,25 \text{ (люд/год)}. \quad (3.7)$$

Щоб визначити кількість робочих днів  $D$ , які необхідні для створення застосунку, розділимо кількість людино-годин на 8 – тривалість робочого дня в годинах. Обчислимо:

$$D = \frac{233,25}{8} = 29,2 \text{ (днів)}.$$

Таким чином, одна людина витратить на розроблення 29 робочих днів, працюючи по вісім годин на добу.

## **4 ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ**

### 4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

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

Організація робочого місця. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце оператора ПК, загальною площею 48 м<sup>2</sup>, і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні знаходиться 6 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочим столом, стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

### 4.2 Промислова безпека на робочому місці

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

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

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

#### 4.3 Виробнича санітарія у приміщенні

Робота оператора ПК за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт. В таблиці 4.1 наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях, де виконуються роботи операторського типу [17].

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

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

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

Лабораторія, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

– площа приміщення 48 м<sup>2</sup> (8×6 м);

- висота – 3,5 м;
- кількість робочих місць – 6 шт.;
- обладнання – стіл з ПК і периферією – 6 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м<sup>2</sup> площі та 20 м<sup>3</sup> обсягу на одне окреме робоче місце з ПК [17]. Площа приміщення 48 м<sup>2</sup> та об'єм 168 м<sup>3</sup>, на кожне робоче місце приходиться 8 м<sup>2</sup> площі і об'єм 28 м<sup>3</sup>, тобто вимога виконана.

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

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [17].

Розрахункова формула методу:

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

де  $W$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

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

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

$n_{ce}$  – кількість світильників в приміщенні.

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

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

Питомої потужності 8,33 Вт/м<sup>2</sup> по таблиці Б.3 із [17] відповідає освітленість в 250 лк при мінімальній допустимій освітленості 300 лк.

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

#### 4.4 Пожежна безпека виробничого приміщення

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

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

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

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

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

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

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

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

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було проведено розроблення бездротової системи візуальної комунікації з мобільним роботом NXT MindStorms.

У першій частині роботи були проаналізовані вихідні дані, окреслені ключові вимоги до бездротової системи візуальної комунікації з роботом. Крім того, були вивчені чинні бездротові технології передавання даних, досліджені їхні основні недоліки та переваги, були порівняні ціни на обладнання, а також швидкості передавання даних шляхом бездротових технологій і розглянуті принципи роботи кожної з них.

У другій частині роботи були опрацьовані аналогічні продукти, котрі вже існують на ринку, проведено їхній аналіз, вивчено переваги та недоліки кожного з продуктів. До того ж докладно розглянули системи комунікації з роботом і принцип бездротового керування.

У третій частині було зроблено огляд програмно-апаратних засобів для створення бездротового з'єднання з мобільним роботом NXT MindStorms. Разом і тим докладно дослідили їхні ключові можливості. Після чого було створено та налаштовано Bluetooth-з'єднання з мобільним роботом NXT MindStorms. Крім того, було опрацьовано програмне забезпечення та бібліотеки, котрими послуговувалися для створення та підтримання бездротового з'єднання з мобільним роботом NXT MindStorms.

У розділі «Заходи з безпеки життєдіяльності для забезпечення безпечних умов праці» розраховано штучне освітлення в дослідницькій лабораторії, де виконувалась кваліфікаційна робота з розроблення програмного забезпечення для бездротового управління з мобільним роботом NXT MindStorms.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація «Звіти у сфері науки і техніки». Структура та правила оформлювання. / В. Земцева; Ю. Поліщук, канд. фіз.-мат. наук; Р. Санченко, канд. техн. наук; Л. Шрамко; А. Ямчук (науковий керівник) ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015р. № 61 з 2017- 07-01.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.
3. 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, В. А. Андрусевич, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2022. – 151 с.
4. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.
5. 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.
6. Lego MindStorms. Посібник користувача / Lego MindStorms, 2021. – 76 р.

7. Michael Gasperi. Extreme NXT / Michael Gasperi, Philippe “Philo” Hurbain, Isabelle Hurbain – USA.: Apress., 2021. – 295 p.
8. Siegwart Roland. Introduction to Autonomous Mobile Robots / Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh. – A Bradford Book. The MIT Press, 2024. – 336 p.
9. Wojciech G. Real-time Control Teaching Using LEGO MINDSTORMS® NXT Robot [Електронний ресурс] / G. Wojciech, A. Pilat // Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology, 2018. – pp. 625-628
10. Rosenberg N. Workshop – NXT Programming for beginners / N. Rosenberg, 2022. – Rev. 1. – 102 p.
11. LEGO\_Mindstorms [Електронний ресурс] / Режим доступа: [www/URL: http://ua.wikipedia.org/wiki/LEGO\\_Mindstorms](http://ua.wikipedia.org/wiki/LEGO_Mindstorms) – Загл. с экрана.
12. R. Smith, M. Self, and P. Cheeseman, “Estimating uncertain spatial relationships in robotics,” in Autonomous Robot Vehicles, I. Cox and G. Wilfong, Eds. Springer Verlag, 2020. – pp. 193-197.
13. S. Hutchinson, G. Hager, and P. Corke, “A tutorial on visual servo control,” IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2016. – pp. 670-679.
14. Костюк В. І. Робототехніка і мехатроніка / В. І. Костюк, Г. О. Спиноу. – К.: Вища школа, 1994. – 446 с.
15. Wi-Fi Alliance [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.WiFi.org/discover-and-learn>. – Загл. с экрана.
16. Стандарт IEEE 802.11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hubbiton.info/doku.php/802.11c>. – Загл. с экрана.
17. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.