

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему **ВИЯВЛЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ**

Виконав(ла): студент(ка) 2м курсу, групи БК-922м

Спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Інформаційні мережі зв'язку»

РИБАЛКО Станіслав Вадимович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ЧОРНОБОРОДОВ М.П.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет ФІБЕК
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Інформаційні мережі зв'язку
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

РТТ

к.т.н., доц. САМОЙЛИК С. С.
 " " грудня 20 23 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

РИБАЛКА Станіслава Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Виявлення рухомих об'єктів"

керівник проекту (роботи) ЧОРНОБОРОДОВ Михайло Петрович, доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від " 14 " 11 2023 року № 443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): струм в антені зчитувача $I=26,9$ мА;
кількість витків антени передавача $N_1=1$; кількість витків антени приймача
 $N_2=1$; діаметр дроту $d=d_1=d_2=0,005$ м; радіус антени передавача $r_1=0,08$ м;
радіус антени приймача $r_2=0,05$ м; робоча частота $f=2,4$
ГГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) розробка ZigBee-системи фіксації рухомих об'єктів, визначення місця розташування рухомих об'єктів і звільнення центральних вулиць від великого скупчення шляхово-транспортних засобів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація Microsoft Office PowerPoint.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 76 с., 11 табл., 15 рис., 8 джерел.

ЗАТОР, КЕРУВАННЯ, РУХ, АВТОМОБІЛЬ, МЕРЕЖА ZigBee, КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, РУХОМИЙ ОБ'ЄКТ, АВТОМОБІЛЬНИЙ КОРОК.

Об'єкт дослідження – підсистема світлофорного керування.

Мета роботи – розробка підсистеми запобігання короків для системи керування дорожнім рухом.

Метод дослідження – теоретично-розрахунковий з використанням ЕОМ.

Розроблено антиколізійний алгоритм для ZigBee-мережі.

За виконання магістерської роботи застосовувались сучасні методи проектування. Проектування здійснювалось на фаховому програмному забезпеченні й сучасній обчислювальній техніці.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	6
Вступ.....	7
1 Аналіз предметної області.....	8
1.1 Дорожній затор.....	8
1.2 Запобігання виникненню заторів	10
1.3 Системи визначення місця розташування.....	11
1.4 Безконтактний датчик підрахунку автомобілів Barmashstreet	26
1.5 Система керування рухом з відеокамерами	29
1.6 Активна система керування рухом	31
1.7 Мета й задачі магістерської роботи	35
2 Стандарт IEEE 802.15.4	36
2.1 Загальні відомості	36
2.2 Опис моделі OSI мережі ZigBee	37
2.3 Формування мережі ZigBee	41
2.4 Методи доступу до каналу зв'язку	48
3 Проектування системи.....	54
3.1 Загальні питання.....	54
3.2 Розрахунок енергетичної дальності системи	54
3.3 Розробка активної частини системи виявлення рухомих об'єктів	59
3.4 Розробка пасивної частини системи виявлення рухомих об'єктів	69
3.5 Вибір елементної бази	69
Висновки	75
Перелік джерел посилань	76

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВМР – визначення місця розташування

СМП – система мобільного позиціонування

ВСТУП

Для сучасної цивілізації завантаженість автомобільних доріг стала глобальною проблемою. Особливо сильно вона відчувається у великих містах, де на кожному перехресті встановлено світлофори із завданним часом регулювання дорожнього руху. Учені підраховали, що мешканець великого міста витрачає півроку свого життя в очікуванні на зелений колір світлофора. Людина, дістаючись місця роботи, витрачає велику кількість часу й нервів, що, зрештою, призводить до уповільнення продуктивності його праці на підприємстві, зростає число запізнь, тобто відбувається не раціональне використання людських ресурсів.

Для розв'язання цієї проблеми впроваджуються різноманітні системи автоматизованого моніторингу дорожнього руху, що дозволяють розвантажити дорогу, тобто зменшити число машин, що очікують на перемикання світлофора, саме на тій ділянці доріг, де у цьому є необхідність.

У ході роботи було створено модель моніторингу дорожнього руху, що задовольняє вимогам зі швидкості передавання даних й енергоспоживання, а також низької вартості кінцевих пристроїв.

Актуальність дипломної роботи полягає у тому, що На даний час виникають ускладнення з отримання інформації про рухомі об'єкти на шосе.

У зв'язку з цим, дипломна робота розв'язує проблеми з:

- отримування даних про кількість машин та їхнє розташування на шосе;
- керування дорожнього руху на шосе;
- створення енергоефективної мережі з простою топологією.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Дорожній затор

Дорожній затор або автомобільний корок – скупчення на дорозі транспортних засобів, що рухаються із середньою швидкістю, значно меншої, ніж нормальна швидкість для даної ділянки дороги. За утворення затору значно (до 20 разів і більше) знижується пропускна здатність ділянки дороги. Якщо прибуваюча теча транспорту перевищує пропускну здатність ділянки дороги, затор росте лавиноподібно [1].

Причиною короків на дорозі є підвищення щільності течії автомобілів, створеної такою кількістю транспортних засобів, що перевищує її пропускну здатність внаслідок збільшення течії чи зниження пропускну здатності дороги.

Збільшення припливу машин може бути викликано:

- масовими сезонними міграціями населення до місць відпочинку і назад;
- щоденними поїздками на роботу і назад;
- появою течії машин в об'їзд місця перекриття дороги для проїзду кортежів чи на час проведення масових заходів (як з, так й без своєчасного попередження населення).

Усі ці фактори мають випадковий характер за часом появи й інтенсивності.

Причини скорочення пропускну здатності поділяються на сталі й випадкові.

Сталі причини зниження пропускну здатності:

- неправильна конструкція дороги;
- наявність різких звужень, що викликають появу нерегульованих

перетинань траєкторій з низькою пропускнуою здатністю;

- наявність зламів дороги, що змушують водіїв знижувати швидкість для здійснення маневру;

- відсутність додаткових смуг розгону і гальмування транспортних засобів, що здійснюють з'їзд з чи, навпаки, виїзд на дорогу;

- відсутність "кишень" для зупинок суспільного транспорту;

- наявність нерегульованих перехресть, в'їздів і пішохідних переходів;

- наявність перехресть із круговим рухом, що є нерегульованими перехрестями для потоків автомобілів;

- стоянки і зупинки автомобілів на проїзній частині поза спеціальних кишень;

- наявність світлофорів з великою кількістю фаз роботи і малою тривалістю фаз;

- неузгодженість роботи світлофорів, що призводить до зупинок транспорту на всіх перехрестях.

Негативні наслідки заторів [1]:

- стрімке зниження пропускнуої здатності дороги;

- порушення роботи екстрених й оперативних служб;

- загальне збільшення часу в дорозі, що завдає економічних збитків через втрату часу, запізень;

- непередбачуваність часу в дорозі;

- збільшення витрати палива, викидів шкідливих речовин;

- збільшення зношення автомобілів;

- збільшення шуму;

- стрес водіїв і пасажирів;

- збільшення аварійності.

1.2 Запобігання виникненню заторів

Заходи з запобігання заторів можна поділити за наступними категоріями:

- збільшення пропускної здатності;
- регулювання доступу до доріг;
- запобігання ситуацій, що призводять до виникнення і розвитку заторів.

Не всі заходи запобігання заторів підходять для будь-яких ситуацій: ті чи інші заходи в деяких випадках можуть бути не тільки неефективні, але й давати протилежний ефект. Перелічимо найпоширеніші.

Налаштування роботи суспільного транспорту, особливо позавуличного. Суспільний транспорт має непорівнянно більшу перевізну здатність, ніж особистий. Але для того, щоб мешканці частіше користувалися суспільним транспортом, необхідно забезпечити достатню зручність користування, включаючи, комфортні умови поїздки, оптимальний розклад, достатню швидкість руху і стабільність роботи.

Удосконалення перехресть.

Окремі смуги руху для транспорту, що має велику ефективність перевезення:

- суспільного транспорту;
- автомобілів з декількома пасажирами (наприклад, що використовують метод спільних поїздок на роботу);
- мотоциклів, моторолерів і велосипедів.

Смуги із змінним напрямком (реверсивний рух), що у години великого навантаження можуть "розширювати" дорогу. Напрямок руху регулюється світловими сигналами чи механічними огороженнями.

Зменшення кількості перехресть (примикань):

- додаткові смуги руху на дорозі для розгонів й сповільнення руху

машин, що надходять до чи звертають на дороги, що примикають;

– на багаторівневих розв'язках за відсутності можливості обладнати смуги розгону і перелаштовувань, конструктивно відокремити смуги для з'їздів від смуг для руху прямо й обладнати світлофори на смугах з'їздів, усунувши утворення нерегульованих перехресть і черг;

– локальні дороги мусять примикати до шосе і далі іти до визначеного об'єкта;

– багаторівневі розв'язки зі смугами гальмування й розгону на всіх з'їздах.

Правильне настроювання світлофорів, централізоване керування рухом.

Використання вільного простору між машинами чи збоку від них для руху на велосипеді чи мотоциклі. Оскільки для двоколісного транспорту потрібно значно менша ширина на дорозі, такий метод може створити додаткові "віртуальні" смуги руху.

Розширення доріг для створення нових смуг і нових напрямків. Це – класичний спосіб боротьби з заторами, однак він сполучений з великими витратами на будівництво, і в більшості випадків неефективний, а за певних умов він може дати прямо протилежний результат за рахунок необхідності для деяких транспортних засобів більш частих перелаштовувань. Крім того, на широкій дорозі більш небезпечні локальні звуження, і потрібна велика тривалість червоного сигналу світлофора.

1.3 Системи визначення місця розташування

Системи глобального позиціонування широко відома і сфера їхнього застосування невпинно збільшується. На їхній основі розв'язуються, зокрема, задачі локалізації (у тому числі – рухомих) об'єктів у часі й просторі й забезпечуються надійні оцінки їхнього місця розташування практично в

будь-якій крапці земної поверхні.

1.3.1 Системи супутникового позиціонування

Поняття "позиціонування" означає здійснення можливих способів використання даної системи для визначення параметрів просторового положення об'єктів спостереження, тобто визначення тривимірних координат об'єкта, його вектора швидкості й напрямки [3].

Системи супутникового позиціонування є всепогодною навігаційною системою космічного базування, що дозволяє в глобальних масштабах визначати поточне місце розташування і швидкість повітряних, морських й сухопутних транспортних засобів, а також здійснювати точну координацію часу, оскільки всі способи вимірювання відстаней ґрунтуються на визначеннях часу проходження хвилі від супутника до приймача. Системи координат і часу нерозривно пов'язані. Їхня сукупність становить систему відліку. Створення цієї системи і її практичне здійснення називають координатно-часовим забезпеченням за проведенні різноманітних геодезичних робіт.

Основу GPS складають 24 супутника, що безупинно випромінюють радіосигнали, які приймаються GPS-приймачами. Висота орбіт супутників становить 20183 км, орбітальний період дорівнює 11 год. 58 хв., площини орбіт мають різну орієнтацію в просторі. Супутники випромінюють електромагнітні хвилі з частотами $f_1=1575,42$ МГц й $f_2=1227,60$ МГц і відповідними довжинами $\lambda_1=19,0$ см й $\lambda_2=24,4$ см.

У системах глобального позиціонування супутники виконують роль геодезичних опорних пунктів. Кожен супутник має по чотири атомних еталонів частоти й часу, прилади для прийомання і передавання радіосигналів, бортову комп'ютерну апаратуру. Просторове положення супутників у геодезичній системі координат відомо для кожного моменту

часу.

Радіосигнали всіх супутників синхронізовані за часом з точністю до 10^{-12} секунди за допомоги бортового атомного годинника.

Дані про конкретні параметри орбіти кожного супутника вводяться до пам'яті комп'ютерів GPS-приймачів. Ними також приймаються дані про невеликі відхилення супутників від заданих орбіт, що надходять у вигляді радіосигналів із самих супутників з метою введення виправлень у 16 визначеннях відстаней від антени приймача до супутника, що спостерігається у даний момент часу.

Для збільшення точності визначення координат, сигнали супутників приймають методом базової станції. Для цього використовуються 2 к ВМР лекти GPS-приймачів: один – встановлюється над геодезичним пунктом з відомими координатами, інший – над обумовленим пунктом місцевості.

Координати визначаються в глобальній геоцентричній системі WGS-84. за початок координат приймається центр мас Землі, визначений з точністю 1 м. Координатні осі орієнтовані щодо екватора і площини меридіана Гринвіча (рис. 1.1).

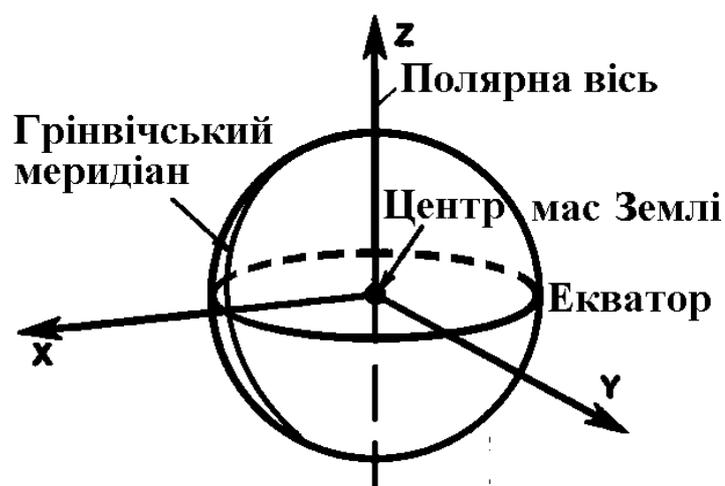


Рисунок 1.1 – Координатні осі

Вісь Z збігається із середньою віссю обертання Землі й спрямована на північ. Вісь X спрямована від центра мас Землі до крапки перетинання площини екватора з площиною нульового меридіана визначеного Міжнародним бюро часу (ВІН-Bureau International de l'Heure) на основі координат, прийнятих для пунктів ВІН. Вісь Y розташовано у площині екватора під кутом 90° до сходу від осі X й завершує правобічну ортогональну систему координат з початком у центрі мас Землі [4].

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

Таблиця 1.1 – Геометричні параметри еліпсоїдів для різних систем (координати)

Система координат	Велика піввісь (a), м	Стиск, α
WGS-84	6378137	1/298,257
ПЗ-90	6378136	1/298,258

У ГЛОНАСС також 24 основних й 3 резервних супутника. У 1982 р. виведено на орбіти перші супутники серії "Космос". З січня 1996 р. ГЛОНАСС розгорнута цілком і діє в координатній системі параметри Землі 1990 р. (ПЗ-90).

Систему ПЗ-90 призначено для розв'язання 17 різних прикладних задач, у т. ч. – геодезичного забезпечення навігаційних кВМРлексів і систем ГЛОНАСС. ПЗ-90 включає основні геодезійні сталі, 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 з референц-системами координат;

– планетарні моделі нормального аномального гравітаційного поля Землі.

Система координат ПЗ-90 є геоцентричною прямокутною просторовою системою з 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 крапку перетинання площини екватора і нульового меридіана, установленого Міжнародним бюро часу. Вісь Y доповнює систему ПЗ-90 до правобічної ортогональної системи координат.

Втілення цієї системи здійснюється через координати пунктів КГС. Пункти наземного кВМРлексу керування системою ГЛОНАСС сполучено з пунктами КГС.

Середньоквадратичні помилки віднесення системи координат ПЗ-90 до центра мас Землі складають 1..2 м, взаємне положення пунктів у системі ПЗ-90 оцінюється близько 0,3 м за середньої відстані між сусідніми пунктами мережі до 10000 км (чи у відносній мірі – біля одиниці 7-го знака).

На даний час функціонують приймальні пристрої, що одночасно використовують системи GPS і ГЛОНАСС. Обидві системи мають подібні параметри: близькі носійні частоти, спільність конструкцій кодових сигналів, що використовують фазову маніпуляцію, близькість висот і нахилень орбіт й періодів обертання [4].

З 2005 р. функціонує європейська система нового покоління супутникового позиціонування Galileo. Її роботу забезпечують 30 основних й 3 резервних супутники, розташованих на висоті 23200 км у трьох орбітальних площинах, нахилених на 56° до площини екватора. З урахуванням супутників GPS і ГЛОНАСС, у розпорядженні користувачів буде більше 80 космічних апаратів, що охоплюють усю земну кулю.

Недоліками ГЛОНАСС є [5]:

– необхідність зсуву діапазону частот вправо, оскільки на даний час

ГЛОНАСС заважає роботі, як рухливого супутникового зв'язку, так і радіоастрономії;

- за зміни ефемерид супутників, похибки координат у звичайному режимі збільшуються на 25-30 м, а в диференційному режимі – перевищують 10 м;

- за коректування набіглої секунди порушується безперервність сигналу ГЛОНАСС (це призводить до великих похибок визначення координат місця споживача, що неприпустимо для цивільної авіації);

- складність перераховування даних систем ГЛОНАСС і GPS через відсутність офіційно опублікованої матриці переходу між використовуваними системами координат.

Недоліків у системи GPS теж не мало. Серед основних можна виділити наступні [5]:

- невдала геометрія супутників, що сильно впливає на точність даних (для того, щоб отримати достовірні дані, необхідно, щоб супутники розташовувалися не на одній лінії, а по різні боки обр'ю – південь, захід, північ, схід);

- система GPS піддана специфічним помилкам за проходження 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 будинки.

Чим довше затримується сигнал, тим більша похибка утвориться, оскільки приймач приймає "віртуальну віддаленість" супутника за дійсну.

Сигнал також може затримуватися через атмосферну нестабільність (за проходження сигналу через іоносферу і тропосферу швидкість його поширення стає меншою за швидкість світла) чи збою годинника приймального пристрою. Адже код повинний генеруватися одночасно і на передавальному, і на приймальному пристрої. Якщо точний хід годинника порушено (а трапляється це тільки у приймального пристрою, оскільки на

супутнику встановлено атомний високоточний годинник), то може виникнути похибка;

– систему GPS, у першу чергу, створена для військових цілей. Тому цивільним користувачам дісталися приймачі з дуже обмеженою точністю визначення координат. Міністерством Оборони США було встановлене обмеження за точністю визначення координат для цивільних служб і приватних користувачів, що отримало назву Selective Availability (вибірковий доступ). GPS стандартної точності було призначено для громадян (код L1). Точність передачі сигналу за цього регулювалася так званою диференційною корекцією, і похибка у 100 м вважалася цілком нормальним явищем. Але сьогоденні побутові GPS-пристрої можуть визначати координати з точністю до 5 метрів.

1.3.2 Системи мобільного позиціонування

Системи визначення місця розташування (ВМР) дозволяють обчислити координати абонента з точністю до декількох десятків метрів і є реальною альтернативою системам глобального (супутникового) позиціонування, але лише на території обслуговування стільникових мереж [6].

Задача позиціонування мобільних телефонів допускає автоматичне визначення їхнього місця розташування в межах стільникових мереж.

За цього під терміном "місце розташування" варто розуміти не перебування географічних координат – широти і довготи (що в принципі також можливо, а однозначну ідентифікацію положення власника мобільного телефону на місцевості (електронній карті)) [3].

Експерти відзначають можливість подвійного призначення подібних технологій, адже теоретично можна відстежити будь-якого власника стільникового телефону. Тим більше, що способи визначення положення, засновані на використанні тільки устаткування мережі, можуть видавати дані

безупинно і без усякого повідомлення абонента чи його дозволу.

Повсюдне введення системи мобільного позиціонування (СМП) викликає тривогу в людей, що піклуються про конфіденційність особистого життя, адже положення мобільного телефону можна визначити не тільки в момент розмови, але й у режимі очікування виклику. У такій ситуації найбільш коректним розв'язанням є повідомлення координат мобільної станції, тільки після попередньої згоди її власника.

Відповідно до прийнятої класифікації, СМП поділяються на два основних типи [6]:

- системи, для функціонування яких необхідна доробка чи заміна абонентських пристроїв;
- системи, що працюють зі звичайними мобільними терміналами (системи позиціонування усередині стільникової мережі).

У першому випадку будуть потрібні або нова SIM-карта, або новий апарат (а можливо, і те й інше). В другому випадку – ніяких змін в апаратній частині мобільного терміналу не потрібно, а необхідно тільки зміна програмної частини. Таким чином, усі витрати на розгортання системи несе оператор мережі.

Для визначення положення мобільного апарату може бути використано три основних параметри радіосигналів: напрямок надходження, амплітуда і час затримки.

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

Напрямок надходження сигналів може автоматично визначатися за розбіжністю фаз сигналів на елементах антени. Можна також використовувати кілька базових станцій, розташованих по сусідству.

Використання секторних антен, замість усеспрямованих, дозволяє визначити напрямок надходження сигналів з більшою точністю. Перетинання пеленгів із двох (чи більшого числа) місць забезпечує (з визначеною точністю) визначення положення мобільного телефону.

За здійснення кутомірного методу (метод напрямку надходження сигналів (Angle of Arrival – AOA) вимірюваними параметрами є кути напрямку надходження випромінювання радіотелефону α_1 й α_2 відносно лінії (бази, що з'єднує дві стільникові станції мережі (рис. 1.2)).

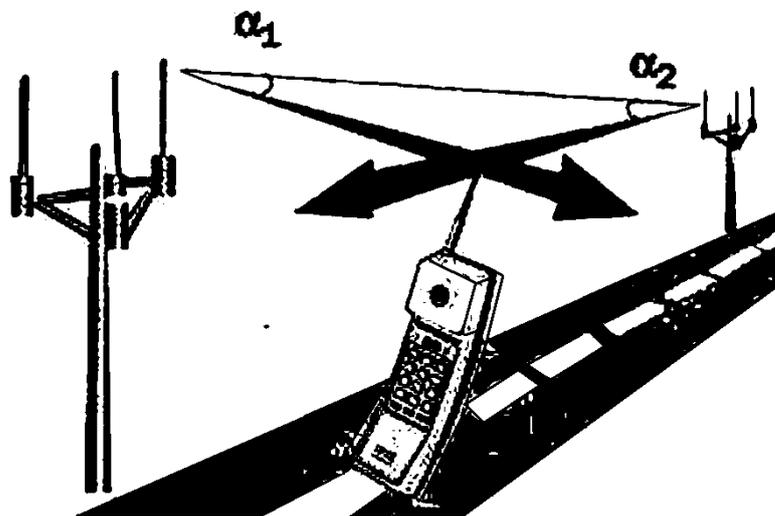


Рисунок 1.2 – Метод, заснований на прийомі сигналу від базових станцій

За здійснення дальномірного методу (рис. 1.2), вимірюваними параметрами є часові затримки $D_1 \cdot t_1$ й $D_2 \cdot t_2$ поширення сигналу радіотелефону абонента не менш, ніж до двох стільникових станцій мережі відносно їхніх часових шкал, що мусять бути синхронізовані між собою, а параметрами, що розраховуються, – дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента [6].

За здійснення різницево-дальномірного методу (рис. 1.3), вимірюваними параметрами є часові затримки $D_1 \cdot t_1$, $D_2 \cdot t_2$ й $D_3 \cdot t_3$ поширення сигналу радіотелефону абонента не менше, ніж до трьох базових станцій

мережі щодо їхніх синхронізованих часових шкал, а параметрами, що розраховуються, – дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента.

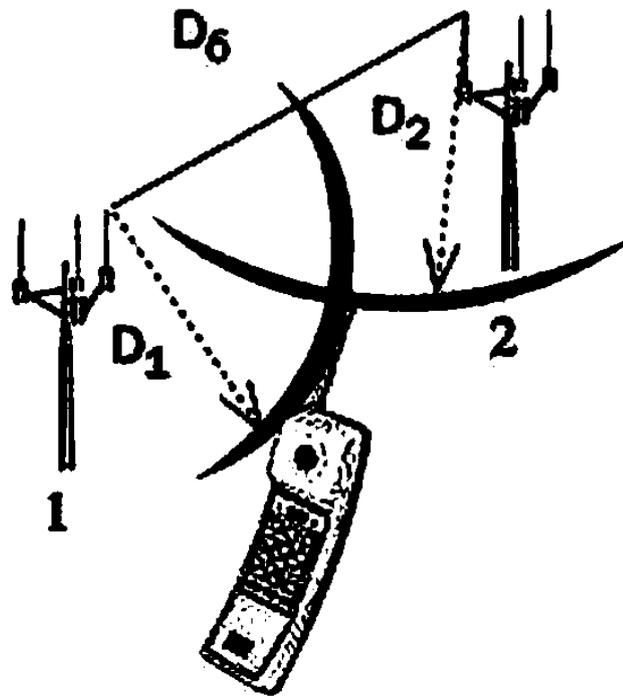


Рисунок 1.3 – Дальномірний метод

При здійсненні даної технології виникає дві проблеми практичного характеру. По-перше, точність визначення напрямку прийому прямопропорційна ширині діаграми спрямованості антени, тобто на приймачі сигналів вимагаються адаптивні й інтелектуальні (smart-antennas) антенні ґратки, а їхня ціна значно перевищує вартість традиційних антен. По-друге, через ефект багатопроменевого поширення радіохвиль не завжди можна відрізнити прямий сигнал мобільної станції від перевідбитих сигналів (рис. 1.4). Виміряна й справжня відстані рідко збігаються, а в деяких випадках, у залежності від топології місцевості, розбіжності можуть бути дуже великими як у місті, так і на відкритій місцевості.

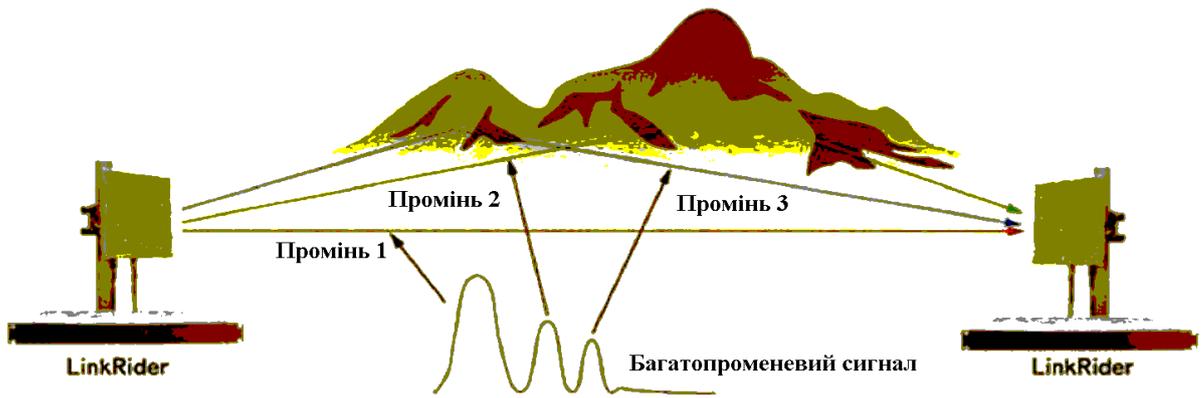


Рисунок 1.4 – Багатопроменеве поширення радіохвиль

Однак інша проблема не є специфічною для даної технології і характерна для більшості технологій визначення місця розташування. Для її усунення використовують різні допоміжні технології, що покликані компенсувати той факт, що радіосигнал рідко доходить до абонента прямою траєкторією і будь-які виконані мобільною станцією чи абонентським устаткуванням вимірювання не показують реальної відстані від нього до базової станції чи навпаки [3].

Як один з варіантів підвищення точності місця розташування, застосовується метод фіксації часу прибуття сигналів з використанням супутникової синхронізації UL-TOA (Uplink TOA). Для забезпечення необхідної точності можлива синхронізація внутрішніх годин мережі за допомоги супутникової системи GPS (Global Positioning System). Усі 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 визначення місця розташування стільникового абонента – радіонавігаційний метод локалізації за допомоги доповненої системи GPS (A-GPS – Assistant GPS). за цього методу процес, коли звичайний приймач GPS обчислює місце розташування, починається зі спроби знайти перший навігаційний супутник, далі – ідентифікації, потім – визначення його положення. Після цього знаходиться наступний тощо. З

кожного супутника завантажуються інформація, виміряні часові затримки і лише потім обчислюється місце розташування даного приймача.

Процес визначення місця розташування може займати від 40 с до декількох хвилин, а також вимагає прямої видимості принаймні трьох супутників. Метод A-GPS поєднує класичну інформацію GPS з географічним програмним забезпеченням і мобільною інформацією мережі. Мережа вказує мобільному телефону, які саме супутники варто шукати. За цього 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 здобувати нові мобільні телефони з вбудованими GPS-приймачами й антеною. Точність позиціонування за використання даного методу значно вище, що обумовлено жорсткою синхронізацією часових шкал всіх елементів системи [3].

Унікальним методом позиціонування мобільних телефонів, що не має аналогів у класичній радіопеленгації, є метод зіставлення образів (сигнатур) місць розташування абонентів (LRM Location Pattern Matching) мобільного абонента, розроблений компанією US Wireless і який використовує технологію аналізу параметрів радіосигналу і характеристик його багатопроменевого поширення. Вимірюючи фазові, часові й амплітудні параметри фрагментів радіосигналу мобільного телефону, відбитого від перешкод (будинків, височин тощо, базова станція оцінює структуру подібного "радіовідбитка" (fingerprint) сигналу й обчислює його "сигнатуру" (signature)). Отримана інформація порівнюється системою зі своєю базою зразків таких "сигнатур", що відповідають різним варіантам розташування мобільного абонента на місцевості. Точності визначення координат стільникового телефону, що досягаються, варіюють у межах від одиниць до сотень метрів [6].

На даний час відомі більше двох десятків систем, що використовують

"інтелектуальні" антени, кут надходження сигналів, різницю часу їхнього надходження, амплітуду сигналів, систему GPS і комбінації цих методів.

Точності визначення координат, що досягаються стільниковим телефоном, варіюють у межах від одиниць до сотень метрів.

Істотним недоліком даних технологій є безпосереднє використання самих базових станцій чи центра комутації для обчислення координат. За цього, інформація про місце розташування видається абоненту з періодом повторення 10-20 сек. Якщо взяти до уваги те, що координати базових станцій відомі, і вони невинно випромінюють інформацію в ефір (причому в кожній станції ця інформація унікальна), то для визначення місця розташування можна використовувати метод, заснований на прийомі сигналів базових станцій для визначення власних координат. Оскільки в даному випадку немає необхідності робити запити на базові станції, на відміну від наведених вище методів, то можна обчислювати своє місце розташування безупинно.

Дана технологія може бути заснована на використанні інформації про напрямок прийому сигналу від базових станцій. Контролер у приймачі сигналів зможе обчислювати власне місце розташування на основі інформації про перетинання ліній напрямку прийому сигналу. Тобто ця технологія вимагає, як мінімум двох базових станцій і приймача обладнаного антенами з вузькою діаграмою спрямованості. Більша кількість використовуваних для розрахунку станцій дасть кращі показники точності [3].

1.3.3 Класифікація систем позиціонування за параметрами радіосигналу

Системи позиціонування можна класифікувати за параметрами радіосигналів, що використовуються для обчислення координат мобільних вузлів (табл. 1.2). На даний час наявні три основні методи вимірювань: АОА,

RSS й TOA (чи TDOA) [7].

Таблиця 1.2 – Системи позиціонування і їхньої 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 чип з ПО в мобільному телефоні
TeleSentinel	KSI Inc. & true	125	<10	-
Sigma-5000	SigmaOne Communication Corp.	90..150	<2	Додаткові фазовані ґрати на базових станціях
Geometrix Allen Telecom	<150	<1	Додаткові фазовані ґратки на базових станціях	
RadioCamera	U.S.Wireless Corp.	50	2	-
Snaptrack	Snaptrack Inc.	3-20		Додатковий чип з ПО в мобільному телефоні
Finder	CellPoint	75	5	Немає даних

В системах AOA (Angle of Arrival) координати мобільних об'єктів розраховуються за гоніометрією. за допомоги спрямованих антен чи набору антен мобільним вузлом вимірюються кути надходження сигналів від стаціонарних вузлів з відомими координатами. за вимірними напрямками

обчислюється координати рухливого об'єкта. Точність цього підходу обмежена можливими затіненнями сигналу на апертурі, що вимірює, а так само через багатопроменеві відбиття сигналу, коли останній може надходити з помилкових напрямків.

Методи TOA (Time Of Arrival) й TDOA (Time Difference Of Arrival) засновано на вимірюванні часу поширення сигналу від передавача до приймача так, щоб на його основі можна було розрахувати відстань між передавачем і приймачем. У методі TOA час поширення обчислюється як різниця часів відправлення сигналу передавачем і надходження сигналу до приймача, для чого потрібно дуже точна синхронізація годин відправника й отримувача.

Метод TDOA більш практичний, оскільки у ньому вимірюється час поширення від передавача до приймача і назад за годинником передавача, тобто не потрібно синхронізації годинників.

У системах RSS розв'язання про координати об'єктів приймається на основі сили прийнятого сигналу RSS (received-signal strength). Одним з використовуваних методів локалізації в таких мережах є Fingerprinting чи локалізація за шаблоном. У даному методі виконується пошук за шаблоном на відповідність поточної сили сигналу наявної в базі даних. Недоліком цього методу є наявність стадії навчання, у якій потрібно багато часу і ресурсів для нагромадження вичерпного набору даних.

Альтернативою методу Fingerprinting виступають різні математичні алгоритми, націлені на максимальну відповідність знятих даних RSS моделі поширення сигналу. Очевидно, що точність цих методів у значній мірі залежить від точності побудови моделі поширення сигналу. Тому часто виникають складності з позиціонуванням у складній або змінній обстановці.

Для створення реальних систем позиціонування, на сьогоднішній день, розроблено й доступно до застосування як ряд бездротових стандартів, так і відповідна елементна база. Одним з таких стандартів є IEEE 802.15.4 [7].

1.4 Безконтактний датчик підрахунку автомобілів Barmashstreet

Світлофорний пристрій регулювання щільності течі Barmashstreet використовує безконтактний датчик для підрахунку автомобілів, що в'їхали на ділянку. Цей монітор встановлюється зверху, над течєю автомобілів, що рухаються. Для цього датчиківі байдуже: проїхав під ним легковий чи вантажний автомобіль. Кожного з них буде розпізнано датчиком як "одна транспортна одиниця". Важливою є кількість одиниць. У випадку установки даного пристрою відпадає необхідність видавати спеціальні, часто юридично недостатньо обґрунтовані обмеження (чи заборони) на в'їзд до центру міста вантажних автомобілів (крім розумінь екології), оскільки тепер наявність вантажних автомобілів на регульованій ділянці не створює додаткових умов для утворення короків.

За наявності розгалуженої мережі ділянок з регульованою щільністю течі можна скласти й опублікувати міську карту таких ділянок із указівкою для кожного з них найбільш сприятливішого часу для проїзду транспорту. Водії зможуть самі (чи за допомоги відповідних комп'ютерних програм) зробити розрахунок і вибір оптимального часу для досягнення кінцевого пункту. Мережа ділянок з регульованою щільністю течі може включатися в роботу тільки на якийсь час, у визначений час доби чи за визначених погодних умов.

В інший час ці ділянки можуть працювати в режимі звичайних світлофорів. На регульовану ділянку допускається тільки така кількість автомобілів, що не перевищує розрахункову пропускну здатність ділянки [8].

Зробимо розбивку всієї дорожньої системи на окремі ділянки.

Оскільки кількість машин і кількість доріг дуже велика, за характеризування кожного з цих об'єктів доцільно перейти до віртуальної системи.

Кожній ділянці привласнюється персональний ідентифікаційний

номер.

Кожній ділянці привласнюється персональне найменування персональний ідентифікаційний номер. Для кожної ділянки мусять бути заздалегідь визначені основні показники (довжина, гранична пропускна здатність). Кожну ділянку в будь-який момент може бути знайдено за допомоги Інтернету і визначено її основні параметри.

Місце перебування кожного автомобіля на ділянці в будь-якій крапці може бути точно визначене за допомоги системи ГЛОНАСС [8].

Кожен автомобіль, крім звичайного номера (для реєстрації в ДАІ), мусить мати офіційно зареєстрований індивідуальний номер в Інтернет, за яким його завжди можна знайти для приймання чи передавання йому необхідної інформації.

Кожен автомобіль має пристрій, що дозволяє здійснювати передавання сигналу в Інтернет, і що дозволяє здійснювати приймання сигналу з Інтернет. Цей пристрій починає працювати за увімкнення двигуна автомобіля. Воно поставляється разом з автомобілем за продажу.

Від автомобіля надходить наступна інформація:

- місцезнаходження автомобіля (визначене, наприклад, за допомоги системи ГЛОНАСС);
- технічні дані автомобіля (марка, зареєстрований номер у ДАІ);
- дані водія;
- швидкість автомобіля на даний момент.

Кожній ділянці раніше було привласнено персональне найменування персональний ідентифікаційний номер.

У будь-який момент на кожній ділянці може бути визначено місцезнаходження будь-якого зареєстрованого в Інтернет автомобіля й визначено його основні параметри.

До світлофора на вході автомобілів на дану ділянку подається інформація: чи не будуть додаткові автомобілі "зайвими" за величиною

пропускної здатності даної ділянки.

Для можливості визначення (для формування) цієї інформації використовується пристрій Barmashstreet, оснащений елементами реєстрації входу, а також автоматичними засобами кількісного обліку транспортних одиниць на даній ділянці, що дозволяє у будь-який момент часу визначати фактичну кількість транспортних засобів на даній ділянці, порівнювати його з припустимою кількістю і робити коректування щільності течії.

Після визначення кількості автомобілів, що ввійшли на дану ділянку, і порівняння з припустимою кількістю, стає зрозумілим: чи можливо на даний момент пропускати на неї додаткові автомобілі чи більше ні, тобто дозволяти подальше світіння для впуску на ділянку зелений сигнал чи світлофора ні.

Усі вищезгадані обмеження стосуються тільки ділянок, на яких можуть утворюватися короки. Інші ділянки не обов'язково мусять включатися в систему. Вони можуть працювати як звичайно.

Транспортна система міста матиме принципово інший характер.

Після установки (упровадження) на дорогах світлофорного пристрою Barmashstreet транспортна система міста матиме принципово інший характер.

На тих дорогах, де буде установлений світлофорний пристрій Barmashstreet, утворення короків неможливо в принципі: пристрій не допустить перевищення кількості машин на ділянці вище граничного значення, обумовленого розрахунковою (проектною) величиною. Зайві машини не пропускатимуться на ділянку. Це забезпечується лічильником кількості машин, що надходять, і пристроєм, що невпинно порівнює загальну кількість машин на ділянці з їхньою допустимою кількістю.

Таким чином, застосування пристрою Barmashstreet у широкому масштабі (для всієї транспортної системи міста) дозволить у місті [8]:

- створити мережу ділянок з регульованою течєю;
- створити і оприлюднити міську карту мережі ділянок, на яких у будь-який час гарантовано відсутність короків;

- створити в майбутньому в місті цілком автоматизовану систему керування рухом автомобільного транспорту;
- можна суто технічними (а не адміністративно-заборонними) заходами розв'язати проблему обмеження в'їзду на територію мегаполіса і його околиць іногороднього транспорту у визначені проміжки часу;
- система автомобільного транспорту великого мегаполіса може бути переведена на керування з єдиного пульта.

Це не призведе до скорочення загальної пропускної здатності міських доріг.

Мережа ділянок з регульованою щільністю течі не призведе до скорочення загальної пропускної здатності міських доріг.

За рахунок відсутності короків і збільшення кількості ділянок, здатних працювати в режимі "зелена хвиля", середня швидкість руху автомобілів збільшиться і може наблизитися до максимально припустимої швидкості для міських умов. Це істотно підвищує продуктивність доріг. Використання режиму "зелена хвиля" поліпшує екологію міста. Ризик від експериментального впровадження пристрою - мінімальний (чи зводиться до нуля). Упровадження здійснюється з використанням працюючих зараз світлофорів. За підключення до них даного 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 і використання систем супутникового позиціонування, тобто впливають недоліки, описані раніше.

1.5 Система керування рухом з відеокамерами

Наявність у системі регулювання руху дорожнього транспорту

відеокамер, що приймають зображення дорожнього транспорту, дозволяє отримати повну картину обстановки на проїзній частині, що дуже важливо для оцінки ситуації на перехрестях і пішохідних переходах, особливо в місцях установки світлофорів, що затримують рух дорожнього транспорту.

На рисунку 1.5 наведено систему регулювання руху дорожнього транспорту. Вона містить мультимедійний центральний комп'ютер 1, що має електричний зв'язок з відеокамерами 2, службовцями для контролю руху транспортних засобів 3. Абоненти, що користуються послугами цієї системи, забезпечені приймачами сигналів від центрального комп'ютера 1, виконаними у вигляді мультимедійного персонального комп'ютера 4, спеціалізованого на візуальне відтворення інформації про ситуацію на проїзній частині за допомогою наявного в них монітора. Передавання сигналів персональним комп'ютерам 4 здійснюється за допомоги радіозв'язку 5 за допомоги передавача, а саме – радіостанції 6, розташованої на міській території 7. Розташована на цій території проїжджа частина 8 служить для переміщення нею автомобілів 9 абонентів. У цих автомобілях знаходяться спеціалізовані персональні комп'ютери 4, що мають засоби для приймання сигналів від центрального комп'ютера 1 і передавання сигналів 10 на станцію спостереження за рухом дорожнього транспорту для визначення місцезнаходження автомобілів абонентів за допомоги автомобільних супутникових навігаторів чи шляхом радіопеленгації.

Отримувані персональними комп'ютерами 4 сигнали служать для інформування абонентів про ситуацію на ділянках 11 проїзної частини, якими прокладено маршрут руху автомобіля 9, що належить абоненту.

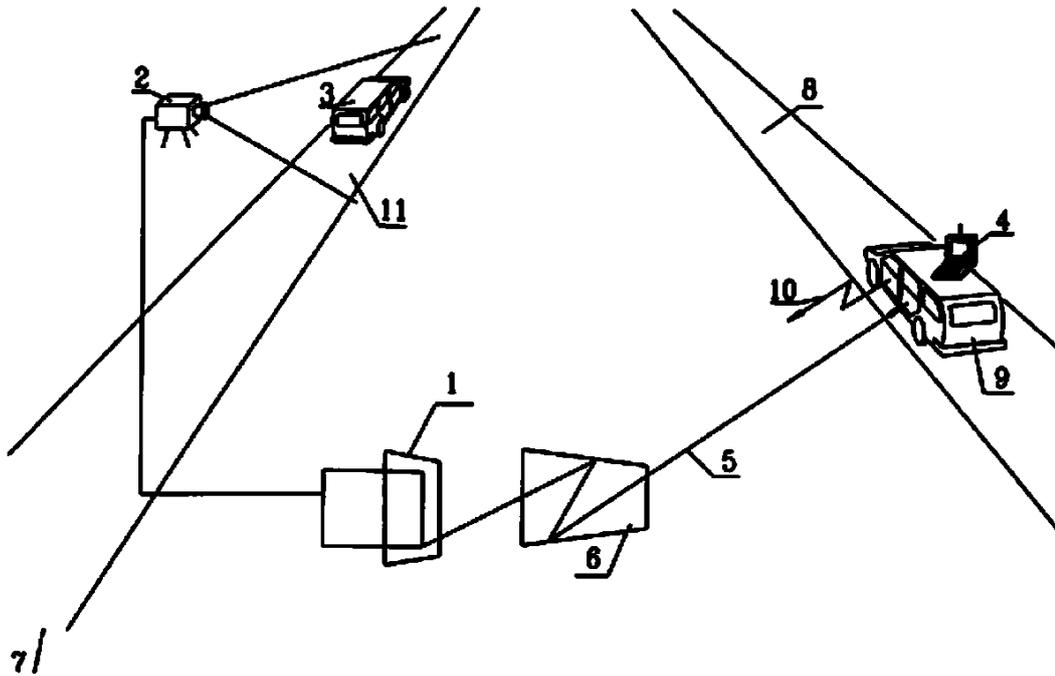


Рисунок 1.5 – Система регулювання руху дорожнього транспорту

1.6 Активна система керування рухом

Активна система керування рухом працює на інших принципах, що використовують центральний пункт (ЦП) і приймальні пункти (ПП). Рухомі об'єкти (РО) виконують здатними приймати керівний сигнал (КС) і приймати й передавати широкосмуговий сигнал (ШС), а ПП виконують здатними передавати і приймати ШС.

Індивідуальним кодом (ІК) для кожного РО забезпечують сигнал про стан РО і КС. Приймають КС РО, і за збігу ІК КС і ІК РО, а також в умовах вільності радіоканалу на першій радіочастоті для ПП і ЦП передають на сигнал про стан РО на ЦП, а при розбіжності ІК КС і ІК РО, а також за зайнятого радіоканалу на першій радіочастоті для ПП і ЦП припиняють передавання на першій радіочастоті сигналу про стан РО на ЦП. Приймають сигнал про стан РО на ЦП і формують сигнал підтвердження (СП) і КС, що

забезпечують ІК і кодом-ознакою визначення координат. Випромінюють на першій радіочастоті й приймають СП і КС на усіх РО і, щонайменше, у трьох ПП. Припиняють передавання від РО за приймання СП сигналу про стан РО на ЦП, за приймання згаданого КС формують фазоманіпульований сигнал (ФМС) із широким спектром. Випромінюють послідовно в часі 30 ФМС кожним приймальним пунктом. Приймають ФМС РО і перетворюють його у ФМС з іншою центральною частотою. Ретранслюють від РО ФМС до ПП.

Приймають ФМС у ПП, кореляційно обробляють випромений і прийнятий ФМС і вимірюють у кожному з ПП час затримки сигналу з мінімальним часом затримки. Формують у ПП сигнали, що відповідають часам затримок, і передають їх послідовно в часі на іншій радіочастоті від ПП у ЦП для обчислення дальності від ПП до РО шляхом дальномірного методу місця розташування [6].

Система (рис. 1.6) містить центральний пункт (ЦП) 1, N приймальних пунктів (ПП) 2. N ($n = 1..N$) й M рухомих об'єктів (РО) 3. M ($m = 1..M$).

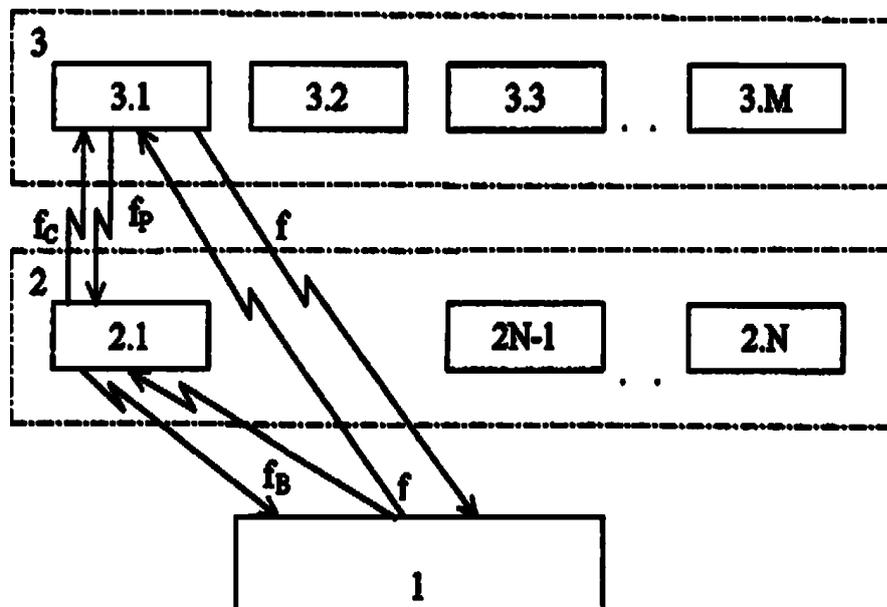


Рисунок 1.6 – Структурна блок-схема системи

Спосіб виявлення й ідентифікації рухомих об'єктів полягає в тому, що передають на першій радіочастоті від рухливого об'єкта сигнал про стан рухливого об'єкта, забезпечений індивідуальним кодом для кожного рухливого об'єкта, приймають сигнал від об'єкта, щонайменше, у трьох приймальних пунктах, просторово рознесених на місцевості й з відомими координатами. Далі вони обробляють сигнал у приймальних пунктах для вимірювання часу затримки надходження сигналу до приймальних пунктів, випромінюють послідовно в часі на першій радіочастоті керівний сигнал від центрального пункту для забезпечення послідовного зняття в часі інформації з приймальних пунктів. А також приймають керівний сигнал на першій радіочастоті в приймальних пунктах і передають сигнали від приймальних пунктів на другій радіочастоті до центрального пункту для обчислення дальності від приймальних пунктів до рухливого об'єкта.

Рухомі об'єкти виконують здатними приймати керівний сигнал і приймати й передавати широкосмуговий сигнал, а приймальні пункти виконують здатними передавати і приймати широкосмуговий сигнал. Вони передають на першій радіочастоті від рухливого об'єкта сигнал про стан рухливого об'єкта, додатково забезпечений кодом-ознакою стану. Також, додатково:

- приймають сигнал про стан рухливого об'єкта в інших рухомих об'єктах і блокують їхню передачу сигналів про стан рухомих об'єктів;
- приймають сигнал про стан від рухливого об'єкта на центральному пункті, за приймання сигналу про стан рухливого об'єкта в центральному пункті блокують передачу їм на першій радіочастоті сигналів рухливим об'єктам і приймальним пунктам;
- формують у центральному пункті сигнал підтвердження, забезпечений індивідуальним кодом рухливого об'єкта, і керівний сигнал, що додатково забезпечують кодом-ознакою визначення координат;
- випромінюють центральним пунктом сигнал підтвердження і

керівний сигнал на першій радіочастоті;

– приймають на першій радіочастоті сигнал підтвердження і керівний сигнал на всіх рухомих об'єктах і, щонайменше, у трьох приймальних пунктах, за приймання сигналу підтвердження на рухливому об'єкті, що передав сигнал про стан рухливого об'єкта;

– припиняють передавання сигналу про стан цього рухливого об'єкта, а за приймання керівного сигналу іншими рухливими об'єктами після закінчення керівного сигналу розблоковують їхнє передавання сигналів про стан рухомих об'єктів;

– за приймання керівного сигналу до приймальних пунктах формують фазоманіпульований сигнал із широким спектром і з першою центральною частотою, відмінною від першої радіочастоти і другої радіочастоти;

– додатково випромінюють послідовно в часі фазоманіпульований сигнал кожним приймальним пунктом;

– приймають фазоманіпульований сигнал рухливим об'єктом, що передав сигнал про стан рухливого об'єкта, і перетворюють його на фазоманіпульований сигнал з іншою центральною частотою, відмінною від першої центральної частоти, від першої радіочастоти, від другої радіочастоти і зі збереженням спектра фазоманіпульованого сигналу з першою центральною частотою, ретранслюють рухливим об'єктом фазоманіпульований сигнал із другою центральною частотою;

– приймають фазоманіпульований сигнал із другою центральною частотою, щонайменше, у трьох приймальних пунктах, що раніше випромінювали фазоманіпульований сигнал з першою центральною частотою;

– кореляційно обробляють у приймальних пунктах на одній проміжній частоті випромінений і прийнятий фазоманіпульовані сигнали і вимірюють у кожному з приймальних пунктів час затримки сигналу з мінімальним часом затримки;

– формують у приймальних пунктах сигнали, що відповідають часам затримок, і передають їх послідовно в часі на другій радіочастоті від приймальних пунктів до центрального пункту для обчислення дальності від приймальних пунктів до об'єкта шляхом дальномірного методу місця розташування [0].

1.7 Мета й задачі магістерської роботи

Метою роботи є розробка ZigBee-системи фіксації рухомих об'єктів, визначення місця розташування рухомих об'єктів і звільнення центральних вулиць від великого скупчення шляхово-транспортних засобів.

Для цього необхідно:

- дослідити наявні системи для визначення місця розташування на дорогах;
- проаналізувати наявні пристрої для розв'язання поставленої мети;
- розробити аналітичну модель поширення сигналу руху рухомих об'єктів;
- розрахувати параметри системи;
- надати здійснення пропонованої системи.

2 СТАНДАРТ IEEE 802.15.4

2.1 Загальні відомості

Бездротові мережі на базі стандарту IEEE 802.15.4 є альтернативою дротовим з'єднанням у розподілених системах моніторингу і керування. Вони відрізняються більш гнучкою архітектурою, вимагають менших витрат на їхню установку й визиск.

Технологія ZigBee зайняла нішу радіоінтерфейсів для низькошвидкісних додатків із у край малим енергоспоживанням, де використовувалися або технології з більш високими експлуатаційними характеристиками і з високим енергоспоживанням, або розв'язання, що базуються на мікросхемах радіотрансиверів різних виробників, що не відносяться до жодного з поширених стандартів. Стандарти Bluetooth, WiFi відмінно підходять для передавання великих обсягів інформації (голосу, даних, відео) з високою швидкістю і з дальністю передачі від 10 до 100 метрів. Пристрої на їхній основі здатні працювати в автономному режимі (від батарей і акумуляторів).

Усе це дозволяє замінити дротові з'єднання в таких системах як комп'ютерні й розважальні системи, обчислювальні мережі тощо. Проте, наявна величезна купа систем (різноманітні датчики, системи контролю і збору інформації тощо), що володіють особливою специфікою (невеликі обсяги переданої інформації, мале енергоспоживання, простота установки й обслуговування, велика кількість вузлів мережі тощо), унаслідок чого в такого роду додатках неможливо з 100% ефективністю використовувати згадані технології. Саме на здійснення подібних задач націлено 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 стека малих обсягів.

Стандарт дозволяє створювати мережі з багатокомірковою топологією, обслуговувати в такий спосіб дуже велике число вузлів і збільшувати дальність зв'язку без додаткових витрат на підсилувачі потужності.

2.2 Опис моделі OSI мережі ZigBee

Родину стандартів IEEE 802.15 призначено для організації бездротових персональних мереж (Wireless Personal Area Networks, WPANs), відмінною рисою яких є невеликий радіус дії мережних пристроїв. Усі вони описують два нижніх рівні протоколів моделі взаємодії відкритих систем (Open System Interconnection, OSI):

- фізичний (PHysical Layer, PHY);
- рівень доступу до середовища передавання (Medium Access Control, MAC) [1].

ZigBee – назва набору мережних протоколів верхнього рівня, що використовують малопотужні радіопередавачі стандарту IEEE 802.15.4.

ZigBee-пристрій більшу частину часу знаходиться в сплячому режимі, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей. За цього воно може активуватися (тобто переходити від сплячого режиму до активного) за 15 мс [1].

Мережа ZigBee – це розподілена мережа безлічі датчиків (сенсорів) і виконавчих пристроїв, що самоорганізується, об'єднаних між собою за допомоги радіоканалу. Область покриття подібної мережі може складати від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок 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 допомоги якої можна розв'язати задачі моніторингу і контролю. Об'єднані в бездротову сенсорну мережу, датчики утворюють територіально-розподілену систему збирання, що самоорганізується, обробки й передачі інформації. ZigBee, як і Bluetooth, використовує неліцензований діапазон 2,4 ГГц.

Даний стандарт передбачає, окрім використання даної частоти, у Європі й у США – 868 МГц й 915 МГц. Діапазон 2,4 ГГц розділено на 11..26 каналів шириною 5 МГц кожен [2].

У таблиці 2.1 наведено модель OSI мережі ZigBee [1], яка містить:

- фізичний рівень (PHY);
- каналний рівень;
- мережний рівень NWK (NetWork);
- рівень додатків APL.

Таблиця 2.1 – Модель OSI мережі ZigBee

Номер рівня	Модель OSI	Мережа
7	Прикладний	APL (APS, ZDO, Application Objects) ZigBee
6	Рівень подання	–
5	Сеансовий	–
4	Транспортний	–
3	Мережний	NWK ZigBee
2	Канальний (передачі даних)	LLC IEEE 802.15.4 SSCS IEEE 802.15.4 MAC IEEE 802.15.4
1	Фізичний PHY	IEEE 802.15.4

Канальний рівень складається з підрівня доступу до середовища передавання MAC й LLC, що визначається стандартом IEEE 802.15.4. Рівень додатків складається з підрівня підтримки додатків (Application Support sub-layer – APS), і підрівня об'єктів пристроїв ZigBee (ZigBee Device Object – ZDO) і об'єктів Application Objects, що визначаються виготовлювачем ZigBee-пристроїв. Фізичний і канальний рівень моделі OSI ZigBee визначені в стандарті 802.15.4. Призначенням фізичного рівня є прийом і передача даних через радіоканал.

Також на даному рівні відбувається вимірювання потужності радіосигналу, оцінка якості зв'язку й чистоти каналу, здійснюється вибір каналу. У таблиці 2.1 наведено основні характеристики даних рівнів [4].

Швидкість передачі даних по стандарті IEEE 802.15.4 ZigBee може становити до 250 кбіт/с. У таблиці 2.2 наведено основні параметри зв'язку мережі ZigBee [1].

Таблиця 2.2 – Основні параметри зв'язку мережі ZigBee

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

Стандарт IEEE 802.15.4 використовує модуляцію OQPSK (Offset-Quadrature Phase-Shift Keying – зсунута квадратурна фазова маніпуляція). Стандарт дозволяє використовувати суперфреймову структуру повідомлення з гарантованими часовими слотами [1].

Суперфрейм посилається мережним координатором; поділяється на 16 рівних за довжиною слотів й обмежується маячками. Маячок розташовується на місці першого слота кожного суперфрейму і потрібний для синхронізації приєднаних пристроїв, для ідентифікації мережі. У випадку необхідності, координатор мережі може відключити режим повідомлень з маячками. Для передавання даних використовується слотовий механізм доступу CSMA/CA. Передача повідомлень мусить бути закінчена до надходження наступного маячка.

Стандарт IEEE 802.15 установлює два механізми доступу до каналу CSMA/CA у залежності від конфігурації мережі.

У мережі без маячків використовується безслотовий механізм доступу [5]. Даний метод полягає в тому, що щораз як пристрій збирається почати передачу, він витримує паузу випадкової тривалості. Випадкова затримка дозволяє виключити можливість одночасної передачі повідомлення. У випадку, якщо канал зайнятий, то пристрій повторює спробу передавання після повторної випадкової затримки. Фрейми підтвердження про отримання надсилаються відразу, без даного алгоритму.

У мережі, в якій використовуються маячки, застосовується слотовий (тактований) механізм доступу CSMA/CA: початок слота для кожного пристрою мусить бути синхронізованим з початком передачі маячка мережним координатором. Маячки розсилаються тільки мережним координатором, у такий спосіб мережний координатор за допомоги маячків виконує тактування актів обміну в усій мережі [5].

Мережний координатор може зарезервувати частину суперфрейму для пристроїв, які вимагають термінової доставки чи більшої пропускну

здатності каналу. У даному суперфреймі буде відсутня конкуренція за канал, оскільки у цей час координатор забороняє будь-яку передачу всім іншим пристроям.

Модель OSI для мережі ZigBee описується на наступних рівнях [5]:

- каналному;
- мережному;
- прикладному.

На каналному рівні, підрівень зближення специфічних сервісів SSCS виконує роль інтерфейсу між підрівнями LLC і MAC. На підрівні MAC використовується множинний метод доступу з контролем носійної CSMA/CA. Даний підрівень також відповідає за передавання маячкових фреймів і синхронізацію пристроїв мережі.

У таблиці 2.3 наведено рівні моделі OSI ZigBee і основні їхні функції.

2.3 Формування мережі ZigBee

Для формування мережі перший вузол, який виконує функції координації, починає формувати мережу і є координатором мережі PAN.

Коли інший вузол хоче приєднатися до PAN-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 (батьківському вузлу). Він може залишити мережу після отримання відповіді "видалення". Більш того, вузол, що залишає мережу, мусить видалити всі зв'язки з іншими вузлами мережі, якщо він має дочірні вузли [1].

Для організації нової мережі ZigBee мають три типи пристроїв:

- координатор формує топологію мережі й встановлює з'єднання з іншими мережами (у кожній ZigBee-мережі маєтись тільки один координатор);

- маршрутизатор необхідний як проміжна ланка, передає в потрібному напрямку дані від інших пристроїв;
- кінцевий пристрій передає дані чи координатору маршрутизатору і не може зв'язуватися з подібними йому пристроями.

Таблиця 2.3 – Функції рівнів моделі OSI ZigBee

Рівень моделі OSI	Підрівень	Функції
Фізичний рівень (PHY)	-	Радіоканал 2,4 ГГц
Канальний рівень	MAC	Керує доступом до радіоканалу, за цього використовується метод доступу CSMA/CA. Даний підрівень також відповідає за передавання маячкових фреймів, синхронізацію.
	SSCS	Service Specific Convergence Sublayer (підрівень зближення специфічних сервісів) виконує роль інтерфейсу між підрівнями LLC і MAC.
Мережний рівень NWK	LLC	Виконує зв'язок мережного рівня з рівнем MAC. Необхідний для забезпечення наступних функцій: <ul style="list-style-type: none"> – безпека за передавання фреймів даних; – визначення нового пристрою в мережі й реєстрацію його в ній; також виконує виключення пристрою з мережі. – зазначування маршруту фрейму до місця призначення; – визначення маршрутів між пристроями мережі; – виявлення в мережі сусідніх пристроїв; – запам'ятовування інформації про сусідні вузли.

Продовження таблиці 2.3

Рівень моделі OSI	Підрівень Функції	
Прикладний рівень	додатків APS	Забезпечує: – роботу таблиць для зв'язування пристроїв мережі на основі інформації про необхідність і можливість зв'язування; – передавання повідомлень між зв'язаними пристроями; – визначення групової адреси пристроїв, видалення і фільтрацію повідомлень із груповими адресами; – фрагментацію, перекомпонування і транспортування даних.
	ZDO	Виконує наступні дії: – визначає чи є пристрій координатором, маршрутизатором чи кінцевим пристроєм; – ініціює запит на з'єднання; – забезпечує захист інформації; – здійснює виявлення пристроїв у мережі з метою визначення який сервіс вони надають.

За організацію нової мережі й призначення адрес новим пристроям відповідає мережний рівень NWK.

У специфікації стандарту IEEE 802.15.4 визначається можливість трьох типів передавання даних [2]:

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

У випадку, якщо пристрій збирається передати дані координатору, він виконує пошук маячка. Коли його знайдено, даний вузол підлаштовується до структури суперфрейму. Використовуючи слотовий механізм CSMA/CA,

пристрій передає дані координатору. У відповідь координатор відсилає фрейм повідомлення про отримання. Цикл обміну закінчується.

Структура фрейму забезпечує надійну передачу. Побудований відповідно до моделі OSI, кожен наступний рівень додає до протоколу свій заголовок. Стандарт передбачає чотири типи фреймів [3]:

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

Фрейм даних (табл. 2.4) використовує для синхронізації преамбулу і поле "Початок". Поле "Довжина" містить довжину поля МАС підрівня в 8-бітових байтах (октетах). Службову інформацію про керування фреймами містить поле "Керування". Інформацію про порядковий номер даних містить поле "Номер", адресну інформацію, а саме: 16-бітний короткий чи 64-бітний розширений містить поле "Адреса". Фрейм завершується полем контрольної суми КС.

Таблиця 2.4 – Формат фрейму даних протоколу ZigBee

		Поля МАС					
Преамбула	Початок	Довжина	Керування	Номер	Адреса	Дані	Дані
4 байта	1 байт	1 байт	2 байта	1 байт	4..20 байт	N байт	2 байта

Пакет даних складається з деякої кількості бітів переданих у визначеному форматі. Приймач мусить мати механізм визначення помилок за відновлення вихідного повідомлення. IEEE 802.15.4 використовує 16-бітну перевірку кадру (FCS) на основі надлишкового циклічного коду (CRC) для виявлення можливих помилок у пакеті даних. За цього, мережа може вибрати для використання 16-бітну чи 64-бітну адресацію.

Топологія ZigBee мережі може мати форму [1]:

- зірки (див. малюнок 2.2);
- дерева (див. малюнок 2.3);
- комірчаста мережа (рис. 2.1).

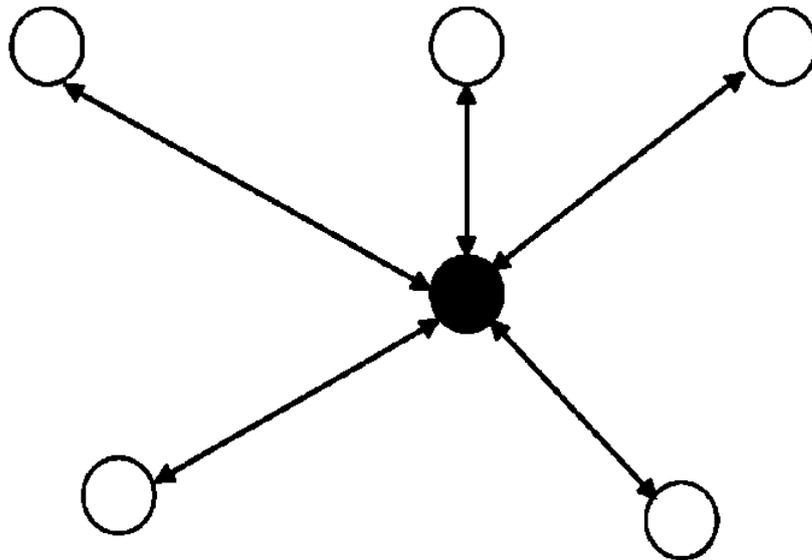


Рисунок 2.1 – Топологія мережі типу "зірка"

У топології типу "зірка" мережа контролюється координатором. За цього, він відповідає за ініціалізацію й обслуговування мережних пристроїв і всіх кінцевих пристроїв, що безпосередньо взаємодіють з ним. Усі мережі зоряної топології функціонують незалежно одна від іншої. Мережний ідентифікатор не використовується іншими мережами, що знаходяться в межах радіуса дії даної мережі (рис. 2.1).

У деревоподібній структурі (рис. 2.2) й комірчастій (рис. 2.3) мережі координатор відповідає за організацію мережі й вибір деяких ключових параметрів, але мережа може бути розширена за допомоги ZigBee маршрутизаторів. У мережі з деревоподібною топологією маршрутизатори переміщують дані й керівні повідомлення мережею, використовуючи ієрархічну стратегію маршрутизації. Деревоподібні мережі можуть

використовувати маячкову стратегію маршрутизації.

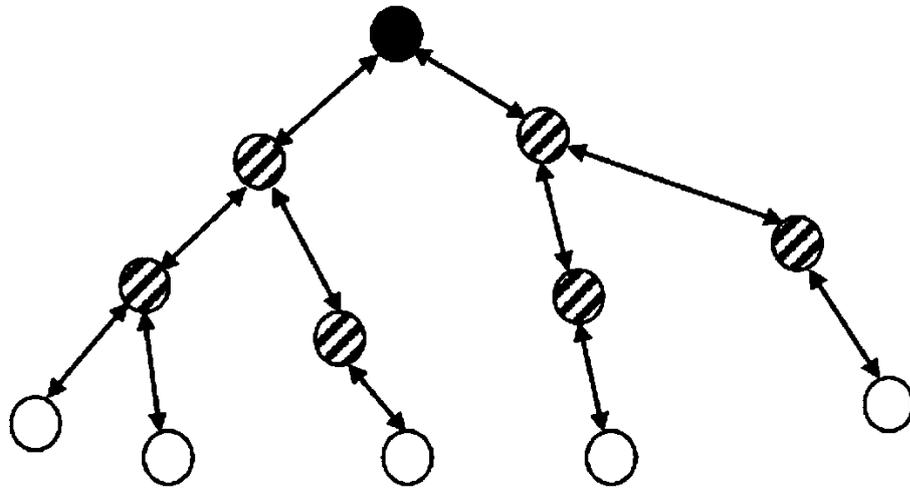


Рисунок 2.2 – Деревоподібна топологія мережі

Комірчаста мережа – це однорангова комунікація пристроїв. У даній мережі немає пристроїв різних рангів (усі пристрої рівноправні). Кілька мереж можуть взаємодіяти одна з одною. Для цього кожна мережа має унікальний мережний ідентифікатор. У такий спосіб повна адреса пристрою для доступу з іншої мережі складається з адреси мережі й 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 як ретранслятори (рис. 2.3).

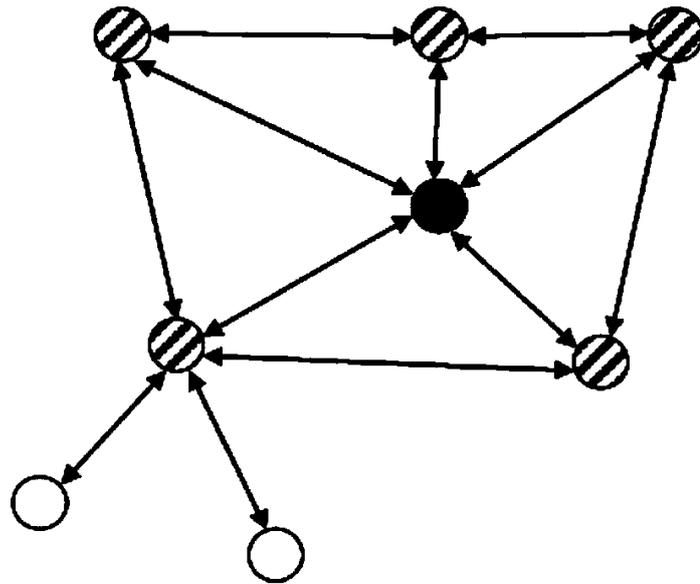


Рисунок 2.3 – Комірчаста (mesh) топологія мережі

Для побудови бездротової мережі (наприклад, мережа з топологією "зірка") на основі технології ZigBee, розробникові необхідно придбати принаймні один мережний координатор і необхідну кількість кінцевих пристроїв. За планування мережі варто враховувати, що максимальна кількість активних кінцевих пристроїв, приєднаних до мережного координатора, не мусить перевищувати 240. Крім того, необхідно придбати у виробника ZigBee-чипів програмні засоби для розробки, налаштування мережі й створення користувальницьких додатків і профілів.

Практично усі виробники ZigBee-чипів пропонують на ринку цілу лінійку продукції, що відрізняється, як правило, тільки обсягом пам'яті ROM й RAM. Наприклад, чип з 128 кБ ROM й 8 кБ RAM може бути запрограмовано на роботу як координатора, так маршрутизатора, а також й кінцевого пристрою [3].

Перелічимо додатки, у які може бути інтегровано технологію ZigBee:

- система моніторингу на завантажених шосе;
- системи перемикання світлофорів на перехрестах за великого скупчення машин.

2.4 Методи доступу до каналу зв'язку

Існує два методи доступу до каналу зв'язку у мережах за стандарти IEEE 802.15.4 [1]:

- метод конкуренції;
- метод доступу без конкуренції.

За використання методу на основі конкуренції між пристроями за передавання сигналу (access contention) усі 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 за передавання сигналу координатор PAN визначає гарантований часовий інтервал для кожного пристрою. І вони починають передавання без механізму CSMA-CA. Для забезпечення гарантованого часового інтервалу PAN-координатор мусить бути упевнений, що всі пристрої мережі синхронізовані. Для цього використовуються повідомлення у виді маячків: вони синхронізують час передавання даних усіх пристроїв.

Недоліком даного методу є те, що всі пристрої мережі ZigBee мусять входити до режиму "сну" для прослуховування каналу зв'язку з метою отримання маяка синхронізації. Тому час автономної роботи мережі з маяками – менше, ніж у мережі, що використовує метод CSMA/CA.

Стандарт IEEE 802.15.4 передбачає множинний доступ із запобіганням колізій (CSMA/CA) для того, щоб дозволити декільком пристроям використовувати один і той самий частотний канал. За цього методу, коли пристрій хоче передати дані каналом зв'язку, у першу чергу виконується оцінка стану каналу для визначення використання його іншими пристроями. Тільки після цього пристрій може почати передачу даних. Розв'язання про те, є канал вільним чи зайнятим, ґрунтується на вимірюванні спектральної енергії на частоті каналу чи визначення типу сигналу, що займає дану

частоту.

На першому кроці механізму множинного доступу, до каналу зв'язку з запобіганням колізій (CSMA/CA), на MAC рівні посиляється запит до фізичного рівня РНУ для виконання оцінки вільного каналу для того, щоб переконатися, що канал не використовується іншими пристроями. Оцінка стану каналу – частина сервісу, наданого на фізичному рівні. За процедури оцінки стану каналу, в результаті визначення енергетичного рівня чи потужності сигналу, розв'язується питання про те вільний чи зайнятий даний канал зв'язку.

Наявні три режими оцінки стану каналу. відповідно до стандарту IEEE 802.15.4, на фізичному рівні мусить бути можливо використовувати будь який з них [1]:

- у першому режимі, за оцінювання стану каналу враховується тільки визначення енергетичного рівня: якщо він вище порога визначеного значення, то він вважається зайнятим (даний поріг енергетичного рівня може бути встановлено заводом-виготовлювачем);

- другий режим використовує контроль носійної (CS);

- третій режим є комбінацією першого й другого режимів.

У випадку, якщо канал зайнятий, пристрій робить відтермінування передавання на довільний період часу і знову робить оцінку стану каналу.

Випадкові відтермінування здійснюються доти, доки канал не звільниться чи пристрій не досягне максимальної кількості можливих відтермінувань. Можливість сканування каналу зв'язку в системі ZigBee забезпечується на MAC і NWK рівнях [6]. Сканування каналів надає інформацію про діяльність вузлів ZigBee у персональному робочому просторі пристрою.

Наявні чотири типи сканування каналів [1]:

- а) сканування енергетичного рівня;

- б) сканування не приєднаного вузла;

- в) активне сканування;
- г) пасивне сканування.

Енергія рівня кожного каналу визначається використанням сервісу визначення енергії. За сканування не приєднаного вузла відбувається пошук РАН координатора, до якого він у даний момент відноситься. За сканування не приєднаного вузла, MLME відправляє повідомлення до координатора кожним каналом й чекає на команди перелаштовування від координатора. Якщо пристрій отримує команду перелаштовування то він припиняє сканування, відключивши свого приймача. У протилежному випадку, пристрій продовжуватиме звертатись до наступного каналу за списком.

За пасивного сканування, на відміну від активного виду, запиту у вигляді передавання маяка – відсутній. MLME дозволяє приймачеві відразу після отримання запиту на сканування почати запис отримуваної інформації. Але за активного сканування, MLME надсилає запит маяка. На додаток до передавання маячків, є ще випадок, за якого пристрій ZigBee отримує доступ до каналу без використання алгоритму CSMA-CA. За цього способу 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 схованих вузлів [1]. Якщо відстань між двома вузлами занадто велика і вони не мають можливість приймати сигнали один від одного, однак обидва вузли можуть взаємодіяти з одним і тим самим вузлом. Від кожного вузла передана потужність сигналу зменшується за збільшенням відстані. Тоді у випадку, якщо один із двох вузлів, наприклад вузол А, передає дані, другий – вузол Б, визначає канал вільним, тому що рівень сигналу, що вимірюється його приймачем – низький. І якщо другий вузол Б захоче передавати дані й також визначить, що канал – вільний, то обидва вузли можуть почати передавання повідомлення на той самий вузол В одночасно, внаслідок чого може виникнути колізія (рис. 2.4).

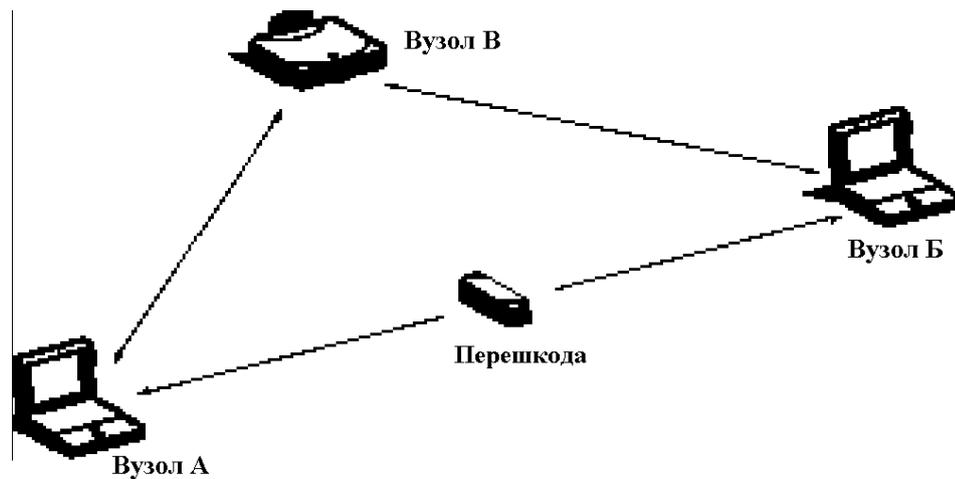


Рисунок 2.4 – Проблема схованого вузла

Одним з можливих методів подолання даної проблеми – це планування розташування вузлів й збільшення вихідної потужності. У цьому випадку вузли А й Б зможуть визначити сигнали один одного.

Може виникнути ще одна істотна проблема при передаванні даних методом CSMA-CA між декількома парами вузлів ZigBee. У випадку, 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 передаванню даних від вузла В. Вузли А й Г знаходяться поза зони радіуса дії один одного і колізія за одночасного передавання даних вузлів В й Г виникнути не може (рис. 2.5).

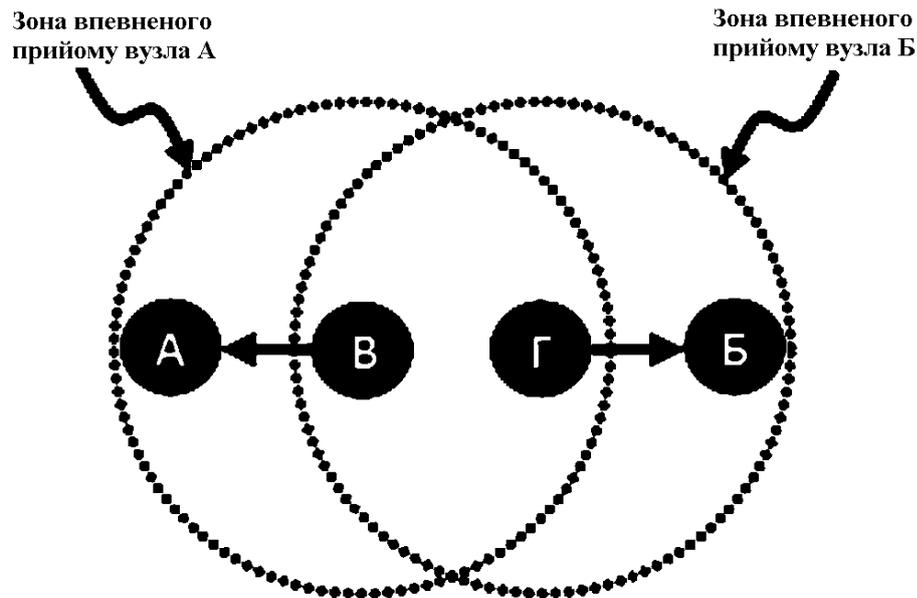


Рисунок 2.5 – Зона дії вузлів

Коли пристрій планує передати дані, він спочатку переходить до режиму виявлення й оцінювання рівня енергії в необхідному каналі. Ця функція називається визначенням енергії. Приймач не намагається визначити тип сигналу, а тільки енергетичний рівень сигналу. Тобто, чи займає сигнал потрібну смугу частот. Процедура визначення рівня енергії може не виявити слабкі сигнали, коли їхній 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 чутливістю приймача й необхідним енергетичним рівнем прийнятого повідомлення [1].

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, що визначає повну енергію прийнятого сигналу [1].

Співвідношення необхідної енергії сигналу до загальної внутрішньосмугової енергії шуму (SNR) також дозволяє оцінити якість сигналу. Більш високе значення показника SNR призводить до більш низької

імовірності 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 прийнятого сигналу, так й коефіцієнт SNR [1].

Вимірювання за допомоги індикатора якості каналу (LQI) виконуються для кожного прийнятого пакета. Значення показника LQI повідомляється на рівень MAC і доступна для NWK й APL рівнів для будь-якого типу аналізу. NWK рівень може використовувати в звітності рівні LQI із пристроїв у мережі для визначення шляху, який використовуватиметься для маршрутизації повідомлення. Загалом, шлях, що має найвище значення LQI, має більше шансів доставляти повідомлення до пункту призначення. LQI є лише одним з факторів розв'язання за вибору для прокладання шляху повідомлення.

3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Загальні питання

Для здійснення ZigBEE системи для фіксації рухливого об'єкта на дорозі, необхідно:

- розрахувати енергетичну дальність системи, оскільки якість зв'язку прямо залежить від параметрів системи;
- визначити, на якій відстані передавач здатний реагувати на присутність у своїй зоні приймача;
- розробити технологію фіксації автомобілів.

Потрібна технологія ґрунтуватиметься на встановлення декількох антен: за допомоги діаграми спрямованості цих антен здійснюватиметься оцінювання запізнювання сигналу за рахунок зміни розташування антен одна відносно одної. Це дозволить визначити час, необхідний для зчитування ZigBEE системою автомобіля, що пересувається, у якому знаходитиметься приймач. Зважаючи на те, що антени будуть установлені на стовпах, розташованих біля проїзної частини, це дозволить приймати інформацію про ті ж автомобілі, що рухаються.

Ґрунтуючись на енергетичній дальності зв'язку, потрібно також визначити можливість зв'язку у дальній зоні поля і обчислити необхідну для цього потужності передавача.

3.2 Розрахунок енергетичної дальності системи

За розрахунку параметрів ZigBEE-антени, головним параметром, який необхідно визначити, є відстань зчитування (x). Для отримання цього параметра так само необхідно визначити проміжні змінні.

Для системи, що проектується й мусить бути розгорнутою на шосе для фіксації об'єктів, відповідно до ТЗ, 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 $d = d_1 = d_2 = 0,005$ м;
- радіус антени передавача $r_1 = 0,08$ м;
- радіус антени приймача $r_2 = 0,05$ м;
- робоча частота $f = 2,4$ ГГц.

Розрахуємо напруженість магнітного поля.

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

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

Тоді:

$$H_1 = \frac{I \cdot N \cdot r_1^2}{2 \cdot \sqrt{(r_1^2)^3}} = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,08^2}{2 \cdot \sqrt{(0,08^2)^3}} = 0,168 \text{ A/m},$$

$$H_2 = \frac{I \cdot N \cdot r_2^2}{2 \cdot \sqrt{(r_2^2)^3}} = \frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,05^2}{2 \cdot \sqrt{(0,05^2)^3}} = 0,269 \text{ A/m}.$$

Розрахуємо площу поверхні котушки приймача. Оскільки одновиткова антена має вигляд кола, то її площа:

$$A = \pi \cdot r_2^2 = \pi \cdot 0,05^2 = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2. \quad (3.2)$$

Розрахуємо індуктивності витків котушки [7]:

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

де $\mu = 1,257 \cdot 10^{-6}$ (Hn/m) – магнітна проникність вакууму.

Тоді індуктивність L_1 й L_2 :

$$L_1 = \mu \cdot N_1 \cdot r_1 \cdot \ln \frac{2 \cdot r_1}{d} = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,08 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,08}{0,005} = 1,485 \cdot 10^{-7} \text{ Hn},$$

$$L_2 = \mu \cdot N_2 \cdot r_2 \cdot \ln \frac{2 \cdot r_2}{d} = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,05}{0,005} = 1,883 \cdot 10^{-7} \text{ Hn}.$$

Ємність котушки індуктивності [7]:

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

де $f = 2,4$ ГГц – робоча частота.

Тоді ємності котушок C_1 й C_2 :

$$C_1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L_1} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,485 \cdot 10^{-7}} = 1,2 \cdot 10^{-14} \text{ F},$$

$$C_2 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L_2} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 2,4 \cdot 10^9)^2 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}} = 2,3 \cdot 10^{-14} \text{ F}.$$

Розрахуємо мінімальну напругу, яка може наводитись в антені [7]:

$$U_{\min} = \frac{\omega \cdot k \cdot I \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}}{1 + (\omega \cdot L_1 + R_2) \cdot (\omega \cdot C_2 + \frac{1}{R_L})}, \quad (3.6)$$

де $\omega = 2 \pi f = 2 \pi 2,4 \cdot 10^9 = 15 \cdot 10^9$ Hz;

$k = 0,01$ – коефіцієнт зв'язку;

$R_L = 20$ Ом – опір навантаження антени;

$R_2 = 1$ Ом – ефективний опір антени.

Тоді мінімальна напруга:

$$U_{\min} = \frac{15 \cdot 10^9 \cdot 0,01 \cdot 26,9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{1,485 \cdot 10^{-7} \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}}}{1 + (15 \cdot 10^9 \cdot 1,485 \cdot 10^{-7} + 1) \cdot (15 \cdot 10^9 \cdot 2,336 \cdot 10^{-14} + \frac{1}{20})} = 0,007 \text{ V.}$$

Розрахуємо добротність контуру [7]:

$$Q = R_2 \cdot \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} + \frac{1}{\frac{1}{R_L} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{2,336 \cdot 10^{-14}}{1,883 \cdot 10^{-7}}} + \frac{1}{\frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{1,883 \cdot 10^{-7}}{2,336 \cdot 10^{-14}}}} = 7 \cdot 10^{-3}, \quad (3.7)$$

Розрахуємо мінімальну напруженість поля H_{\min} [7]:

$$H_{\min} = U_{\min} \frac{\sqrt{\left(\frac{\omega \cdot L_2}{R_L} + \omega \cdot C_2 \cdot R_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 \cdot L_2 \cdot C_2 \cdot \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N_2} =$$

$$= 0,007 \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{15 \cdot 10^9 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7}}{20} + 15 \cdot 10^9 \cdot 2,336 \cdot 10^{-14} \cdot 1\right)^2}}{15 \cdot 10^9 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot 1} + \frac{\left(1 - 15 \cdot 10^9 \cdot 1,883 \cdot 10^{-7} \cdot 2,336 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{1}{20}\right)^2}{15 \cdot 10^9 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 0,007 \text{ A/m.}$$

За відомої мінімально допустимої напруженості магнітного поля, за якої приймач ще здатний відповідати на запит зчитувального пристрою, можна визначити "енергетичну" дальність дії такої системи [7]:

$$D_{\max} = \sqrt[3]{\frac{I \cdot N_1 \cdot R_2^2}{2 \cdot H_{\min}}} = \sqrt[3]{\frac{26,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1^2}{2 \cdot 0,007}} = 9,6 \text{ м.} \quad (3.6)$$

Використовуючи середньостатистичні параметри ZigBEE-обладнання, побудуємо графік залежності потужності на вході приймача (рис. 3.1):

$$P_{\text{ПР}} = \frac{p \cdot P_{\text{ПЕР}} \cdot G_{\text{ПЕР}} \cdot G_{\text{ПР}} \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot D)^2}, \quad (3.7)$$

де $P_{\text{ПЕР}} = 1$ мВт – потужність передавача;

$G_{\text{ПЕР}} = 1,66$ – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{\text{ПР}} = 1,66$ – коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$p = 1$ – коефіцієнт крос-поляризації.

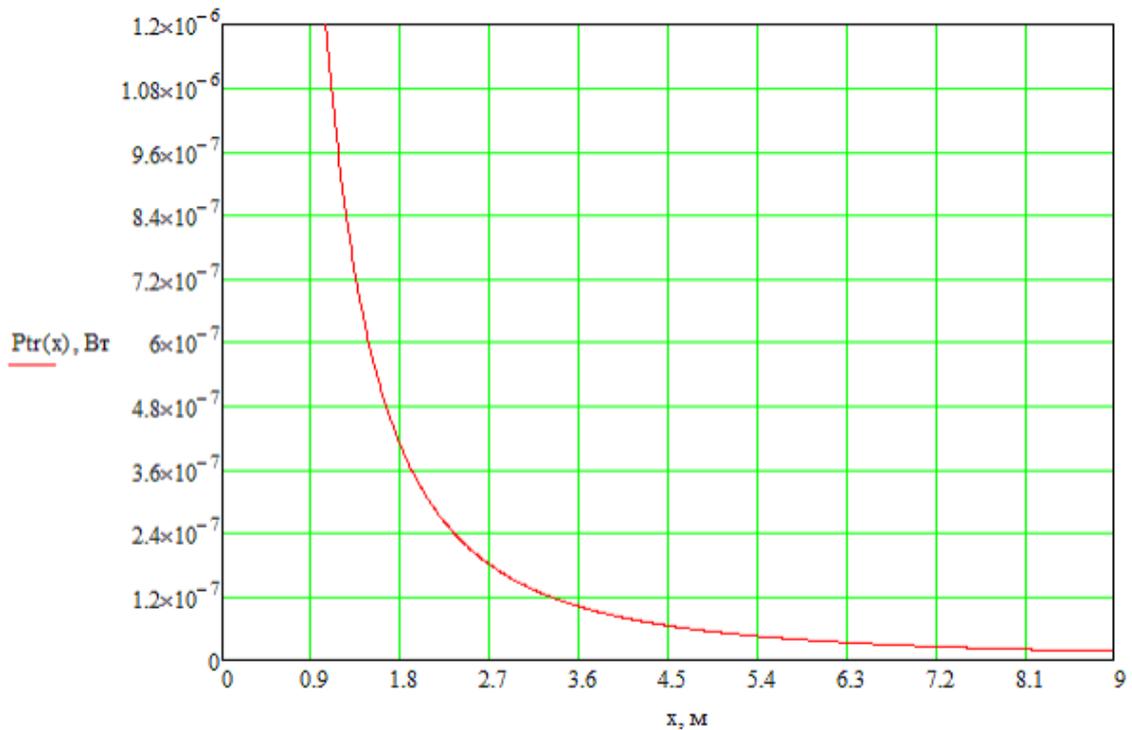


Рисунок 3.1 – Потужність на вході приймача

3.3 Розробка активної частини системи виявлення рухомих об'єктів

Розглянемо можливості використання бездротових мереж ZigBee для фіксації рухомих об'єктів на шосе. Для контролю переміщення рухомих об'єктів, їх мусить бути оснащено бездротовими передавачами типу "мобільний пристрій". Передавачі з деякою періодичністю відправляють унікальний номер рухливого об'єкта координатору, що передає номер і потужність прийнятого сигналу до базової станції. Використовуючи методику визначення відстані за величиною прийнятого сигналу, програмне забезпечення верхнього рівня відстежуватиме пересування об'єкта.

Загальний вигляд структури фіксації рухомих об'єктів і її здійснення наведено на рисунку 3.2 для прикладу перехрестя.

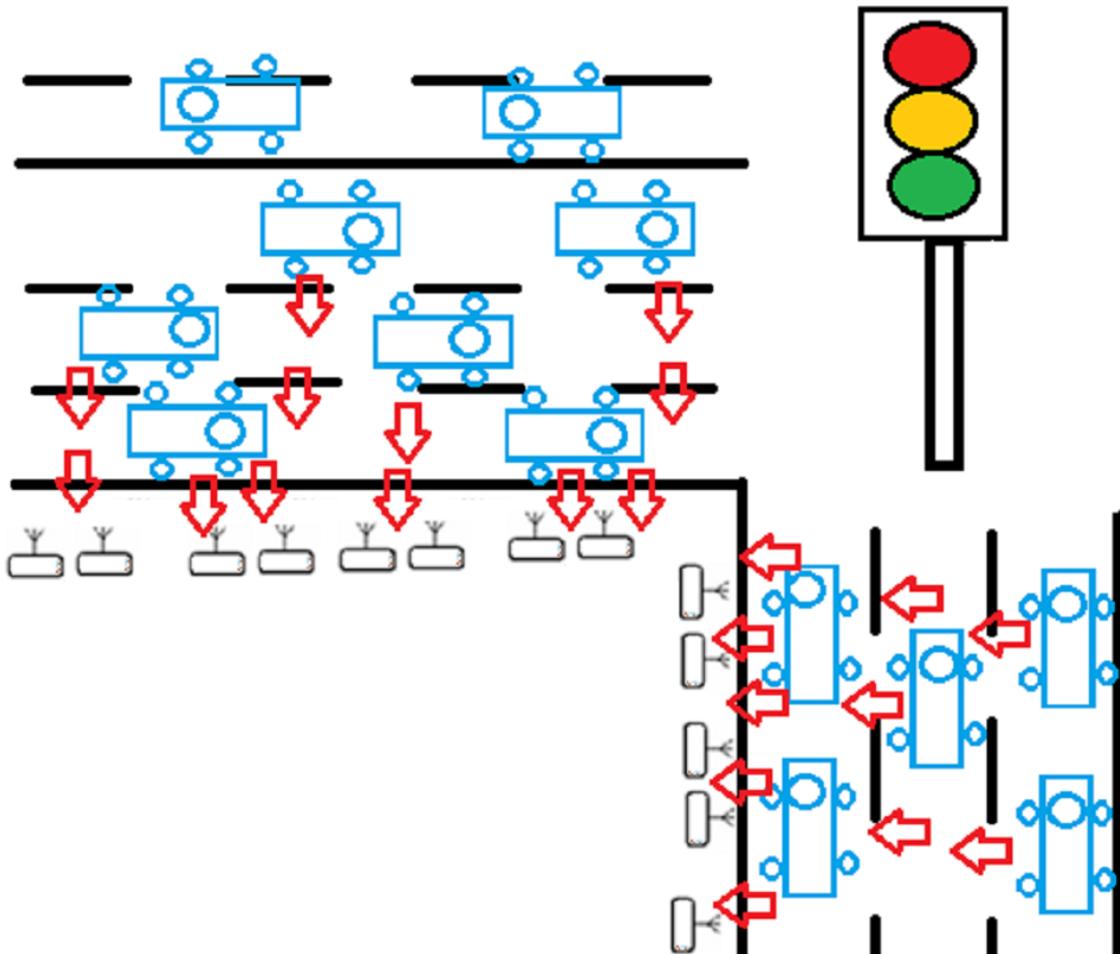


Рисунок 3.2 – Система фіксації рухомих об'єктів

Станом на сьогодні, правилами дорожнього руху України визначено ширину однієї смуги для руху нею автомобілів на дорозі у 2,5 м. Це означає, що нараховані відповідно до виразу (3.6) 9,6 м система здатна обслуговувати або як одну ділянку дороги по 2 смуги в один бік, або як одну чотирисмугову частину дороги для руху автомобілів в один бік.

Рухомий об'єкт, на якому встановлений передавач "мобільний пристрій" передає інформацію про себе, що він пересувається даною вулицею. Антени, встановлені на стовпах зчитують інформацію про даний об'єкт, після чого вся зібрана інформація з антен, установлених від одного перехрестя до іншого, передає число машин на обчислювальну техніку, що

встановлено на світлофорі. Він, у залежності від числа накопичених машин, переключатиме свої сигнали, або в залежності від програми (тобто, від кількості секунд, що залишилися на циферблаті світлофора), або відповідно до алгоритму розвантажування перехрестя. Також можна буде здійснити функцію "Зелена хвиля", тобто підлаштовуватися під світлофори на інших перехрестях.

Одночасну роботу кількох ZigBee-передавачів спряжено з проблемою мультидоступу для виділення й ідентифікації окремого транспондера з групи аналогічних пристроїв.

Однієї з відомих процедур мультидоступу є процедура ALOHA, що є керованою транспондером стохастическою процедурою з поділом за часом.

У межах розробленої системи процедура ALOHA використовується винятково з транспондерами типу «тільки читання» для передавання невеликих обсягів даних у вигляді номерів пристроїв. Щойно ідентифікаційний пакет даних виявляється готовим до передачі, він посилається від транспондера до зчитувача.

Але транспондери відправляють свої пакети даних у випадкові моменти часу. Це може призвести до зіткнення пакетів даних на вході зчитувача, внаслідок чого для пакетів, що зіштовхнулися, пропускна здатність системи падає до нуля. З іншого боку, час передавання даних від транспондера на зчитувач займає лише частину періоду повторення, тому між передачами виходять відносно довгі паузи. Крім того, періоди повторення для окремих транспондерів дещо відрізняються. Тому існує деяка імовірність, що кілька транспондерів передаватимуть свої пакети даних у різний час, і ці пакети даних не зіштовхуватимуться один з одним.

Введення до антиколізійної процедури заходів синхронізації й часових слотов дозволяє значно підвищити пропускну здатність цієї процедури. Під часовими слотами розуміють спеціально виділені зчитувачем синхронні проміжки часу, протягом яких транспондери можуть виконувати передачу

пакетів даних.

Розглянемо особливості функціонування антиколізійної процедури ALOHA на наступному прикладі. Введемо до зони зчитування п'ять транспондерів (таблиця 3.1). Зчитувач передає транспондерам через циклічні проміжки часу команду опитування REQUEST (запит). Щойно транспондери прийняли команду REQUEST, кожний з них вибирає за допомоги власного генератора випадкових чисел один з доступних часових слотів для того, щоб відправити зчитувачеві свій ідентифікаційний номер.

Таблиця 3.1 – Антиколізійна процедура з використанням часових слотов

Зчитувач	REQUEST	Слот1	Слот2	Слот3	SELECT
Транспондер 1	Слот 1	10000100			
Транспондер 2	Слот 2		10010100		
Транспондер 3	Слот 2		10010101		
Транспондер 4	Слот 3			11010100	11010100
Транспондер 5	Слот 1	11010101			
До зчитувача	–	Колізія	Колізія	11010100	

Як можна побачити з таблиці 3.1, внаслідок довільного вибору транспондерами слотів, виникають колізії між транспондерами в слотах 1 й 2. Лише в слоті 3 порядковий номер транспондера 4 може бути передано без колізій. Якщо порядковий номер транспондера прийнято зчитувачем без помилок, то цей транспондер може бути обраний зчитувачем команди SELECT (вибрати), і потім зчитувач проводить з ним необхідні операції чи зчитування запису без колізій з іншими транспондерами.

Якщо за першою спроби ідентифікаційний номер транспондера не виявлено, зчитувач знову повторює команду опитування REQUEST у циклічному режимі.

Після обробки обраного транспондера зчитувач переходить до пошуку інших транспондерів у зоні опитування за допомоги нової команди опитування REQUEST.

Для розв'язання проблеми виникнення колізій, розроблено механізм антиколізії, заснований на використанні часових слотів. Одиницею позначається часовий слот, у момент якого відбувається передавання інформації до каналу зв'язку від транспондера до зчитувача, а нулем – часовий слот, у якому об'єкт знаходиться в режимі очікування й не передає жодної інформації до каналу зв'язку.

За появи об'єкта у зоні відповідальності, зчитувач подає сигнал об'єктам про початок свого сеансу роботи. Кожний об'єкт вибирає за допомоги власного генератора випадкових чисел один з доступних часових слотів для того, щоб відправити зчитувачеві інформацію зі своїми даними. Під час сеансу передачі, можлива колізія із сусідніми об'єктами. У цьому випадку зчитувач приймає рішення про неможливість передавання даних й подає сигнал транспондерам про необхідність повторного передавання інформації. Цей процес відбувається доти, доки у певному часовому слоті не виявиться один транспондер у режимі передачі інформації, а решта транспондерів знаходитимуться в режимі очікування в цьому ж часовому слоті. Після успішної обробки інформації, обраний транспондер відключається на час закінчення зчитування всіх інших транспондерів, а зчитувач переходить до пошуку інших транспондерів у зоні опитування за допомоги чергової команди опитування. Описані дії повторюються доти, доки всі об'єкти не закінчать свого сеансу у зоні опитування зчитувача.

Працездатність описаного алгоритму перевірено шляхом написання відповідної програми мовою Turbo Pascal 7.1, текст (Текст програми 1) й блок-схему (рис. 3.3) якої наведено нижче.

Текст програми 1

```

uses crt;
label m1;
var aa:array[..225,1..21] of integer;
    ss:array[..225] of integer;
    nn,ii,jj,kk,ii1,jj1,pp,vv:integer;
    tt: longint absolute $0:$046C;
    tt1,tt2: longint;
begin
  clrscr;
  tt1:=tt;
  randomize;
  write('Введіть кількість об'єктів:');
  readln(nn);
  for vv:=1 to nn do ss[vv]:=0;
  pp:=0;
  repeat m1:
    for ii:=1 to nn do
      begin
        for jj:=1 to 21 do
          begin
            aa[ii,1]:=ii;
            for vv=1 to nn-pp+1 do
              begin
                if ii=ss[vv] then aa[ss[vv],jj+1]:=0 else
if
                    aa[ii,jj]=1 then aa[ii,jj+1]:=0
                    else
aa[ii,jj+1]:=random(2);

```

```

        end;
    for vv:=nn-pp+2 to nn do
        begin
            if (pp<>0) then aa[ss[vv],jj+1]:=0;
        end;
    if (jj=1) and (ii>=10) then
        write(aa[ii,jj],' :') else if
            jj=1 then write(aa[ii,jj],' :')
            else write(aa[ii,jj+1],' ');
        end;
    writeln;
end;
jj:=1;
repeat
    jj:=jj+1;
    kk:=0;
    for ii:=1 nto n do
        begin
            if aa[ii,jj]=1 then kk:=kk+1;
            if (jj>=21) and (kk<>1) then goto m1;
        end;
until kk=1;
jj1:=jj;
ii:=0;
repeat
    ii:=ii+1;
until aa[ii,jj1]=1;
writeln('немає колізії для об'єкта: ',ii);
ii1:=ii;
vv:=nn-pp;

```

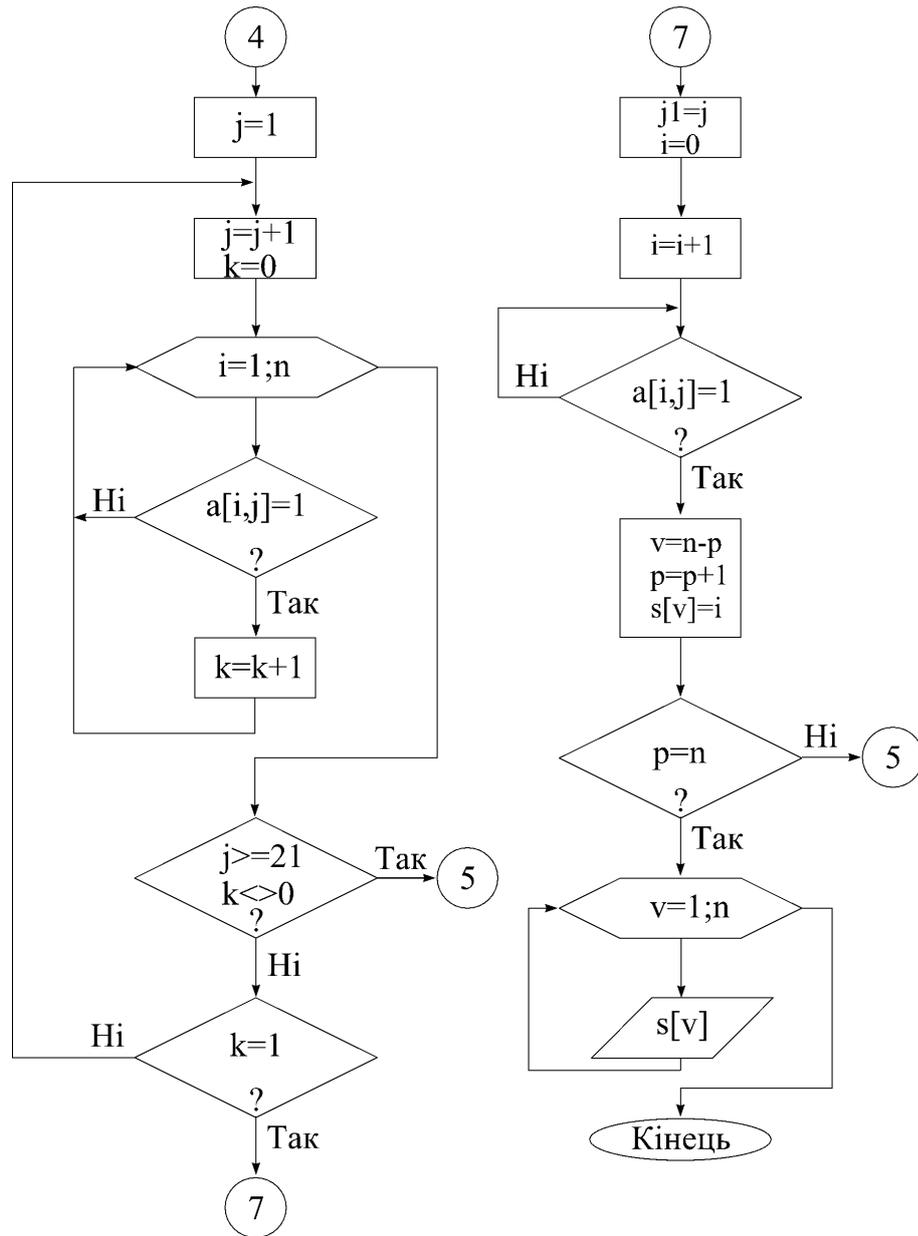



Рисунок 3.3 – Алгоритм анти колізій (продовження)

На рисунку 3.4 наведено залежність часу роботи програми для різної кількості об'єктів, отриману шляхом моделювання роботи зчитувача за допомоги вищенаведеної програми, а у таблиці 3.2 – чисельні дані для отриманої залежності.

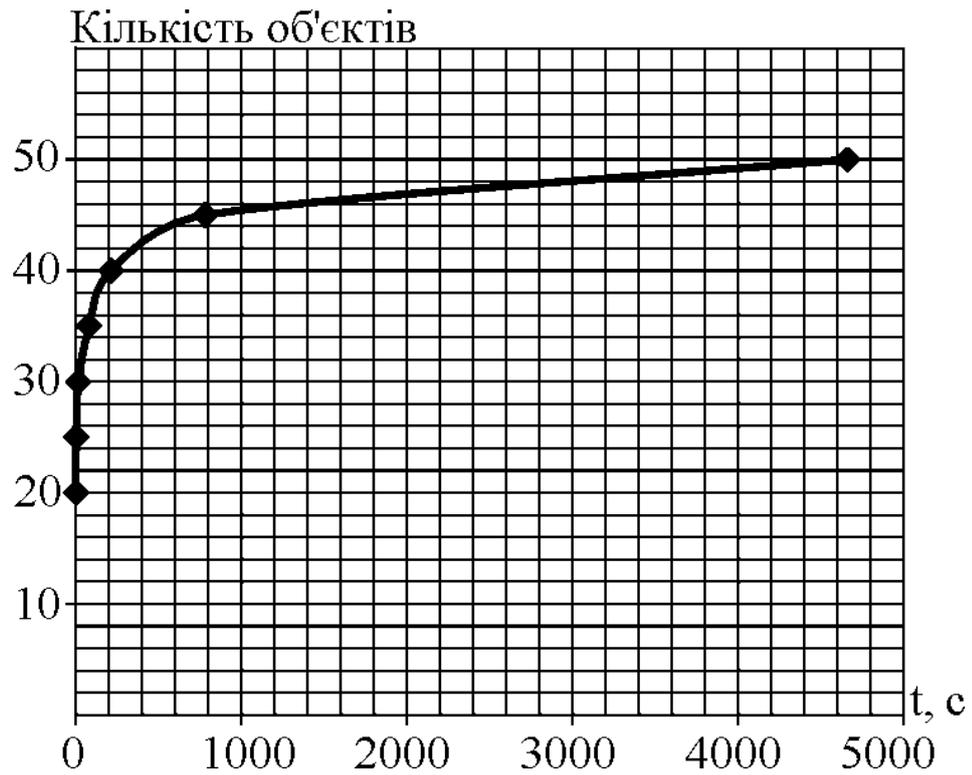


Рисунок 3.4 – Час роботи програми

Таблиця 3.2 – Час роботи програми для різної кількості об'єктів на дорозі

Кількість об'єктів	Час роботи програми, сек
20	0,21
25	1,04
30	16,43
35	80,33
40	214,50
45	781,50
50	4658,00

З рисунку 3.4 видно як час для обробки транспондерів залежить від кількості об'єктів, що знаходяться в даний момент у зоні дії зчитувача: чим більше об'єктів – тим нелінійно більше часу потрібно на обробку.

3.4 Розробка пасивної частини системи виявлення рухомих об'єктів

Зрозуміло, що далеко не всі водії будуть в захваті від необхідності встановлювання додаткового електрообладнання на автомобілі, особливо - власники електромобілів: чим більше електроспоживання від акумулятора, тим менше дальність поїздки. І якщо рухомий склад пасажироперевізних компаній можна буде зобов'язати встановити додаткове обладнання для полегшення систем керування дорожнім рухом, то переважна більшість власників приватного автотранспорту - навряд чи погодяться. Тому на таких засобах передбачається встановлення ZigBee-сумісних пасивних радіочастотних міток. Для усунування проблеми виникнення колізій, зчитувачі треба розташовувати безпосередньо над однією смугою – над нею, на розтяжках. Це забезпечить послідовне у часі надходження перевипромінених сигналів від автомобілів, що рухаються цією смугою.

3.5 Вибір елементної бази

У таблиці 3.3 наведено характеристики ZigBee-обладнання деяких компаній-виробників [21].

Таблиця 3.3 – Основні характеристики ZigBee-обладнання компаній Freescale Semiconductor й Texas Instruments

Мікросхема	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... 2,485 ГГц	2,405... 2,485 ГГц
Число каналів/крок	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц	16/5 МГц
Максимальна швидкість радіопередачі інформації	250 кб/с	250 кб/с	250 кб/с	250 кб/с
Вихідна потужність радіопередавача	-30..-4 дБм (налаштовується програмно)	-25...0 дБм (налаштовується програмно)	До -1 дБм (налаштовується програмно)	-3,6..-0,5 дБм (налаштовується програмно)
Чутливість радіоприймача	-95 дБм	-95 дБм	-92 дБм	-92 дБм
Робочий температурний діапазон	-40...105°C	-40...85°C	-40...85°C	-40...85°C

Продовження таблиці 3.3

Мікросхема	MC1322X	CC2420	CC2480A1	MC13192, MC13193, MC13202, MC13203
Особливості	<p>Режимів роботи: 6 активних; 3 енергоощадних.</p> <p>Наявність: – апаратний MAC-акселератор; – апаратний кодувальник AES-128; – розширений набір периферії мікроконтролера; – мала кількість зовнішніх компонентів</p>	<p>Наявність: – апаратний MAC-акселератор; – апаратний кодувальник AES-128.</p>	немає	<p>– 4 канали подій внутрішнього таймера; – можливість тактування зовнішнього мікроконтролера; – адаптований під застосування ZigBee стека (Wireless Z-Stack)</p>

З таблиці 3.3 видно, що найбільш придатним устаткуванням є Texas Instruments CC2420, виходячи з відповідності потужності обладнання, що

було визначено у пункті 3.2.

Для налаштування ZigBee мережі обрано платформу Tmote Sky з мікроконтролером MSP430 і з вбудованим у нього радіомікросхемою CC2420.

Платформа ZigBee Tmote Sky – це бездротовий модуль наднизької потужності, необхідний для використання мережі датчиків.

Підтримує галузеві стандарти, також як USB і стандарт IEEE 802.15.4.

За допомоги модуля можливо використовувати дані від сенсорних датчиків (температури, вологості, світла тощо). Можливість підвищення продуктивності, функціональності й розширення.

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

Мікроконтролер MSP430F1611 має у своєму складі 8 зовнішніх й 8 внутрішніх портів АЦП. Внутрішні порти АЦП можуть бути використані для отримання даних від внутрішнього термістора чи моніторингу напруги батареї. Також містить у собі два 12-бітних порти, модуль ЦАП, блок керуванням напруги живлення, 3-портовий контролер DMA. Доступне підключення різних периферійних пристроїв SPI, UART, цифрових портів введення/виведення, сторожового таймера і таймерів із захоплення і порівняння функціональності.

Основні параметри платформи ZigBee Tmote sky наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики платформи Tmote Sky

Основні характеристики	Параметри
Виробник	Texas Instruments
Мікроконтролер	MSP430(10k RAM, 48k Flash)
Швидкість передавання даних	250 кб/с
Протокол передавання даних	IEEE 802.15.4
Вбудовані пристрої	<ul style="list-style-type: none"> – АЦП; – ЦАП; – контролер керування напругою живлення; – контролер DMA; – внутрішня антена, діапазон дії: <ul style="list-style-type: none"> а) 50 м усередині приміщення, б) до 125 м на відкритому повітрі.
Вихід з режиму "сну"	< 6 мкс
Шифрування й аутентифікація	Апаратно-каналний рівень
Програмування і збір даних	через USB
Підтримка мереж	TinyOS (підтримка комерційних мереж й комунікаційних розв'язань).

Низьке енергоспоживання Tmote Sky пов'язане з малою потужністю живлення мікроконтролера MSP430 F1611 (таблиця 3.5). Даний мікроконтролер працює з ОЗУ 10 Кбайт, 48 кбайт флеш пам'яті, і 128 байт збереження інформації. Також 16-бітний RISC процесор відрізняється надзвичайно низьким споживанням струму.

Таблиця 3.5 – Типові умови експлуатації

Параметри	Значення		
	Мін.	Номін.	Макс.
Напруга живлення під час виконання програми	1,8В		3,6 В
Робоча температура повітря	-40°C		85°C
Мінімальна частота роботи кварцового генератора	32,768	кГц	
Робочий струм за $V_{cc}=3$ В, 1 МГц		500 мкА	600 мкА
Струм споживання за роботи мікроконтролера в режимі "сну"		2,6 мкА	3 мкА
Час виходу з режиму "сну"	6 мкс		

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

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

ВИСНОВКИ

Для фіксації рухомих об'єктів на шосе обране найпридатніше устаткування за робочого діапазону й потужності передавача.

Розроблено функціональну схему здійснення ZigBEE системи.

За проектування враховано головні технічні змінні, необхідні для правильного розташування обладнання на шосе. Запропоновано варіанти для стійкої і безперебійної роботи системи. Для втілення проекту, було обрано наступне обладнання:

- платформа Tmote Sky;
- мікроконтролер MSP430;
- мікросхема CC2420;
- вбудована антена з вузькоспрямованою діаграмою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Поникар А.В. Дослідження можливості локального позиціонування в бездротових мережах IEEE 802.15.4 / А.В. Поникар, О.В. Євсєєв, В.Е. Анциперов, Г.К. Мансуров // IV конференція "Радіолокація і радіозв'язок" – ИРЕ РАН, 29 листопада – 3 грудня 2010.
2. Стандарт 802.15.4. ZigBee-2006. – М: Видавництво IEEE, 2014. – 246 с.
3. Стандарт IEEE 802.15.4. Zigbee. – М: Видавництво Finestreet, 2011. – 264 с.
4. Аношин А.О., Головін А.В. Стандарт МЭК 61850. Інформаційна модель пристрою / А.О. Аношин, А.В. Головін // Новини електротехніки. 2012. – № 5 (77). – С. 34-43.
5. Руденко Ю.Н. Автоматизація диспетчерського керування в електроенергетиці / Ю.Н. Руденко, В.А. Семенова. – М.: MEI, 2000. – 648 с.
6. 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 2006).
7. RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, Third Edition / Klaus Finkenzeller ; translated by Dörte Müller. – 3rd ed. // – Chichester: Wiley, – 2010. – 462 p.
8. Шарфельд Т. Системи RFID низької вартості / Т. Шарфельд. – М.: Мир, 2006. – 186 с.