

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет**

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: «Система «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth технології»

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-71мп

Бруслік Михайло Олегович _____

Керівник:

Старший викладач кандидат технічних наук

Муравйов О. В. _____

Консультант з розділу «Розробка стартап-проекту»:

Доцент, кандидат економічних наук

Бояринова К. О. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою.

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю).

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Брусліку Михайлу Олеговичу

1. Тема дисертації «Система «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth технології», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., затверджені наказом по університету від « ___ » _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес знаходження координат автоматизованого приладу для НК в приміщенні з використанням Bluetooth-технології.
4. Вихідні дані: метод визначення відстані – розрахунок за потужністю прийнятого Bluetooth сигналу, розрахунок координат – за допомогою трилатерації.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд за темою дослідження, провести аналіз існуючих систем орієнтації; розробити програмну частину системи та виконати її моделювання, обрати тип Bluetooth-модулів та обґрунтувати вибір.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: результати моделювання роботи системи; оглядовий плакат розробленої системи; апаратна реалізація системи; програмна реалізація системи.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікація однієї статті в XI науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання: 1 вересня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих систем орієнтації.	3 тижні	
2	Розробка функції визначення відстані до Bluetooth-маячків.	1 тиждень	
3	Розробка функції фільтрації за допомогою математичного фільтру Калмана.	2 тижні	
4	Розробка функції розрахунку координат, за допомогою трилатерації.	3 тижні	
5	Моделювання роботи системи.	2 тижні	
6	Виконання та оформлення розділу «Розробка стартап-проекту».	1 тиждень	
7	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів.	1 тиждень	

Студент

Бруслік М.О.

Науковий керівник дисертації

Муравйов О.В.

Реферат

Дана магістерська дисертація складається з 83 сторінок, 36 ілюстрацій, 23 таблиць.

В даній магістерській дисертації було розроблено систему орієнтації в приміщенні з використанням технології Bluetooth.

Дана тема є актуальною на сьогодні оскільки в умовах автоматизації виробничих процесів така сама тенденція відбувається і в неруйнівному контролі, а для автоматичних або автоматизованих пристроїв неруйнівного контролю необхідні системи орієнтації в просторі.

Запропонована в даній роботі система складається з сучасних програмної та апаратної частин. В якості апаратної частини виступають Bluetooth-маячки, на основі новітніх Bluetooth LE v4.0 пристроїв, приймачем їх сигналу може слугувати будь-який пристрій оснащений Bluetooth-модулем. Програмна частина виконує функції вимірювання відстані до контрольних точок(маячків), розрахунку координат місцезнаходження в приміщенні об'єкту на якому знаходиться приймач, та фільтрації отриманих даних.

З застосуванням сучасних середовищ розробки було проведено моделювання роботи програмної частини без, та з застосуванням фільтру.

Також проведено розробку потенційного стартап проекту, й розглянуто можливість виходу системи на міжнародний та вітчизняний ринки.

Розроблена система може бути застосована в автоматичних чи автоматизованих системах неруйнівного контролю в якості основної чи допоміжної. Також завдяки універсальності алгоритмів програма з мінімальними змінами може бути перебудована під інший спосіб знаходження відстані до маячків, або під інший тип математичного фільтру даних.

Ключові слова: орієнтація в приміщенні, Bluetooth, BLE, маячки, автоматизований НК, моделювання.

Abstract

This master's dissertation consists of 83 pages, 36 illustrations, 23 tables.

In this master's thesis was developed Bluetooth indoor orientation system.

This topic is relevant today, since in the conditions of automation of production processes the same tendency occurs in non-destructive control, and for automatic or automated devices of non-destructive control, orientation systems in space are required.

System, proposed in this work, consists of modern software and hardware components. The hardware part is Bluetooth-beacons, based on the newest Bluetooth LE v4.0 devices, and any device equipped with a Bluetooth module can be a signal receiver. The software part performs the functions of measuring the distance to control points (beacons), calculating the coordinates of the object location, and filtering the data.

With the use of modern development environments, was carried out the simulation of the working program - with, and without the use of a filter.

Also, development of a potential startup of the project was conducted, and the possibility of the system's exit to the international and domestic markets was considered.

The developed system can be applied in automatic or automated systems of non-destructive testing as a main or auxiliary. Also, due to the versatility of the algorithms, the program with minimal changes can be rebuilt under another way of finding the distance to beacons, or for another type of mathematical data filter.

Keywords: orientation indoors, Bluetooth, BLE, beacons, automated NK, modeling.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ	11
1.1 Системи засновані на використанні акустичних коливань	12
1.2 Системи засновані на використанні оптичного випромінювання	22
1.3 Системи, засновані на використанні радіохвиль	32
2. ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ СИСТЕМИ	36
2.1 Принцип дії Веасон-маячків	36
2.2 Формат та структура Bluetooth даних отриманих з Веасон маячків.....	37
2.3 Принцип визначення координат за допомогою Веасон-маячків	40
2.4 Принцип дії фільтра Калмана	44
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	48
3.1 Моделювання в двовимірному просторі.	48
3.2 Моделювання в тривимірній системі координат.....	50
3.3 Моделювання з застосуванням фільтра.....	54
4 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ.....	56
4.1 Обґрунтування вибору модулів маячків.....	56
4.2 Опис порядку налаштування маячків	57
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	61
5.1 Опис ідеї проекту	61
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	63
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	64
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	70
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	72
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
Додаток А.....	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Нижче наведено список умовних позначень, та скорочень, які використовуються в даній магістерській дисертації:

АПС - акустична паркувальна система.

ОК - об'єкт контролю, тобто та продукція, її частина чи ділянка, контроль якості(або діагностика) якої проводиться.

НК – контроль якості або стану(діагностика) ОК неруйнівними методами контролю.

ІНС – інерціальна навігаційна система

РК – контроль якості ОК руйнівними методами контролю.

УЗ – скорочення слова «ультразвуковий», наприклад УЗ датчик, УЗ контроль.

УЗНК – ультразвуковий неруйнівний контроль

RSSI – отримане значення потужності прийнятого сигналу (англ. received signal strength indicator).

BLE – скорочення від англ. Bluetooth low energy, наприклад BLE пристрій.

ВСТУП

На сьогодні в Україні та за кордоном існує тенденція до впровадження автоматизації та комп'ютерно інтегрованих технологій у виробничі процеси. Це стосується майже всіх галузей, від автомобільної та аерокосмічної промисловості, машинобудування, енергогенеруючої галузі, до виготовлення продуктів легкої та харчової промисловості.

Поряд з будь яким сучасним виробництвом паралельно існує контроль якості виробленої продукції, роль якого є ключовою. Тому процес неруйнівного контролю так само тим чи іншим чином автоматизується.

В якості автоматизованих приладів та систем можна привести промислових роботів-маніпуляторів для збірки машин, або автоматизованих зварювальних роботів(з програмним «навчанням») для конвейерного процесу зварювання деталей практично будь якої форми. У цих системах автоматизація та комп'ютерні технології – взаємопов'язані поняття. Процес(контролю або виробництва) автоматизується за допомогою використання інновацій у фізиці, механіці, та програмуванні. Для комплексів автоматичного зварювання наприклад створюються спеціальні пальники, що працюють в режимах підібраних програмою на основі відомих фізичних явищ, що лежать в основі зварювання. «Навчання» подібних систем, тобто запам'ятовування шляху, куту нахилу пальника при зварюванні відбувається з використанням просунутих програм, в яких мажуть бути закладені навіть нейронні мережі.

Автоматизація процесів особливо корисна при контролі складних конструкцій, таких як – автомобільний корпус, фюзеляж, або турбіна літака, трубопровід або турбіна на тепловій(або атомній) електростанції, тощо. Оскільки процес їх контролю є трудомісткою та складною задачею для людини дефектоскопіста, методи неруйнівного контролю які використовуються повинні бути за можливості автоматизовані. До таких можна віднести: ультразвуковий контроль, радіографічний контроль, вихрострумний контроль, контроль з

використанням оптичного випромінювання, візуальний та капілярний методи контролю. Також варто зауважити, що іноді процес контролю пов'язаний з такими труднощами, як:

- Недоступність ділянок об'єкта контролю для дефектоскопіста
- Шкідливе, небезпечне, або важкодоступне середовище, в якому знаходиться ОК(ділянки з підвищеним рівнем радіації, дно річки, приміщення з високою/низькою температурами, тощо)
- Обмежений час, який можна виділити на контроль ОК(при виробництві великої кількості деталей на конвейері)

Іноді ці проблеми можуть бути вирішені за допомогою зміни методу контролю. Наприклад контроль турбіни літака та її окремих частин може бути здійснений ультразвуковим, радіографічним, магнітопорошковим, або капілярним методами, і при неможливості використання одного, можна частково або повністю замінити його іншим. Проте такий підхід не завжди вирішує всі проблеми. Найкращим рішенням буде використання автоматизованих систем для контролю. Це можуть бути роботи для роботи в умовах шкідливого середовища(при проведенні контролю трубопроводів на сховищі відпрацьованих ядерних відходів, або першого контуру ядерного реактора), або системи, що будуть забезпечувати високу швидкість проведення контролю великої кількості ОК(при виробництві корпусів автомобілів на конвейері), і як наслідок оптимізувати й пришвидшувати весь виробничий процес.

Для часткової автоматизації неруйнівного контролю, у випадку коли процес неможливо повністю автоматизувати провідні компанії світу інвестують у розробку так званих «коллаборативних роботів»(cobot англійською). Це автоматичні пристрої, призначені для роботи по виготовленню або контролю продукції поряд, або спільно з людиною, та здатні швидко та ефективно навчатися від людських інструкцій[1].

Отже автоматизація неруйнівного контролю є актуальною, та необхідною на сьогоднішній день у майже будь-якому секторі виробництва в розвинутих країнах світу. Поширеними є як повністю так і частково автоматизовані, системи.

У таких системах гостро постає питання орієнтації у просторі. Адже для якісного контролю мало лише проводити діагностику виробу швидко, необхідно як мінімум фіксувати координати та тип дефектів в продукції. А для автономних роботів, навіть керованих оператором необхідна система, що буде забезпечувати відображення поточного положення роботу у просторі.

У даній дипломній роботі проводиться розгляд існуючих систем орієнтації, та методів НК що лежать в основі їх дії. А також алгоритмів розрахунку положення у просторі, та математичного апарату в програмному забезпеченні таких систем.

Метою магістерської дисертаційної роботи є розробка системи для орієнтації автоматизованих та автоматичних приладів НК, з використанням комп'ютерного моделювання. Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- проаналізувати сучасні методи що використовуються в системах орієнтації будь-яких пристроїв в просторі;
- обґрунтувати необхідність та можливість розробки системи орієнтації в приміщенні(тобто «indoor» орієнтації) з використанням Bluetooth-технології;
- обґрунтувати вибір системи на основі Bluetooth технології, розглянути її переваги в порівнянні з іншими системами, що використовують електромагнітні хвилі радіохвильового контролю.
- провести моделювання роботи системи з використанням сучасного програмного забезпечення

Об'єктом дослідження є процес знаходження координат(орієнтація) автоматизованого приладу для неруйнівного контролю, за допомогою аналізу прийнятого від Beacon-маячків Bluetooth сигналу.

Предметом дослідження є методи та засоби орієнтації автоматизованих та автоматичних приладів і систем неруйнівного контролю.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ.

Як було зазначено раніше системи орієнтації є невід'ємною частиною автоматизованих та повністю автоматичних систем на виробництві. Це стосується виробничих приладів(роботи-маніпулятори) та приладів для контролю(«коллаборативні» роботи). Для них позиціонування у просторі є ключовим в контексті вирішення наступних основних завдань:

- Безпосереднє визначення координат приладу
- Автоматичне визначення та реєстрація координат дефектів

Перше завдання полягає в орієнтації приладу/системи безпосередньо у просторі, його положення, напрямку руху, повороту відносно певної осі, куту нахилу, тощо. Це може бути – запам'ятовування шляху, що проходить палець у руках оператора під час «навчання» автоматизованого комплексу для зварювання. Або знаходження шляху в приміщенні роботом, який автоматично виконує контроль певної ділянки трубопроводу на АЕС, чи визначення координат безпілотного апарату по наявній в базі даних нейронної мережі карти висот. Вирішення цієї задачі є ключовим у будь якій автоматичній системі. Знаючи координати приладу програмне забезпечення зможе коректно продовжувати роботу приладу направляючи його(або певні частини, як руки-маніпулятори) в потрібному напрямку з необхідною для контролю або виробництва швидкістю.

З цією задачею в галузі неруйнівного контролю нерозривно пов'язана й інша – визначення координат дефектів. Знаючи положення приладу та/або окремих його частин у просторі програма при реєстрації дефекту зможе заносити координати дефекту у базу даних, і на її основі формувати наприклад автоматичний звіт з контролю.

Для вирішення поставлених задач існує велика кількість систем, заснованих на різних методах контролю, різних фізичних явищах, та математичних алгоритмах. Далі розглядаються деякі з них, найбільш перспективні та поширені на сьогоднішній день. Зокрема принципи їх дії, та фізичних явищ покладених в

основу, а також алгоритми і методи розрахунку відстані, та координат і положення окремих об'єктів.

1.1 Системи засновані на використанні акустичних коливань

Коли мова заходить про системи орієнтації, дуже поширеними та часто вживаними є системи, для визначення відстані до об'єктів, їх частин та поверхонь в яких використовуються акустичні, зокрема ультразвукові датчики. До таких можна повністю або частково віднести: акустичні паркувальні системи, системи для визначення координат по шуму від певного джерела(наприклад пострілу, вибуху чи іншого гучного звуку), та інші ультразвукові локаційні системи. Розглянемо їх принцип дії, переваги та недоліки.

Акустичні паркувальні системи(далі АПС) – є відносно простими, та широко розповсюдженими системами орієнтації автомобілів. Іноді в літературі можна зустріти іншу назву – паркувальні радары. Ця назва не є повністю коректною, адже в основу покладено лише визначення відстані до найближчої перешкоди(великої відбиваючої поверхні) до кожного окремого датчика. Іноді цей процес може супроводжуватися виводом зображення від камери на екран перед водієм, що додатково допомагає у позиціонуванні автомобіля на парковці.

Ультразвукові хвилі(акустичні коливання з частотою 20КГц і більше) випромінюються УЗ датчиком коли він працює в режимі випромінення, і відбиваючись від перешкоди повертаються до датчика, що працює в режимі приймача. Знаючи час що пройшов між випроміненням та прийомом УЗ хвилі можна розрахувати відстань до об'єкта.

Візьмемо для прикладу таку систему від відомого виробника автомобілів Bayerische Motoren Werke AG (BMW). Ультразвукові датчики, інтегровані в бампер у задній частині BMW, вимірюють відстань до найближчого великого об'єкта позаду автомобіля(рис. 1). Коли авто рухається назад, частота сигналу попередження збільшується. Коли авто знаходиться на відстані 30 см від машини

чи іншої перешкоди, звучить неперервний сигнал попередження, який сигналізує про необхідність гальмування[2].



Рисунок 1 - Візуалізація дії АПС в автомобілі

Даний метод орієнтації не зовсім підходить для неруйнівного контролю проте може, й інколи застосовується для великих промислових роботів, що переміщуються між конвейерними лініями.

Системи АПС в основному використовують два або чотири УЗ датчики, розташовані ззаду автомобіля. Більша кількість датчиків забезпечує відсутність «мертвих зон» в такій системі, і запобігає не розпізнанню перешкод. До спрощеної структурної схеми входять – ультразвукові випромінювачі і приймачі, блок прийому та обробки інформації, та пристрої для виводу інформації у вигляді готовому для сприйняття водієм(динамік, або дисплей)(рис. 2).

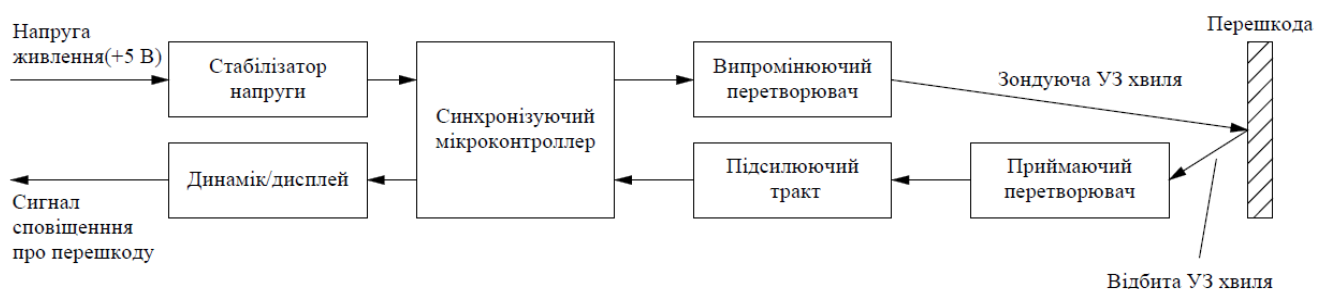


Рисунок 2. Спрощена структурна схема АПС системи

Для розрахунку відстані використовується наступна відносно проста формула:

$$S = \frac{c * t}{2} \quad (1)$$

де S – шукана відстань, c – швидкість ультразвуку на використовуваній частоті, t – час затримки між випроміненим та прийнятим сигналами.

Отже основну частину похибок у результат будуть вносити похибки при вимірюванні відстані. Найчастіше вони виникають при замірі часу, що пройшов з моменту випромінення ультразвукового коливання до моменту прийняття відбитого коливання датчиком-приймачем. Основними похибками в даному випадку є:

1. похибка фіксації часу імпульсів випромінювання
2. похибка, обумовлена дискретністю блоку обробки інформації
3. похибка, обумовлена не однаковим часом затримки сигналу в каналах фіксації випромінюваного (стартового) і прийнятого (стоп-) імпульсів;

Систематичну похибку можна мінімізувати, або врахувати при вимірюванні часового інтервалу. Зменшення величини похибки досягається при схемній компенсації, а саме в схемі суміщеного старту, коли стартовий і кінцевий імпульси подаються випромінювання на один приймач. В такому випадку йде повна її компенсація. Також цю похибку можна врахувати, шляхом багаторазового виміру калібрувальної відстані.

Вплив дискретності вимірювача часових інтервалів при не синхронності його внутрішньої тактової частоти та моментів випромінення скануючої УЗ хвилі можна оцінити по дисперсії пов'язаної з нею похибки:

$$D = \frac{\Delta d^2}{6} \quad (2)$$

де - Δd - дискретність вимірювача часових інтервалів в одиницях дальності.

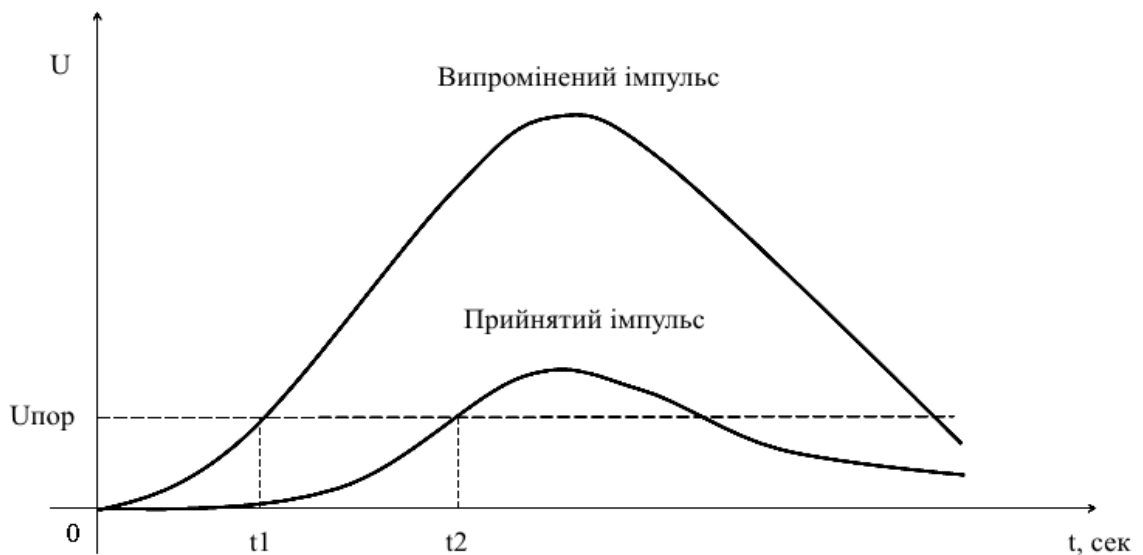


Рисунок 3. Часова діаграма фіксації імпульсів від УЗ датчиків

Де t_1 , t_2 - моменти фіксації імпульсів; $U_{пор}$ - поріг спрацьовування.

Як було сказано раніше, метод заснований на визначенні тривалості часу, протягом якого імпульсний промінь проходить подвійну відстань від далекоміра до об'єкта(відбивача). Це спрощує отримання задовільної стійкої роздільної здатності, що в свою чергу знижує вимоги до ВЧІ(вимірювача часових інтервалів).

Незважаючи на простоту конструкції та структурної схеми існують певні обмеження при використанні таких систем. Серед них можна виділити:

- Ускладнення роботи системи при наявності в повітрі низькодисперсних частинок(дощ, сніг, пил, тощо).
- Спотворення отриманих результатів при русі по пересічній місцевості, або по не рівній поверхні(гравійна дорога).
- Ускладнення отримання об'єктивного результату виміру відстані поряд з джерелами сильного шуму.
- Ймовірність не розпізнання системою таких перешкод як – поглинаючі УЗ коливання предмети, тонкі або пласкі та невеликі перешкоди, або перешкоди, що знаходяться нижче рівня розташування УЗ датчиків.

І хоча деякі з цих проблем можуть бути вирішені не вдаючись до зміни методу контролю що лежить в основі, як наприклад зміна розташування або розміщення додаткових УЗ датчиків(в останній проблемі), для автоматизованих приладів вона не завжди підходить. Ще одним важливим пунктом систем орієнтації, що використовують ультразвукові хвилі є коефіцієнт затухання УЗ коливань в повітрі, та його залежність від відносної вологості повітря. Це наглядно ілюструє графік на рис. 4.

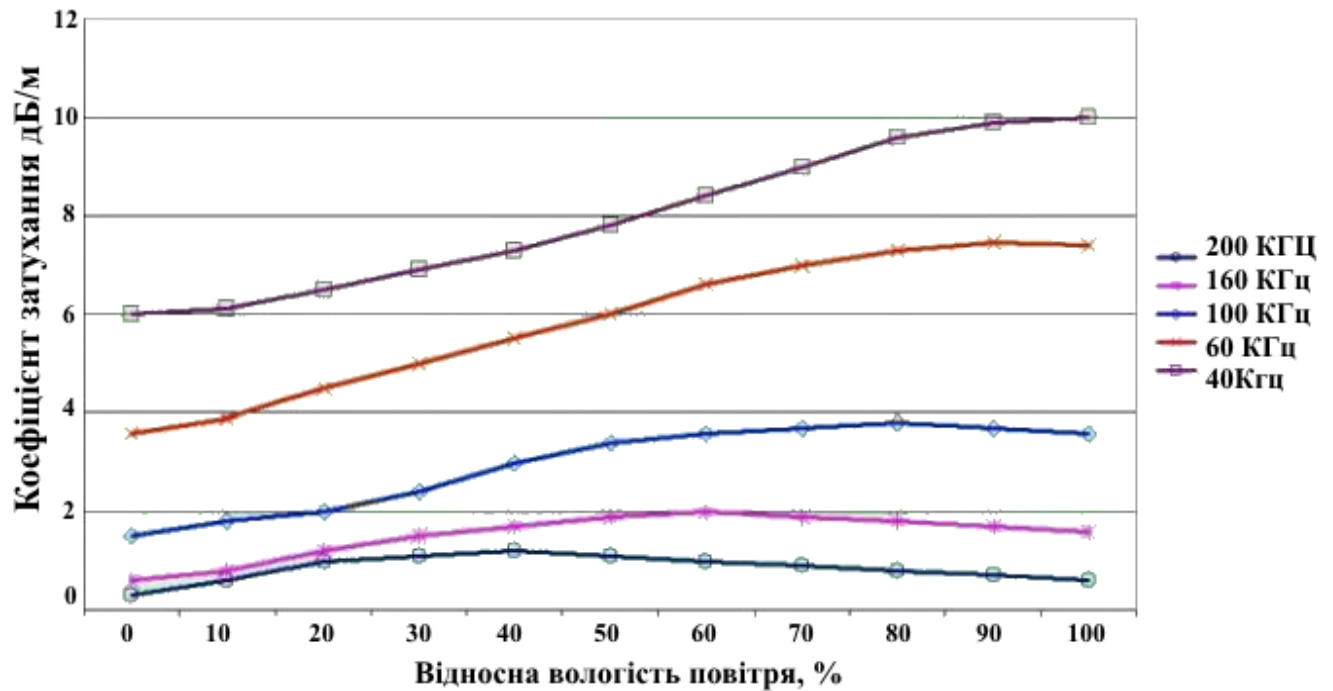


Рисунок 4. Графік залежності коефіцієнту затухання від відносної вологості повітря на різних частотах УЗ коливань

Позиціонування в даному випадку потребує вирішення проблеми вимірів в умовах зміни вологості повітря, а отже і зміни коефіцієнту затухання. Це ускладнює апаратну та програмну частину конструкції. Більшою мірою вирішення цієї проблеми полягає у включенні в систему підсилюючого тракту зі змінним коефіцієнтом підсилення, який буде керуватись програмно на основі даних про вологість повітря.

Розглянемо системи для визначення координат джерела звуку.

Системи для визначення координат за звуком від джерела є потрібними і перспективними розробками на сьогодні, особливо у військовій сфері та сфері охорони правопорядку.

Алгоритм дій таких систем полягає в наступній послідовності дій. Спочатку реєструється акустична хвиля від джерела звуку. Це може бути постріл, звук двигуна або літака, вибух, тощо. Тобто будь-яке шукане джерело звуку. Реєстрація відбувається декількома мікрофонами, розташованими один від одного на відомій відстані.

Наступним етапом є визначення часу затримки між прийомом звуку мікрофонами. Програмне забезпечення оброблює наявні дані і з врахуванням відомих координат кожного з мікрофонів визначає напрям і відстань до шуканого звуку.

В такому випадку використовуються два методи визначення затримки у часі:

- Метод з застосуванням адаптивного фільтру
- Метод кореляції в часовій області

Останній ґрунтується на знаходженні максимуму функції взаємної кореляції двох сигналів за формулою(3):

$$\hat{R}_{ij}(t, \tau) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} s_i(t) * s_j(t + \tau) dt \quad (3)$$

де s_i і s_j – сигнали з i та j каналів, τ – часова затримка.

В реальних умовах зазвичай застосовують формулу (4) адже у випадку обробки зашумлених сигналів пошук максимуму може видати не правильний результат. Для запобігання цьому використовують формулу кореляції нормалізовану за енергією сигналів:

$$\widehat{R}_{ij}^N(t, \tau) = \frac{\int_{t-T/2}^{t+T/2} s_i(t) * s_j(t + \tau) dt}{\sqrt{\int_{t-T/2}^{t+T/2} s_i(t)^2 dt * \int_{t-T/2}^{t+T/2} s_j(t + \tau)^2 dt}} \quad (4)$$

де s_i і s_j – сигнали з i та j каналів, τ – часова затримка.

Проте в такому випадку суттєвим недоліком є поява побічних максимумів кореляційної функції у випадку коли аналізуються періодичні сигнали.

Метод з використанням адаптивного фільтру використовує фільтр, що автоматично підбирає коефіцієнти, це дозволяє мінімізувати величину середньоквадратичної похибки між сигналами на вході. Алгоритм ітеративно зменшує похибку і в результаті зсуває сигнал на величину, рівну затримці. В ідеальному випадку коефіцієнт фільтра, який відповідає дійсній затримці буде дорівнювати одиниці, а всі інші – нулю.

Рисунок 5 показує результати обробки сигналу з шумом(5.а) кореляційним алгоритмом(5.б) і адаптивним фільтром(5.в). Як видно з рис. 5 для періодичних сигналів кореляційна функція також періодична і має декілька піків, що ускладнює аналіз періодичних сигналів, а адаптивний фільтр погано обробляє рухомі джерела сигналів.

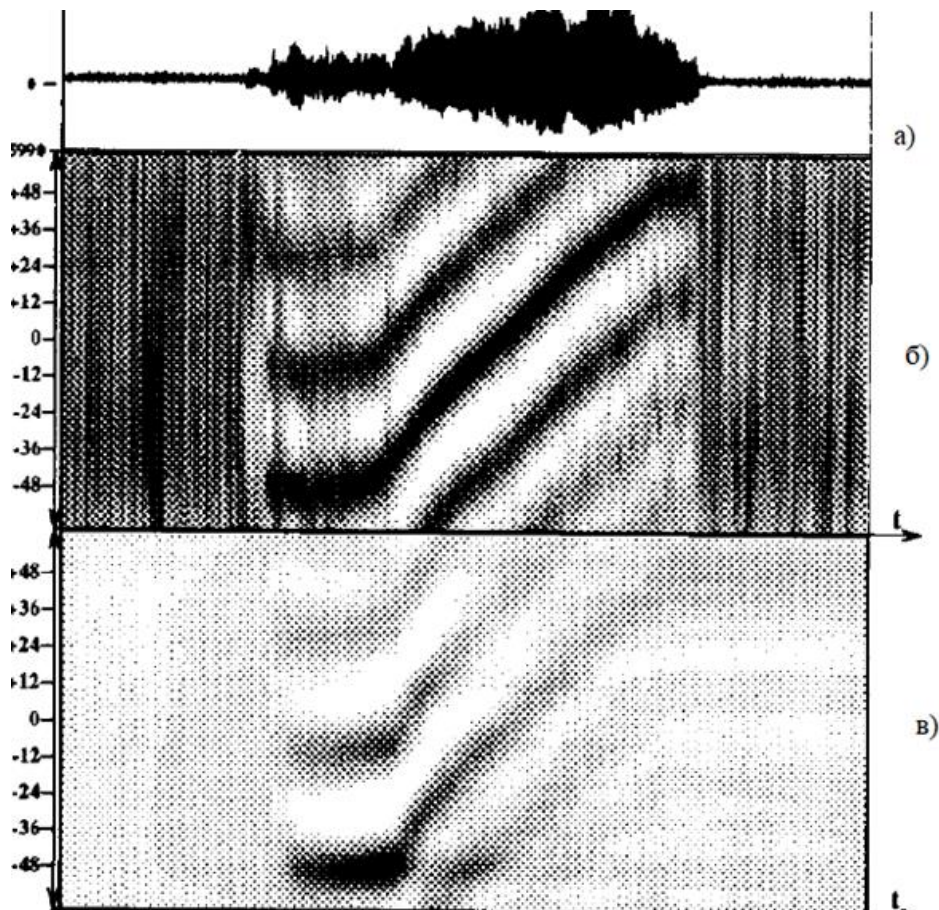


Рисунок 5. Результат обробки сигналу з шумами, кореляційним алгоритмом, і адаптивним фільтром

Для систем що використовуються у військовій, сфері та сфері охорони порядку пріоритетним зазвичай є визначення координат пострілів. Такі звуки мають імпульсоподібну форму, і для їх обробки перевагу зазвичай віддають кореляційному аналізу.

У галузі контролю описана система може застосовуватися при визначенні координат дефектів при скануванні поверхні об'єкта контролю.

Знаючи взаємне розташування мікрофонів в просторі і затримки сигналу на кожній парі мікрофонів, можна відносно легко розрахувати положення джерела(рис. 6).

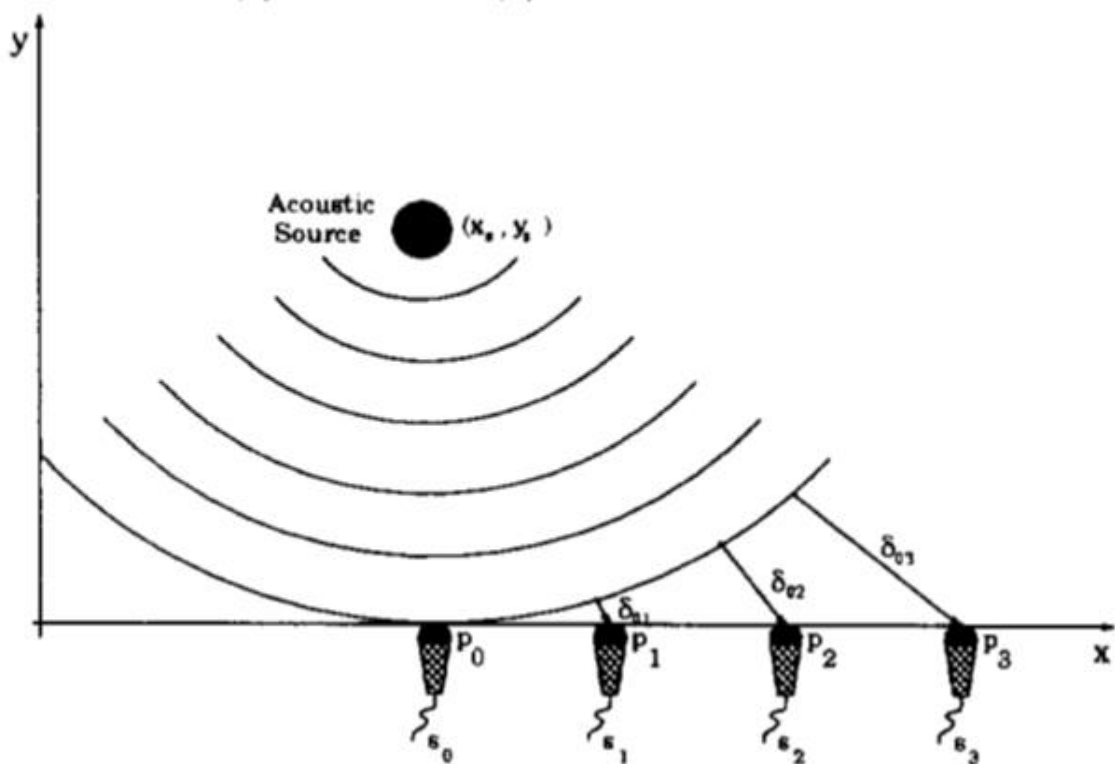


Рисунок 6. Поширення акустичної хвилі в просторі. x, y – невідомі координати джерела звуку, δ_i – затримка сигналу на мікрофонах P_i відносно мікрофона P_0

Координати мікрофонів є відомими, і задаються заздалегідь. На вхід програми від мікроконтролера надходять часові затримки приходу сигналу до окремих мікрофонів. Якщо прийняти, що: $I = \{x; y\}$ - координати джерела звуку (IЗ); $M_i = \{x_i; y_i\}$ - координати одного з мікрофонів, де $i = 1..n$. Тоді відстань від джерела звуку до мікрофона з індексом i знаходиться наступним чином

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (5)$$

де x, y, z – координати джерела звуку (невідомі), x_i, y_i, z_i – відомі координати джерела звуку.

Час поширення звуку від джерела до i -го мікрофона визначається за швидкістю звуку $V_{зв}$:

$$t_i = \frac{R_i}{V_{зв}} \quad (6)$$

де R – відстань до джерела, $V_{зв}$ – швидкість звуку в повітрі.

Також для кожної пари мікрофонів має дотримуватися співвідношення(7).

$$R_i - R_j - V_{зв} * t_{ij} = 0 \quad (7)$$

де R_i R_j – відстань від джерела до кожного з мікрофонів, t_{ij} – різниця ходу між парою мікрофонів.

Відхилення від точної рівності нулю визначається похибкою вимірювань, знак відхилення може бути як позитивним, так і негативним. Для всіх мікрофонів, які спрацювали можна записати ці співвідношення у вигляді суми, яка прагне до нуля при відсутності похибки вимірювань:

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (R_i - R_j - V_{зв} * t_{ij}) \quad (8)$$

Зазвичай в подальших розрахунках використовується знакопостійний функціонал оцінки сумарної похибки такого вигляду:

$$\Phi_2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (R_i - R_j - V_{зв} * t_{ij})^2 \quad (9)$$

Функціонал Φ_2 залежить від координат джерела звуку (x, y, z), при відомих координатах джерела звуку і відсутності похибки вимірювань його значення близьке до нуля. Якщо ж координати невідомі, проходить підбір цих координат, критерієм правильності якого є мінімізація значення функціоналу Φ_2 . Процес знаходження координат зводиться до знаходження мінімуму цієї функції. У цьому випадку на вхід програми для розрахунку координат надходять числа, що відповідають затримкам спрацювання мікрофонів i та j а також відомі координати кожного мікрофона.

1.2 Системи засновані на використанні оптичного випромінювання

Ще одним перспективним та розвиненим напрямком орієнтації у просторі є системи, що оброблюють та аналізують отримане оптичне зображення (наприклад картинка з відеокамери, або). Найчастіше такі системи мають в своєму програмному забезпеченні функції розпізнавання та порівняння отриманого зображення з наявним у пам'яті, або накладання на зображення спеціальних калібрувальних ліній. Широке розповсюдження в таких системах мають нейронні мережі.

Одним з прикладів таких систем знаходження координат камер у просторі, для подальшого їх фокусування. Камера може бути важливим інструментом контролю, як наприклад в колаборативних роботах UR (рис. 7) які використовують для пришвидшення візуального контролю продукції.



Рисунок 7. Процес контролю ОК роботом-маніпулятором UR від HNJ Solutions

При використанні камер на колаборативних роботах-маніпуляторах процес контролю скорочується з 1,5-2 хвилин, необхідних оператору до приблизно 30 секунд для робота, тобто йде скорочення часу в 3-4 рази.

Повертаючись до знаходження координат камери у просторі, існує велика кількість технологій які узагальнюючи можна віднести до базованих на 3D, 2D, та

1D калібрувальних цілях. У випадку калібрування по одновимірним цілям – об’єкт(ціль) що має на собі нанесені маркери(наприклад світлодіоди) повертається навколо певної осі для калібрування. Визначення параметрів камери забезпечується обертанням навколо одного з маркерів, який переміщується в одній площині(рис 8, та 9).

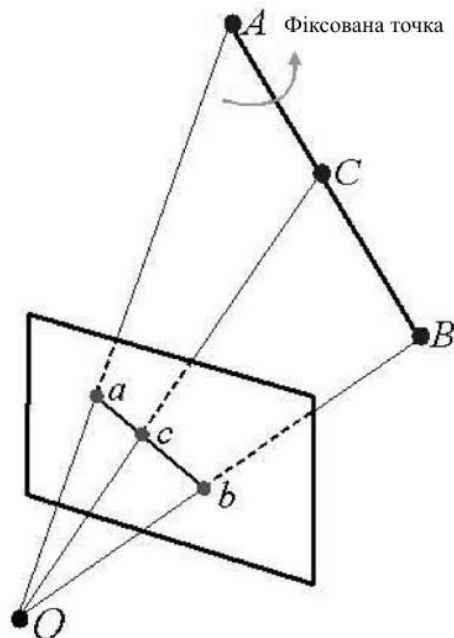


Рисунок 8. Схематичне зображення калібрування за 1D об’єктами

Як показано на рисунку 8, точка A зафіксована в просторі, а сам відрізок AB обертається навколо цієї точки. Після математичних розрахунків виводиться рівняння координат відносно точки A, яке обраховується математичним апаратом камери, і визначається її положення.

Метод калібрації по 1D цілі забезпечує простоту структурної схеми, та обчислень. Проте точність такого методу мала через недостатність інформації яку можна зчитати з одновимірної панелі.

Через це більшість технологій використовують 2D та 3D методи калібрування.

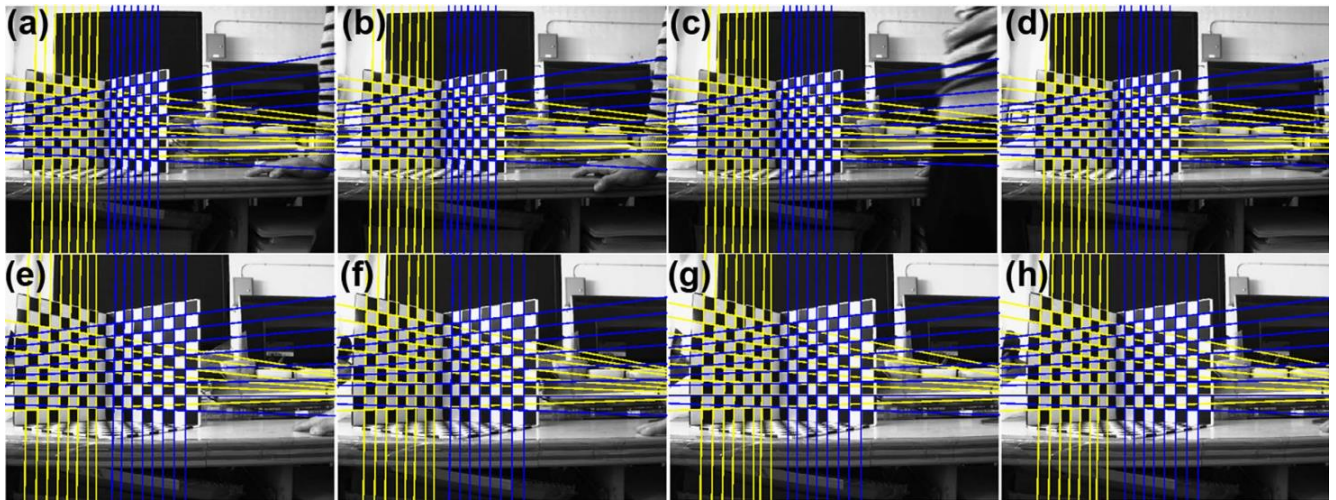


Рисунок 9. Результат калібрування камери за допомогою 3D об'єкта(цілі) з поступовим наближенням на 10 мм(від а до h)

На рисунку 9 наведено приклад візуального відображення калібрування камери по накладеним на зображення лініям. На об'єктах калібрування використовуються різні шаблони, такі як точки, кола, лінії та кольорові візерунки. Більшість калібрувань приймають в якості вхідних даних певні точки цілі[3]. Знаючи положення цілі у просторі(тобто її координати) програма за допомогою порівняння й аналізу отриманих зображень знаходить координати камери відносно цілі.

Підсумовуючи можна відмітити, що дані системи є перспективними на сьогодні, проте в галузі контролю мають невеликий спектр застосування. Вони підходять для колаборативних роботів(таких як на рис.7), але для визначення положення необхідно мати пряму видимість з калібраційною ціллю, та знати її координати у просторі, отже система не може забезпечувати повну автономність приладу. Також для реалізації подібних систем повинне використовуватися складне програмне забезпечення, яке буде здатне виконувати обчислення в режимі реального часу, а отже буде вимогливим до продуктивності апаратної частини, що збільшить ціну проекту.

Ще одним прикладом використання оптичного випромінювання для позиціонування є системи зі скануючими лідарами. Вони часто використовуються при позиціонуванні повністю автономних роботів. Особливо коли стоїть задача визначити початкове місцезнаходження об'єкта у просторі. Це відбувається за допомогою сканування навколишнього середовища, отримання певних вхідних даних(це може бути карта висот, або схематичне зображення приміщення, зіставлене з точок вимірювання відстані до перешкод) та зіставлення їх з наявними у базі, й подальша обробка результату.

Подібне завдання є стандартною задачею визначення початкового положення шляхом пошуку і розпізнавання локальних орієнтирів в оточенні робота. Орієнтиром може слугувати будь-який елемент оточення, що спостерігається, і опис якого можна зіставити з аналогічним описом, збереженим в системі орієнтації робота.

Основною перешкодою на шляху розвитку даної технології стала низька точність вимірювання відстані. Ця проблема частково або повністю вирішена в сучасних системах, в яких використовуються просунуті високоточні далекоміри.

На даному етапі варто розглянути принцип дії лазерної дальнометрії, та основні методи виміру часової затримки.

До основних видів лазерних далекомірів відносять:

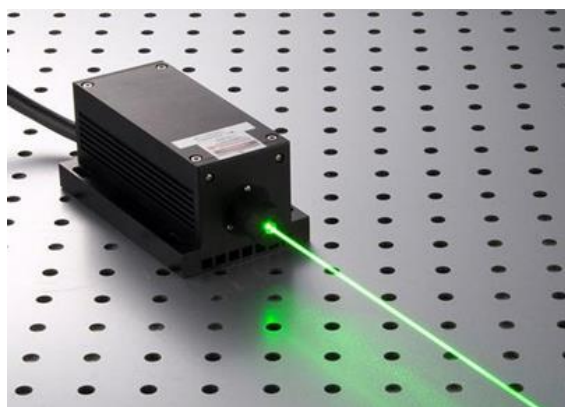
- Імпульсні далекоміри
- Фазові далекоміри
- Інтерференційні далекоміри

Імпульсні далекоміри визначають відстань за принципом вимірювання часу польоту променю. Принцип дії наступний – випромінювачем(наприклад лазерним діодом(рис. 10 , б)) надсилається концентрований лазерний промінь, який відбивається від поверхні і повертається до приймача випромінювання. Знаючи час затримки між випроміненням та прийомом лазерного імпульсу можна визначити відстань до перешкоди. Через те, що швидкість світла дуже висока, даний метод

зазвичай не використовується в ситуаціях, коли до потенційних перешкод мала відстань. Це пов'язано з складностями реєстрації малого часового інтервалу, яка може бути виконана лише високоточними, дорогими мікросхемами.

Основні похибки для імпульсних далекомірів схожі з описаними в розділі про системи орієнтації за допомогою УЗ коливань.

Фазові далекоміри визначають відстань шляхом визначення зсуву фази гармонійно модульованого оптичного випромінювання твердотільного лазера(рис. 10, а) або світлодіода(рис. 10, б) відносно до опорного коливання.



а)



б)

Рисунок 10. Зовнішній вигляд основних джерел оптичного випромінювання при дальнометрії. а) – твердотільний лазер, б) – лазерний високопотужний діод

Визначається різниця фаз за наступною формулою:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \arcsin\left(\frac{8}{\pi^2} \frac{\overline{S_1 S_2}}{S_{1\text{мод}} S_{2\text{мод}}}\right) \quad (10)$$

Структурна схема, реалізації алгоритму цифрового обчислення різниці фаз між опорним і робочим коливаннями відповідно до цього(10) виразу, представлена на рис. 11.



Рисунок 11. Структурна схема обчислення різниці фаз у фазових далекомірах

Основним джерелом похибки вимірювання дальності є електронний вимірювач фази - фазометр. Завдання вимірювання різниці фаз за допомогою цифрової обробки може бути вирішена різними методами: методом компенсації фази, методом перетворення інтервалу часу в напругу, цифровим методом підрахунку кількості імпульсів, методом вимірювання фази з перетворенням частоти, квадратурних методом вимірювання фазового зсуву, синхронним детектуванням, методом перетворення Фур'є з подальшим виділенням фазової складової, використанням зв'язку між амплітудно-частотною і фазочастотною характеристиками за допомогою перетворення Гілберта для мінімально-фазових ланцюгів. Навіть зважаючи на згадані раніше переваги в точності вимірювання малих дистанцій, фазові далекоміри не доцільно використовувати для вимірювання дистанцій більших за кілька десятків метрів.

Повертаючись до питання точності, в системах які використовують далекометрію при позиціонуванні низька точність перших далекомірів зумовила розвиток технології інтерпретуючої навігації[6]. Вона заснована на розпізнаванні видимих орієнтирів що оточують робота, та порівняння їх відповідності наявним у пам'яті картах.

Для вирішення завдань позиційної прив'язки системам достатньо розпізнавання лише деяких типів локальних орієнтирів, таких як "опуклий кут", "увігнутий кут", "стрибок до", "стрибок від" і "стіна"[5].

Дані, що надходять від лазерного сканера, обробляються і перетворюються в модель видимої частини оточення робота.

Математичним апаратом системи в цих даних виділяються обриси кутових точок предметів, що оточують робота. Відрізки прямих ліній, що з'єднують такі точки, є «відмінними ознаками» видимої частини оточення робота. Для всієї сукупності відмінних ознак формується масив параметрів цих ознак. В масиві цих ознак знаходяться величини, що визначають геометричні особливості об'єктів, які оточують робота. На основі цього масиву формується інформація про геометрію навколишнього середовища.

З іншого боку в пам'яті системи знаходиться математичний опис оточуючого приміщення, в якому певні векторні лінії означають межі кімнати та перешкоди, а відмінним вектором (зелена лінія на рис. 12) позначено місце переходу в інше приміщення (і відповідно перехід до математичного опису іншого приміщення).

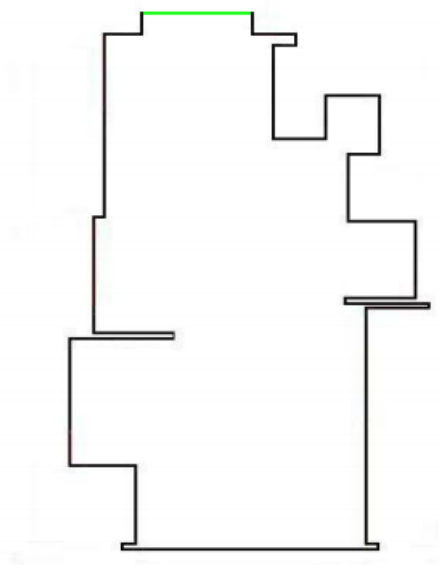


Рисунок 12. Приклад зображення, побудованого на основі мат. опису кімнати

Отже для вирішення задачі орієнтації у просторі проводиться порівняння геометричних особливостей в оточуючому середовищі, і їх зіставлення з наявними у базі даних картами.

Попередня обробка проводиться драйвером сканера, який створює масив дійсних чисел - відстаней від сканера до поверхні перешкод, що знаходяться в області видимості сканера. Масив одержуваних відстаней впорядкований по зростанню кута повороту сканера. Потім з застосуванням певних алгоритмів апроксимації, та відфільтрування шумів отримана «карта»(рис. 13) порівнюється з наявною в базі даних, й аналізується для виділення відмінних ознак.

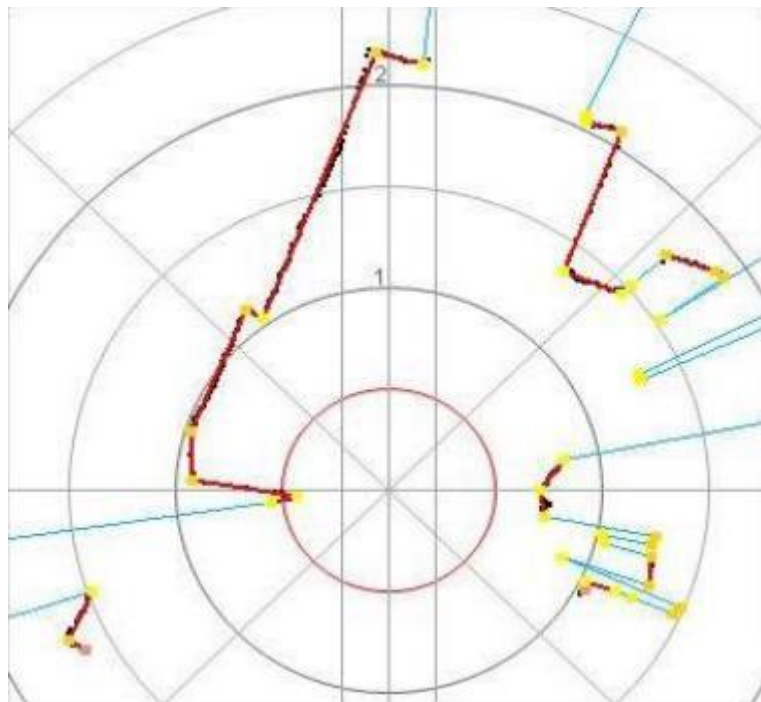


Рисунок 13. Карта побудована за допомогою вимірювання відстані до перешкод

На рисунку 13 радіальними лініями показано кут повороту лазерного сканера, червоними лініями та жовтими точками – отримані математичні вектори, що описують положення перешкод, і відстань від радара до них.

Потім після видалення недостовірних векторів та випадково отриманих хибних значень, створюється робоча модель(рис. 14), по якій і йде порівняння з наявними у пам'яті даними про кімнату.

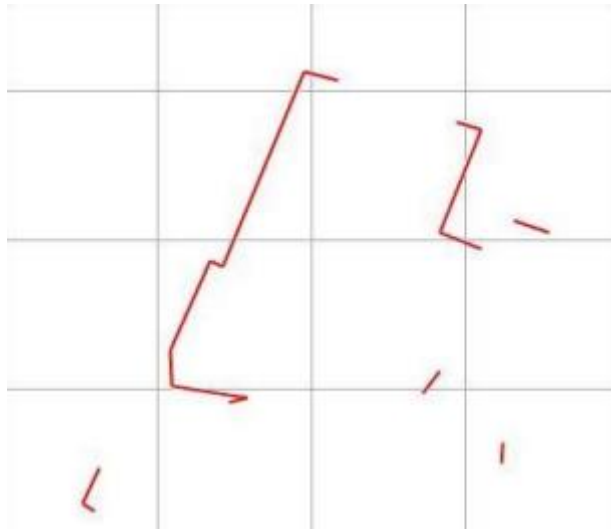


Рисунок 14. Видима системою частина приміщення після фільтрації

Отже після отримання відфільтрованої моделі кімнати в завдання системи входить порівняння її з наявними в базі даними, і знаходження найбільш схожого фрагменту, який їй відповідатиме поточним координатам у просторі. Попередньо формується список відмінних ознак для даної моделі(рис 15).

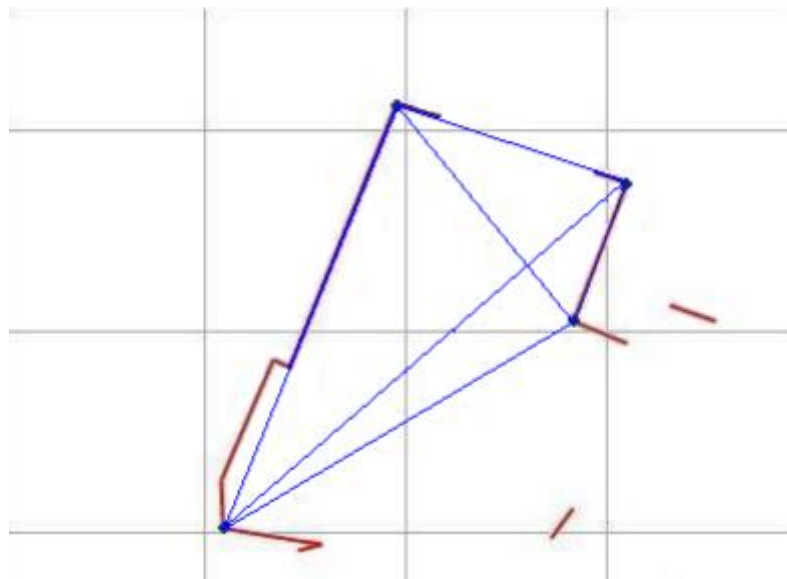


Рисунок 15. Візуальна інтерпретація відмінних ознак в моделі

В якості відмінних ознак виступають відрізки, що з'єднують опорні точки в моделі(лінії синього кольору на рис. 15). В якості характеристик для кожної з відмінних ознак формується масив параметрів, який містить: відстань між базовими точками(довжина вектора), кути кожної з базових точок(α на рис. 16), кути між вектором відмінної ознаки, і вхідними векторами, які формують кути на опорних точках.

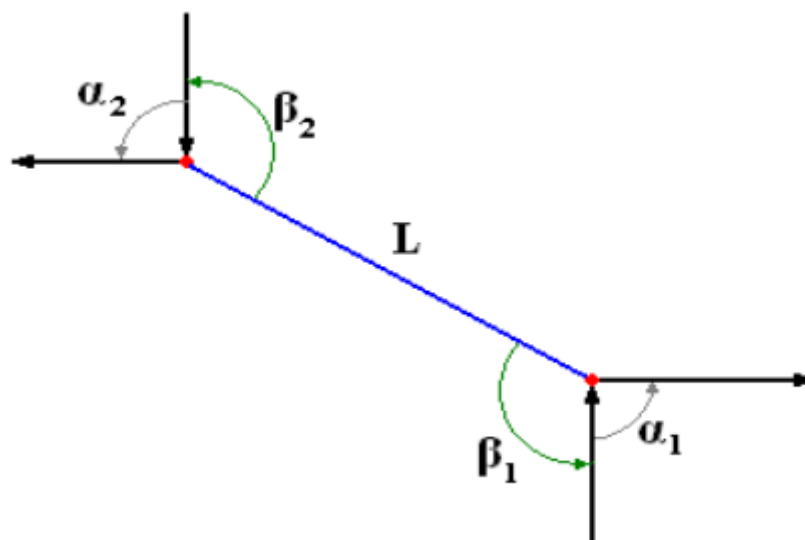


Рисунок 16. Кути базових точок

На основі отриманого масиву параметрів порівняння проходить наступним чином. Спочатку відсіюються очевидно схожі параметри, це відбувається порівнянням довжин відрізків:

$$\Delta L = (L_1 - L_2) < K \quad (11)$$

Де ΔL – різниця довжин, L_1 – довжина відрізка в отриманій моделі, L_2 – довжина відрізка карти, з якою порівнюється модель, K – емпіричний коефіцієнт, що підбирається експериментально. Якщо різниця перевищує певне абсолютне значення коефіцієнта K , відмінна ознака відсіюється, як не схожа на ту, що наявна в карті, з якою йде порівняння.

Схожим чином порівнюються й інші параметри, і визначається відповідність тому чи іншому положенню в приміщенні.

1.3 Системи, засновані на використанні радіохвиль

Останніми розглянемо системи що використовують для орієнтації в просторі електромагнітні хвилі радіо-діапазону. Часто такі системи використовуються для знаходження координат об'єкту в приміщеннях – це так звана «indoor» орієнтація, або для навігації ззовні приміщень – наприклад загальновідома GPS навігація.

Серед систем для зовнішньої(тобто зовні приміщень) орієнтації можна виділити:

- Системи навігації за допомогою GPS або ГЛОНАСС.
- Системи, що знаходять координати об'єкта по базовим станціям стільникової мережі.
- Системи з геомагнітним позиціонуванням

Системи супутникової навігації (GPS / ГЛОНАСС і т.д.) працюють отримуючи сигнал систем супутникової навігації, і порівнюючи його з даними з інерціальних навігаційних систем(далі ІНС). ІНС отримують показники від таких додаткових датчиків як – гіроскоп, акселерометр, магнітометр тощо.

Періодично отримуючи сигнал від супутника системи можуть працювати навіть в умовах повної відсутності видимості супутника, використовуючи дані від ІНС. Тобто наприклад при заїзді машини в якій знаходиться пристрій що керується GPS, система приймає дані від ІНС та корегує поточне положення пристрою на мапі. В якості початкових координат використовуються останні актуальні дані з GPS / ГЛОНАСС до втрати зв'язку із супутником, і на основі одержуваних датчиків даних про поточну швидкість / прискорення / напрямку руху, до відновлення зв'язку з супутниками формується поточна координата на карті. Варто брати до уваги, постійно зростаюче значення сумарної помилки в ІНС, і з часом дані, отримані з ІНС, стають все більш і більш відмінними від реальних.

Орієнтація по базовим станціям операторів стільникових мереж(GSM) працює наступним чином – в зоні видимості стільникового телефону або GSM-

модему постійно знаходяться як мінімум одна базова станція GSM, а зазвичай - кілька. Координати розташування цих базових станцій - відомі завдяки навігаційним сервісам, наприклад додаток отримує інформацію про видимі телефоном базові станції і про поточне положення по даним від GSM / ГЛОНАСС, і відправляє ці відомості в «cloud» сервер, де на основі цих даних будується база відповістей, до якої вільний доступ через надається API(скорочено з англ. Application - додаток). Якщо відправити в модем команду AT + CREG = 2, в результаті починаємо отримувати повідомлення + CREG: з інформацією про поточну підключеної базової станції - LAC і CELLID (відповідно код зони і ідентифікатор базової станції). Відправивши ці дані на один зі спеціальних сервісів (надається Яндекс, Google і іншими компаніями), отримуємо координати цієї базової станції. Багато модеми дозволяють отримати список видимих базових станцій (БС) із зазначенням їх LAC і CELLID - залишається тільки через бази даних з координатами БС отримати їх координати і методом триангуляції визначити своє приблизне місце розташування.

До недоліків цієї системи можна віднести невисоку точність позиціонування, адже базова станція може бути віддалена на відстані до 35 км від пристрою, а також варто враховувати те, що деякі базові станції змінюють своє положення.

Системи з геомагнітним позиціонуванням засновані на орієнтуванні по магнітному полю Землі і базуються на геомагнітних аномаліях як критерії для геомагнітного позиціонування (аномалії виникають внаслідок неоднорідності геомагнітного поля). Суть полягає у фіксації геомагнітних аномалій і нанесенні їх на карту території, на якій передбачається орієнтуватися. Надалі навігація здійснюється за складеною пристроєм картою, в якій вбудований магнітометр. Практичний приклад реалізації - система IndoorAtlas команди вчених з фінського університету Оулу. Недолік - висока складність реалізації, невисока точність. У приміщеннях дуже багато динамічно мінливих магнітних аномалій (електропроводка, поле в якій змінюється в залежності від навантаження мережі і

сильно змінює конфігурацію магнітного поля навколо себе, інші радіоелектронні пристроями, перешкоди, тощо), сильно ускладнюють навігацію, засновану на зазначеному способі орієнтуванні в просторі.

Так як наведені системи не можуть бути застосованими для автономного пересування, або фіксації координат дефектів з прийнятною точністю. Звісно необхідна точність може варіюватися в залежності від процесу контролю, але значення похибки при позиціонуванні у систем для зовнішньої навігації складає як мінімум кілька метрів.

Розглянемо як альтернативу цим системам ті, що використовуються для орієнтації всередині приміщень, це можуть бути:

- Системи орієнтації що використовують Wi-Fi сигнал.
- Системи орієнтації що використовують Bluetooth сигнал

При навігації по Wi-Fi сигналу використовується вже існуюча інфраструктура мереж зв'язку – точки бездротових мереж Wi-Fi. Методика визначення координат Наступна – пристрій сканує доступні Wi-Fi – точки доступу, потім інформацію про них відправляє на сервер, де ці дані по базі даних зіставляються з координатами цих точок доступу, за якими і обчислюються координати користувача.

При обчисленні координат використовується математичний апарат схожий на такий в ультразвуковій орієнтації. Тобто використовується інформативний параметр сингала від Wi-Fi(фаза, потужність, тощо) за допомогою якого визначається відстань до контрольних точок, і з використанням геометричних побудов та формул(тріангуляції, трилатерації) визначається шукане положення об'єкта.

На жаль, координати контрольних Wi-Fi точок точно не завжди відомі, та постійні. А похибка позиціонування таких систем іноді становить похибка - до 25 метрів. Навіть при побудові спеціально створеної Wi-Fi інфраструктури - точність вимірів координат складає 3-5 метрів, але це вже вимагає суттєвих витрат на

створення і обслуговування подібної структури, через високу вартість Wi-Fi модулів.

Системи орієнтації що використовують Bluetooth сигнал загалом схожі за принципом дії, але в них є одна суттєва перевага – існуючі Bluetooth модулі починаючи з 4го покоління в 1000 раз менш енерговитратні в порівнянні з Wi-Fi. Це призводить до можливості використання невеликих і дешевих джерел випромінювання Bluetooth сигналів, що значно спрощує та здешевшує подібні системи. Найбільш перспективною технологією на сьогодні є орієнтація пристроїв або об'єктів в просторі з використанням Beacon маячків. Спеціальних автономних(тобто працюючих від власного джерела живлення а не від електромережі) пристроїв, які з певною періодичністю випромінюють кодовані сигнали, в яких містяться необхідні для розрахунку дані. Коротку порівняльну характеристику систем на різних бездротових технологіях наведено в таблиці 1.

Характеристика	Wi-Fi	Класичний Bluetooth	BLE
Швидкість потоку даних	54 Мбіт/с	1 Мбіт/с	720 Кбіт/с
Радіус дії	100 м	10 м	10-50 м
Потужність сигналу	20 дБм	10 дБм	1 дБм
Споживання енергії	100-50 мА	57 мА	15 мА
Вартість апаратної частини	Висока	Середня	Низька

Висновки

Огляд існуючих систем орієнтації, та методів НК що можуть використовуватися в них дозволив оцінити їх можливості використання в тих чи інших умовах, точність та доцільність застосування для орієнтації у просторі. За основу для розробки було вибрано орієнтацію за допомогою Bluetooth Low Energy пристроїв через її простоту(що допоможе в розробці фільтру даних) та низьку ціну(що сприятиме конкуруванню систему на сучасному ринку, та спростить і здешевить процес практичного випробування системи).

2. ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ СИСТЕМИ

2.1 Принцип дії Beacon-маячків

Загальний принцип системи для «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth полягає у наступному – в приміщенні встановлюються Bluetooth-маячки(або англ. beacons) з відомими координатами розташування, маячки із заданою періодичністю транслюють сигнал формату Bluetooth, який містить інформацію, що ідентифікує кожен з маячків, та деякі інші дані. Програмне забезпечення циклічно отримує ці дані, по базі даних визначає координати маячків, і на основі сили сигналу (що дозволяє визначити віддаленість від кожного з них) визначає своє місце розташування об'єкта, на якому встановлено приймач. Прикладом реалізації такої системи може слугувати технологія iBeacons(рис 17).

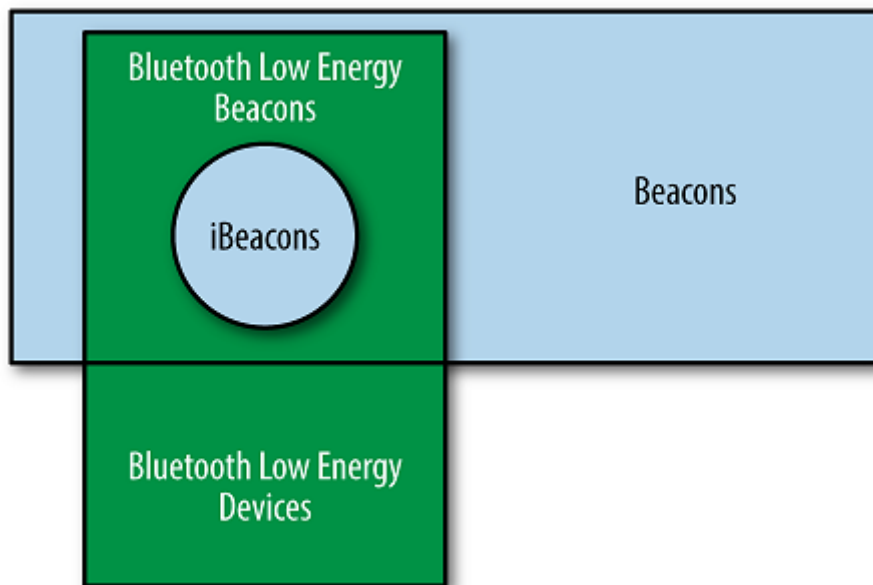


Рисунок 17. iBeacon – технологія, для орієнтації від компанії Apple, маячками в якій є BLE пристрої.

Beacon-маячки - це Bluetooth 4.0 Low Energy(BLE) пристрої. А отже, роль маячка може виконувати будь-який пристрій, оснащений BLE-чіпом - наприклад, Смартфон на базі Android, а також iPhone, iPad, ноутбук, стаціонарний ПК з

bluetooth-донглом тощо. На такому пристрої повинен знаходитися спеціальний додаток, що реалізує функції Beacon-маячка.

Проте зазвичай для таких цілей застосовуються простіші та дешевші спеціалізовані пристрої з власним живленням від батареї, що дозволяє їм автономно функціонувати на протязі довгого періоду часу(до двох років).

Дані пристрої складаються з батареї і Soc (System-On-Chip) Texas Instruments CC2540 / 2541 (ще широко розповсюдженими є маячки на мікросхемах Nordic nRF51822), що представляє собою мікроконтролер, в який завантажується прошивка для реалізації функції Beacon-маячка, і периферійний модуль Bluetooth LE. Дальність випромінювання сигналу маячка - в середньому 25 метрів (варіюється від десятків см до 35-100м в залежності від моделі та налаштувань). Періодичність видачі даних – складає 5-10 випромінювань на секунду(інтервали по кілька сотень мілісекунд), з можливістю конфігурації. Термін служби від однієї батареї в маячку - від одного року до трьох років. Ціна одного маячка може варіюватися - близько 5-10 доларів.

Маячок є простим пристроєм, який в advertising-режимі видає всім пристроям з Bluetooth приймачами в ефір свої дані, використовуючи Bluetooth структуру GATT. Зазвичай існує можливість підключення до маячки з метою дистанційно, або через UART інтерфейс, з подальшим налаштуванням його параметрів. Це може бути редагування даних, які видаються в ефір, зміна частоти видачі даних або потужності випромінювання.

2.2 Формат та структура Bluetooth даних отриманих з Beacon маячків

Загальна структура даних Bluetooth - пакета наведена на рис.19. формат даних, що видаються маячком на рис. 18.

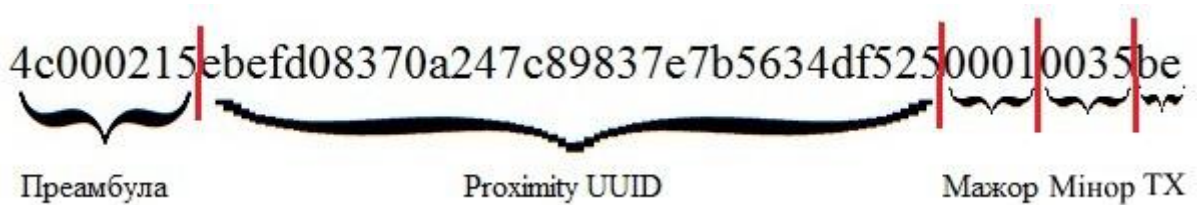


Рисунок 18. Структура даних отриманих з Bluetooth-маячка.

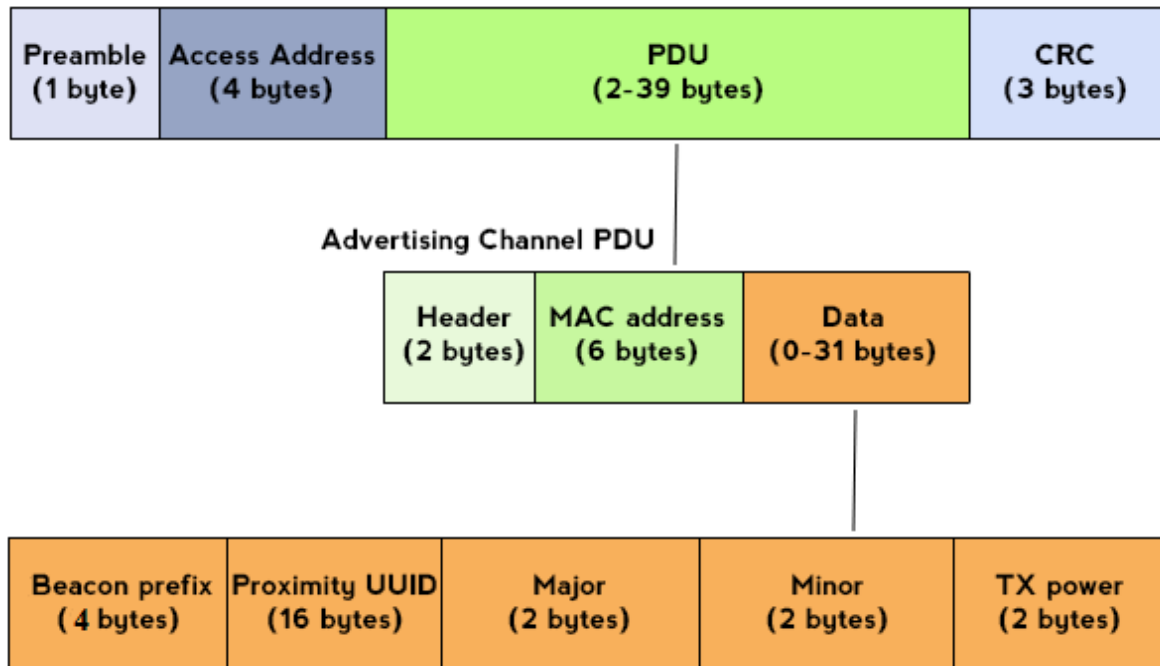


Рисунок 19. Структура пакету даних Bluetooth.

Розглянемо кожен з частин показаних на рис. 18:

Прембула – перша частина пакету даних займає в пам’яті 4 байти. Вона є стандартною для Beacon-маячків, і дає програмі можливість ідентифікувати підключений пристрій саме як маячок. В свою чергу преамбула складається з 4х частин: ідентифікатора компанії виробника (2 байти), тип (1 байт) і довжина даних (1 байт).

UUID – з англійської Universally Unique Identifier, ідентифікатор маячка, займає в пам’яті 16 байт. Він може бути груповим – тобто присвоєним декільком маячкам у певній зоні чи приміщенні, або унікальним.

Мажор – частина даних, що займає 2 байти в пам’яті. Вона дозволяє виділити маячок з групи маячків зі спільним UUID, тобто в груповому ідентифікаторі

можуть існувати підгрупи, ідентифіковані за власним номером мажору. На практиці так можна відокремлювати маячки в різних поверхах, або в різних кімнатах однієї будівлі.

Мінор – додаткова частина даних, займає також 2 байти в пам'яті, дозволяє проводити ідентифікацію окремих маячків зі спільним мажором. Зазвичай на етапі аналізу мінора програма може ідентифікувати маячок і зіставивши його ідентифікатор з базою даних визначити відому координату маячка.

TX – остання частина пакету даних. Займає 2 байти пам'яті, перший біт знаковий, тобто значення 1 – символізує знак «-», 0 - означає знак «+». Вона показує значення потужності сигналу від маячка, виміряне на відстані 1 м на заводі при виробництві маячка. Значення вимірюється один раз, є константним, і не підлягає перезапису.

Параметр еталонної потужності нерозривно пов'язаний з поняттям RSSI – з англ. received signal strength indicator, тобто індикатор потужності прийнятого сигналу. Показник цей вимірюється в одиницях відношення потужності децибелліваттах(дБм), і показує, наскільки сильно затухає сигнал на шляху від випромінюючого маячка до приймача. Він вираховується за формулою:

$$RSSI = -(10n \log_{10} d - Tx) \quad (12)$$

де RSSI – значення потужності прийнятого сигналу в дБ, n – константа, що описує затухання сигналу в повітрі, d – відстань до маячка Tx – значення потужності, виміряне на заводі виробнику на відстані один метр від маячка.

Саме параметр TX використовуватиметься для визначення відстані до певного маячка. Наприклад, TX показаний на рис. 18 дорівнює 0xBE. Це запис в шістнадцятковій системі числення, який при переведенні в десяткову дає значення 190. Потужність сигналу від маячка на відстані 1 м від маячка вираховується за наступною формулою:

$$P = 256 - TX \quad (13)$$

де P – значення потужності на відстані 1м.

2.3 Принцип визначення координат за допомогою Beacon-маячків

Розглянемо принцип визначення відстані до маячків. Щоб визначити положення об'єкту(ОК) з приймачем в просторі, програмному забезпеченню необхідно проаналізувати відомі(знаходяться в базі даних) координати маячків, з яких надійшов сигнал на основі UUID / Мажор / Мінор, і відстань до кожного з них.

Для визначення відстані використовується параметр сигналу – RSSI (з англ. Received Signal Strength Indicator). Цей параметр автоматично вираховується Bluetooth-приймачем на основі сили отриманого сигналу. Чим вище значення цього параметра - тим ближче ОК знаходиться до маячка. Для визначення відстані до маячка (в метрах) використовується поточне значення RSSI, і еталонний TX Power, і на основі формули(12) визначається значення в метрах.

Програмний код реалізації обрахунку відстані наведено в додатку А.

Beacon-маячки повинні бути розставлені в приміщенні(наприклад, прикріплені до стіни/ опор, стовпів, тощо) таким чином, щоб максимально рівномірно покривати всю площу приміщення. Також необхідно точно виміряти положення маячків і прив'язати їх до координатної сітки на карті приміщення. За початок координат може бути обрано довільну точку, наприклад, місцезнаходження «першого» маячка, або кут кімнати чи інший орієнтир.

На рис. 20 наведено приклад розташування масиву маячків у будівлі(місцезнаходження окремих маячків позначено зеленими кружечками).

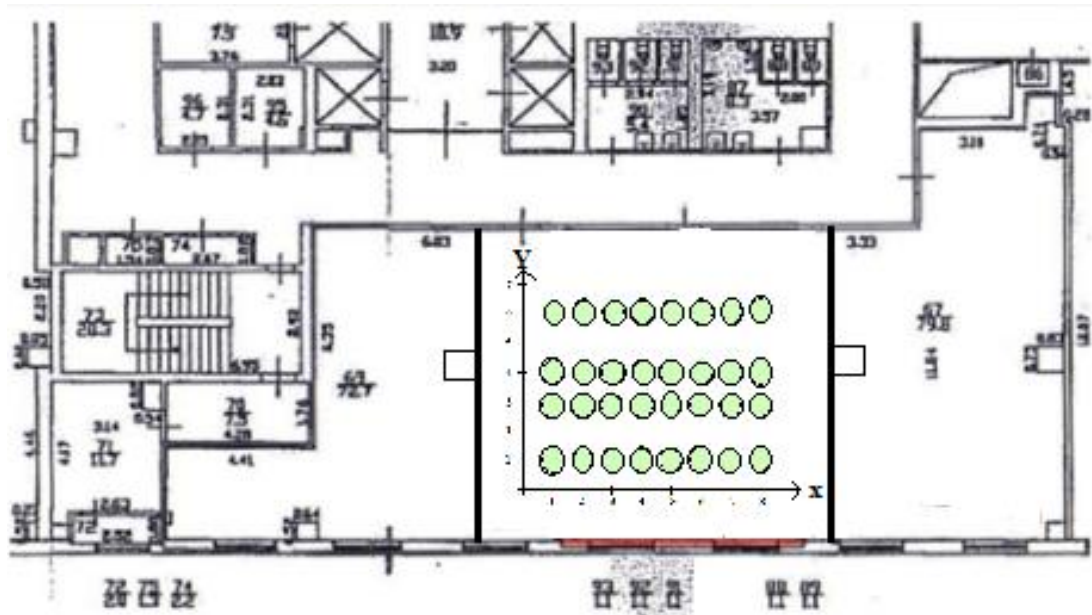


Рисунок 20. Схематичний приклад розташування маячків у приміщенні

Однак на перешкоді до точного визначення координат стає те, що в умовах прямої видимості маячка приймачем, параметр RSSI іноді змінює своє значення, в результаті чого без застосування математичного апарату визначити реальну відстань до маячка без суттєвої похибки майже неможливо. Така хаотична зміна значення може бути викликана цілою низкою факторів, серед яких такі:

- Наявність поблизу маячка або приймача поверхонь з матеріалів, що добре віддзеркалюють радіосигнал, і як наслідок виникнення явища реверберації. Варто зазначити, що ця проблема зустрічається не лише у випадку Bluetooth орієнтації, але й при навігації за будь яким іншим способом, що використовує радіохвилі.
- Присутність об'єктів, що екранують радіохвилі на шляху сигналу від маячка до приймаючого пристрою(ОК), координати якого визначаються.
- Велике скупчення маячків Beacon на одній території, за рахунок можливої багатопроменевої інтерференції з основним променем.

Найпростішим та першим кроком до отримання реального значення відстані є усереднення показників що надійшли на приймач. Для цього маячки

налаштовуються на максимальну частоту видачі даних(чим вище частота видачі даних, тим більше даних для усереднення, відповідно і вище точність на виході). Проте варто зазначити, що разом з підвищенням періодичності видачі даних знижується час роботи маячка від батареї.

Накопичені дані зберігаються в буфері, і з певною періодичністю на основі накопичених в буфері даних розраховується середнє RSSI для кожного з маячків. Після цього буфер очищується, і в наступний момент часу знову йде накопичення даних.

Потім, якщо масив маячків більший за 3 штуки, кожену секунду, після розрахунку середнього RSSI, вибираються три маячки з найкращими середніми RSSI(це сигналізує про те, що вони знаходяться найближче, а отже зменшиться похибка при подальших розрахунках). Параметром «кращості» для програми виступає менше значення затухання сигналу.

Так як координати цих маячків відомі можна розрахувати положення ОК в просторі за допомогою алгоритму трилатерації. На відміну від триангуляції(яка була розглянута в розділі з УЗ системами орієнтації), в якій координата пристрою обчислюється на основі координат «опорних об'єктів» і кутах від кожного з них до приймача, в алгоритмі трилатерації для обчислення місця розташування об'єктів використовується відоме місце розташування двох і більше маячків і вимірювання відстаней між кожним з них та пристроєм з приймачем Bluetooth, для якого визначається місце розташування.

Для точного і однозначного визначення місця розташування ОК в просторі на двовимірній площині тільки з використанням трилатерації необхідно, як правило, щонайменше, три «опорні точки», тобто три Beacon-маячки з кращими середніми RSSI.

Проте розрахункове місце розташування все одно буде змінюватися в часі, але тим не менше на практиці таким чином можна отримати точність в 3 метри. Наприклад, якщо раз в секунду вибирати маячок з найкращим RSSI, то при 10

послідовних вимірах отримуємо картину наступного плану (рис. 21, одна поділка сітки дорівнює 4 метрам).

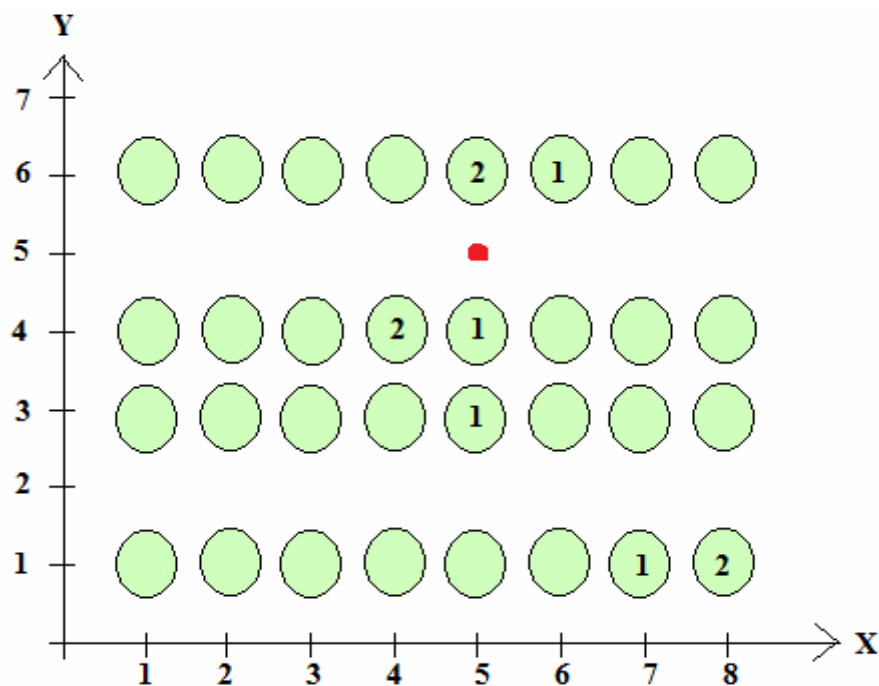


Рисунок 21. Система координат з місцезнаходженням об'єкта.

Червоною точкою показано положення пристрою, координати якого визначаємо а цифри в кружках - к-ть разів, яке вказаний маячок мав краще середнє RSSI при 10 послідовних вимірах. Таким чином, системі потрібна подальша математична обробка отриманих результатів, і доцільним буде використання певного математичного фільтру. Звісно, що будь-вимірювальний прилад має деяку похибку, на це може впливати велика кількість зовнішніх і внутрішніх впливів, що призводить до того, що інформація з пристрою виявляється зашумленою. Фільтр – це фактично алгоритм обробки даних, який прибирає шуми і зайву інформацію.

Наприклад фільтр Калмана прибирає шуми вимірювання (випадкові сплески) і видає результат як з урахуванням результатів поточних вимірювань, так і з урахуванням передбачених результатів на основі минулих вимірів

2.4 Принцип дії фільтра Калмана

Фільтр Калмана – досить популярний та сучасний(представлений у 2001 році) рекурсивний алгоритм фільтрації, що використовується в багатьох областях(технічних, наукових розробках, тощо). Для моделювання та використання в програмному забезпеченні в даній магістерській було обрано саме фільтр Калмана, адже через високу ефективність цей фільтр застосовується в GPS-приймачах, обробниках показань датчиків, при реалізації систем управління і т.д а отже можливість застосування цього алгоритму підтвержене на практиці саме в необхідних сферах(навігації в просторі).

У фільтрі Калмана закладено можливість задати апіорну інформацію про фізичний характер системи, зв'язок фізичних змінних і на підставі цього будувати більш точну оцінку, але навіть в найпростішому випадку (без введення апіорної інформації) він значно підвищує точність отриманих результатів.

Розглянемо ситуацію, в якій необхідно контролювати одну величину(це може бути що завгодно, відстань, координата, сила сигналу, тощо). Гіпотетичний датчик, простий в обслуговуванні, але має деякі недоліки - наприклад, залежність вимірюваної координати від певних факторів(реверберація, інтерференція, тощо) і як наслідок їх великий вплив на показники. У підсумку, інформація з нього представляє пилкоподібний сигнал з великою амплітудою розхилу(рис. 22).

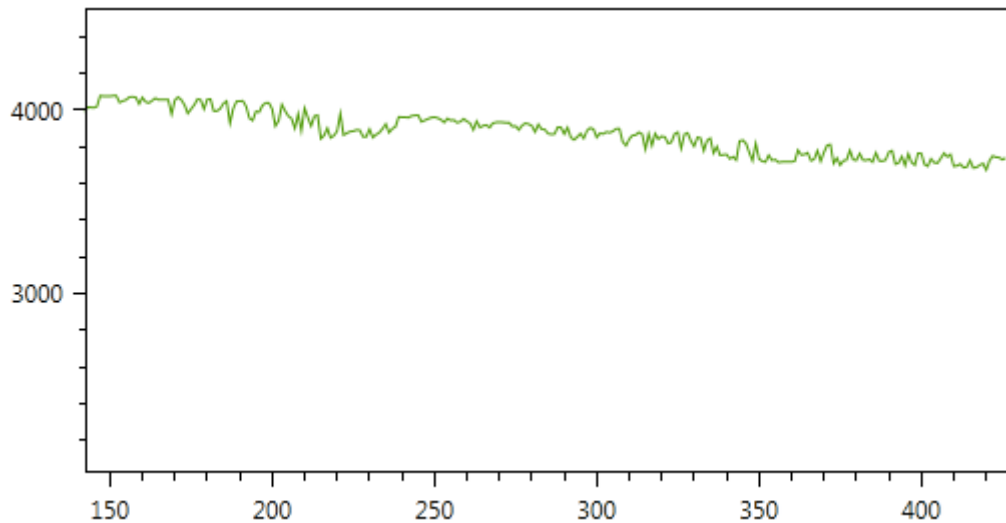


Рисунок 22. Графік показників абстрактних датчиків

Фільтр Калмана використовує динамічну модель системи (наприклад, фізичний закон руху), відомі дії, що управляють і безліч послідовних вимірювань для формування оптимальної оцінки стану. Алгоритм складається з двох повторюваних фаз: передбачення і корегування.

На першій фазі(передбаченні) відбувається прогноз результатів величини в наступний момент часу (з урахуванням неточності їх вимірювання). На другій, нова інформація з датчика корегує передбачене значення (також з урахуванням неточності і зашумленості цієї інформації).



Рисунок 23. Алгоритм роботи першої та другої фази фільтра Калмана

Рівняння на рис. 23 представлені в матричній формі. У випадку виміру однієї змінної матриці вироджуються в скалярні значення. Підрядковий індекс позначає момент часу: k - поточний, $(k-1)$ - попередній, знак «мінус» в верхньому індексі позначає, що це передбачене проміжне значення. Опис змінних представлений нижче на рисунках 23 і 24.



Рисунок 24. Опис принципу роботи фільтра, перша частина.



Рисунок 25. Опис принципу роботи фільтра, друга частина.

Приклад реалізації спрощеного алгоритму наведено в додатку А.

Результат фільтрації з даними параметрами представлений на рисунку 26.

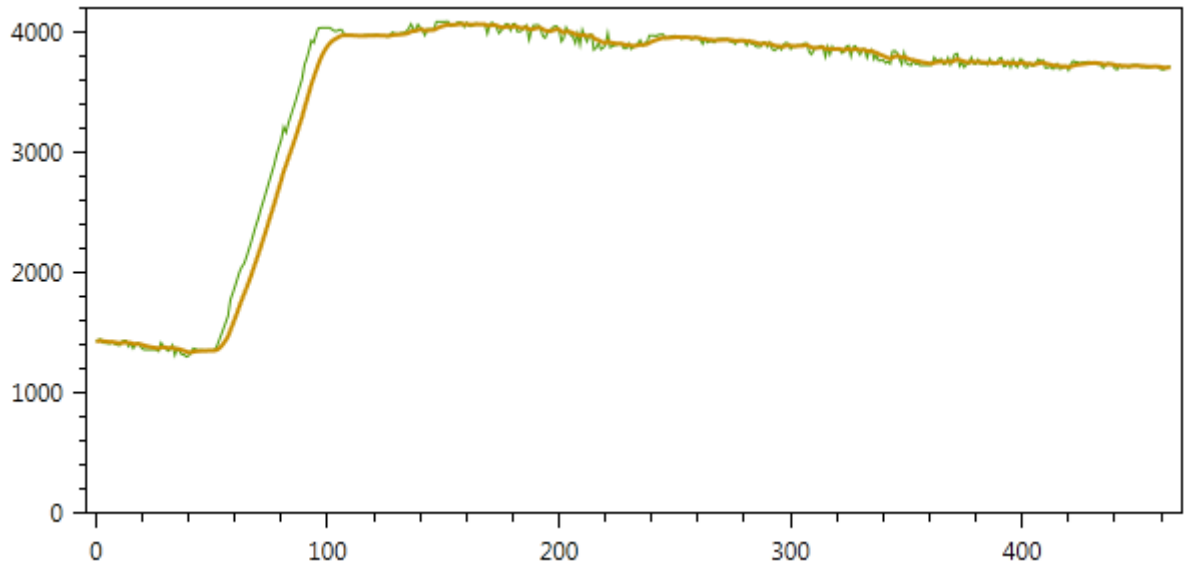


Рисунок 26. Результати фільтрації показників від показників абстрактних датчиків з використанням фільтра Калмана.

Висновки

Проаналізувавши математичний апарат та принцип дії визначення координат об'єктів за допомогою Bluetooth-маячків було обрано в якості фільтру даних (фільтруючого алгоритму) – фільтр Калмана, як найбільш доцільний і перспективний в подібних системах.

Адже фільтр Калмана є важливим та незамінним елементом систем навігації, який дозволяє поточнювати вхідні значення та підвищувати загальну точність систем навіть в умовах постійних зашумлень інформативних даних випадковими сигналами, та спотворення інформативних сигналів внаслідок різних перешкод.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1 Моделювання в двовимірному просторі.

Написання програми буде проходити в середовищі розробки Visual Studio 2017 Community Edition. Мовою програмування обрано С#.

Як було сказано раніше відстань до кожного конкретного маячка вираховується виходячи з рівняння (12). З формули (12) виразимо відстань до маячка:

$$d = 10^{\frac{RSSI - Tx}{-10n}} \quad (14)$$

Відштовхуючись від цієї формули реалізуємо обчислення програмою відстані до маячка. Також варто зауважити, що значення n було підібрано рівним 4 на основі досліджень затухання сигналу в роботі [7]. Код реалізації функції, що обчислює відстань наведено на рис. 27.

```
static double Get_distance(double RSSI, double Tx) // Метод для розрахунку відстані до маячка
{
    if (RSSI == 0)
        return -1; // У випадку якщо значення прийнятої потужності = 0, повертаємо -1(помилка)
    var degree = (RSSI - Tx) / (-10 * 4); // розрахунок ступеня для 10 з формули (12)
    return Math.Pow(10, degree);
}
```

Рисунок 27. Скріншот коду функції визначення відстані в середовищі

Visual Studio 2017

Змоделюємо ситуацію, в якій матимемо 3 маячки (припускаємо що це маячки з найкращими значеннями RSSI з усього масиву маячків), зі значеннями Tx поданими в таблиці 2.

Таблиця 2. Значення потужності сигналу на відстані 1м для трьох гіпотетичних датчиків, та їх координати.

Номер маячка	RSSI	Координати маячка(x,y)
1	-66 dB	0,0
2	-59 dB	0,a(див рис. 28)
3	-62 dB	b,c(див рис. 28)

Для опису алгоритму визначення координат використовувався алгоритм трилатерації, та формули, що виходять з геометричних побудов(рис. 28).

Представимо, що відстань до маячка(за прийнятим сигналом) є радіусом гіпотетичної «сфери», навколо маячка 1(M1 на рис. 28), і дорівнює:

$$r_1^2 = x^2 + y^2 \quad (15)$$

Де r_1 – вимірне значення відстані від приймача до першого маячка x, y – координати об'єкта, положення об'єкта у просторі(тобто шукані системою координати). В якості початку координатної сітки обрано розташування першого маячка.

Такі ж побудови та розрахунки проведемо для першого(формула 16) і другого(формула 17) маячків:

$$r_2^2 = (x - a)^2 + y^2 \quad (16)$$

Де r_2 – відстань до другого маячка, a – різниця координати x між першим та другим маячками.

$$r_3^2 = (x - c)^2 + (y - b)^2 \quad (17)$$

Де r_3 – відстань до третього маячка, c – різниця координати x між першим та третім маячками, b – різниця координат по вісі y .

Об'єднавши рівняння 15, 16, 17 в одну систему можна визначити положення об'єкта по вісям x та y . Тобто знаходити координати ОК в 2-х вимірах. Однак оскільки «гіпотетичні» маячки розташовані на одному рівні(щоб мінімізувати

перешкоди під час реального поширення сигналу) а пристрій(ОК) координати якого знаходяться не завжди лежатиме в одній площині з маячками.

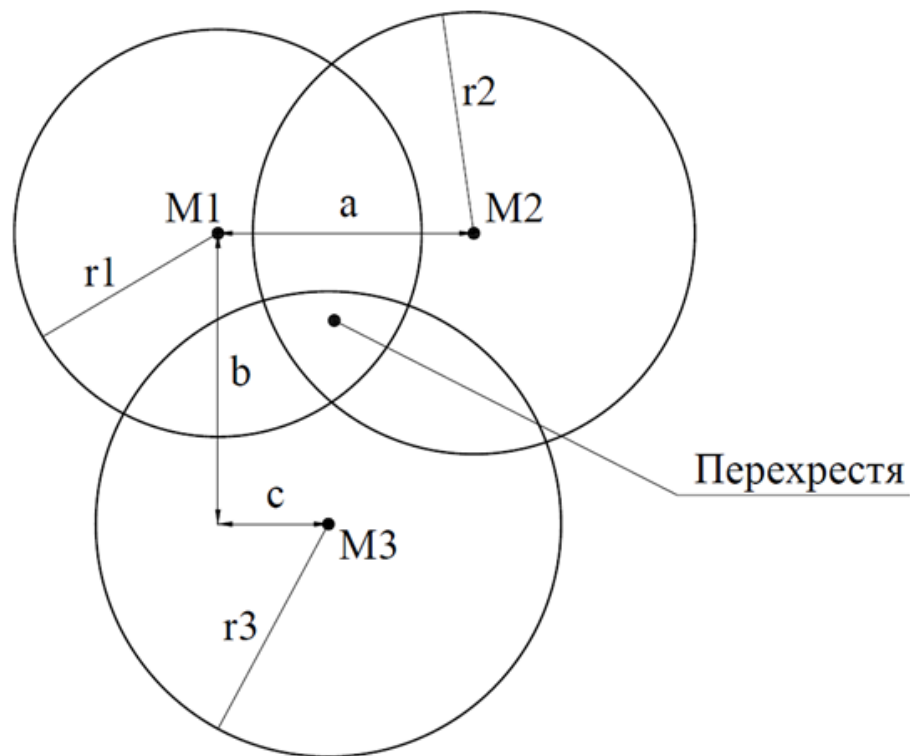


Рисунок 28. Зображення геометричних побудов для трьох маячків, за алгоритмом трилатерації. Перехрестя показує поточне місцезнаходження ОК

Варто зауважити, на рисунку 28 додатне значення координати y йде вниз(тобто $y=7$ буде нижче за $y=5$).

3.2 Моделювання в тривимірній системі координат.

Модифікуємо формули 15-17 з урахуванням координати z (висоти) для орієнтації в 3-х вимірах, і виведемо рівняння для кожної з координат:

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + a^2}{2d} \quad (18)$$

Де $r_{1,2}$ – відстані від ОК до першого та третього маячків відповідно, a – різниця по вісі x положення маячка M2 відносно M1(рис. 28)

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + b^2 + c^2}{2b} - \frac{c}{b}x \quad (19)$$

Де $r_{1,3}$ – відстані до першого та третього маячків відповідно, b – різниця по вісі y положення маячка М3 відносно М1(рис. 28) c – різниця по вісі x положення маячка М3 відносно М1(рис. 28), x – розрахована в(18) шукана координата пристрою(ОК).

З врахуванням рівнянь (18) та (19) формули для радіусів сфер, описаних навколо кожного з маячків зміняться наступним чином:

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (20)$$

Де r_1 – відстань до першого маячка М1, x, y, z – шукані координати ОК по вісям x, y та z відповідно.

$$r_2^2 = (x - a)^2 + y^2 + z^2 \quad (21)$$

Де r_2 – відстань до другого маячка М2, a – різниця координати x між першим та другим маячками.

$$r_3^2 = (x - c)^2 + (y - b)^2 + z^2 \quad (22)$$

Де r_3 – відстань до третього маячка М2, b, c – різниця координат між третім та першим маячками по вісям x та y відповідно.

В такому випадку рівняння для координати об'єкта по вісі z виглядатиме наступним чином:

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2} \quad (23)$$

Проведемо моделювання, використовуючи виведені формули. На вхід модифікованої функції обчислення відстані до маячка(під назвою For_beacon) подаємо зашумлені випадковими величинами значення RSSI, та усереднимо кожне всі 10-ть вимірювань. Код реалізації наведено на рис.29.

Варто зауважити, що функція Get_distance(рис. 27) також використовується, вона безпосередньо розраховує відстань, і записує отримане значення в змінну distance. А значення RSSI, що подається на її вхід штучно «зашумлюється» випадковими величинами від генератора випадкових чисел.

```

static double For_beacon(int x, double rssi_given)//Моделювання 10-ти вимірювань для i-го маячка
{
    Random rnd = new Random(); // Ініціалізація генератора випадкових чисел
    double real_TX_power = rssi_given;
    double sum1 = 0;
    Console.WriteLine($"|Параметр TX_power {x}-го маячка = {real_TX_power} дБ|\n");
    for (int i = 0; i < 10; i++)
    {
        // Гіпотетична відстань до 1-го маячка
        double real_RSSI = -66 - (rnd.Next(0, 35)); // Зашумлення показника RSSI
        double distance = Get_distance(real_RSSI, real_TX_power); // Розрахунок за формулою з розр. частини відстані до маячка
        Console.WriteLine($"При затуханні в {real_RSSI} дБ");
        Console.WriteLine($"Відстань до {x}-го маячка становить = {distance:0.##} (м) на {i + 1}-й ітерації");
        System.Threading.Thread.Sleep(100);
        sum1 += distance;
    }
    double mid_distance = sum1 / 10;//Визначення середнього значення відстані
    Console.WriteLine($"|Середнє значення відстані становитиме: {mid_distance:0.##} м|\n_____");
    return mid_distance;
}

```

Рисунок 29. Код функції, що реалізує вимір, виведення, та усереднення результатів вимірів відстані

В результаті отримані з кожного гіпотетичного маячка дані надходять до частини програми, яка безпосередньо вираховує координати об'єкта, й описує кожному з 10-ти ітерацій вимірювання відстані. Потім ці значення осереднюються, і з використанням формул 18,19 та 23 знаходяться координати ОК(рис. 30). Результат роботи програми, з виводом даних в консоль на рис. 31.

```

static void Main(string[] args)
{
    //Встановлення хначень a,b,c які відповідають за відстань двох інших маячків до 1-го
    double a = 3, b = 3;
    double c = 1.5;
    //Вимірювання відстані для кожного з маячків
    double r1 = For_beacon(1, -66);
    double r2 = For_beacon(2, -59);
    double r3 = For_beacon(3, -62);
    // Визначення координати X об'єкта контролю(приймача)
    double x = ((Math.Pow(r1,2))-(Math.Pow(r2, 2)) +(Math.Pow(a, 2))) / (2 * a);
    // Визначення координати Y
    double y = (((Math.Pow(r1, 2)) - (Math.Pow(r3, 2)) + (Math.Pow(c, 2))+( Math.Pow(b, 2))) / (2 * b))-((c*x)/b);
    // Визначення координати Z
    double z = Math.Sqrt((Math.Pow(r1, 2)) -(Math.Pow(x, 2)) -(Math.Pow(y, 2)));
    Console.WriteLine($"Шуканий об'єкт контролю знаходиться по координатам:\n{x:0.##} по осі X\n{y:0.##} по осі Y\n+{z:0.##} по осі Z");
    Console.ReadKey();
}

```

Рисунок 30. Код фінальної реалізації розрахунку координат ОК

```
C:\
!Параметр TX_ ower 1-го маячка = -66 дБ!
При затуханні в -67 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 1,06 (м) на 1-й ітерації
При затуханні в -85 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 2,99 (м) на 2-й ітерації
При затуханні в -73 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 1,5 (м) на 3-й ітерації
При затуханні в -83 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 2,66 (м) на 4-й ітерації
При затуханні в -93 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 4,73 (м) на 5-й ітерації
При затуханні в -88 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 3,55 (м) на 6-й ітерації
При затуханні в -100 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 7,08 (м) на 7-й ітерації
При затуханні в -97 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 5,96 (м) на 8-й ітерації
При затуханні в -75 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 1,68 (м) на 9-й ітерації
При затуханні в -76 дБ
Відстань до 1-го маячка становить = 1,78 (м) на 10-й ітерації

Середнє значення відстані становитиме: 3,3 м

!Параметр TX_ ower 2-го маячка = -59 дБ!
При затуханні в -66 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 1,5 (м) на 1-й ітерації
При затуханні в -93 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 7,08 (м) на 2-й ітерації
При затуханні в -67 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 1,58 (м) на 3-й ітерації
При затуханні в -99 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 10 (м) на 4-й ітерації
При затуханні в -82 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 3,76 (м) на 5-й ітерації
При затуханні в -87 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 5,01 (м) на 6-й ітерації
При затуханні в -69 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 1,78 (м) на 7-й ітерації
При затуханні в -71 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 2 (м) на 8-й ітерації
При затуханні в -94 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 7,5 (м) на 9-й ітерації
При затуханні в -79 дБ
Відстань до 2-го маячка становить = 3,16 (м) на 10-й ітерації

Середнє значення відстані становитиме: 4,34 м

!Параметр TX_ ower 3-го маячка = -62 дБ!
При затуханні в -85 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 3,76 (м) на 1-й ітерації
При затуханні в -93 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 5,96 (м) на 2-й ітерації
При затуханні в -91 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 5,31 (м) на 3-й ітерації
При затуханні в -82 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 3,16 (м) на 4-й ітерації
При затуханні в -80 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 2,82 (м) на 5-й ітерації
При затуханні в -89 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 4,73 (м) на 6-й ітерації
При затуханні в -75 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 2,11 (м) на 7-й ітерації
При затуханні в -66 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 1,26 (м) на 8-й ітерації
При затуханні в -71 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 1,68 (м) на 9-й ітерації
При затуханні в -93 дБ
Відстань до 3-го маячка становить = 5,96 (м) на 10-й ітерації

Середнє значення відстані становитиме: 3,67 м

Шуканий об'єкт контролю знаходиться по координатам:
0,18 по осі X
1,35 по осі Y
3 по осі Z
```

Рисунок 31. Результат роботи програми(вивід даних в консоль)

Оскільки результатом реалізації алгоритмів трилатерації є декілька точок перетину двох або більше сфери від маячків, повинна виконуватися наступна рівність:

$$a - r_1 < r_2 < a + r_1 \quad (24)$$

Система не повинна враховувати значення RSSI від певного маячка, якщо умова трилатерації(24) не виконана. Отже такий датчик в реальному випадку буде відсіяно на етапі формування даних по відстані, особливо актуально це є в ситуаціях, коли маячків набагато більше за три, і формується масив значень отриманих від маячків.

3.3 Моделювання з застосуванням фільтра

Наступним кроком є моделювання роботи фільтра Калмана. Код та реалізацію роботи фільтра надано в додатку А. Порівняння роботи фільтра Калмана з усереднюючим фільтром, та медіанним фільтром на рис. 32.

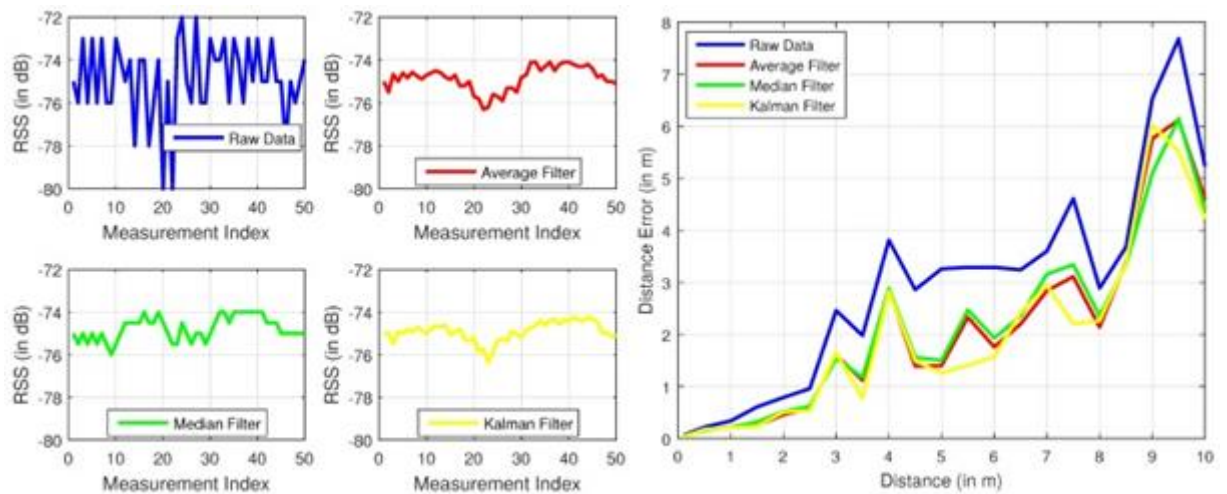


Рисунок 32. Порівняння роботи різних фільтрів

На рис. 32 синім кольором виділені нефільтровані дані, з одного маячка, зеленим – дані після роботи медіанного фільтра, червоним – після усереднюючого фільтра, а жовтим – дані на виході з фільтра Калмана. Як видно з рис. 32 фільтр

Калмана найкраще відфільтровує отримані значення, мінімізуючи похибку(що і є найголовнішим фактором корисності фільтру).

Використовуючи фільтр Калмана було проведено вимірювання координат ОК по вісям x та y , результати показані на рис. 33(координата «гіпотетичного» ОК - червона точка). Фільтрування відбувалося після розрахунку n -ної кількості координат за зашумленими значеннями відстані до кожного з маячків. Частина зашумлених значень була відкинута на етапі фільтрації. Початком координатної сітки є кут гіпотетичного приміщення, в якому знаходиться ОК та маячки.

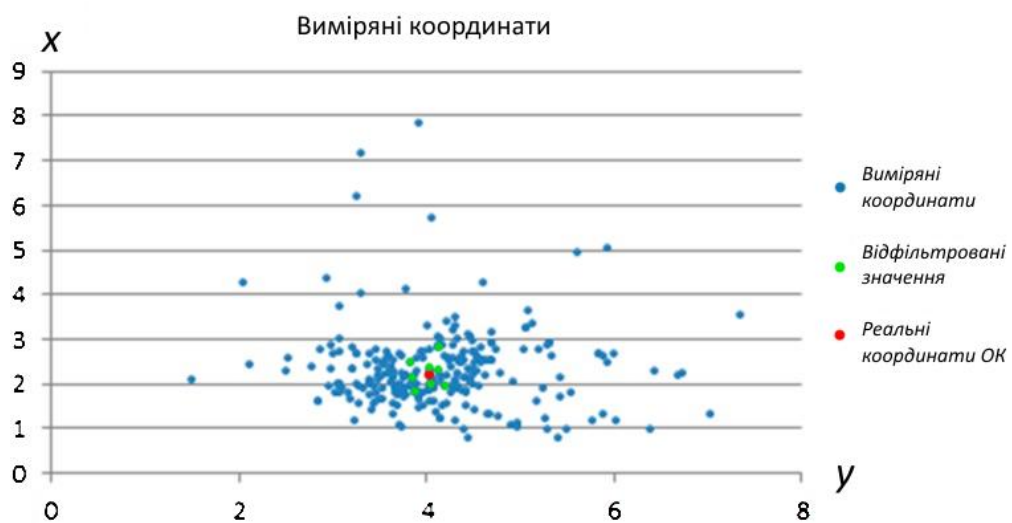


Рисунок 33. Результати фільтрації знайдених координат ОК

Висновки

В розділі було проведено математичне моделювання роботи системи в різних умовах. Було наглядно показано алгоритм та результати вимірювання відстані до Bluetooth-маячків, а також визначення координат ОК по цим показникам. Фільтрація за математичним алгоритмом Калмана виявилася найбільш дієвою і мінімізуючою похибку між реальним і вимірним значенням. Тим самим доведено можливість використання розробленої системи для позиціонування та визначення координат приладів, автоматичних чи автоматизованих систем(роботів, тощо), як актуальне та таке, що відповідає технологічним вимогам сьогодення.

4 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ

4.1 Обґрунтування вибору модулів маячків

Для роботи розробленої системи необхідно встановити в приміщенні, в якому буде проводитися знаходження координат об'єкта контролю (тобто для прикладу це може бути сучасний смартфон, ноутбук, планшет чи будь який інший пристрій, що має в своєму корпусі Bluetooth-приймач) мікросхеми маячків. На об'єкті, координати якого знаходяться повинно бути встановлено розроблене програмне забезпечення.

В якості недорогих Bluetooth-маячків(або Beacon-маячків) можна використовувати мікросхеми HM-10, або їх аналоги. Розглянемо та порівняємо обидві.

HM -10 – це Bluetooth модуль на основі сімейства HM. Модулі Bluetooth HM використовують мікросхеми CSR або TI CC2xxx, вони можуть виконувати функції Master та Slave пристроїв, для передачі даних у якості маячків, або віддаленого контролю інших приладів, систем тощо.

Модулі сімейства HM підтримують наступні версії Bluetooth технологій:

- HM-01 на HM-09 – версію Bluetooth V2.1.
- HM-10, HM-11 – версію Bluetooth V4.0 BLE.
- HM-12, HM-13 – подвійний режим підтримки Bluetooth EDR 4.0 і BLE 4.0
- HM-16, HM-17 – версію Bluetooth V4.1 та V4.2 BLE.
- HM-18, HM-19 – версію Bluetooth V4.2 та V5.0 BLE.

HM-10 підтримує версію Bluetooth 4.0 – саме ту, з якої розробником технології(компанією Nokia) почалося впровадження BLE пристроїв.

Вони підтримують наведені в таблиці 3 AT-команди для налаштування, яке може відбуватися шляхом підключення через послідовний UART інтерфейс(з

підключенням до ПК за допомогою UART-USB кабелю, або до мікроконтролера Arduino Uno, чи потужнішого) або через Bluetooth.

4.2 Опис порядку налаштування маячків

У випадку підключення модулів в якості маячків необхідно:

1. Під'єднати модуль до автономного джерела живлення
2. За необхідності налаштувати параметри видачі даних Bluetooth пакету, та/або частоту та потужність їх випромінювання(використовуючи ПК або мікроконтролер).
3. Після сполучення HM-10 почне видачу даних в Advertising-режимі.

За замовчанням на модулі встановлено наступні параметри:

Name: HMSoft; Baud: 9600, N, 8, 1; Pin code: 000000; transmit
Version.

Таблиця 3. Список AT-команд для налаштування HM-10 в якості маячка

AT-команда	Опис дії
AT + RENEW	Ініціалізує HM-10
AT + RESET	Виконує перезавантаження модуля
AT + MARJ	Встановлює значення мажора для Beacon-формату даних
AT + MINO	Встановлює значення мінора для Beacon-формату даних
AT + ADVI5	Встановлює час циклу видачі сигналу приблизно рівним 0,546 с
AT + ADTY	Встановлює режим «non-connectable»
AT + IBEA1	Активує протокол роботи Beacon
AT + DELO2	Встановлює режим «broadcast-only»
AT + PWRM0	Встановлює режим «autosleep» (мінімального використання енергії)
AT + RESET	Повторно перезавантажує модуль, що і застосовує перераховані зміни

Приклад підключення модуля HM-10 за допомогою UART-USB кабелю та його розпіновку показано на рис.34.



Рисунок 34. Розпіновка кабелю для підключення HM-10 до ПК

Приклад підключення HM-10 до мікроконтролера Arduino Uno, для подальшого налаштування через UART інтерфейс показано на рисунку 35.

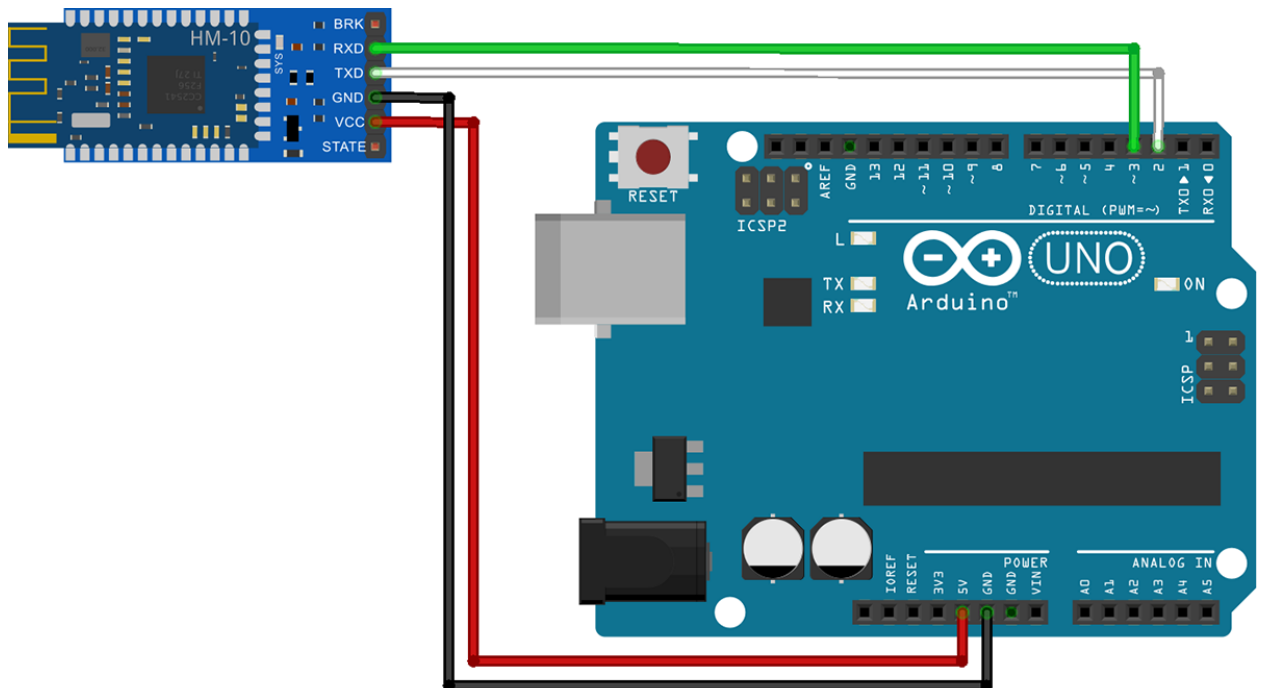


Рисунок 35. Схематичне зображення підключення HM-10 до Arduino

Основними перевагами обраного модулю є:

- Економічність
- Простота в застосуванні та налаштуванні
- Підключення як через кабель, так і через Веасон для конфігурації
- Робота на технології Веасон 4.0, а отже низьке енергоспоживання

Проте найголовнішою особливістю цього модуля є те, що він(на відміну від майже аналогічного за можливостями HC-06) може працювати з пристроями під

операційними системами iOS, Android, Windows. Тобто є універсальним в цьому контексті, а отже можливе його використання на пристрої з будь якою з перерахованих операційних систем, що є важливим як при розробці програми, так і при використанні системи орієнтації на основі цього модуля.

Після увімкнення та налаштування маячків на основі обраних модулів в справу вступає програмне забезпечення, встановлене на пристрої(приладі, системі, тощо) координати якого необхідно визначити. Після низки вимірювань(в залежності від умов в яких проводиться орієнтація) визначені координати шляхом, передбаченим в програмі доставляються до бази даних та/або виводяться на будь який графічний пристрій(дисплей смартфона, консоль прилада, проектор, тощо). Отримані дані можуть використовуватися з будь-якою ціллю в контексті контролю – це може бути безпосередньо навігація при неможливості з тих чи інших причин використання інших(більш точних) методів навігації, або реєстрація координат дефектів, або в якості допоміжних даних для основних систем автономної орієнтації, чи ІНС з метою підвищення точності результатів визначення положення.

Зовнішній вигляд зібраного маячка показано на рис. 36



Рисунок 36. Зовнішній вигляд модуля НМ-10 в корпусі, та під'єданого до джерела живлення на +5В

Висновки

Описана в розділі функціональна реалізація системи побудована з використанням сучасних технологій (Bluetooth) на досконалій (для виконання поставлених перед системою завдань) та новітній елементній базі. Оскільки в якості маячків застосовуються обрані модулі BLE на базі НМ-10 система є не тільки дешевою, а й якісною (для системи орієнтації з використанням радіохвиль точність буде прийнятною). До того ж обрана елементна база спрощує експлуатацію та налаштування розробленої системи до мінімуму.

Розроблена система може використовуватися в контексті контролю – для вирішення таких основних задач:

- безпосередньої навігації при неможливості з тих чи інших причин використання інших (більш точних) систем чи їх недоцільності;
- реєстрація координат дефектів;
- в якості допоміжної або резервної системи для основних систем автономної орієнтації.

Також варто відмітити, що низька ціна складових, а також не великий строк розробки програмного забезпечення (і як наслідок підвищення швидкості роботи розробника, а також можливість оперативно вирішувати поставлені завдання) в сумі значно підвищать конкурентоспроможність системи на ринку існуючих рішень.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

«Система «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth технології»

5.1 Опис ідеї проекту

В попередніх розділах було розглянуто існуючі системи орієнтації, що використовують різні методи для контролю координат об'єкта у просторі. Було доведено необхідність розробки системи, що буде водночас простою, дешевою та універсальною, також було обрано метод орієнтації з використанням Bluetooth-сигналів для використання просунутих алгоритмів розрахунку координат. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту системи орієнтації в приміщеннях за допомогою Bluetooth-маячків.

Ідея проекту полягає у створенні системи знаходження(контролю) координат певного об'єкта в приміщенні, тобто «indoor» орієнтації, з використанням Bluetooth-технології. Розроблювана система повинна бути максимально універсальною та гнучкою, простою в експлуатації, і мати конкурентоспроможну ціну. В системі повинно бути передбачено зберігання результатів орієнтації в електронному вигляді в пам'яті комп'ютерної техніки, на якій буде встановлено відповідне розроблене програмне забезпечення.

В таблиці 4 відображений зміст ідеї, та потенційні ринки в межах яких необхідно шукати конкурентів.\

Таблиця 4. Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи орієнтації в приміщеннях за допомогою Bluetooth-маячків	1. Орієнтація автоматичних або автоматизованих приладів(систем, роботів тощо) в процесі НК	Прискорення процесу неруйнівного контролю, виключення людського фактору
	2. Знаходження координат дефектів, при контролі ОК автоматичними або автоматизованими системами.	Збереження результатів контролю в електронному вигляді для подальшого аналізу

Отже, пропонується система орієнтації приладів та систем автоматизованого контролю, яка є простішою за аналоги, може використовуватися з мінімальними початковими витратами, та побудована на сучасній програмній та апаратній базі. Однією з основних особливостей системи є гнучкість програмного апарату(можливість переходу на інший метод визначення відстані з мінімальними змінами коду) та покращення результатів її роботи при масштабуванні мережі Bluetooth-маячків. Далі проводиться аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні).

Таблиця 5. Визначення порівняльних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепції конкурентів(потенційних)				W	N	S
		Моя система	Конкурент 1 «iBeacon»	Конкурент 2 орієнтація по Wi-Fi	Конкурент 3 Орієнтація по лідарам			
1.	Загальна вартість, грн	2000	10000	15000	50000			+
2.	Точність визначення координат, м	±1-2	±1,5-2	±3	±0,1		+	
3.	Час визначення положення, с	2	2	3-5	до 35		+	
4.	Можливість зміни методу визначення координат	+	-	-	+			+

Висновок: у таблиці 5 визначено перелік основних техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. Із таблиці видно, що слабких сторін проекту немає. Щодо сильних сторін – це набагато нижча вартість системи в порівнянні з аналогами, та можливість зміни методу контролю відстані до опорних точок, без особливих змін програмного коду.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 6.

Таблиця 6. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка системи, що буде простою в експлуатації, для «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth-технології.	Виготовлення на підприємстві на замовлення	Наявна	Доступна
		Замовлення компонентів та виготовлення власноруч	Наявна	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення маячків та їх акумуляторів для системи орієнтації, і подальше встановлення в приміщенні в якому буде відбуватися орієнтація автоматичних або автоматизованих приладів НК.

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект є простим у встановленні та експлуатації, програмна й апаратна його частини виконані з використанням новітніх та популярних технологій.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Даний аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить спланувати напрями розвитку проекту, пропозицій проектів-конкурентів та потреб потенційних клієнтів. В таблиці 7. проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 7. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	250000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проект, дозвіл на використання частот 2.4 ГГц діапазону
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи з метою підтвердження працездатності в умовах реальних приміщень, та швидкості контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	95%

Отже, аналізуючи таблицю можна зробити висновок, що ринок є досить привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначасмо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи(табл. 8)

Таблиця 8. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Гнучка та швидка система орієнтації для приладів НК, а також можливість обробки, та зберігання інформації про координати знайдених дефектів в електронному вигляді	Підприємства, приватні компанії, фізичні особи	Орієнтація деяких цільових груп на більш складні та точні системи орієнтації	Низька ціна; Ефективність; Висока швидкість

Була визначена цільова аудиторія(див табл. 8) та її основні вимоги до товару, основні вимоги до системи, й основні характеристики системи, які формують поведінку клієнтів відносно розроблюваної системи.

Проте, існують і певні загрози при застосуванні даної технології. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 5.6). Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища. Складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають(таблиці 9, 10).

Таблиця 9. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну на систему орієнтації за рахунок використання дешевших маячків; Запропонувати безкоштовну установку системи в приміщеннях
2.	Економічний фактор	Зростання цін на компоненти	Пошук нових постачальників, та можливий перехід на інші мікросхеми маячків

3.	Технічний фактор	Збої в вимірах координат, вихід з ладу маячків	Наявність кваліфікованої технічної підтримки
4.	Постачання	Невчасне постачання компонентів	Пошук нових постачальників, формування резерву компонентів на складах
5.	Інфляція	Зростання ціни на маячки, і відповідно дорожчання системи	Прив'язка ціни виробу до міжнародної валюти

Отже існує ціла низка загроз, що можуть спричинити проблеми реалізації стартапу. Було розглянуто кожен з факторів, проаналізовано, та запропоновано деякий комплекс дії компанії стартап-проекту для у відповідь на виникнення тієї чи іншої загрози. Запропоновані варіанти реакції дозволять своєчасно та швидко нівелювати виниклі фактори загроз.

Таблиця 10. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість підвищення точності вимірювання координат системою	Позиціонування системи в якості допоміжної, вдосконалення програмної частини системи
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3.	Технічний	Можливість корекції знаходження координат інерційними системами(ІНС)	Впровадження нових алгоритмів розрахунку координат в програмну частину системи
4.	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення системи у відповідності до закордонних стандартів якості.
5.	Попит	Збільшення попиту на даний вид товару	Збільшення виробництва та впровадження знижок та акцій на товар, виділення коштів на маркетинг проекту

В таблицях 9 та 10 були розглянуті основні фактори-загрози, та фактори-можливості стартап-проекту. Для відповідного реагування компанією проекту було запропоновано шляхи реакції на виникаючі ситуації. Правильний алгоритм дій в таких випадках допоможе компанії обійти конкурентів, та збільшити або запобігти

втраті своєї частки ринку. Далі(в табл. 11) проведемо аналіз пропозиції – визначивши загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфері	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
2. Рівень конкурентної боротьби: міжнародна	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузеву ознакою- міжгалузєва	Підприємства працюють в межах декількох галузей	Пропозиція товару за більш низькою ціною
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Пропонують товари одного виду	Реклама, простота в користуванні
5. Конкуренція за характером конкурентних переваг: цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. Конкуренція за інтенсивністю: не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлення й подальше розширення ринку

Отже сформувавши алгоритм дій компанії у відповідь на різні фактори конкурентного середовища, проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю сил М. Портера.

Таблиця 12. Аналіз конкуренції за моделлю М. Портера

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	iBeacons	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Невисока конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок державних замовлень	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні системи	Більш відомі компанії захоплюють ринок

Проаналізувавши дані з таблиць можна зробити висновок, що в даний час з огляду на конкурентну ситуацію, щоб вийти на ринок та бути конкурентоспроможним проект повинен не поступатись в якості системам орієнтації більш відомих компаній, але в той же час повинен пропонуватися за дещо нижчою ціною ніж в конкурентів.

В таблиці 13 наведемо фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проведений раніше, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 13. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін розробленої системи орієнтації

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з компанією стартапу						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність сертифікатів та патенту	10	+						
2	Якість продукту	18						+	
3	Ціна	20							+
4	Сервісне обслуговування	16					+		
5	Універсальність алгоритмів розробленого ПО	18							+

Як видно фактори конкурентоспроможності суттєві та є досить гарними для системи орієнтації з використання Bluetooth-технології. Основною перевагою та головним досягненням є низька ціна, висока якість продукту сервісне обслуговування на протязі всього терміну його використання споживачем, а також універсальність алгоритмів розробленої системи. Під універсальністю розуміється можливість зміни методу визначення відстані до опорних точок.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, тобто матриці аналізу сильних – Strength та слабких – Weak сторін, загроз – Troubles та можливостей – Opportunities(див. таблицю 14), на

основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін , що наведені в таблиці 13.

Таблиця 14. SWOT – аналіз стартапу

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Простота установлення системи 2. Низька ціна компонентів, що зумовлює формування нижчої ціни ніж в конкурентів 3. Якісне сервісне обслуговування 4.Універсальність алгоритмів програмної частини 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Порівняно невисока точність виміру координат 2. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи 3. Можливість збоїв в роботі системи при наявності в приміщенні працюючих на тій же частоті випромінювачів
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вихід та закріплення на ринку 2. Вихід на міжнародний ринок 3. Отримання держзамовлення 4. Збільшення попиту на систему 5. Можливість швидкого модифікування програмних алгоритмів, під потреби замовника 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зростання ціни на маячки, і відповідно дорожчання системи 2. Поява нових конкурентів на ринку з більш досконалою системою 4. Невчасне постачання компонентів 5. Збої в вимірах координат, вихід з ладу маячків 6. Інфляція

Таблиця 15. Альтернативи ринкового впровадження стартапу

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки(орієнтовний комплекс заходів)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2-3 місяці
2	Отримання держзамовлення	Середня	5 місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	6 місяців

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші за такі в інших альтернативах. Це можливо за рахунок універсальності алгоритмів програмного забезпечення розробленої системи та низької ціни апаратної частини.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 16. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Будь які приватні та державні компанії, у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи НК.	Продукт затребуваний на ринку	Високий	Помірна	Висока
2	Приватні фірми, в процесі роботи яких існує необхідність трекінгу об'єктів(поштові компанії)	Продукт затребуваний на ринку	Середній	Помірна	Висока
Які цільові групи обрано: Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати як з приватними і державними компаніями так, у виробничому процесі яких задіяно автоматизовані системи НК, або існує необхідність трекінгу об'єктів.					

За результатами аналізу груп потенційних споживачів ми обрали цільові групи, для яких буде пропонуватися система орієнтації з використанням Bluetooth-технології. В якості стратегії охоплення ринку варто обрати стратегію масового маркетингу, із своїм ринком, через низьку поінформованість потенційних груп споживачів про наявність даної системи на ринку.

Сформуємо базову стратегію розвитку для роботи в обраному сегменті ринку(табл 17).

Таблиця 17. Визначення базової стратегії на ринку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Удосконалення даного проекту	Масовий маркетинг	Ціна, універсальність алгоритмів програмної частини системи	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки(табл 18).

Таблиця 18. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Шукати нових та переманювати існуючих	Ні, вся система є значно модифікованою, і в копіюванні немає потреби	Стратегія виклику лідеру

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 19. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна, надійність, швидкість визначення координат.	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, точність	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

В цьому розділі було розроблено систему рішень ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямку буде рухатися компанія-стартапу на різних етапах його реалізації, також було обрано цільові групи споживачів, для яких буде пропонуватися система орієнтації з використанням Bluetooth-технології

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. В таблиці 20 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару

Таблиця 20. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Низька ціна	Пропонування товару за нижчою ніж в конкурентів ціною	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції
3.	Швидкість знаходження координат	Швидкість знаходження координат знаходиться на високому порівняно з конкурентами рівні	Збільшення швидкості знаходження координат за рахунок використання дорожчої апаратної частини, та оптимізації алгоритмів програмної.
4.	Якість	Довший термін роботи системи	Постійне якісне обслуговування системи
5.	Можливість зміни методу виміру відстані до опорних точок	Універсальність алгоритмів програмної частини	Можливість зміни методу виміру відстані до опорних точок без заміни всієї програмної частини.

Опис трьох рівнів моделі товару наведено в таблиці 21.

Таблиця 21. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система для «indoor» орієнтації з використанням Bluetooth технології		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Вірогідність визначення координат	99%(М)	Тх
	2. Час визначення координат	2 сек(М)	Тл
	3. Обробка та зберігання даних в цифровому вигляді	Наявна(Нм)	Тл
	4. Можливість заміни методу виміру відстані до опорних точок	Наявна(Нм)	Тл
Якість: ISO 6790, ISO 9001:2015, ISO 27001:2013			
Пакування:			
Марка: «Light Engineering» UniCoord			

III. Товар із підкріпленням	До продажу включається
	Після продажу включається
Потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок надання кожній проданій системі індивідуального ліцензійного коду який необхідний для авторизації та підключення до системи.	

Отже ми описано трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту.

Таблиця 22. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	3000 грн	3000-50000 грн	300000-1000000 грн	50000-2000 грн

В даній таблиці проведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За допомогою отриманих даних встановлюємо верхню та нижню межу на нашу систему. Висока верхня ціна зумовлена можливістю масштабування системи за рахунок збільшення кількості beacon-маячків.

В таблиці 23 наведено опис формування системи збуту.

Таблиця 23. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Посилкова торгівля Продаж через інтернет сайти	Безпосередній продаж товару клієнту, оформлення та відправлення замовлення. Установка та налаштування системи.	Висока	Оптовий продаж продукції

Далі розробимо концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 24. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Спостереження за новинками на ринку, Замовлення товарів онлайн	Публікації Інтернет Виставки	Ефективність Ціна Швидкість	Донести переваги даної продукції	Простота та ефективність системи орієнтації

Висновки

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це обумовлено високим попитом на автоматизовані та автоматичні системи неруйнівного контролю і як наслідок систем для орієнтації. Можливості комерціалізації покращуються у зв'язку з використанням в системі загальновідомої технології Bluetooth, і можливості масштабування системи.

В ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту, зважаючи на ціни апаратної частини проекту, та з урахуванням цін на товари конкурентів.

Незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості впровадження продукту в обіг з огляду на наявність цільової аудиторії, яка зацікавиться даним продуктом. Цьому так само як і з комерціалізацією сприятиме використання загальновідомих понять Bluetooth в системі.

На ринку вже присутні аналоги продукту який розробляється, але жоден з них не використовується безпосередньо для визначення координат під час неруйнівного.

Для успішного виходу на ринок в стартапі передбачено такі властивості, які будуть значно виділяти його серед конкурентів – це низька ціна маячків, та простота й ефективність роботи системи. Також значною перевагою є універсальність алгоритму розрахунку координат в програмній частині системи. А отже на даний момент продукт є конкурентоспроможним.

Для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно: провести рекламну кампанію, з упором на інтернет рекламу, провести презентацію системи на промислових виставках пов'язаних з автоматизованим контролем.

В подальшому є можливості виведення проекту на міжнародний ринок. Така можливість зумовлена простотою установки і експлуатації системи, низьким часом розрахунку координат(до 2 секунд), застосуванням у системі Bluetooth-технологій, що сприятиме проведенню якісної рекламної кампанії через загальновідомість даної технології, фактично контроль положення у просторі може відбуватися лише за допомогою звичайного смартфона. Також важливою особливістю є можливість модифікування та масштабування існуючих систем, та заміни методу вимірювання відстані до опорних точок. Все це є безперечною перевагою системі перед товарами конкурентів.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було проаналізовано існуючі системи орієнтації у просторі, з використанням різних методів контролю, та для різних задач (орієнтація всередині – «indoor» та ззовні – «outdoor» приміщень). З систем що для орієнтації використовують радіохвильовий діапазон електро-магнітного випромінювання було обрано та розглянуто детально систему на BLE пристроях. В ході розробки проаналізовано алгоритм обчислення відстані по інформативному параметру сигналу (потужності), та формули для визначення координат за допомогою трилатерації.

Було розроблено програму, і проведено моделювання вимірів координат, з метою перевірки працездатності та точності такої системи.

Також було досліджено вплив на результати роботи математичного апарату програми різних фільтрів. З тих, що застосовуються в системах орієнтації було обрано фільтр Калмана, як такий що показав найкращі показники з покращення точності результатів вимірів.

Підсумовуючи сказане можна зробити висновок, що система є сучасною, конкурентоспроможною та корисною для виконання завдань що постають у процесах автоматизації неруйнівного контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Guy Hoffman Robots that Work in Collaboration with People./ Guy Hoffman, Cynthia Breazeal –Массачусетський технологічний інститут, Кембридж. 2004. – 5с.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://robotic.media.mit.edu/wp-content/uploads/sites/14/2015/01/Hoffman-Breazeal-CHI04.pdf>
2. BMW Technology Guide: Park Distance Control/[Електронний ресурс] – Режим доступу:http://www.bmw.com.kh/asia/en/insights/technology/technology_guide/articles/park_distance_control.html
3. Position and orientation measurement adopting camera calibrated by projection geometry of Plücker matrices of threedimensional lines/ Guang Xu, Anqi Zheng, Xiaotao Li, Jian Su – 2017, 10 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/314302212_Position_and_orientation_measurement_adopting_camera_calibrated_by_projection_geometry_of_Plucker_matrices_of_three-dimensional_lines
4. Camera Calibration with One-Dimensional Objects/ Zhengyou Zhang – 2004, 10с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.1033&rep=rep1&type=pdf>
5. Давыдов О.И., Платонов А.К. Метод определения позиции и ориентации мобильного робота с лазерным сканером/ Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015, 20 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-45>
6. Кирильченко А.А. Интерпретация локальных относительных описаний среды подвижным роботом. / Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша АН СССР – 1983, 28 с
7. Model-Based Localization and Tracking Using Bluetooth Low-Energy Beacons/ Daniş FS, Cemgil AT. – 2017, 17с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29109375/>

8. Лазерні прилади та методи вимірювання дальності/ В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов ; під ред. В.Е. Карасика. [текст] — Москва: Видавництво МГТУ ім. Н.Е. Баумана, 2012. - 92 с.
9. Вьюгин В.В. Математичні основи теорії машинного навчання і прогнозування [текст]/ В.В. Вьюгин, Москва: 2013. – 387 с.
10. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods./ [текст] Nello Cristianini, John Shawe-Taylor — Кембридж, «Cambridge University Press», 2000 – 204с.
11. Model-Based Localization and Tracking Using Bluetooth Low-Energy Beacons. Daniş FS, Cemgil AT/ [текст] Базель 2017, 17с.
12. Priyantha N.B., Anit C., Hari B. The Cricket Location-Support System; Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking/ [текст] Бостон, США. 2000, с. 32–43.
13. Huh J.-H. Advances in Computer and Electrical Engineering. IGI Global; Smart Grid Test Bed Using OPNET and Power Line Communication/ [текст] Філадельфія, США: 2017, с. 167–193.
14. Aaron A., Edward C., Xuan Z. K-nearest-neighbor analysis of received signal strength distance estimation across environments; Proceedings of the IEEE First Workshop on Wireless Network Measurements/ [текст] Орчас, США. 2005с
15. Faragher R., Harle R. An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications; Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation/ [текст] Тампа, США 2014.
16. Jan D Bjercknes, Wenguo Liu, Alan FT Winfield, Chris Melhuish, Coldharbour Lane Low cost ultrasonic positioning system for mobile robots/ Proceeding of Towards Autonomous Robotic Systems [текст] 2007. — с. 107-114

- 17.R. E. Kalman A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems/
Research Institute for Advanced Study/ [Электронный ресурс] Балтимор – 1960
- 18.Barr K, US Patent No. 7184130 Method for improving the received signal to noise
ratio of a laser rangefinder/ 2007. [Электронный ресурс] Режим доступа:
<https://patents.google.com/patent/US7184130>
- 19.Kevin Townsend; Carles Cufí; Akiba; Robert Davidson. Getting Started with
Bluetooth Low Energy. — O'Reilly Media, Inc./ [текст] 2014, 180с.
- 20.Фильтр Калмана – Руководство по практической реализации/ Дэвид
Коханбаш – 2014 [Электронный ресурс] Режим доступа:
<https://www.everycloudtech.com/kalman-filtering>

Додаток А

Програмний код розрахунку відстані до маячка:

```
double Get_distance(double RSSI, double Tx) // Метод для розрахунку відстані до маячка
{
    if (RSSI == 0)
        return -1; // У випадку якщо значення прийнятої потужності = 0, повертаємо -1(помилка)
    var degree = (RSSI - Tx) / (-10 * 4); // розрахунок ступеня для 10 з формули (12)
    return Math.Pow(10, degree);
}
```

Код реалізації алгоритму фільтру Калмана:

```
{
    public double X0 { get; private set; } // передбачене значення
    public double P0 { get; private set; } // передбачувана коваріація

    public double F { get; private set; } // коефіцієнт відношення реального значення до попереднього реального значення
    public double Q { get; private set; } // рівень шуму вимірювання
    public double H { get; private set; } // коефіцієнт відношення вимірюваного значення до реального
    public double R { get; private set; } // рівень шуму навколишнього середовища

    public double State { get; private set; }
    public double Covariance { get; private set; }

    public KalmanFilterSimple1D(double q, double r, double f = 1, double h = 1)
    {
        Q = q;
        R = r;
        F = f;
    }
}
```



```

        H = h;
    }

    public void SetState(double state, double covariance)
    {
        State = state;
        Covariance = covariance;
    }

    public void Correct(double data)
    {
        //передбачення
        X0 = F * State;
        P0 = F * Covariance * F + Q;
        // корекція
        var K = H * P0 / (H * P0 * H + R);
        State = X0 + K * (data - H * X0);
        Covariance = (1 - K * H) * P0;
    }
}

```

Код знаходження координат з застосуванням фільтру:

```

class Beacon
{
    public double TX;
    public int index;
    public Beacon(double r, int i)
    {
        TX = r;
        index = i;
    }
}

static void Main(string[] args)
{
    Beacon M1 = new Beacon(-59, 1);
    Beacon M2 = new Beacon(-59, 2);
    Beacon M3 = new Beacon(-66,3);
    double[] M1_raw = Get_Data(M1.TX, 500);
    double[] M2_raw = Get_Data(M2.TX, 10);
}

```

```

double[] M3_raw = Get_Data(M3.TX, 10);
Display(M1_raw, M1.index, "Data from ");
Display(M2_raw, M2.index, "Data from ");
Display(M3_raw, M3.index, "Data from ");
var filtered_M1 = new double[M1_raw.Length];
var Kalman = new KalmanFilterSimple1D(f: 0.9, h: 1, q: 10, r: 15);
Kalman.SetState(M1_raw[0], 0.001);
for (int i=0;i<M1_raw.Length;i++)
{
    Kalman.Correct(M1_raw[i]);
    filtered_M1[i] = Kalman.State;
}
Display(filtered_M1,M1.index, "Filtered data from ");
double sum = Get_Medium_Value(filtered_M1);
double raw_sum = Get_Medium_Value(M1_raw);
double real_val = Math.Pow(10,((-70+59)/(-10*3.322)));
Console.WriteLine($"Medium filtered value = {sum:0.####} raw medium
value = {raw_sum:0.####} REAL VALUE = {real_val:0.####}");
Console.ReadKey();
}
static double Get_Medium_Value(double[] array)
{
    double sum = 0;
    foreach (var x in array)
    {
        sum += x;
    }
    sum /= array.Length;
    return sum;
}

```