

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.

**ДИПЛОМНА
(КВАЛІФІКАЦІЙНА)
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Система моніторингу рухомого об'єкту на базі технології ZigBee»

Виконавець: _____ Сергій ОТРОШКО
(підпис)

Керівник: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

Отрошка Сергія Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної (кваліфікаційної) роботи: «Система моніторингу рухомого об'єкту на базі технології ZigBee»

затверджена наказом ректора від «25» квітня 2022 р. №433/ст

2. Термін виконання роботи: з 23.05.2022 р. по 17.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: система моніторингу рухомого об'єкту на базі технології ZigBee

4. Зміст пояснювальної записки: огляд систем позиціювання, технічні дані та особливості ZigBee, розрахунок параметрів ZigBee системи, реалізація запропонованої системи моніторингу рухомого об'єкту на базі технології ZigBee

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів дипломної (кваліфікаційної) роботи	23.05.2022- 25.05.2022	Виконано
2	Вступ	25.05.2022	Виконано
3	Написання першого розділу	26.05.2022- 29.05.2022	Виконано
4	Написання другого розділу	30.05.2022- 02.06.2022	Виконано
5	Написання третього розділу	03.06.2022- 05.06.2022	Виконано
6	Написання четвертого розділу	05.06.2022- 08.06.2022	
7	Усунення недоліків та захист дипломної роботи	09.06.2022- 17.06.2022	Виконано

7. Дата видачі завдання: “20” травня 2022 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Денис БАХТІЯРОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Сергій ОТРОШКО

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Система моніторингу рухомого об'єкту на базі технології ZigBee» містить 63 сторінки, 15 рисунків, 8 таблиць, 19 використаних джерел.

ZIGBEE, ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ, ЗВ'ЯЗОК, ТРАФІК.

Метою дипломної кваліфікаційної роботи є розробка системи фіксації рухомих об'єктів за допомогою системи ZigBEE, визначення розташування рухомих об'єктів та звільнення центральних вулиць від великого скупчення дорожньо-транспортних засобів.

Об'єктом дослідження – є процес передавання даних за технологією ZigBEE.

Предметом дослідження – є визначення розташування рухомих об'єктів за допомогою технології ZigBEE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ ПОЗИЦІЮВАННЯ	10
1.1. Системи позиціонування	10
1.2. Винаходи пов'язані з оцінкою руху	22
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ ДАНІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ZIGBEE	26
2.1. Опис моделі OSI мережі ZigBee	27
2.2. Формування мережі ZigBee	32
2.3. Методи доступу до каналу зв'язку	36
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ZIGBEE СИСТЕМИ	41
3.1. Розрахунок енергетичної дальності системи	41
3.2. Зв'язок в далекій зоні поля	47
3.3. Оцінка запізнювання сигналу 2 антен різного розташування	49
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ	55
4.1. Загальний вигляд структури фіксації рухомих об'єктів та її реалізація	55
4.2. Обладнання для реалізації пропонованої системи	58
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

RAM – Random Access Memory;

WLAN – Wireless Local Area Network;

MAC – Media Access Control;

AODV – Ad hoc On Demand Distance Vector;

ZCL - ZigBee Cluster Library;

IoT – Internet of Things;

DIY – do-it-yourself;

TTL – TimeToLive;

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*;

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol.

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час завантаженість автомобільних шляхів стала глобальною проблемою. Особливо сильно вона відчувається у великих містах, мегаполісах, місцях, де на кожному перехресті встановлені світлофори, із заданим часом. Вчені підрахували, що мешканець великого міста витрачає півроку свого життя на очікування зеленого кольору світлофора. Також людина, дістаючись місця роботи, витрачають велику кількість часу, нервів; що згодом призводить до уповільнення роботи на підприємстві, так зростає кількість запізнень, тобто не раціональне використання людських ресурсів. Для вирішення цієї проблеми в ряді міст впроваджуються системи автоматизованого моніторингу дорожнього руху, що дозволяють розвантажити дорогу, тобто зменшити кількість машин, які чекають на перемикання світлофора, а саме на тій ділянці доріг, яка цього потребує [1-19].

У ході роботи з побудови моделі бездротової мережі моніторингу дорожнього руху основою була обрана технологія ZigBee IEEE 802.15.4, зважаючи на її відповідність вимогам щодо швидкості передачі даних та енергоспоживання, а також низької вартості кінцевих пристроїв. Протокол ZigBee є відкритим стандартом для бездротового малопотужного зв'язку пристроїв, контролю та управління.

Актуальність дипломної роботи полягає в тому, що в даний час виникає труднощі отримання інформації про рухомі об'єкти на шосе. У зв'язку з цим дипломна (кваліфікаційна) робота вирішує цю проблему, а саме з управлінням шосе, і отримувати дані про кількість машин, їхнє розташування на даному шосе. Потрібно створити енергоефективну мережу із простою топологією. Проведення експерименту практично пов'язані з чималими труднощами, зважаючи на необхідність спостереження реального ділянки дороги та можливості встановлення над дорожнім полотном мережного устаткування.

Метою дипломної кваліфікаційної роботи є розробка системи фіксації рухомих об'єктів за допомогою системи ZigBEE, визначення розташування рухомих об'єктів та звільнення центральних вулиць від великого скупчення дорожньо-транспортних засобів. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання:

- вивчити існуючі системи визначення місця розташування на дорогах;
- проаналізувати пристрій ZigBEE для вирішення поставленої мети;
- розробити аналітичну модель поширення сигналу руху рухомих об'єктів;
- розрахувати параметри системи ZigBEE;
- надати реалізацію запропонованої системи.

Об'єктом дослідження – є процес передавання даних за технологією ZigBEE.

Предметом дослідження – є визначення розташування рухомих об'єктів за допомогою технології ZigBEE.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2022 р.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СИСТЕМ ПОЗИЦІЮВАННЯ

1.1. Системи позиціонування

Системи глобального позиціонування широко відомі і їх застосування постійно зростає. На їх основі вирішуються, зокрема, завдання локалізації (у тому числі рухомих) об'єктів у часі та просторі та забезпечуються надійні оцінки їхнього розташування практично у будь-якій точці земної поверхні [3].

1.1.1. Системи супутникового позиціонування.

Поняття «позиціонування» означає реалізацію можливих способів використання даної системи для визначення параметрів просторового становища об'єктів спостереження, тобто визначення тривимірних координат об'єкта, вектора швидкості та напрямки [3].

Системи супутникового позиціонування є всепогодною навігаційною системою космічного базування, яка дозволяє в глобальних масштабах визначати точне місце розташування та швидкість повітряних, морських і сухопутних транспортних засобів, а також здійснювати точну координацію часу, тому що всі способи вимірювання відстаней засновані на визначеннях часу проходження хвилі від супутника до приймача. Системи координат та час нерозривно пов'язані. Їхня сукупність є системою відліку. Створення цієї системи та її практичну реалізацію називають координатно-часовим забезпеченням під час проведення різноманітних геодезичних робіт [4].

Основу GPS складають 24 супутники, які безперервно випромінюють радіосигнали, що приймаються GPS – приймачами. Висота орбіт супутників становить 20183 км, орбітальний період дорівнює 11 год. 58 хв, площини орбіт мають різну

орієнтацію у просторі. Електромагнітні хвилі, що виробляються на супутниках з частотами $f_1=1575,42$ МГц і $f_2=1227,60$ МГц і відповідними довжинами $\lambda_1=19,0$ і $\lambda_2=24,4$ см приймаються GPS – приймачами [3-4].

У системах глобального позиціонування супутники виконують роль геодезичних опорних пунктів. Кожен супутник має чотири атомних еталонів частоти і часу, прилади прийому і передачі радіосигналів, бортову комп'ютерну апаратуру. Просторове становище супутників у геодезичній системі координат відоме кожному за час. Радіосигнали всіх супутників синхронізовані за часом з точністю до секунд $1 \cdot 10^{-12}$ за допомогою бортового атомного годинника [3].

Дані про конкретні параметри орбіти кожного супутника вводяться на комп'ютери GPS-приймачів. Ними також приймаються дані про невеликі відхилення супутників від заданих орбіт, які надходять у вигляді радіосигналів з самих супутників з метою введення поправок у визначення відстаней від антени приймача до супутника, що спостерігається в даний момент часу.

Щоб збільшити точність визначення координат, сигнали супутників приймають методом базової станції. Для цього використовуються 2 комплекти GPS-приймачів: один встановлюється над геодезичним пунктом з відомими координатами, інший - над пунктом місцевості, що визначається.

Координати визначаються у глобальній геоцентричній системі WGS-84. За початок координат приймається центр мас Землі, визначений з точністю 1 м [4]. Координатні осі орієнтовані щодо екватора та площини меридіана Грінвіча (рисунок 1.1).

Вісь Z збігається із середньою віссю обертання Землі та спрямована на північ. Вісь X спрямована від центру мас Землі до точки перетину площини екватора з площиною нульового меридіана, визначеного Міжнародним бюро часу (BIH-Bureau International de l'Heure) на основі координат, прийнятих для пунктів BIH. Вісь Y розташована в площині екватора під кутом 90 на схід від осі X і завершує правосторонню ортогональну систему координат з початком в центрі мас Землі [4].

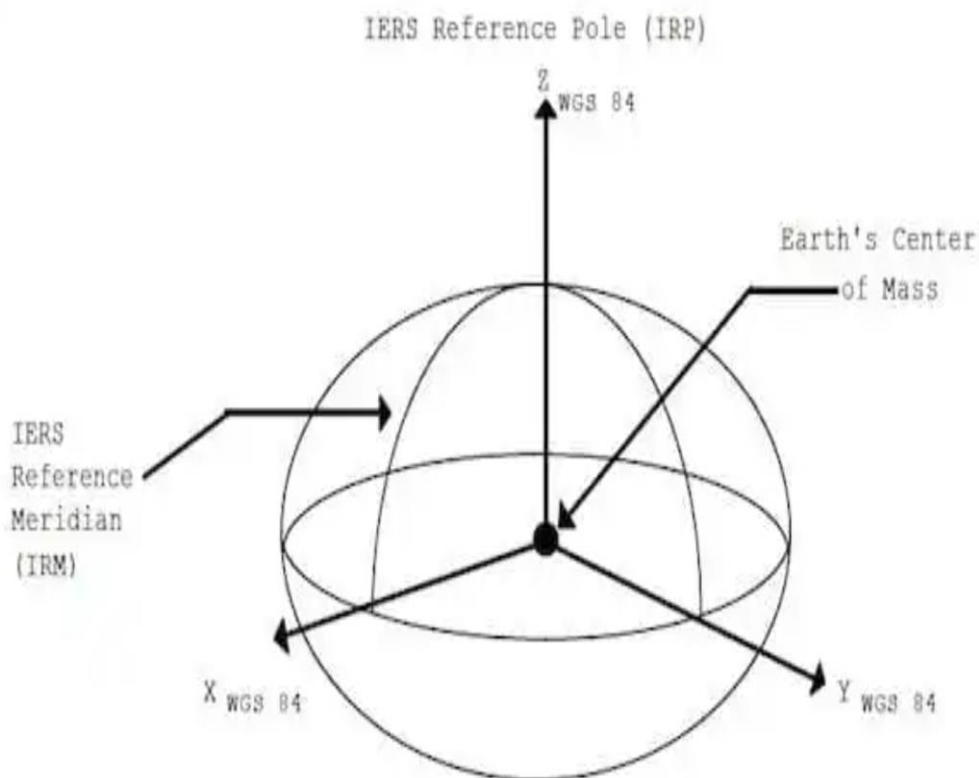


Рис. 1.1. Координатні осі

За даними геодезичних супутників у таблиці 1.1 наведено основні геометричні параметри земного еліпсоїда, прийняті системи координат WGS–84.

У ГЛОНАСС також 24 основних і 3 резервних супутника. У 1982 р. виведено на орбіти перші супутники серії КОСМОС. З січня 1996 р. ГЛОНАСС розгорнута повністю і у координатній системі параметри Землі 1990 р. (ПЗ–90). Система ПЗ-90 призначена для вирішення різних прикладних завдань, у т. ч. геодезичного забезпечення навігаційних комплексів та систем ГЛОНАСС. ПЗ–90 включає основні геодезичні постійні, тобто характеристики геоцентричної системи координат, у тому числі параметри загального земного еліпсоїда, координати пунктів космічної геодезичної мережі (КГС), що закріплюють цю систему, елементи зв'язку із референц-системами координат; планетарні моделі нормального аномального гравітаційного поля Землі [4].

Система координат ПЗ–90 є геоцентричною прямокутною просторовою системою із початком координат у центрі мас Землі. Вісь Z спрямована до Умовного Земного полюса, як визначено рекомендаціями Міжнародної служби обертання Землі

(IERS), а вісь X – у точку перетину площини екватора та нульового меридіана, встановленого Міжнародним бюро часу, вісь Y доповнює систему ПЗ–90 до правобічної ортогональної системи координат.

Реалізація цієї системи здійснюється через координати пунктів КМР. Пункти наземного комплексу управління системою ГЛОНАСС поєднані із пунктами КМР.

Таблиця 1.1

Геометричні параметри еліпсоїдів для різних систем (координат)

Система координат	Велика піввісь (a), м	Стиснення, α
WGS-84	6 378 137	1/298,257
ПЗ-90	6 378 136	1/298,258

Середні квадратичні помилки віднесення системи координат ПЗ–90 до центру мас Землі становлять 1–2 м, взаємне становище пунктів у системі ПЗ–90 оцінюється близько 0,3 м за середньої відстані між сусідніми пунктами мережі до 10000 км (чи відносно – близько одиниці 7 знаку).

В даний час функціонують приймальні пристрої, що одночасно використовують системи GPS та ГЛОНАСС. Обидві системи мають подібні параметри: близькі несучі частоти, спільність конструкцій кодових сигналів, що використовують фазову маніпуляцію, близькість висот та способів орбіт та періодів обігу [4].

Недоліками ГЛОНАСС є:

- необхідність зсуву діапазону частот вправо, тому що в даний час ГЛОНАСС заважає роботі як рухомого супутникового зв'язку, так і радіоастрономії;
- при зміні ефемерид супутників, похибки координат у звичайному режимі збільшуються на 25-30 м, а диференціальному режимі - перевищують 10 м;
- при корекції секунди, що набігла, порушується безперервність сигналу ГЛОНАСС. Це призводить до більших похибок визначення координат місця споживача, що є неприпустимим для цивільної авіації;

- складність перерахунку даних систем ГЛОНАСС та GPS через відсутність офіційно опублікованої матриці переходу між використовуваними системами координат [5].

Недоліків у системи GPS теж не мало. серед основних можна виділити такі недоліки GPS:

1) По-перше, таке поняття як геометрія супутників, що сильно впливає на точність даних. Для того щоб дані відрізнялися достовірністю, необхідно, щоб супутники розташовувалися не на одній лінії, а в різних сторонах горизонту - південь, захід, північ, схід.

2) По-друге, система GPS схильна до специфічних помилок при проходженні сигналу. Явище це називається багатопроменевою інтерференцією, тобто складки рельєфу та інші перешкоди впливають на проходження сигналу. У природних умовах за перешкоду зійде гора, у місті – високі будівлі. Чим довше затримується сигнал, тим більша похибка утворюється, оскільки приймач приймає "віртуальну віддаленість" супутника за справжню.

3) Сигнал також може затримуватися через атмосферну нестабільність (при проходженні сигналу через іоносферу і тропосферу швидкість його поширення стає меншою за швидкість світла) або збою годинника приймаючого пристрою. Адже код повинен генеруватися одночасно і на передавальному, і на приймальному пристрої. Якщо точний хід годинника порушено (а трапляється це тільки у приймаючого пристрою, оскільки на супутнику встановлено атомний високоточний годинник), то може виникнути похибка.

4) Система GPS, насамперед створена для військових цілей. Тому громадянським користувачам дісталися приймачі з дуже обмеженою точністю визначення координат. Міністерством Оборони США було встановлено обмеження щодо точності визначення координат для цивільних служб та приватних користувачів, яке отримало назву Selective Availability (виборчий доступ). GPS стандартної точності була призначена для громадян (код L1). Точність передачі сигналу у своїй регулювалася так зва-

ної диференціальної корекцією, і похибка 100 м вважалася цілком нормальним явищем. Але сьгоднішні побутові пристрої можуть визначати координати з точністю до 5 метрів [5].

1.1.2. Системи мобільного позиціонування

Системи позиціонування дозволяють визначити координати абонента з точністю до кількох десятків метрів і є реальною альтернативою системам глобального (супутникового) позиціонування, але лише на території обслуговування стільникових мереж [6].

Завдання позиціонування мобільних телефонів передбачає автоматичне визначення їх розташування в межах стільникових мереж. У цьому під терміном "місце розташування" слід розуміти не знаходження географічних координат - широти і довготи (що у принципі також можливе, а однозначну ідентифікацію становища власника мобільного телефону) [3].

Експерти відзначають можливість подвійного призначення таких технологій, адже теоретично можна відстежити будь-якого власника мобільного телефону. Тим більше, що способи визначення положення, що ґрунтуються на використанні лише обладнання мережі, можуть видавати дані безперервно і без будь-якого повідомлення абонента або його дозволу.

Повсюдне введення системи мобільного позиціонування (СМП) викликає тривогу у людей, які дбають про конфіденційність особистого життя, адже становище мобільного телефону можна визначити не тільки в момент розмови, а й у режимі очікування виклику. У такій ситуації найбільш коректним рішенням є повідомлення координат мобільної станції лише після попередньої згоди її власника.

Відповідно до прийнятої класифікації, СМП поділяються на два основних типи: системи, для функціонування яких необхідна доопрацювання або заміна абонентських пристроїв, та, що працюють із звичайними мобільними терміналами (системи позиціонування всередині стільникової мережі) [6].

У першому випадку буде потрібно або нова SIM-карта, або новий апарат (а можливо, і те, й інше). У другому випадку жодних змін в апаратній частині мобільного терміналу не потрібно, а потрібна лише зміна програмної частини, таким чином, усі витрати на розгортання системи несе оператор мережі.

Для визначення положення мобільного апарату можуть бути використані три основні параметри радіосигналів: напрямок приходу, амплітуда та час затримки.

Амплітуда прийнятих сигналів здатна характеризувати відстань між передавачем та приймачем. Однак на практиці рівень сигналів мобільного телефону в місці прийому залежить від настільки великої кількості причин, що в більшості випадків не може забезпечити необхідну точність визначення місця та використовується як допоміжний параметр.

Напрямок приходу сигналів може автоматично визначатися, за розрізненням фаз сигналів на елементах антени. Можна також використовувати кілька базових станцій, що розташовані по сусідству. Використання секторних антен замість всенаправлених дозволяє визначити напрям приходу сигналів з більшою точністю. Перетин пеленгів із двох (або більшої кількості) місць забезпечує (з певною точністю) визначення положення мобільного телефону.

При реалізації кутомірного методу (метод напрямку приходу сигналів - Angle of Arrival - AOA) параметрами, що вимірюються, є кути напрямку приходу випромінювання радіотелефону α_1 і α_2 [град] щодо лінії (базиса), що з'єднує дві стільникові станції мережі) [5-6].

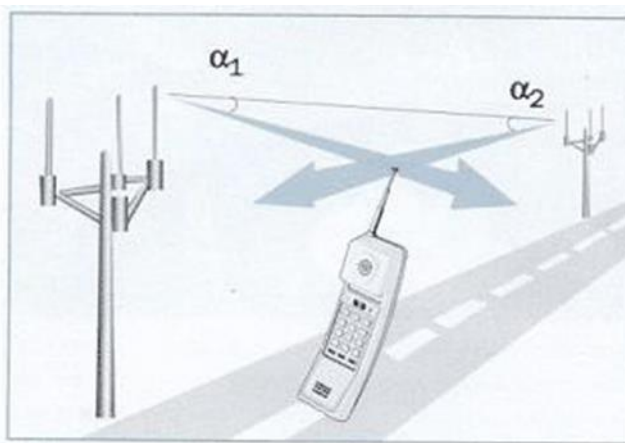


Рис. 1.2. Метод, заснований на прийомі сигналу від базових станцій

При реалізації далекомірного методу параметрами, що вимірюються є часові затримки $Dt_1 [c]$ і $Dt_2 [c]$ поширення сигналу радіотелефону абонента не менше, ніж до двох стільникових станцій мережі щодо їх часових шкал, які повинні бути синхронізовані між собою, а параметрами, що розраховуються - дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента [6].

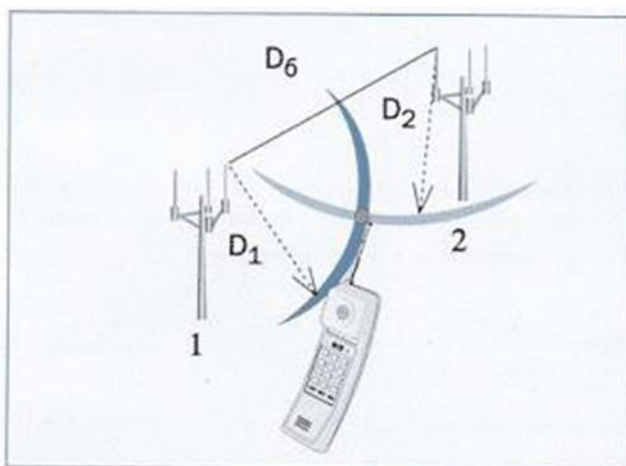


Рис. 1.3. Дальномірний метод

При реалізації різницево-дальномірного методу параметрами, що вимірюються, є часові затримки $Dt_1 [c]$, $Dt_2 [c]$ і $Dt_3 [c]$ поширення сигналу радіотелефону абонента не менше ніж до трьох базових станцій мережі щодо їх синхронізованих часових шкал, а параметрами, що розраховуються, - дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента.

За реалізації цієї технології виникає дві проблеми практичного характеру. По-перше, точність визначення напрямку прийому прямо пропорційна ширині діаграми спрямованості антени, тобто. на приймачі сигналів потрібні адаптивні та інтелектуальні (smart-antennas) антенні решітки, яких ціна значно перевищує вартість традиційних антен. По-друге, через ефект багатопроменевого поширення радіохвиль який завжди можна відрізнити прямий сигнал мобільної станції від перевідбитих сигналів (рис. 1.4). Виміряне і реальне відстані рідко збігаються, а деяких випадках, залежно від топології місцевості, розбіжності може бути дуже великими як у місті, і на відкритій місцевості [5-6].

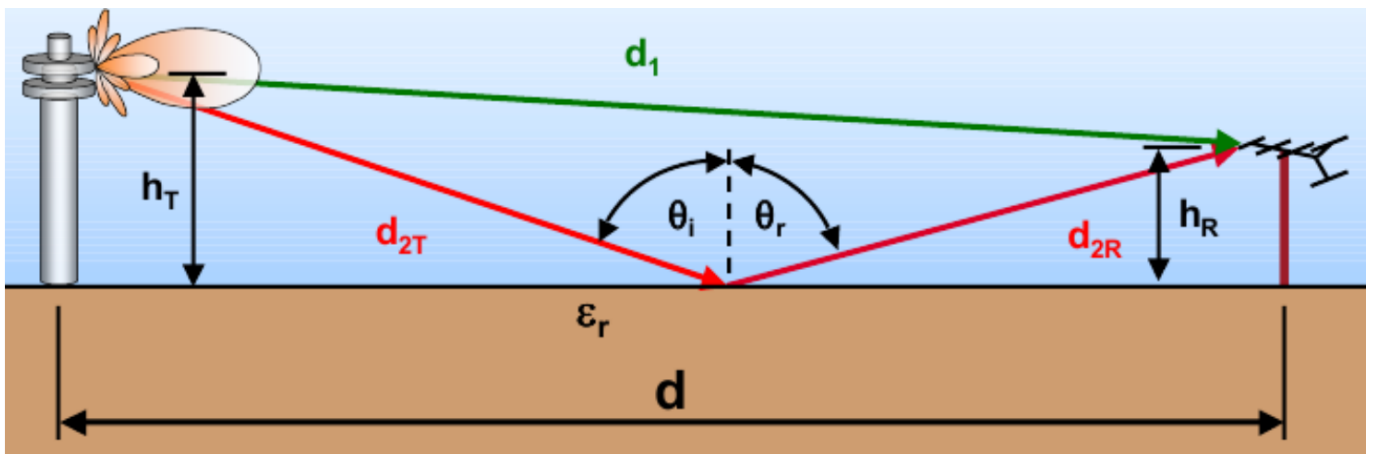


Рис. 1.4. Багатопрореневе поширення радіохвиль

Однак друга проблема не є специфічною для даної технології і характерна для більшості технологій позиціонування. Для її усунення використовують різні допоміжні технології, які покликані компенсувати той факт, що радіосигнал рідко доходить до абонента прямою траєкторією і будь-які виконані мобільною станцією або абонентським обладнанням вимірювання не показують реальну відстань від нього до базової станції або навпаки [3].

Як один з варіантів підвищення точності визначення місця призначення застосовується метод фіксації часу прибуття сигналів з використанням супутникової синхронізації UL-TOA (Uplink TOA). Для забезпечення необхідної точності можлива синхронізація внутрішнього годинника мережі за допомогою супутникової системи GPS (Global Positioning System). Всі дані через мережу оператора зв'язку надходять до обчислювального центру, де встановлюється місцезнаходження абонента з точністю не гірше 125 м.

Ще один варіант "гібридної" системи позиціонування стільникового абонента - радіонавігаційний метод локалізація за допомогою доповненої системи GPS (A-GPS - Assistant GPS). При цьому методі процес, коли звичайний приймач GPS обчислює місцезнаходження, починається зі спроби знайти перший навігаційний супутник, ідентифікацію, визначення його положення. Потім знаходиться наступний і таке інше. З кожного супутника завантажуються інформація, виміряні часові затримки і потім обчислюється місце розташування даного приймача. Процес визначення може займати

від 40 до декількох хвилин, а також вимагає прямої видимості принаймні трьох супутників. Метод А-GPS поєднує класичну інформацію GPS з географічним програмним забезпеченням та мобільною інформацією мережі. Мережа вказує на мобільний телефон, які саме супутники слід шукати. При цьому кількість кроків, необхідне для обчислення його місця розташування, зменшується приблизно з 10 до 3. Для зменшення споживання енергії від батареї мобільного телефону дані супутникових вимірювань передаються в мережу і на неї покладається виконання необхідних розрахунків. Користувачам доведеться купувати нові мобільні телефони з вбудованими GPS-приймачами та антеною. Точність позиціонування під час використання даного методу значно вища, що з жорсткої синхронізацією часових шкал всіх елементів системи [3].

Унікальним методом позиціонування мобільних телефонів, які не мають аналогів у класичній радіопеленгації, є метод зіставлення образів (сигнатур) місць розташування абонентів (LRM - Location Pattern Matching) мобільного абонента, розроблений компанією US Wireless та використовує технологію аналізу параметрів радіосигналу та характеристик його багатопроменевого поширення. Вимірюючи фазові, часові та амплітудні параметри фрагментів радіосигналу мобільного телефону, відображеного від перешкод (будівель, пагорбів тощо), базова станція оцінює структуру подібного "радіовідбитка" (fingerprint) сигналу та обчислює його "сигнатуру" (signature). своєю базою зразків таких "сигнатур", що відповідають різним варіантам розташування мобільного абонента на місцевості. Досяжні точності визначення координат стільникового телефону варіюють в межах від одиниць до сотень метрів [6].

В даний час відомі більше двох десятків систем, що використовують "інтелектуальні" антени, кут приходу сигналів, різниця часу їхнього приходу, амплітуду сигналів, систему GPS і комбінації цих методів. Точності визначення координат стільникового телефону варіюють в межах від одиниць до сотень метрів.

Істотним недоліком даних технологій є безпосереднє використання самих базових станцій чи центру комутації для обчислення координат. При цьому інформація про місцезнаходження видається абоненту з періодом повторення 10-20 с. Якщо взяти до уваги те, що координати базових станцій відомі, і вони постійно мовлять інформацію в ефір (причому кожна станція ця інформація є унікальною) то для визначення

місця розташування можна використовувати метод, заснований на прийомі сигналів базових станцій для визначення власних координат. Оскільки у разі немає необхідності робити запити на базові станції, на відміну наведених вище методів, можна обчислювати своє місце безперервно. Ця технологія може бути заснована на використанні інформації про напрямок прийому сигналу від базових станцій. Контролер у приймачі сигналів зможе обчислювати власне місце розташування основі інформації про перетині ліній напрями прийому сигналу, тобто. ця технологія вимагає, як мінімум, двох базових станцій та приймача обладнаного антенами з вузькою діаграмою спрямованості. Більшість використовуваних до розрахунку станцій дасть кращі показники точності [3].

Таблиця 1.2

Системи позиціонування та їх характеристики

Система позиціонування	Фірма виробник	Точність, м	Швидкодія, с	Особливості
Mobile Positioning System	Ericsson	100	+5	-
Cellocate System	Cell-Loc Inc.	150 (AMPS) 15-90 (CDMA/	1	-
CURSOR	Cambridge Positioning Systems	50	5	Додатковий чіп із ПЗ у мобільному телефоні
TeleSentinel	KSI Inc. & true	125	< 10	-
Sigma – 5000	SigmaOne Communication Corp.	90–150	< 2	Додаткові фазовані решітки на базових станціях
Geometrix	Allen Telecom	<150	<1	Додаткові фазовані решітки на базових станціях
RadioCamera	U.S. Wireless Corp.	50	2	-
Snaptrack	Snaptrack Inc.	3-20		Додатковий чіп із ПЗ у мобільному телефоні
Finder	CellPoint	75	5	Немає даних

1.1.3. Класифікація систем позиціонування за параметрами радіосигналу

Системи розташування можна класифікувати за параметрами радіосигналів, які використовуються для обчислення координат мобільних вузлів. В даний час існує три основні методи вимірювання: AOA, RSS і TOA (або TDOA) [7].

У системах AOA (Angle of Arrival) координати мобільних об'єктів розраховуються за гоніометрією. За допомогою спрямованих антен або набору антен мобільним вузлом вимірюються кути надходження сигналів від стаціонарних вузлів з відомими координатами. За вимірними напрямками обчислюється координати рухомого об'єкта. Точність цього підходу обмежена можливими затіненнями сигналу на вимірювальній апертурі, а також через багатопроменевих відображень сигналу, коли останній може приходити з хибних напрямків.

Методи TOA (Time Of Arrival) та TDOA (Time Difference Of Arrival) засновані на вимірі часу розповсюдження сигналу від передавача до приймача так, щоб на його основі можна було розрахувати відстань між передавачем і приймачем. У методі TOA час розповсюдження обчислюється як різницю часів відправки сигналу передавачем і приймачем сигналу для чого потрібна дуже точна синхронізація годинника відправника та одержувача. Метод TDOA практичніший, так у ньому вимірюється час поширення від передавача до приймача і назад по годинниках передавача, тобто, не потрібно синхронізації годинника.

У системах RSS рішення про координати об'єктів приймається на основі сили сигналу RSS (received-signal strength). Одним з методів локалізації в таких мережах є Fingerprinting або локалізація за шаблоном. У цьому методі виконується пошук за шаблоном відповідність поточної сили сигналу що у базі даних. Недоліком цього є наявність стадії навчання, у якій потрібно багато часу та ресурсів для накопичення вичерпного набору даних.

Альтернативою методу Fingerprinting виступають різні математичні алгоритми, націлені на максимальну відповідність даних моделі RSS, що знімаються, поширення сигналу. Вочевидь, що точність даних методів значною мірою залежить від точності побудови моделі поширення сигналу. Тому часто виникають складності з позиціонуванням у складній або мінливій обстановці.

Для створення реальних систем позиціонування, на сьогоднішній день, розроблені та доступні до застосування як ряд бездротових стандартів, так і відповідна елементна база. Одним із таких стандартів є IEEE 802.15.4 [7].

1.2. Винаходи пов'язані з оцінкою руху

1.2.1. Безконтактний датчик підрахунку автомобілів TrafficGuard

Світлофорний пристрій регулювання щільності потоку TrafficGuard використовує безконтактний датчик для підрахунку автомобілів, що в'їхали на ділянку. Цей монітор встановлюється зверху, над потоком автомобілів, що рухаються. Для цього датчика байдуже проїхав під ним легковий або вантажний автомобіль. Кожен із них буде розпізнаний датчиком як «одна транспортна одиниця». Важлива кількість одиниць. У разі встановлення даного пристрою відпадає необхідність видавати спеціальні, часто юридично недостатньо обґрунтовані обмеження (або заборони) на в'їзд до центру міста вантажних автомобілів (крім міркувань екології), оскільки тепер наявність вантажних автомобілів на ділянці, що регулюється, не створює додаткових умов для утворення «пробки». За наявності розгалуженої мережі ділянок із регульованою щільністю потоку можна складати та опубліковувати міську карту таких ділянок із зазначенням для кожного з них найсприятливішого часу для проїзду транспорту. Водії зможуть самі (або за допомогою відповідних комп'ютерних програм) зробити розрахунок та вибір оптимального часу для досягнення кінцевого пункту. Мережа ділянок з регульованою щільністю потоку може включатися в роботу лише на деякий час, у певний час або за певних погодних умов. В останній час ці ділянки можуть працювати в режимі стандартних світлофорів. На регульовану ділянку допускається лише кількість автомобілів, яка перевищує розрахункову пропускну спроможність участка [8].

Зробимо розбивку всієї дорожньої системи на окремі ділянки.

Оскільки кількість машин та кількість доріг дуже велика, при характеристиці кожного з цих об'єктів доцільно перейти до віртуальної системи.

Кожній ділянці надається персональний ідентифікаційний номер.

Кожній ділянці надається персональне найменування - персональний ідентифікаційний номер. Для кожної ділянки повинні бути визначені основні показники (довжина, гранична пропускна здатність). Кожна ділянка в будь-який момент може бути знайдена за допомогою Інтернету та вказано її основні параметри.

Місце знаходження кожного автомобіля на ділянці будь-якої точки може бути точно визначено за допомогою системи ГЛОНАСС [8].

Кожен автомобіль, крім звичайного номера (для реєстрації в ДАІ), повинен мати офіційно зареєстрований, індивідуальний номер в Інтернеті, яким його завжди можна знайти для прийому або передачі йому необхідної інформації.

Кожен автомобіль має пристрій, що дозволяє здійснювати передачу сигналу до Інтернету, і дозволяє здійснювати прийом сигналу з Інтернету. Цей пристрій починає працювати при увімкненні двигуна автомобіля, що поставляється разом із автомобілем під час продажу.

Від автомобіля надходить така інформація:

- місцезнаходження автомобіля (певне, наприклад, за допомогою системи GPS);
- технічні дані автомобіля (марка, зареєстрований номер у ДАІ);
- дані щодо водія;
- швидкість автомобіля в даний момент.

Кожній ділянці раніше було надано персональне найменування - персональний ідентифікаційний номер.

Будь-якої миті на кожній ділянці може бути знайдено місцезнаходження будь-якого зареєстрованого в Інтернеті автомобіля та вказано його основні параметри.

До світлофора на впуску автомобілів на дану ділянку подається інформація: чи не будуть додаткові автомобілі зайвими за величиною пропускної спроможності даної ділянки.

Для можливості визначення (для формування) цієї інформації використовується пристрій TrafficGuard, оснащений елементами реєстрації входу, а також автоматичними засобами кількісного обліку транспортних одиниць на даній ділянці, що

дозволяють у будь-який момент часу визначати фактичну кількість транспортних засобів на даній ділянці, порівнювати його з допустимою кількістю та проводити коригування щільності потоку.

Після визначення кількості автомобілів, що увійшли на цю ділянку, і порівнювання з припустимою кількістю, стає зрозумілим: чи можливо в даний момент пропустити на нього додаткові автомобілі чи більше, тобто дозволяти подальше горіння для впуску на ділянку зелений сигнал світлофора чи ні.

Всі вищезгадані обмеження відносяться тільки до ділянок, на яких можуть утворюватися корки. Інші ділянки не обов'язково повинні включатися до системи. Вони можуть працювати як завжди.

Транспортна система міста матиме принципово інший характер. Після встановлення (впровадження) на дорогах світлофорного пристрою TrafficGuard транспортна система міста матиме принципово інший характер.

На тих дорогах, де буде встановлено світлофорний пристрій TrafficGuard, утворення «пробок» неможливе в принципі: пристрій не допустить перевищення кількості машин на ділянці вище за граничне значення, що визначається розрахунковою (проектною) величиною. «Зайві» машини не пропускатимуться на ділянку. Це забезпечується лічильником кількості машин і пристроєм, що постійно порівнює загальну кількість машин на ділянці з їх допустимою кількістю.

Таким чином, застосування пристрою TrafficGuard у широкому масштабі (для всієї транспортної системи міста) дозволить у місті:

- створити мережу ділянок з регульованим потоком;
- створити та публікувати міську карту мережі ділянок, на яких у будь-який час гарантовано відсутність «пробок»;
- створити в майбутньому в місті повністю автоматизовану систему управління рухом автомобільного транспорту;
- можна суто технічними (а не адміністративно-заборонними) заходами вирішити проблему обмеження в'їзду на територію мегаполісу та його околиць іногороднього транспорту у певні проміжки часу;

- система автомобільного транспорту великого мегаполісу можна перевести управління з єдиного пульта.

Це не призведе до скорочення загальної пропускної спроможності міських доріг.

Мережа ділянок із регульованою щільністю потоку не призведе до скорочення загальної пропускної спроможності міських доріг.

За рахунок відсутності «пробок» та збільшення кількості ділянок, здатних працювати в режимі «зелена хвиля», середня швидкість руху автомобілів збільшиться і може наблизитись до максимально допустимої швидкості для міських умов. Це значно підвищує продуктивність доріг. Використання режиму "зелена хвиля" покращує екологію міста. Ризик від експериментального застосування пристрою мінімальний (або зводиться до нуля). Використання здійснюється з використанням працюючих зараз світлофорів. При підключенні до них цього пристрою ці світлофори, крім регулювання руху традиційним способом, отримують здатність здійснювати свою роботу з урахуванням завантаженості тих ділянок, до яких вони відносяться.

Але недоліком даного датчика є з'єднання з інтернетом та використання систем супутникового позиціонування, тобто витікають недоліки, написані раніше.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка системи фіксації рухомих об'єктів за допомогою системи ZigBEE, визначення розташування рухомих об'єктів та звільнення центральних вулиць від великого скупчення дорожньо-транспортних засобів. Для цього необхідно:

- вивчити існуючі системи визначення місця розташування на дорогах;
- проаналізувати пристрій ZigBEE для вирішення поставленої мети;
- розробити аналітичну модель поширення сигналу руху рухомих об'єктів;
- розрахувати параметри системи ZigBEE;
- надати реалізацію запропонованої системи.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНІЧНІ ДАНІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ZIGBEE

Бездротові мережі на базі стандарту IEEE 802.15.4 являють собою альтернативу провідним з'єднанням у розподілених системах моніторингу та управління та відрізняються більш гнучкою архітектурою, вимагають менших витрат при їх встановленні та експлуатації.

Технологія ZigBee зайняла нішу радіоінтерфейсів для низькошвидкісних додатків з вкрай малим енергоспоживанням, де використовувалися технології з більш високими експлуатаційними характеристиками і з високим енергоспоживанням, або рішення, що базуються на мікросхемах радіотрансмітерів різних виробників, що не належать до жодного з поширених стандартів. Стандарти (Bluetooth, WLAN) відмінно підходять для передачі великих обсягів інформації (голосу, даних, відео) з високою швидкістю та дальністю передачі від 10 до 100 метрів. Пристрої на їхній основі здатні працювати в автономному режимі (від батарей та акумуляторів). Все це дозволяє замінити провідні з'єднання в таких системах, як комп'ютерні та розважальні системи, обчислювальні мережі. Проте існує безліч систем (різноманітні датчики, системи контролю та збору інформації тощо), що володіють особливою специфікою (невеликі обсяги інформації, що передається, мале енергоспоживання, простота установки і обслуговування, велика кількість вузлів мережі тощо), внаслідок чого в таких додатках неможливо зі 100-відсотковою ефективністю використовувати згадані технології. Саме на реалізацію подібних завдань орієнтований стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) для низькошвидкісних WPAN-мереж.

Застосування технології ZigBee/802.15.4 дозволяє розробляти бездротові інтерфейси з мінімальними витратами завдяки простоті схемотехніки, мінімальній кількості зовнішніх пасивних елементів, використанню готового програмного забезпечення стеку малих обсягів. Стандарт дозволяє створювати мережі з багатоосередковою топологією, обслуговувати таким чином дуже велику кількість вузлів та збільшувати дальність зв'язку без додаткових витрат на підсилювачі потужності [9].

2.1. Опис моделі OSI мережі ZigBee

Сімейство стандартів IEEE 802.15 призначене для організації бездротових персональних мереж (Wireless Personal Area Networks, WPANs), відмінною рисою яких є невеликий радіус дії мережевих пристроїв. Усі вони описують два нижніх рівня протоколів моделі взаємодії відкритих систем (Open System Interconnection, OSI): фізичний (Physical Layer, PHY) та рівень доступу до середовища передачі (Medium Access Control, MAC) [11].

ZigBee – назва набору мережевих протоколів верхнього рівня, які використовують малопотужні радіопередавачі стандарту IEEE 802.15.4.

ZigBee - пристрій більшу частину часу знаходиться в режимі сну, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей. При цьому воно може активуватися (тобто переходити від режиму сну до активного) за 15 мс [11].

Мережа ZigBee - являє собою розподілену мережу безлічі датчиків (сенсорів) і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Область покриття подібної мережі може становити від кількох метрів до кількох кілометрів завдяки здатності вузлів ретранслювати повідомлення від одного елемента до іншого. Сьогодні технологія бездротових сенсорних мереж є єдиною бездротовою технологією з великим часом автономної роботи від батарей, за допомогою якої можна вирішити завдання моніторингу та контролю. Об'єднані в бездротову сенсорну мережу датчики утворюють територіально-розподілену систему збору, обробки та передачі інформації, що самоорганізується.

ZigBee, як і Bluetooth використовує діапазон 2,4 ГГц, що не ліцензується. Цей стандарт передбачає крім використання цієї частоти, у Європі та США 868 МГц і 915 МГц. Діапазон 2,4 ГГц розділений на 11 – 26 каналів шириною 5 МГц кожен [12].

У таблиці 2.1 представлена модель мережі OSI ZigBee [11]. Вона включає фізичний рівень (PHY), каналний рівень, мережевий рівень NWK (NetWork) і рівень додатків APL.

Канальний рівень складається з рівня доступу до середовища передачі MAC і LLC, який визначається стандартом IEEE 802.15.4.

Рівень програм складається з рівня підтримки програм (Application Support sub-layer - APS), і рівня об'єктів пристроїв ZigBee (ZigBee Device Object - ZDO) і об'єктів Application Objects, які визначаються виробником ZigBee-пристроїв. Фізичний та канальний рівень моделі OSI ZigBee визначено у стандарті 802.15.4. Призначенням фізичного рівня є прийом та передача даних через радіоканал. Також на даному рівні відбувається вимірювання потужності радіосигналу, оцінка якості зв'язку та чистоти каналу, здійснюється вибір каналу. У таблиці 2.1 наведено основні параметри даних рівнів [14].

Швидкість передачі даних за стандартом IEEE 802.15.4 ZigBee може становити до 250 кбіт/с. У таблиці 2.2 наведено основні параметри мережі ZigBee [11].

Стандарт IEEE802.15.4 використовує модуляцію OQPSK (Offset-Quadrature Phase-Shift Keying-зміщена квадратурна фазова маніпуляція)

Стандарт дозволяє використовувати суперфреймову структуру повідомлення із гарантованими тимчасовими слотами [11]. Суперфрейм посилається мережевим координатором ділиться на 16 рівних по довжині слотів і обмежується маячками. Маячок поміщається на місце першого слота кожного суперфрейму і необхідний синхронізації приєднаних пристроїв, для ідентифікації мережі. У разі потреби координатор мережі може вимкнути режим повідомлень із маячками. Для передачі даних використовується механізм слотового доступу CSMA/CA. Передача повідомлень має бути закінчена до приходу наступного маячка.

Модель OSI мережі ZigBee

Номер рівня	Мережа
7	APL (APS, ZDO, Application Objects) ZigBee
6	-
5	-
4	-
3	NWK ZigBee
2	LLC IEEE 802.15.4
	SSCS IEEE 802.15.4
	MAC IEEE 802.15.4
1	PHY IEEE 802.15.4

Основні параметри зв'язку мережі ZigBee

Параметри	Значення
Швидкість передачі	250 кбіт/с
Адреса пристрою	коротка 16-бітова адреса або розширена довжиною 64-біта
Режим роботи батареї	З контролем рівня енергії
Кількість каналів у діапазоні	16 каналів у діапазоні 2,45 ГГц
Передача інформації	виділення інтервалу часу для передачі інформації кожним вузлом
Метод доступу до каналу зв'язку	множинний доступ із контролем несучої CSMA/CA
Протокол обміну	з повідомленням про отримання

Стандарт IEEE802.15 встановлює два механізми доступу до каналу CSMA/CA, залежно від конфігурації мережі.

У мережі без маячків використовується безслотовий механізм доступу [15]. Даний метод полягає в тому, що кожного разу, коли пристрій збирається почати передачу, воно витримує паузу випадкової тривалості. Випадкова затримка дозволяє виключити можливість одночасного надсилання повідомлення. Якщо канал зайнятий, то пристрій повторює спробу передачі після повторної випадкової затримки. Фрейми підтвердження отримання посилаються відразу, без даного алгоритму.

У мережі, в якій використовуються маячки, використовується слотовий (тактований) механізм доступу CSMA/CA, початок слота для кожного пристрою повинен

бути синхронізований з початком передачі маячка мережевим координатором. Маячки розсилаються лише мережевим координатором, в такий спосіб мережевий координатор з допомогою маячків виконує тактування актів обміну у всій мережі [15].

Мережевий координатор може зарезервувати частину суперфрейму для пристроїв, які вимагають термінової доставки або більшої пропускну здатності каналу. У цьому суперфреймі відсутня конкуренція за канал, оскільки буде відсутня конкуренція за канал, у цей час координатор забороняє будь-яку передачу всім іншим пристроям.

Модель OSI для мережі ZigBee описується на каналному, мережевому та прикладному рівні [15]. На каналному рівні рівень зближення специфічних сервісів SSCS виконує роль інтерфейсу між рівнями LLC і MAC. На підрівні MAC використовується множинний метод доступу з контролем несучої CSMA/CA. Цей рівень також відповідає за передачу маячкових кадрів і синхронізацію пристроїв мережі.

У таблиці 2.3 наведено рівні моделі OSI ZigBee та основні їх функції.

Таблиця 2.3

Функції рівнів моделі OSI ZigBee

Рівень моделі OSI	Функції	
Фізичний рівень (PHY)	Радіоканал 2,4 ГГц	
Канальний рівень	підрівень MAC	Керує доступом до радіоканалу, при цьому використовується метод доступу до CSMA/CA. Цей рівень також відповідає за передачу маячкових кадрів, синхронізацію.
	Підрівень SSCS	Service Specific Convergence Sublayer (підрівень зближення специфічних сервісів) виконує роль інтерфейсу між підрівнями LLC та MAC).
	Підрівень LLC	Виконує зв'язок мережевого рівня з рівнем MAC.

<p>Мережевий рівень NWK</p> <p>Прикладний рівень</p>	<p>Підрівень додатків APS</p>	<p>Необхідний для забезпечення наступних функцій:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) безпека при передачі фреймів даних; 2) Визначення нового пристрою в мережі і реєстрацію його в ній. Також виконує виключення пристрою з мережі. 3) вказівка маршруту до місця призначення; 4) Визначення маршрутів між пристроями мережі; 5) виявлення в мережі сусідніх пристроїв; 6) Запам'ятовування інформації по сусідніх вузлах; <p>Забезпечує:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) роботу таблиць для зв'язування пристроїв мережі на основі інформації про необхідність і можливості зв'язування. 2) Передачу повідомлень між пов'язаними пристроями; 3) визначення групової адреси пристроїв, видалення та фільтрацію повідомлень з груповими адресами; 4) фрагментацію, перекомпонування та транспортування даних;
	<p>Підрівень ZDO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Визначає є пристрій координатором, маршрутизатором або кінцевим пристроєм. 2) Запит на з'єднання 3) Забезпечує захист інформації; 4) Здійснює виявлення пристроїв в мережі з метою визначення який сервіс вони надають.

2.2. Формування мережі ZigBee

Для формування мережі перший вузол який виконує функції координації починає формувати мережу і є координатором мережі РАН. Коли інший вузол хоче приєднатися до ран координатора, він відправляє запит до нього, якщо координатор мережі має можливість прийняти даний вузол, він відправляє відповідь про згоду прийняття. Якщо вузол бажає вийти з мережі він відправляє запит про вихід, до координатора ("батьківського вузла"). Він може покинути мережу після отримання відповіді "видалення". Більше того вузол, який залишає мережу, повинен видалити всі зв'язки з іншими вузлами мережі, якщо він має дочірні вузли [11].

Для організації нової мережі ZigBee є три типи пристроїв:

- координатор формує топологію мережі і встановлює з'єднання з іншими мережами (в кожній ZigBee-мережі є тільки один координатор);
- маршрутизатор необхідний як проміжна ланка, передає в потрібному напрямку дані від інших пристроїв;
- кінцевий пристрій передає дані координатору або маршрутизатору і не може зв'язуватися з подібними йому пристроями.

За організацію нової мережі і призначенням адрес новим пристроям відповідає мережевий рівень NWK.

У специфікації стандарту IEEE 802.15.4 визначається можливість трьох типів передачі даних [12]:

- а) передача від пристрою до мережевого координатора;
- б) передача даних від мережевого координатора до пристрою;
- в) передача даних між двома одноранговими пристроями.

У випадку якщо пристрій збирається передати дані координатору, виконує пошук маячка. Коли він знайдений, даний вузол підлаштовується до структури суперфрейма. Використовуючи слотовий механізм CSMA / CA пристрій передає дані координатору. У відповідь координатор відсилає фрейм повідомлення про отримання. Цикл обміну закінчується.

Структура кадру забезпечує надійну передачу. Побудований відповідно до моделі OSI, кожен наступний рівень додає до протоколу свій заголовок. Стандарт передбачає чотири типи фреймів [13]:

- а) фрейм маячка;
- б) фрейм даних;
- в) фрейм повідомлення про отримання;
- г) фрейм команд MAC-підрівня.

Фрейм даних (рисунок 2.1) використовує для синхронізації преамбулу і поле "Старт". Поле "Довжина" містить довжину поля MAC підрівня в 8-бітових байтах (октетах). Службову Інформацію про управління фреймами містить поле "Управління". Інформацію про порядковий номер даних містить поле "Номер", адресу інформацію, а саме 16-бітний короткий або 64-бітний розширений містить поле "Адреса". Фрейм завершується полем контрольної суми КС.

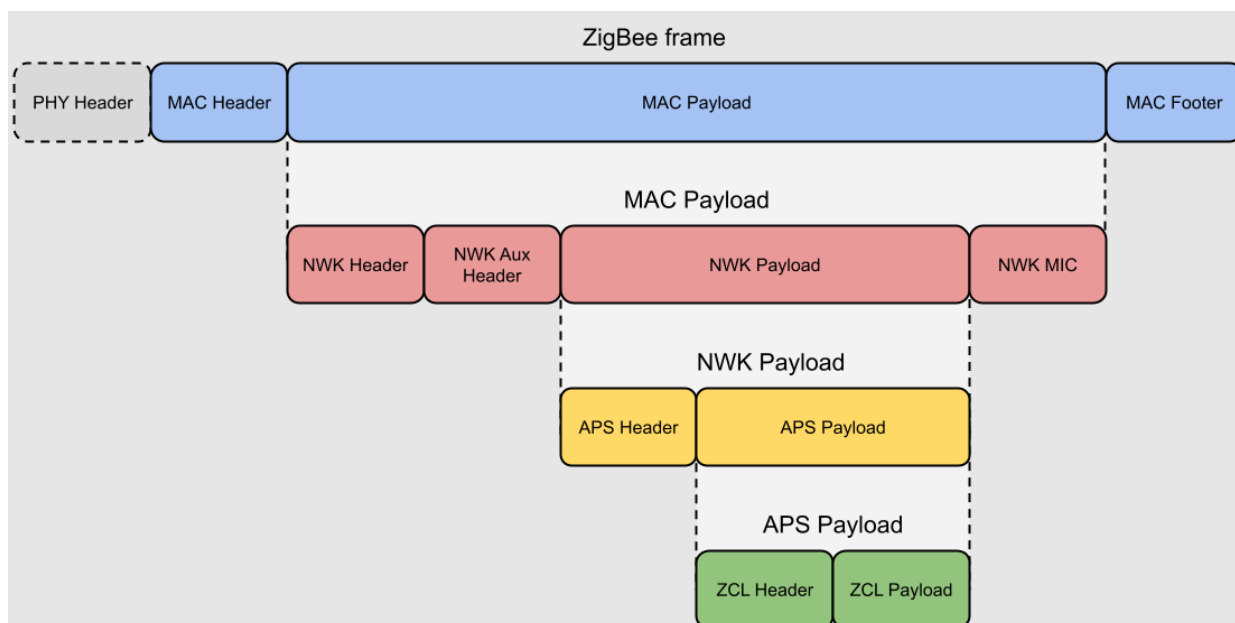


Рис. 2.1. Формат фрейма даних протоколу ZigBee

Пакет даних складається з деякої кількості бітів переданих в певному форматі. Приймач повинен мати механізм визначення помилок при відновлення вихідного повідомлення. IEEE 802.15.4 використовує 16-бітну перевірку кадру (FCS) на основі

надлишкового циклічного коду (CRC) для виявлення можливих помилок в пакеті даних. При цьому мережа може вибрати для використання 16-бітну або 64-бітну адресу. Топологія ZigBee мережі може мати форму зірки (рисунок 2.2), дерева (рисунок 2.3) або комірчастої мережі (рисунок 2.4) [11].

У топології типу "зірка" мережа контролюється координатором. При цьому він відповідає за ініціалізацію і обслуговування мережевих пристроїв і всіх кінцевих пристроїв, безпосередньо взаємодіючих з ним. Всі мережі зоряної топології функціонують незалежно одна від одної. Мережевий ідентифікатор не використовується іншими мережами, що знаходяться в межах радіусу дії даної мережі (рисунок 2.2).

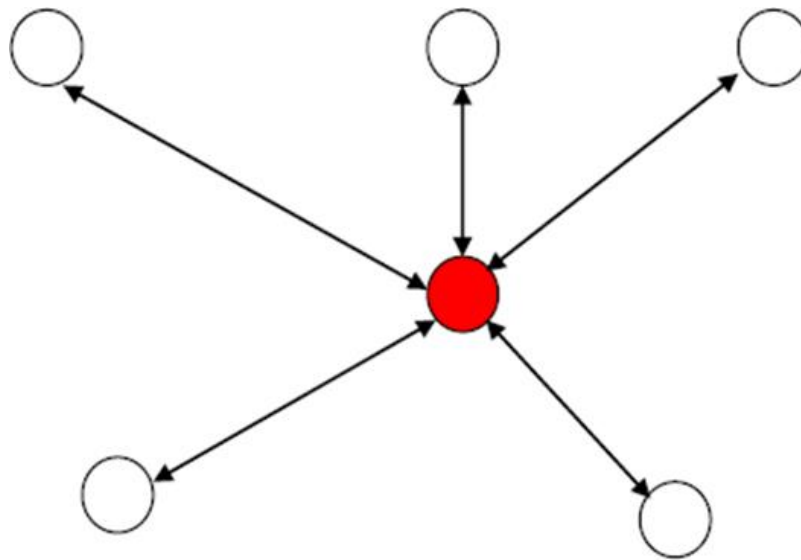


Рис. 2.2. Топологія мережі ZigBee "зірка"

У комірчастої (рисунок 2.4) і деревоподібної структури (рисунок 2.3) мережі координатор відповідає за організацію мережі і вибір деяких ключових параметрів, але мережа може бути розширена за допомогою ZigBee маршрутизаторів. У мережі з деревоподібною топологією маршрутизатори переміщують дані і Керуючі повідомлення по мережі, використовуючи ієрархічну стратегію маршрутизації. Деревовидні мережі можуть використовувати маячкову стратегію маршрутизації.

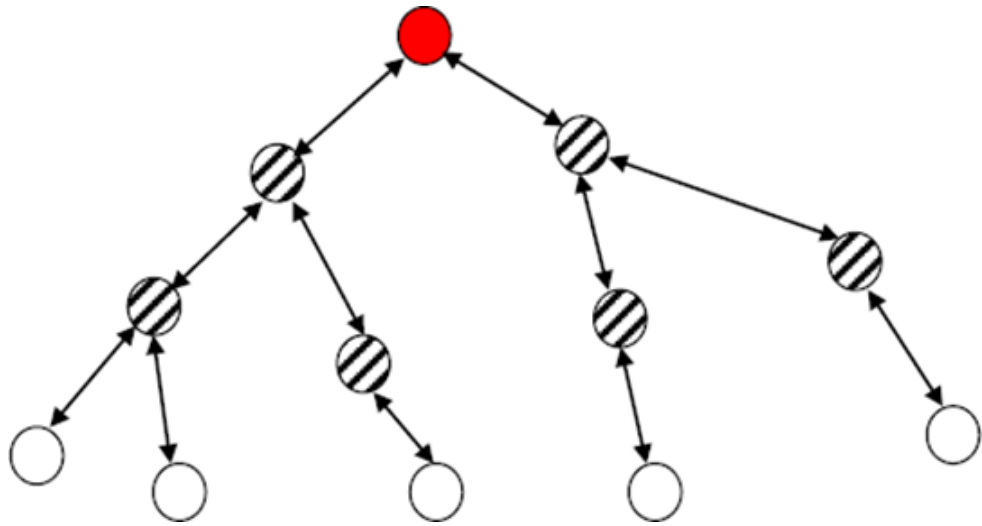


Рис. 2.3. Деревоподібна топологія мережі ZigBee

Комірчаста мережа - це однорангова комунікація пристроїв, в даній мережі немає пристроїв різних рангів (всі пристрої рівноправні).

Кілька мереж можуть взаємодіяти. Для цього кожна мережа має унікальний мережевий ідентифікатор. Таким чином, повна адреса пристрою для доступу з іншої мережі складається з адреси мережі та короткої адреси пристрою.

В одноранговій мережі будь-які пристрої, що знаходяться в зоні досяжності радіозв'язку можуть обмінюватися даними один з одним. Дана мережа дозволяє передавати інформацію між вузлами мережі використовуючи окремі вузли в якості ретрансляторів (рисунок 2.4).

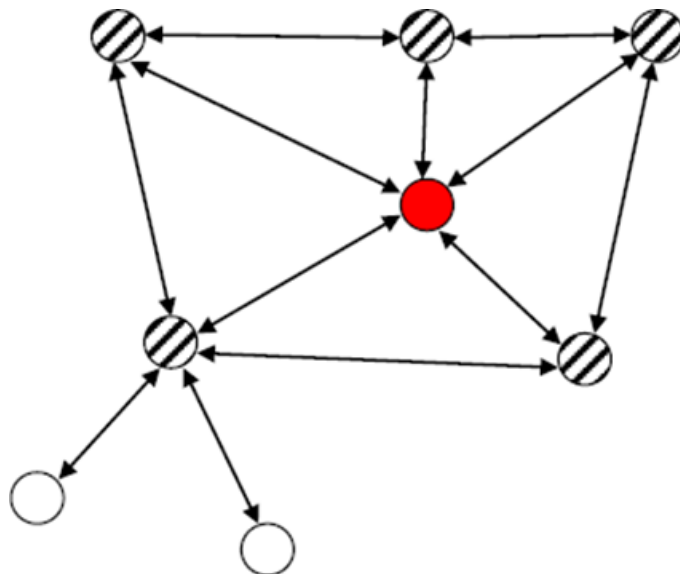


Рис. 2.4. Комірчаста (mesh) топологія мережі ZigBee

Для побудови бездротової мережі (наприклад, мережа з топологією "зірка") на основі технології ZigBee розробнику необхідно придбати принаймні один мережевий координатор і необхідну кількість кінцевих пристроїв. При плануванні мережі слід враховувати, що максимальна кількість активних кінцевих пристроїв, приєднаних до мережевого координатора, не повинна перевищувати 240. Крім того, необхідно придбати у виробника ZigBee-чипів програмні засоби для розробки, конфігурування мережі і створення призначених для користувача додатків і профілів. Практично всі виробники ZigBee-чипів пропонують на ринку цілу лінійку продукції, що відрізняється, як правило, тільки об'ємом пам'яті ROM і RAM. Наприклад, чіп зі 128 Кбайт ROM і 8 Кбайт RAM може бути запрограмований на роботу в якості координатора, маршрутизатора і кінцевого пристрою [13].

Перерахуємо додатки, в які може бути інтегрована технологія ZigBee:

- система моніторингу на жвавих шосе;
- системи з перемикання світлофорів на перехрестях при великому скупченні машин.

2.3. Методи доступу до каналу зв'язку

Існує два методи доступу до каналу зв'язку використовуваних в мережах ZigBee за стандартом IEEE 802.15.4: метод конкуренції і метод доступу без конкуренції [11].

При використанні методу на основі конкуренції між пристроями при передачі сигналу (access contention) всі пристрої які збираються передати дані на однаковій частоті використовують метод множинного доступу, тобто перші хто визначить, що канал вільний починають передачу даних.

У методі без конкуренції між пристроями при передачі сигналу, координатор PAN визначає гарантований часовий інтервал для кожного пристрою. І вони починають передачу без механізму CSMA-CA. Для забезпечення гарантованого часового інтервалу Pan координатор повинен бути впевнений, що всі пристрої мережі синхроні-

зовані. Для цього використовуються повідомлення у вигляді маячків, вони синхронізують час передачі даних всіх пристроїв. Недоліком даного методу є те, що всі пристрої мережі ZigBee повинні виходити з режиму "сну", для прослуховування каналу зв'язку для отримання маяка синхронізації. Тому час автономної роботи мережі з маяками менше ніж мережі CSMA/CA.

Стандарт IEEE 802.15.4 реалізує множинний доступ із запобіганням колізій (CSMA/CA), для того щоб дозволити декільком пристроям використовувати один і той же частотний канал. При даному методі коли пристрій хоче передати дані по каналу зв'язку, в першу чергу виконується оцінка стану каналу для визначення використання його іншими пристроями. Тільки після цього пристрій може почати передачу даних. Рішення про те, чи є канал вільним або зайнятим засноване на вимірюванні спектральної енергії на частоті каналу або визначення типу сигналу, що займає дану частоту.

У першому кроці механізму множинного доступу до каналу зв'язку із запобіганням колізій (CSMA/CA), на MAC рівні надсилається запит до фізичного рівня PHY для виконання оцінки вільного каналу для того щоб переконатися, що канал не використовується іншими пристроями. Оцінка стану каналу частина сервісу надається на фізичному рівні. При процедурі оцінки стану каналу в результаті визначення енергетичного рівня або потужності сигналу вирішується питання про те вільний або зайнятий даний канал зв'язку.

Існує три режими оцінки стану каналу, за стандартом IEEE 802.15.4 на фізичному рівні має бути можливо використовувати будь-який з них [11]:

- у першому режимі Про оцінки стану каналу враховується тільки визначення енергетичного рівня. Якщо він вище порога певного значення то він вважається зайнятим. Даний поріг енергетичного рівня може бути встановлений заводом виробником;

- другий режим використовує контроль несучої (CS);

- третій режим являє собою комбінацію першого і другого режиму.

У випадках, якщо канал зайнятий, пристрій виробляє відстрочку передачі на довільний період часу і знову виробляє оцінку стану каналу. Випадкові відстрочки проводяться до тих пір поки канал не звільниться або пристрій не досягне максимальної кількості можливих відстрочок.

Можливість сканування каналу зв'язку в системі ZigBee забезпечується на MAC і NWK рівнях [16]. Сканування каналів надає інформацію про діяльність вузлів ZigBee в персональному робочому просторі пристрою.

Існує чотири типи сканування каналів [11]:

- а) сканування енергетичного рівня;
- б) сканування не приєднаного вузла;
- в) активне сканування;
- г) пасивне сканування.

Енергія рівня кожного каналу визначається використанням Сервісу визначення енергії.

При сканування не приєднаного вузла відбувається пошук Pan координатора до якого він в даний момент відноситься. У сканування не приєднаного вузла MLME відправляє повідомлення до координатора по кожному каналу і чекає команди перебудови від координатора. Якщо пристрій отримує команду перебудови то він припиняє сканування, відключивши свій приймач. В іншому випадку пристрій буде продовжувати до наступного каналу за списком.

При пасивному скануванні на відміну від активного виду немає запиту у вигляді передачі маяка. MLME дозволяє приймачу відразу після отримання запиту сканування почати запис одержуваної інформації. Але при активному скануванні MLME посилає запит маяка.

На додаток до передачі маячків, є ще випадок при якому пристрій ZigBee отримує доступ до каналу без використання алгоритму CSMA-CA. При цьому способі доступу до каналу, пристрій негайно передає дані після підтвердження команди запиту.

Однією з основних проблем методу доступу до каналу зв'язку CSMA-CA є проблема прихованих вузлів [11]. Якщо відстань між двома вузлами занадто велика і вони не мають можливість приймати сигнали один від одного, проте обидва вузли

можуть взаємодіяти з одним і тим же вузлом. Від кожного вузла передана потужність сигналу зменшується зі збільшенням відстані. Тоді в випадки якщо один з двох вузлів наприклад вузол А передає дані, другий вузол Б визначає канал вільним так як рівень сигналу визначається його приймачем низький. І якщо другий вузол Б вирішить передати дані і також визначить, що канал вільний то обидва вузли можуть почати передачу повідомлення на один і той же вузол В одночасно, в результаті чого може виникнути колізія.

Одним з можливих методів подолання даної проблеми це планування розміщення вузлів і збільшення вихідної потужності, в цьому випадки вузли А і Б зможуть визначити сигнали один одного.

Може виникнути ще одна суттєва проблема при передачі даних методом CSMA-CA між декількома парами вузлів ZigBee. У разі якщо вузол В має намір передати повідомлення до вузла А в той час, як вузол Г передає повідомлення до вузла Б, метод CSMA-CA запобіжить передачу даних від вузла В вузлу А і Г, що знаходяться поза зоною радіусу дії один одного і колізія при одночасній передачі даних вузлів В і Г виникнути не може.

Коли пристрій планує передати дані, він спочатку переходить в режим виявлення і оцінки рівня енергії в необхідному каналі. Ця функція називається визначенням енергії. Приймач не намагається визначити тип сигналу, а тільки енергетичний рівень сигналу. Тобто якщо сигнали займають потрібну смугу частот. Процедура визначення рівня енергії може не визначити слабкі сигнали, коли рівень енергії близький до чутливості приймача.

Чутливість приймача визначається як мінімальний рівень сигналу який він може успішно детектувати з помилками пакета даних менше 1%. Стандарт IEEE 802.15.4 визначає різницю 10 дБ між необхідною чутливості приймача і необхідним енергетичним рівнем прийнятого повідомлення [11].

Індикатор якості каналу (LQI) є показником якості прийнятих приймачем ZigBee пакетів даних. Потужність прийнятого сигналу RSS може бути використана для вимірювання якості сигналу. Даний показник є мірою визначальною повну енергію прийнятого сигналу [11].

Співвідношення необхідної енергії сигналу до загальної енергії шуму (SNR) також дозволяє оцінити якості сигналу. Більш високе значення показника SNR призводить до більш низької ймовірності помилки в пакеті даних. Таким чином, сигнал з високим SNR є сигналом з високою якістю. Тобто про якість каналу зв'язку можна судити використовуючи як показник потужності сигналу, що приймається, так і коефіцієнт SNR [11]. Вимірювання за допомогою індикатора якості каналу (LQI) виконуються для кожного прийнятого пакета. Значення показника LQI повідомляється на рівень MAC і доступна для NWK і APL рівнів для будь - якого типу аналізу. NWK рівень може використовувати в звітності рівня LQI з пристроїв в мережі, щоб вирішити, який шлях буде використовуватися для маршрутизації повідомлення. Загалом, шлях, який має найвищу цінність LQI має більше шансів доставляти повідомлення в пункт призначення. LQI є лише одним з факторів рішення при виборі для прокладки повідомлення.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Виходячи з матеріалів наведених вище, можна зробити висновок, що технологія ZigBee є перспективною технологією в області, в якій потрібно застосувати, а саме фіксації рухомих об'єктів і моніторинг міських вулиць. Технологія ZigBee має ряд переваг перед іншими технологіями, що не вимагають високої передачі даних і є енергозберігаючою технологією, що дозволяє використовувати велику кількість часу. Також в ній присутня технологія CSMA-CA (виявлення колізій).

Можливість побудови мережі простої і складної топології, отже, можливо застосовувати в розгалужених вулицях і будівлях складної структури.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ZIGBEE СИСТЕМИ

Згідно, всьому викладеному вище, для реалізації ZigBEE системи на дорозі, а саме фіксації рухомого об'єкта, потрібно розрахувати енергетичну дальність системи, так як якість зв'язку безпосередньо залежить від параметрів системи, і визначити на якій відстані передавач здатний реагувати присутність у своїй зоні приймача, так само розробити технологію фіксації автомобілів. Дана технологія буде ґрунтуватися на встановлення декількох антен і за допомогою діаграми спрямованості цих антен здійснювати оцінку запізнювання сигналу за рахунок зміни розташування антен відносно одна одної, що дозволить нам визначити час необхідний для зчитування ZigBEE системою пересувається автомобіля, в якому буде знаходитися приймач. Враховуючи те, що антени будуть встановлені на стовпах, розташованих біля проїжджої частини, що дозволить нам приймати інформацію про тих же рухомих автомобілях. Ґрунтуючись на енергетичній дальності зв'язку, потрібно також визначити зв'язок в далекій зоні поля, характеристикою в далекій зоні поля є графік, виходячи з графіка можливе визначення потужності передавача.

3.1. Розрахунок енергетичної дальності системи

У розрахунку параметрів ZigBee антени головним параметром, який необхідно визначити є відстань зчитування (x). Для отримання цього параметра так само необхідно визначити проміжні змінні. Для даної системи, яка буде використана на шосе для фіксації об'єктів, вихідними параметрами є:

- струм в антені зчитувача: $I=26,9$ мА;
- кількість витків антени передавача $N_1=1$;
- кількість витків антени приймача: $N_2=1$;
- діаметр дроту: $d_1=d_2=0.005$ м;
- радіус антени передавача: $r_1=0.08$ м;

- радіус антени приймача: $r_2 = 0.05$ м;
- частота взаємодії: $f = 2,4$ ГГц.

3.1.1. Розрахунок напруженості магнітного поля

Розподіл напруженості магнітного поля в залежності від X круглої котушки, яка часто використовується в якості передавальної антени в ZigBee-системах з індуктивним зв'язком, описуються наступним виразом:

$$H = \frac{I \cdot N \cdot r^2}{2 \cdot \sqrt{(r^2)^3}}; \quad (3.1)$$

$$H_1 = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,08^2}{2 \cdot \sqrt{(0,08^2)^3}} = 0.168 \left(\frac{A}{M} \right);$$

$$H_2 = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,05^2}{2 \cdot \sqrt{0,05^2^3}} = 0.269 \left(\frac{A}{M} \right);$$

$$H_1 = 0.168 \left(\frac{A}{M} \right);$$

$$H_2 = 0.269 \left(\frac{A}{M} \right).$$

3.1.2. Розрахунок площі поверхні котушки приймача

Формула для знаходження площі [17]:

$$A = \pi \cdot r_2^2, \quad (3.2)$$

Тоді площа дорівнює:

$$A = 3,14 \cdot 0,05^2 = 7,854 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)$$

$$A = 7,854 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)$$

3.1.3. Розрахунок індуктивності витків котушки

Формула для знаходження витків котушки [17]:

$$L = \mu \cdot N \cdot r \cdot \ln\left(\frac{2r}{d}\right); \quad (3.3)$$

Де $\mu = 1,257 \cdot 10^{-6}$ (В·с/А·м) – магнітна постійна, що описує магнітну проникність вакууму.

Тоді індуктивність L_1 і L_2 рівні:

$$L_1 = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,08 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 0,08}{0,005}\right) = 1,485 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_2 = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 0,05}{0,005}\right) = 1,883 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_1 = 1,485 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)};$$

$$L_2 = 1,883 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)}.$$

3.1.4. Розрахунок ємності котушки

Формула для знаходження ємності котушки [17]:

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L}; \quad (3.4)$$

де $f = 2,4$ ГГц-частота роботи антени.

Тоді ємності котушок C_1 і C_2 :

$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot 2,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,485 \cdot 10^{-7}} = 1,262 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_2 = \frac{1}{(2 \cdot 2,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}} = 2,336 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_1 = 1,262 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)};$$

$$C_2 = 2,336 \cdot 10^{-14} \text{ (Ф)}.$$

3.1.5. Розрахунок резонансної частоти

Для того щоб перевірити правильність вищенаведених обчислень необхідно знайти резонансну частоту.

Формула для знаходження резонансної частоти [17]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}. \quad (3.5)$$

Підставивши значення L_1 , C_1 і L_2 , C_2 резонансна частота дорівнює:

$$f_{\text{рез1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{1,485 \cdot 10^{-7} \cdot 1,262 \cdot 10^{-14}}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц)};$$

$$f_{\text{рез2}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{1,883 \cdot 10^{-7} \cdot 2,336 \cdot 10^{-14}}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц)};$$

$$f_{\text{рез1}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц)};$$

$$f_{\text{рез2}} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ (Гц)}.$$

3.1.6. Розрахунок вхідної напруги

Формула для знаходження вхідної напруги [17]:

$$u_2 = \frac{w \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot I}{1 + (w \cdot L_2 + R_2) \cdot \left(w \cdot C_2 + \frac{1}{R_L} \right)}; \quad (3.6)$$

де $w = 2 f$;

$k = 0,01$ -коефіцієнт зв'язку;

$R_L = 20$ Ом – Опір навантаження;

$R_2 = 1$ Ом-ефективний опір.

Тоді напруги дорівнює:

$$u_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 0,01 \cdot \sqrt{1,485 \cdot 10^{-7} \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}} \cdot 26,9 \cdot 10^{-3}}{1 + (2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7} + 1) \cdot \left(2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 2,336 \cdot 10^{-14} + \frac{1}{20} \right)} = 0,007 \text{ (В)};$$

$$u_2 = 0,007 \text{ (В)}.$$

3.1.7. Розрахунок добротності контуру

Необхідно розрахувати добротність контуру, яка показує, наскільки зростає напруга і струм в коливальному контурі при виникненні резонансу.

Формула для знаходження добротності контуру [17]:

$$Q = \frac{1}{R_2 \cdot \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} + \frac{1}{R_L} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}};$$

$$Q = \frac{1}{1 \cdot \sqrt{\frac{2,336 \cdot 10^{-14}}{1,883 \cdot 10^{-7}}} + \frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{1,883 \cdot 10^{-7}}{2,336 \cdot 10^{-14}}}} = 7,044 \cdot 10^{-3}.$$
(3.7)

Тоді добротність дорівнює:

$$Q = 7,044 \cdot 10^{-3}.$$

3.1.8. Розрахунок мінімальної напруженості H_{min}

Для того, щоб визначити максимальну відстань, при якому працює приймач, необхідно обчислити мінімальну напруженість. Формула для знаходження мінімальної напруженості [17]:

$$H_{\min} = u_2 \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{w \cdot L_2}{R_L} + w \cdot C_2 \cdot R_2\right)^2 + \left(1 - w^2 \cdot L_2 \cdot C_2 \cdot \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{w \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N_2}, \quad (3.8)$$

Тоді мінімальна напруженість дорівнює:

$$H_{\min} = 0,007 \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot L_2}{20} + 2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 2,336 \cdot 10^{-14} \cdot 1\right)^2}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 1} +$$

$$+ \frac{\sqrt{\left(1 - 2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot L_2 \cdot C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 0,007 \left(\frac{A}{M}\right);$$

$$H_{\min} = 0,007 \left(\frac{A}{M}\right).$$

3.1.9. Розрахунок енергетичної дальності дії приймача

Якщо відома мінімально допустима напруженість магнітного поля, при якій приймач ще здатний відповісти на запит зчитувального пристрою, то з урахуванням особливості конкретного зчитувального пристрою стає можливим визначити «енергетичну» дальність дії такої системи. Ця відстань не обов'язково еквівалентна максимальній дальності дії ZigBEE-системи, оскільки дані, що передаються приймачем, не завжди можуть бути коректно прийняті зчитувальним пристроєм на такій відстані [17]:

$$x = \sqrt{\sqrt[3]{\left(\frac{I \cdot N_1 \cdot R_2^2}{2 \cdot H_{\min}}\right)^2}}, \quad (3.9)$$

Тоді енергетична дальність дорівнює:

$$x = \sqrt[3]{\left(\frac{(26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1^2)^2}{2 \cdot 0,007}\right)} = 9,557 \text{ (м)};$$

$$x = 9,557 \text{ (м)}.$$

Енергетична дальність являє собою максимальну дальність, при якій передавач здатний реагувати на присутність у своїй зоні зчитування приймача.

3.2. Зв'язок в далекій зоні поля

Визначимо, в якій зоні поля працює запропонована система. Частота взаємодії системи 2,4 ГГц, отже, довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{866 \cdot 10^6} = 0,125 \text{ м};$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{866 \cdot 10^6} = 0,125 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,125 \text{ м},$$

Тоді

$$\frac{\lambda}{2 \cdot \pi} = \frac{0,125}{2 \cdot 3,14} = 0,019 \text{ м};$$

$$\frac{\lambda}{2 \cdot \pi} = 0,019 \text{ м};$$

Тобто $r \gg \lambda / 2$, де r – відстань між передавачем і приймачем. Можна зробити висновок, що в системі переважає робота в далекій зоні поля [18].

Використовуючи пропоновані виробниками ZigBEE-обладнання параметрами системи, побудуємо графік залежності зменшення потужності при збільшенні відстані між передавачем і приймачем:

- потужність передавача: $p=1$ мВт;
- посилення антени: $G=1,66$;
- коефіцієнт поляризаційного неузгодження: $p=1$.

$$P(x) = \frac{p \cdot P \cdot G \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot x)^2}, \quad (3.10)$$

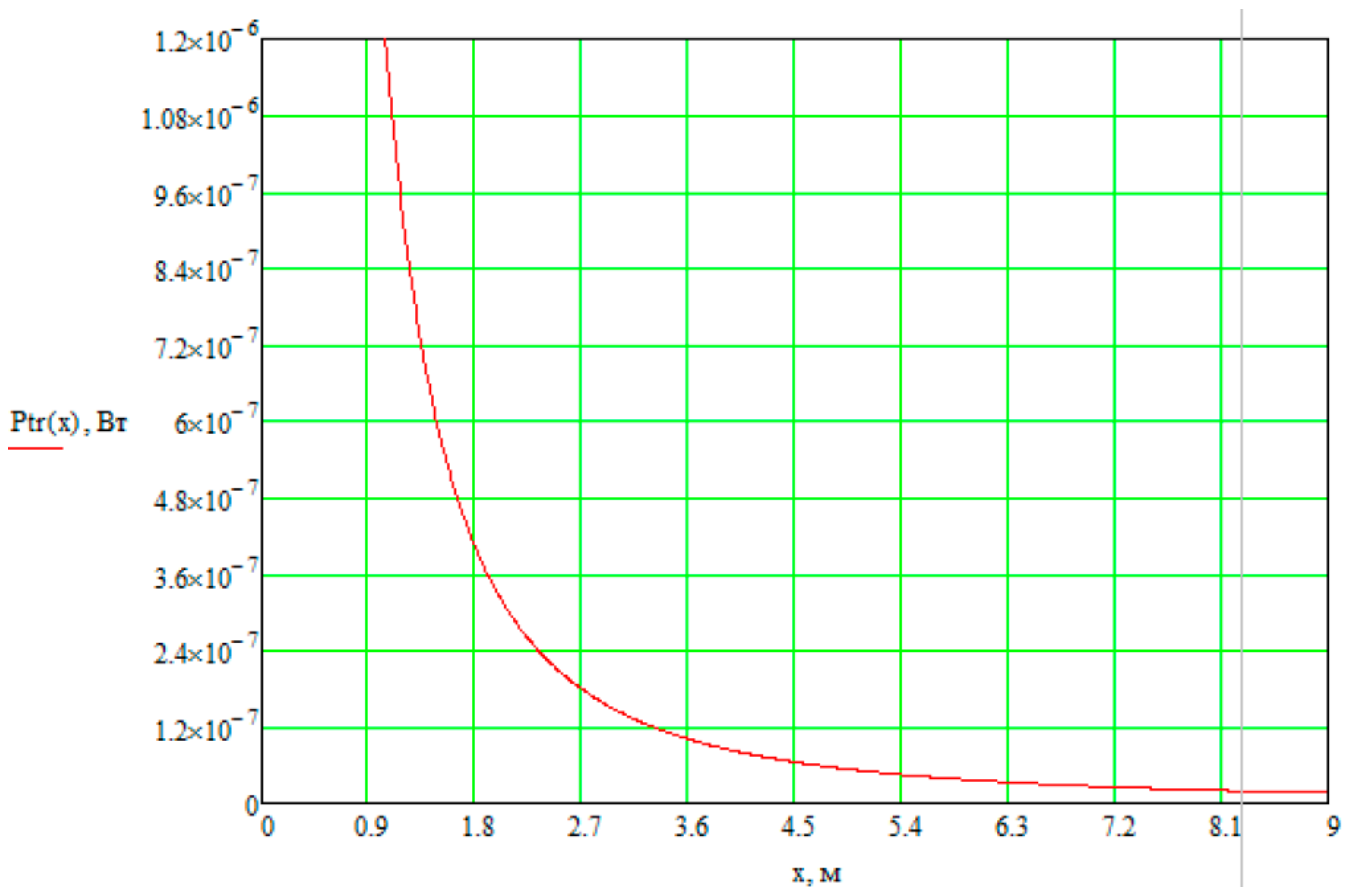


Рис. 3.1 Графік залежності потужності, приймальної антени від відстані

З графіка видно що потужність на 8 метрах (ширина проїжджої частини дороги) становить $0,2 \cdot 10^{-7}$ Вт або -76,99 дБм. Дане значення визначено виходячи з масштабу графіка, де так само видно що на 8 метрах, що є 1/6 клітини від $1,2 \cdot 10^{-7}$ Вт.

3.3. Оцінка запізнювання сигналу 2 антен різного розташування

Діаграма спрямованості (ДС) передавальної (приймальної) антени характеризує інтенсивність випромінювання антеною в різних напрямках. Для передавальної антени використовують ДС по напруженості поля в електричній складовій електромагнітного поля або за рівнем його потужності. Зазвичай діаграма спрямованості антени будується в полярній системі координат. Напрямок максимального випромінювання називається головною пелюсткою антени. Решта пелюсток є побічними. Пелюстка випромінювання в сторону зворотну називається задньою пелюсткою. Діаграми спрямованості будують у вертикальній і горизонтальній площинах. Зазвичай використовують нормовані діаграми спрямованості, які показують здатність антени працювати на передачу (прийом) в заданому напрямку, незалежно від потужності, що підводиться до неї. У нормованій діаграмі спрямованості величина пелюстки головного напрямку випромінювання приймається за одиницю, бічні пелюстки будуються в масштабі відносно головного [17].

ДС характеризується шириною її головного променя на рівні 0,5 від її максимального значення по потужності:

$$\theta_A = \frac{\lambda}{d_A}, \quad (3.11)$$

Так як розглянута антена є вузьконаправлена, розглянемо рівнобедрений трикутник, за допомогою якого визначимо довжину рухомого об'єкта.

Для побудови діаграми спрямованості, приймемо наступні значення:

- довжина хвилі = 0,125 м;
- довжина антени = 0,25 м;
- ширина діаграми спрямованості антени = 30°.

Моделювання проводиться з 4 варіантів з різним розташуванням антен відносно один одного метою фіксації рухомого об'єкта на шосе, автомобіля. Антени будуть

встановлюватися на стовпи, які стоять біля проїжджої частини, як і згадувалося раніше. Діаграми спрямувань були побудовані в програмі Mathcad 15.

Використання двох антен дозволяє нам визначити, в якому напрямку пересувається об'єкт.

На рис. 3.2 представлені діаграми спрямувань 2 антен повернених відносно один одного на $\pm 15^\circ$.

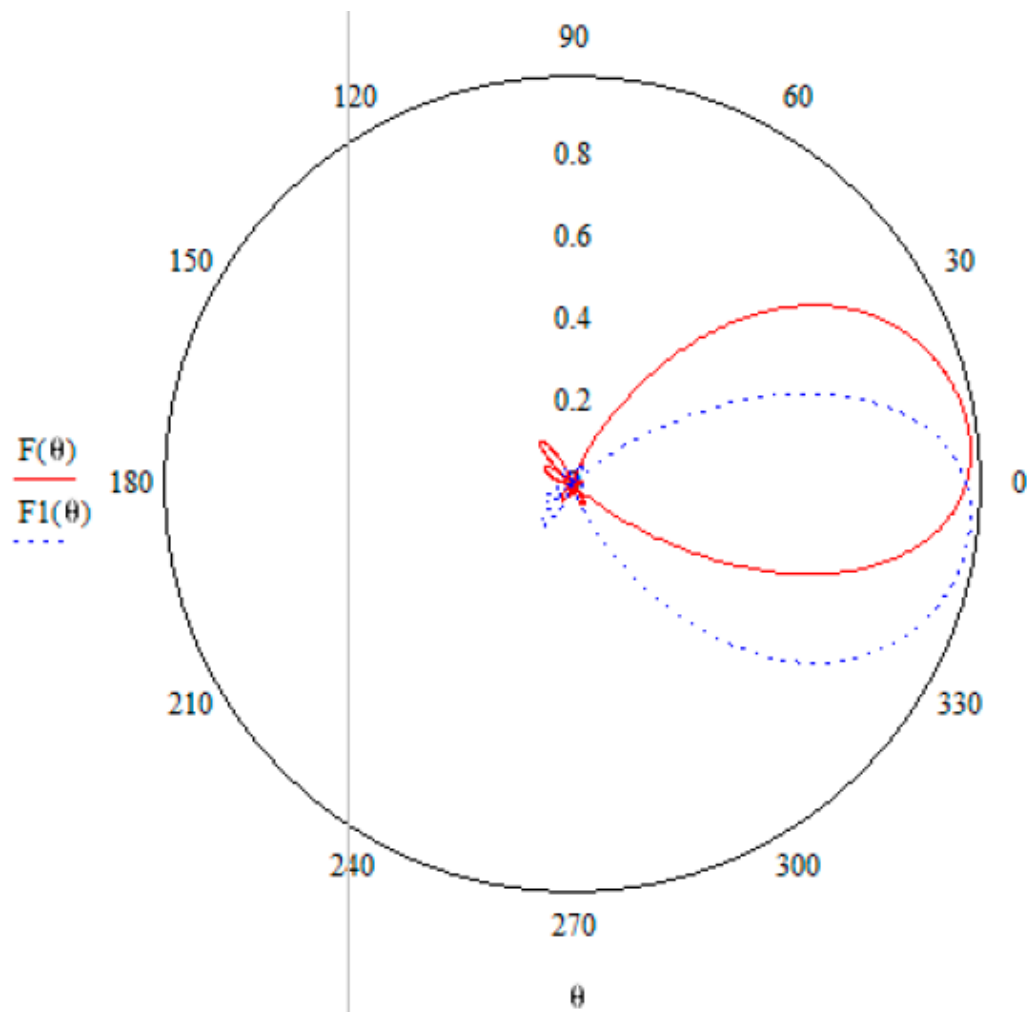


Рис. 3.2. Діаграма спрямованості 2 антен, повернених один щодо одного на $\pm 15^\circ$

З рис. 3.2 бачимо що запізнювання сигналу становить 3 частина області діаграми по ширині, умовно визначимо її як 1,5 м, тобто для визначення часу запізнювання вдамося до простої формули знаходження часу, а саме:

$$t = S/v, \quad (3.12)$$

де $v=60$ км / год, так як це є максимальною швидкістю пересування в межах міста.

Визначимо час, який потрібен для фіксації об'єкта на рис. 3.3. В даному випадку:

$$t=1,5 / 16= 0,09 \text{ с.}$$

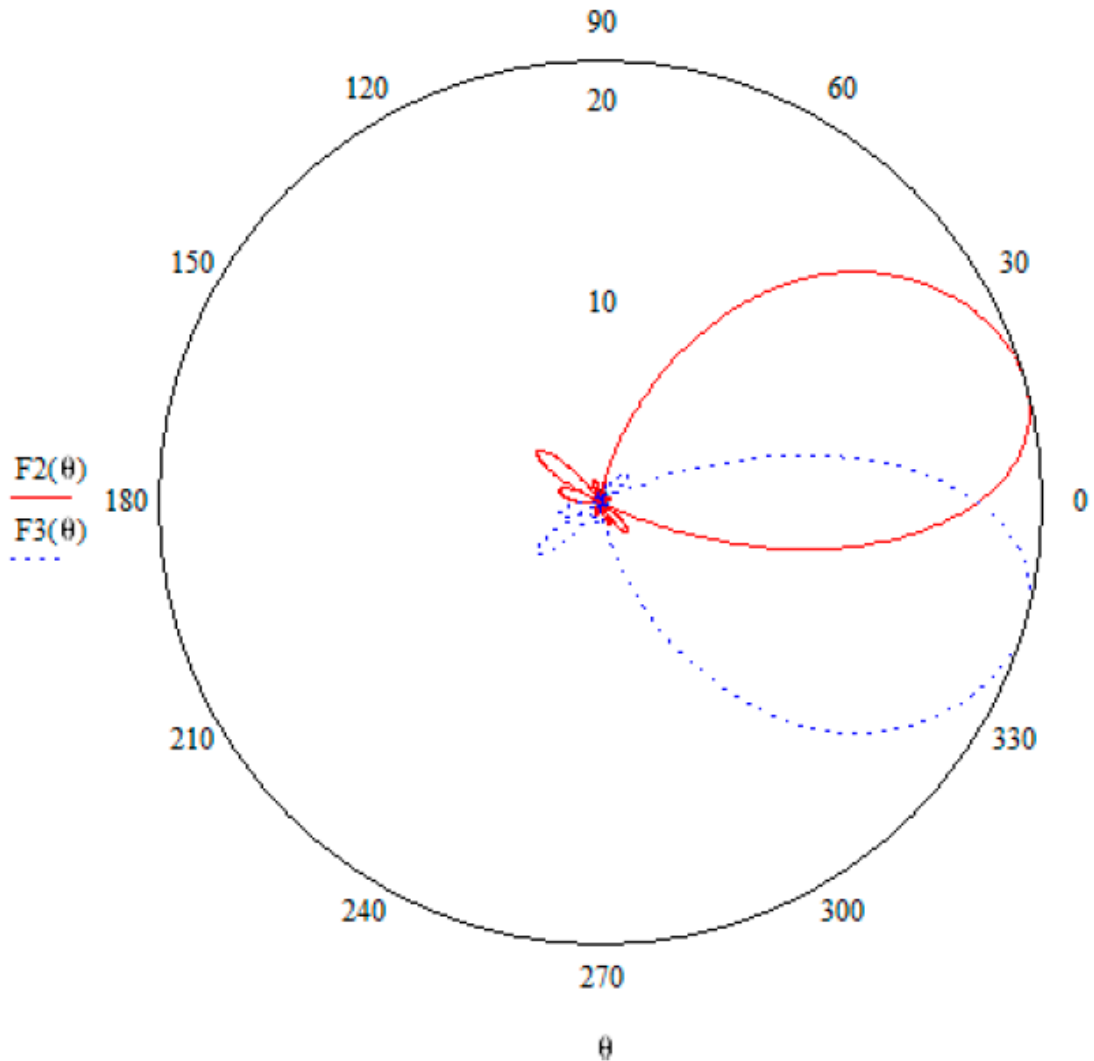


Рис. 3.3 Діаграма спрямованості 2 антен, розташованих на одному стовпі, повернених одна щодо одної на $\pm 30^\circ$

З рис. 3.2 бачимо що запізнювання сигналу становить близько 2,5 метрів, скориставшись так само формулою (3.12), визначимо час:

$$t=3 / 16 = 0,18 \text{ с.}$$

Так само представлені на малюнках 3.4 і 3.5 діаграми спрямованості 2 антен, розташованих на різних стовпах.

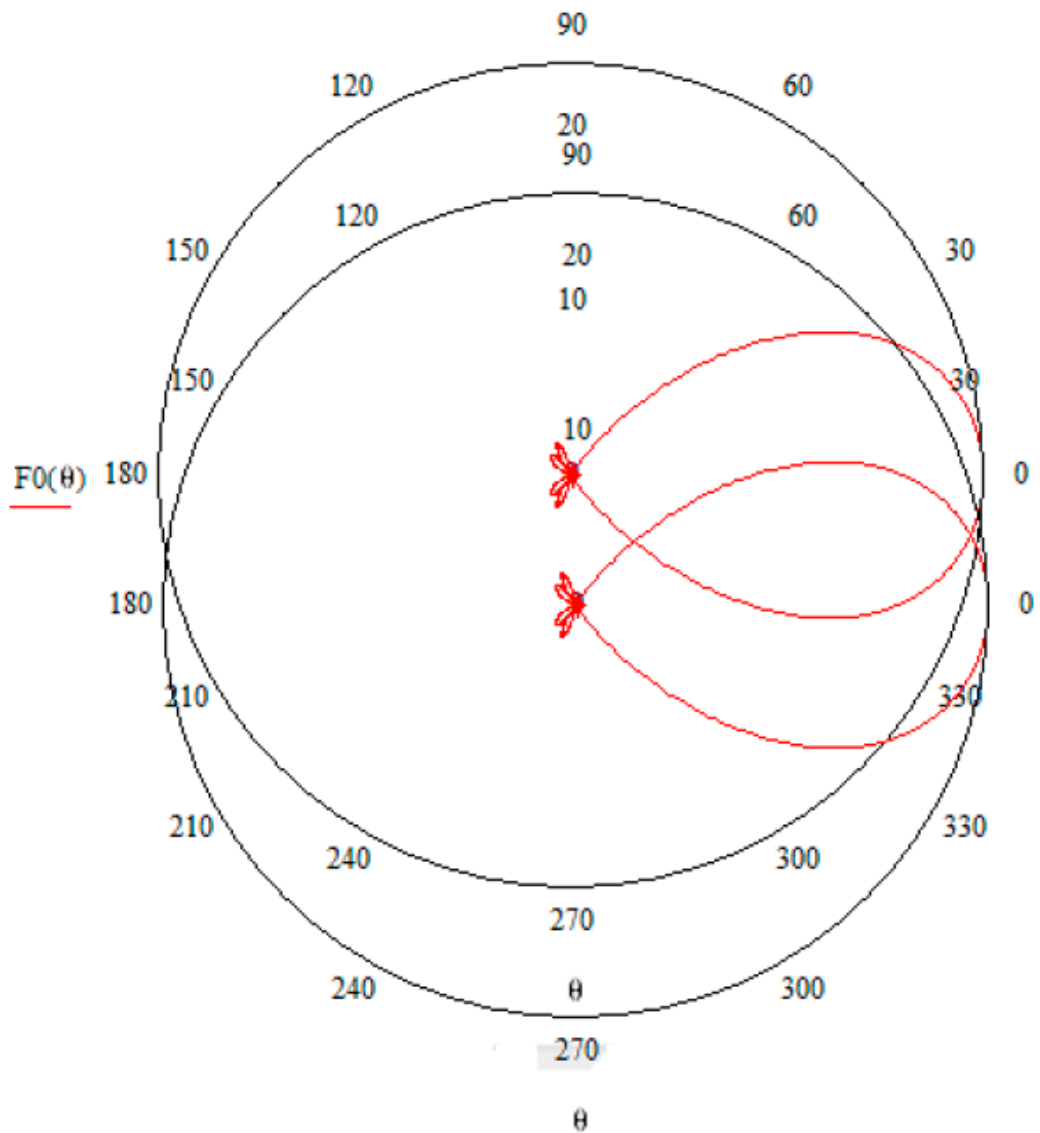


Рис. 3.4. Діаграми спрямованості 2 антен на різних стовпах відстанню 4 м

З малюнка 3.4 спостерігаємо наполовину накладання сигналу, що означає, що час запізнювання становить:

$$t = 2 / 16 = 0,12 \text{ с}$$

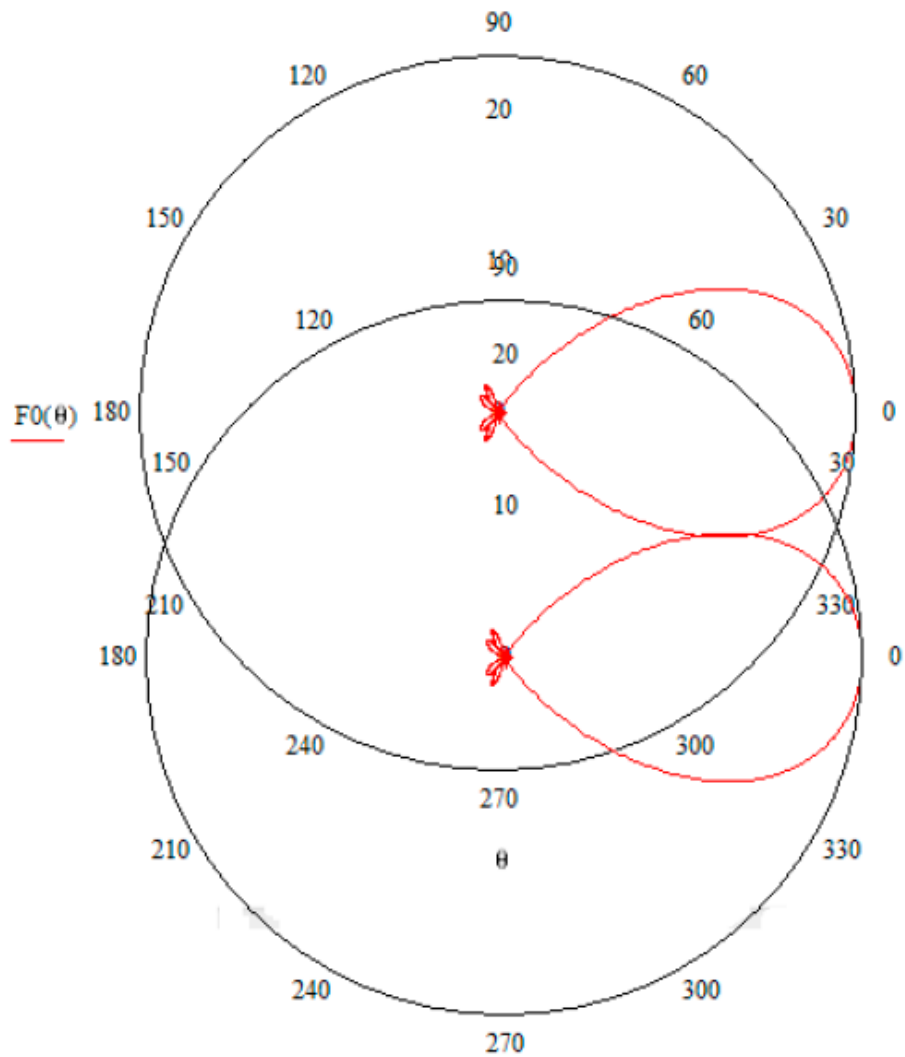


Рис. 3.5. Діаграми спрямованості 2 антен на різних стовпах відстанню 8 м

На рис. 3.5 ніяких накладень не спостерігаємо, а це означає що сигнал буде приходити в 2 рази пізніше ніж на рис 3.4, і що значить час запізнювання $t=0,24$ с.

Моделювання проводилося для 4 варіантів, найбільш оптимальний варіант антен, повернених відносно одна одної на $\pm 15^\circ$, так як менший час запізнювання і прийнятна для ZigBEE системи. Останні 2 Малюнки, саме 3.4 і 3.5 , реалізації не можуть бути використані з міркувань розташування стовпів, для реалізації необхідно буде переставляти стовпи, що не можливо.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Визначено напруженість магнітного поля H в ZigBEE системі з робочою частотою 2,4 ГГц, розраховані проміжні змінні, які дозволили визначити енергетичну дальність, що становить 9,557 м.

Побудований графік, на якому визначили потужність, яка дорівнює $0,2 \cdot 10^{-7}$ Вт на відстані 8 метрів, що відповідає показникам для систем ZigBEE з частотою взаємодії 2,4 ГГц. Також були побудовані діаграми спрямованості антен і їх розташування одна щодо одної, які дозволяють визначити напрямок руху найбільш оптимальним варіантом є розташування повернених відносно одна одної на $\pm 15^\circ$, так як час запізнювання є найменшим і відповідає ZigBEE системі.

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

В даному розділі представлені результати дослідження можливості використання бездротових мереж ZigBee для фіксації рухомих об'єктів на шосе.

Для контролю переміщення рухомих об'єктів (персоналу, обладнання) останні оснащуються бездротовими передавачами типу "мобільний пристрій". Передавачі з деякою періодичністю відправляють унікальний номер рухомого об'єкта координатору, який передає номер і потужність прийнятого сигналу до базової станції. Використовуючи методику визначення відстані за величиною прийнятого сигналу, програмне забезпечення верхнього рівня відстежує переміщення об'єкта. Також підібрано обладнання різних виробників, згідно потужності і чутливості приймача обраний найбільш підходящий.

4.1. Загальний вигляд структури фіксації рухомих об'єктів та її реалізація

Схема нижче реалізується наступним чином. Рухливий об'єкт, на якому встановлений передавач «мобільний пристрій» передає інформацію про себе, що він пересувається по даній вулиці, антени встановлені на стовпах зчитують інформацію по даному об'єкті, після чого вся зібрана інформація з антен, встановлених від одного перехрестя до іншого, передає число машин на обчислювальну техніку, яка встановлена на світлофорі, де він в залежності від кількості накопичених машин, буде перемикати свої сигнали, незалежно від кількості секунд на циферблаті світлофора. Також можна буде реалізувати функцію "Зелена Хвиля", тобто підлаштовуватися під світлофори на інших перехрестях.

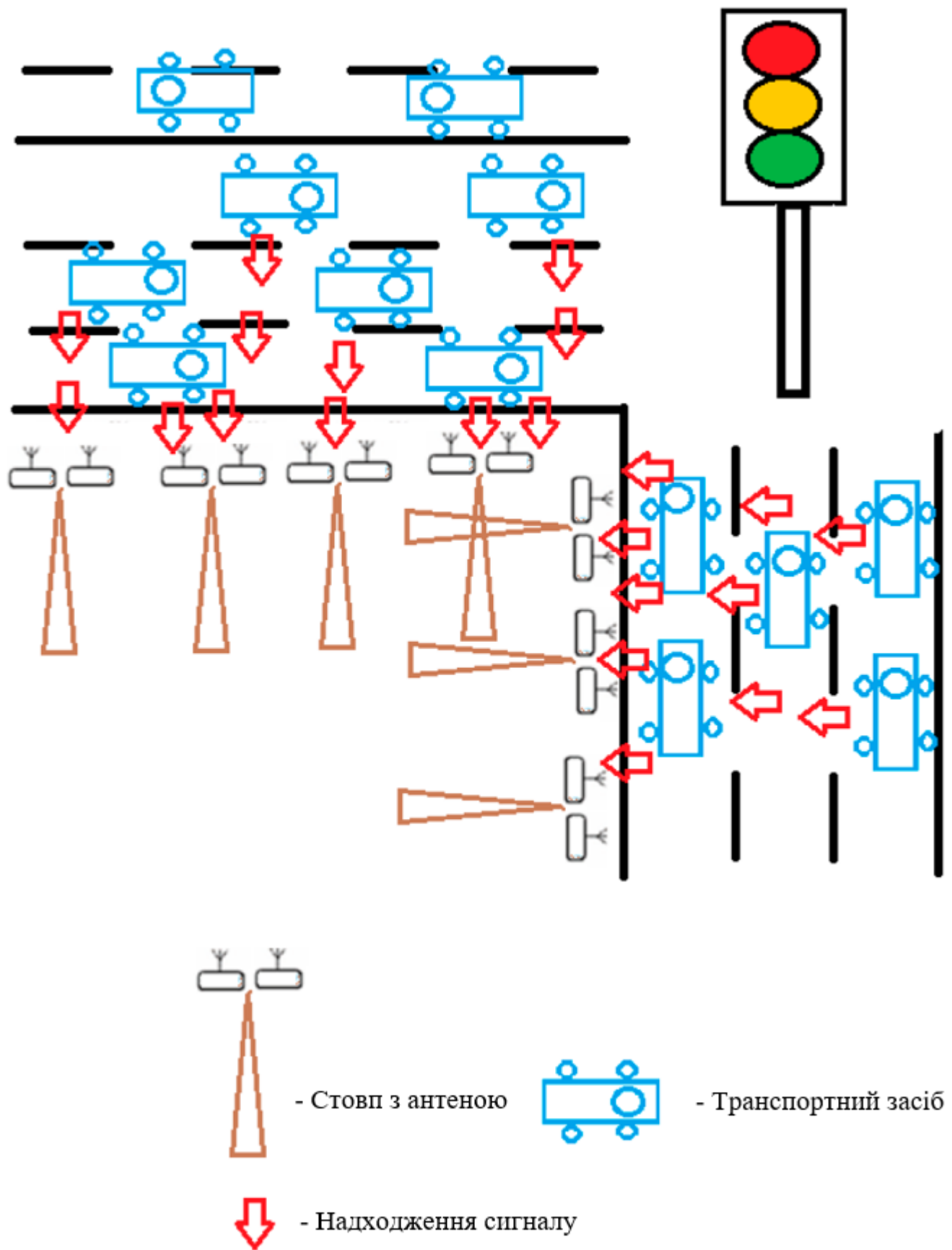


Рис. 4.1. Функціональна схема фіксації рухомих об'єктів

Основні характеристики трансиверів компанії Freescale Semiconductor і Texas Instruments [18-19]

Параметр	MC1322X	CC2420	CC2480A1	MC13192/MC13193/MC13202/MC13203
Напруга живлення	2,0...3,6 В	2,1...3,6 В	2,0...3,6 В	2...3,4 В
Робочий частотний діапазон	2,405... 2,485 ГГц	2,405...2,485 ГГц	2,405...2,48 ГГц	2,405... 2,485 ГГц
Число каналів / крок	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц
Макс. швидкість радіопередачі інформації	250 Кбіт / с	250 Кбіт / с	250 Кбіт / с	250 Кбіт / с
Вихідна потужність радіопередавача	-30...-4 дБм (налаштовується програмно)	-25...0 дБм (налаштовується програмно)	До -1 дБм (настроюється програмно)	-3,6д -0,5 дБм (налаштовується програмно)
Чутливість радіоприймача	-95 дБм	-95 дБм	-92 дБм	-92 дБм
Робочий температурний діапазон	-40...105 °С	-40...85 °С	-40...85 °С	-40...85 °С
Особливість	6 активних режимів роботи, 3 енергозбереження. Наявність апаратного MAC-акселератора. Апаратний кодувальник AES-128. Розширений набір периферії в мікроконтролер. Потрібна мала кількість зовнішніх компонентів	- Наявність апаратного MAC-акселератора. Апаратний кодувальник AES-128	Ні	4 канали подій внутрішнього таймера. Можливість тактування зовнішнього мікроконтролера. Адаптоване застосування ZigBee стека Figure 8 Wireless Z-Stack

З таблиці видно що найбільш підходящим обладнанням є Teas Instruments CC2420, виходячи з відповідності потужності обладнання, яка була визначена з пункту 3.

4.2 Обладнання для реалізації пропонованої системи

Для побудови ZigBee мережі була використана платформа Tmote Sky з мікроконтролером MSP430 і з вбудованим в ньому радіо мікросхемою CC2420.

На рис 4.2 показаний зовнішній вигляд платформи Tmote Sky і розташування всіх пристроїв на ньому.

Платформа ZigBee Tmote Sky являє собою бездротовий модуль наднизької потужності необхідний для використання мережі датчиків. Підтримує галузеві стандарти, також як USB і стандарт IEEE 802.15.4. За допомогою модуля можливо використовувати дані від сенсорних датчиків (температури, вологості, світла і так далі). Можливість підвищення продуктивності, функціональності і розширення.

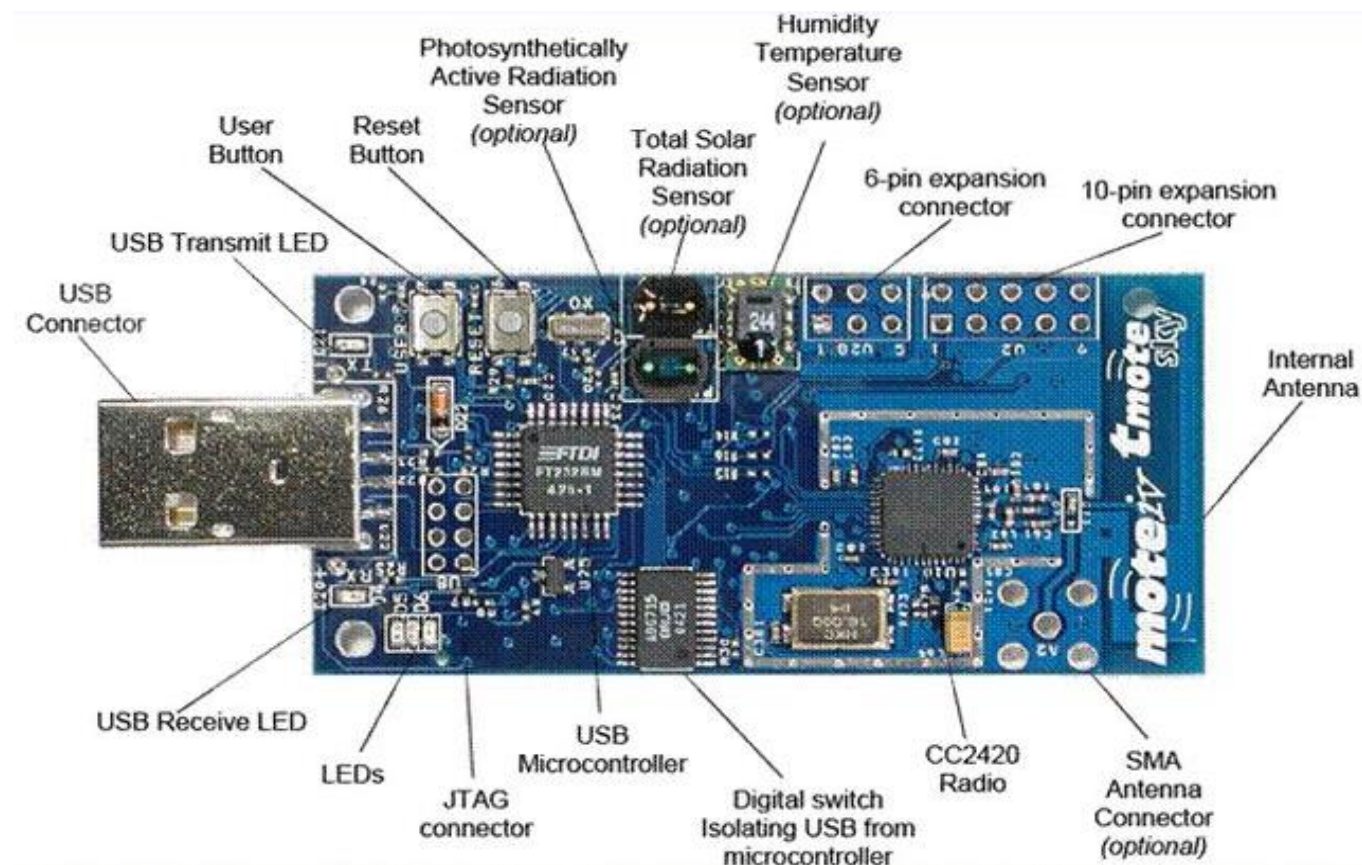


Рис. 4.2. Зовнішній вигляд і пристрій платформи Tmote Sky

Базова станція працює на основі операційної системи з відкритим вихідним кодом TinyOS 2.0 [20], це дозволяє використовувати різні інтерфейси прикладного програмування (API). Бібліотека TinyOS включає в себе різні мережеві протоколи, драйвера датчиків і інструменти збору даних.

Мікроконтролер MSP430 F1611 має в своєму складі 8 зовнішніх і 8 внутрішніх портів АЦП. Внутрішні порти АЦП можуть бути використані для отримання даних від внутрішнього термістора або моніторингу напруги батареї. Також включає в себе два 12-бітних порти, модуль ЦАП, блок управління напругою живлення, 3-портовий контролер DMA.

Доступно підключення різних периферійних пристроїв SPI, UART, цифрових портів введення / виводу, сторожового таймера, і таймерів з захоплення і порівняння функціональності. Основні параметри платформи ZigBee Tmote sky наведені в таблиці 4.1

Низьке енергоспоживання Tmote Sky пов'язане з низькою споживаною потужністю мікроконтролера MSP430 F1611. Даний Мікроконтролер працює з ОЗП 10 Кбайт, 48 Кбайт флеш пам'яті, і 128 байт зберігання інформації. Також 16-бітний RISC процесор відрізняється надзвичайно низьким споживанням струму.

Таблиця 4.2

Основні характеристики платформи Tmote Sky

Основні характеристики	Параметр
Виробник	Texas Instruments
Мікроконтролер	MSP430(10k RAM, 48k Flash)
Швидкість передачі даних	250 Кбіт/с
Протокол передачі даних	IEEE 802.15.4
Вбудовані пристрої	АЦП, ЦАП, Контроль управління напругою живлення, Контролер DMA, Внутрішня антена діапазон дії: 50 м всередині приміщення, до 125 м на відкритому повітрі
Вихід з режиму "сну"	< 6 мкс
Шифрування і аутентифікація	Апаратно-каналний рівень
Програмування та збір даних	через USB
Підтримка мереж	TinyOS (підтримка комірчастих мереж та комунікаційних реалізацій).

Частота DCO змінюється в залежності від напруги і частоти, але можливо її калібрування за допомогою 32 кГц кварцового генератора.

MSP430 має внутрішній генератор з цифровим керуванням (DCO), який може працювати до 8 МГц . DCO може бути виведений з режиму сну за 6 мкс. Коли внутрішній генератор вимкнений мікропроцесор працює з зовнішнім кварцовим задаючим генератором тактових імпульсів 32768 Гц.

Таблиця 4.3

Типові умови експлуатації

Параметр	Значення		
	Мін.	Номін.	Макс.
Напруга живлення під час виконання програми	1,8В		3,6 В
Температура повітря при роботі	-40 °С		85 °С
Мінімальна частота роботи кварцового генератора		32,768 кГц	
Робочий струм при VCC = 3 В, 1 МГц		500 мкА	600 мкА
Струм при роботі мікроконтролера в режимі "сну"		2,6 мкА	3 мкА
Час виходу з режиму "сну"		6 мкс	

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Для фіксації рухомих об'єктів на шосе обрано найбільш підходяще обладнання по робочому діапазону і потужності передавача, побудована функціональна схема для реалізації ZigBEE системи. При розробці враховані головні технічні змінні, необхідні для правильної реалізації обладнання на шосе. Запропоновано варіанти для стійкої та безперебійної роботи системи. В якості використовуваного обладнання було вибрано наступне обладнання:

- платформа Tmote Sky;
- Мікроконтролер MSP430;
- мікросхема CC2420;
- антена з вбудованою з вузьконаправленою діаграмою спрямованості.

ВИСНОВКИ

Розглянуто основні проблеми впровадження ZigBEE системи для фіксації рухомих об'єктів.

Визначено, що в ZigBEE системі є переваги в порівнянні з іншими технологіями та вона є енергозберігаючою системою, що дозволяє застосувати її в рамках дипломної (кваліфікаційної) роботи.

Для роботи системи з частотою взаємодії є 2,4 ГГц розраховані елементи ланцюга антени і приймача: $L_1=1,485 \cdot 10^{-7}$ Гн, $L_2=1,883 \cdot 10^{-7}$ Гн, $C_1=1,262 \cdot 10^{-14}$ Ф, $C_2=2,336 \cdot 10^{-14}$ Ф. Мінімальна напруженість для включення транспондера $H_{\min}=0,007$ А/м. енергетична дальність системи $x = 9,557$ м.

Крім цього були побудовані діаграми спрямованості вузьконаправлених антен, міняли розташування їх одна щодо одної, що дозволило нам визначити найбільш мінімальне запізнювання сигналу, яке склало $t=0,09$ с, що відповідає часу необхідного для зчитування ZigBEE системою.

Розроблено схему ZigBEE-системи для фіксації рухомих об'єктів. Вибрано обладнання: платформа Tmote Sky; Мікроконтролер MSP430; мікросхема CC2420; антена з вузьконаправленою діаграмою спрямованості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пробка, інтернет сторінка «Луркоморье», <http://lurkmore.to/Пробка>.
2. Втрати від пробок, інтернет сторінка «Unian» <http://news.unian.ua/250577.html>.
3. Технологія позиціонування наземних рухомих об'єктів в мережах GSM, інтернет сторінка «Молодий вчений», <http://www.moluch.ua/conf/tech/archive/77/3044/>.
4. Поняття про супутникові системи позиціонування, інтернет сторінка «PRO info.ua» http://www.proinfo.ua/materialy/pervyi_kurs/topografia-chtenie/0511.html.
5. Кунегін С. В., недоліки ГЛОНАСС і GPS, інтернет сторінка "Інформаційні технології".
6. Визначення місця розташування абонента в мережах GSM, інтернет сторінка «Mobile Unity», <http://www.mobile.unity.ua/info/tech/gps/location.htm>.
7. Понікар А. В., Євсєєв О. В., Анциперов В. Є., Мансуров Г. К., дослідження можливості локального позиціонування в бездротових мережах IEEE 802.15.4, IV Конференція «Радіолокація і радіозв'язок» – ІРЕ РАН, 29 листопада -3 грудня 2020 р.
8. Бармаш М. А., Теоретичні основи ліквідації дорожніх заторів, інтернет сторінка «ліквідація дорожніх заторів», <http://www.barmash.net/>.
9. Shahin Farahani – ZigBee Wireless Networks and Transceivers / Newnes. 2018.
10. Стандарт 802.15.4. ZigBee-2006. - Видавництво Copyright 2014, IEEE, 2014.
11. Стандарт IEEE 802.15.4. Zigbee. - Видавництво Finestreet, 2021.
12. Аношин А.О., Головін А. В. Стандарт МЕК 61850. Інформаційна модель пристрою / Новини електротехніки. 2020. №77.

13. Автоматизація диспетчерського управління в електроенергетиці / під загальною ред. Ю. Н. Руденко і В.А. Семенова. - Видавництво МЕІ, 2020. - 848 с.
14. Kouba A., Alves M., A Comprehensive Simulation Study of Slotted CSMA/CA for IEEE802.15.4 Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 6th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS 2016).
15. Фінкенцеллер К. RFID – технології: довідковий посібник - К.: додека-XXI, 2020.
16. Шарфельд Т. системи RFID низької вартості-М.: світ, 2016
17. Діаграма спрямованості, ДН антени, інтернет сторінка «MobileRadio», <http://mobilradio.net/inf/vocabulary/diagram.htm>.
18. Chipcon CC2420 Data Sheet, інтернет сторінка компанії «Texas Instruments», <http://www.chipcon.com>.
19. Перспективи використання бездротових технологій, інтернет сторінка «Час технологій», [http://www.electronics.net/leader - r/review/40991/doc/44711/](http://www.electronics.net/leader-r/review/40991/doc/44711/).