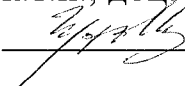


Міністерство освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»
Факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 654.165

«Допущено до захисту»

В.о. завідувача кафедри кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.


« 19 » 12 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження точності місцевизначення рухомої станції в
мережі CDMA »

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

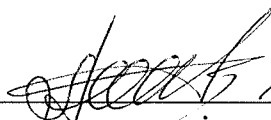
освітній ступень «магістр»

Виконавець
роботи:
студент 2 курсу,
гр. ТРМ-21-1


дата, підпис

Главацький А.С.

Керівник
роботи
к.т.н., доцент


дата, підпис

Андреев О.В.

Житомир
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему « Дослідження точності місцевизначення рухомої станції в
мережі CDMA »

Виконав: студент 2 курсу,
групи ТРМ-21-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Главцький А.С.

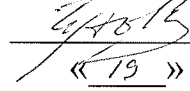
Керівник Андреєв О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дубина О.Ф.
(прізвище та ініціали)

Житомир
2022

«Затверджено»

В.о. завідувача кафедри кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях

 В.В. Чухов
«19» 12 2022 р.

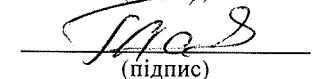
Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Главацькому Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження точності місцевизначення рухомої станції в мережі CDMA
затверджено наказом по університету від «12» жовтня 2022 р. № #460/с
2. Мета дослідження: оцінка можливості визначення місцеположення рухомої станції у мережі CDMA.
3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.) -
мережа мобільного зв'язку стандарту CDMA IS-95
4. Основні задачі дослідження визначення точності місцевизначення рухомої станції в мережі CDMA.
5. Термін подання роботи до захисту 12 грудня 2022 р.
6. Дата видачі завдання «12» жовтня 2022 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

(підпис)

Андреев О.В.
(прізвище, ініціали)

Главацький А.С.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній магістерській роботі виконана розробка методики місцевизначення рухомої станції в мережі CDMA. Розроблена методика розрахунку відстаней до абонентського терміналу від відповідних базових станцій та розрахунку координат по заданим координатам базових станцій.

Шляхом математичного моделювання побудована робоча зона системи місцевизначення рухомої станції у мережі CDMA.

ANNOTATION

In this master's work done to develop methods of position finding mobile station in the network CDMA. The synthesis method of phase calculation required parameters for time delay allowing for the standard calculation of the distances to the user terminal from the respective base stations and calculation of coordinates from given coordinates of base stations.

The developed program model calculation location and coordinates user terminal. Built working area of position finding mobile station in the network CDMA.

РЕФЕРАТ

Атестаційна магістерська робота складається з трьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків.

Атестаційна магістерська робота викладена на 47 сторінках основного тексту, що включає 14 ілюстрацій, 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 38 найменувань.

У вступі розглянуто область науки і техніки, до якої належить тема даної роботи та обґрунтовано актуальність роботи.

У першому розділі виконано огляд особливостей стандарту CDMA IS-95.

У другому розділі проведена оцінка можливості використання функцій Уолша для оцінки дальності до рухомої станції, спираючись на кореляційні властивості шумоподібних сигналів.

У третьому розділі розроблена методика розрахунку відстаней до абонентського терміналу від відповідних базових станцій та розрахунку координат по заданим координатам базових станцій і оцінки точності місцевизначення.

У четвертому розділі проведене математичне моделювання з метою оцінки точності місцевизначення в залежності від розташування рухомої станції відносно базової.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	7
Вступ.....	8
1 Загальні принципи побудови цифрових мобільних систем з кодовим поділом каналів	9
1.1 Принцип використання сигналів з прямим розширенням спектру.....	9
1.2 Загальні принципи побудови цифрових мобільних систем з кодовим поділом каналів.....	11
2. Аналіз АКФ і ВКФ функцій ШПС, які використовуються в стандарті CDMA.....	17
3 Розробка методики визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA.....	26
3.1. Методика знаходження відстані між мобільним терміналом і базовими станціями.....	28
3.2. Розрахунок середньоквадратичних похибок виміру місцеположення....	28
3.3. Методика знаходження координат абонентського терміналу по відомих координатам базових станцій.....	30
4 Дослідження точності визначення місцезнаходження рухомої станції	33
Висновки.....	37
Список джерел посилань.....	38

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

A-GPS	–	Assistant Global Positioning System;
AOA	–	Angle of Arrival;
BTS	–	Base transceiver station;
CDMA	–	Code Division Multiple Access;
CELP	–	Code Excited Linear Prediction;
CGI	–	Common Gateway Interface;
DSSS	–	Direct Sequence Spread Spectrum;
E-OTD	–	Enhanced Observed Time Difference;
ESN	–	Electronic Serial Number;
FCC	–	Federal Communications Commission;
GPS	–	Global Positioning System;
LMU	–	Location Measurement Unit;
MS	–	Mobile station;
SDK	–	Software development kit;
SIM	–	Subscriber Identification Module;
TA	–	Timing Advance;
UL-TOA	–	Uplink Time of Arrival;
WAP	–	Wireless Application Protocol;
АТ	–	Абонентський термінал;
БС	–	Базова станція;
МДКРК	–	Множинний доступ із кодовим розділенням каналу;
МС	–	Мобільна станція;
ПВП	–	Псевдовипадкова послідовність;
РС	–	Рухома станція;
СКВ	–	Середньоквадратична;
СМП	–	Система мобільного позиціювання;
СП	–	Система позиціювання;
ССЗ	–	Схема слідкування за затримкою.

ВСТУП

Можливості суміщення послуг місцевизначення та зв'язку знайшло використання у обслуговуванні транспортних сухопутних перевезень, породивши цілий напрям – телематику. Одночасно можливість вимірювання і передачі координат рухомих об'єктів дала можливість створення нового класу систем.

Важливим аспектом роботи стільникової мережі є можливість визначення місцеположення абонентського терміналу. І якщо безпосередньо оператор і має дані про місцезнаходження рухомої станції, то абонент цієї інформації у відкритому доступі отримати не може. Винятком є спеціальні послуги із обмеженою точністю і швидкодією, які до всього ще потребують додаткової плати або ж використання глобальних навігаційних систем, які також потребують відповідних апаратурних модифікацій абонентського терміналу.

Однією із таких систем, що не має на даний момент діючих методик для визначення місцезнаходження рухомих станцій по сигналам стільникової мережі є стандарт CDMA IS-95. Тому розробка відповідної методики є доволі **актуальною**.

CDMA (Code Division Multiple Access) - цифрова безпроводна технологія, розроблена і вперше упроваджена QUALCOMM.

Рухома станція одночасно приймає і обробляє сигнали із щонайменше п'яти базових станцій, порівнює ці сигнали із опорними і вимірює відповідну часову затримку.

Метою магістерської роботи є дослідження можливості визначення місцеположення рухомої станції за сигналами стільникової системи CDMA, оцінка точності розробленої методики та побудова робочої зони.

Для досягнення цієї мети розв'язувались такі задачі:

- огляд та аналіз відомих методів та пристроїв призначених для місцевизначення рухомих об'єктів;
- розробка методики визначення місцеположення рухомої станції із урахуваннями особливостей стандарту;
- розробка програмної моделі для проведення досліджень точності місцевизначення;
- побудова робочої зони системи місцевизначення;

Об'єктом досліджень є процес місцевизначення рухомої станції.

Предметом досліджень є методика визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA.

У роботі використано методи аналітичного та теоретичного аналізу сучасних систем місцевизначення рухомих станцій у стільникових мережах, методи математичного та комп'ютерного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів. Синтезовано алгоритм розрахунку визначення місцезнаходження рухомої станції та проведена оцінка точності місцевизначення. Проведене математичне моделювання показало, що запропонована методика дає змогу визначати місцеположення абонента із середньою квадратичною похибкою від 64 до 469 метрів залежно від положення його у межах стільника. Зміна середньоквадратичної похибки визначення місцеположення у межах стільника пояснюється зміною значенням кута перетинання ліній положення. Було встановлено, що зростанням кута на кожні 10 градусів покращує точність визначення місцеположення приблизно на 3-5%.

1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ З КОДОВИМ ПОДІЛОМ КАНАЛІВ

1.1 Принцип використання сигналів з прямим розширенням спектру

Принципи кодового розділення каналів зв'язку (CDMA - Code division Multiple Access) засновані на використанні ШПС, смуга яких значно перевищує смугу частот, необхідну для звичайної передачі повідомлень, наприклад, в вузькосмугових системах з частотним поділом каналів (FDMA). Основною характеристикою ШПС є база сигналу, обумовлена як добуток ширини його спектра F на його тривалість T [1]:

$$B = F \cdot T \quad (1.1)$$

У цифрових системах зв'язку, що передають інформацію у вигляді двійкових символів, тривалість ШПС T і швидкість передачі повідомлень R зв'язані співвідношенням $T = 1 / R$. Тому база сигналу $B = F / R$ характеризує розширення спектра ШПС щодо спектра повідомлення. Розширення спектра частот переданих повідомлень може здійснюватися двома методами або їх комбінацією :

- прямим розширенням спектра частот;
- стрибкоподібною зміною частоти несучої.

При першому способі вузькосмуговий сигнал (рис.1.1) множиться на ПВП з періодом повторення T , що включає L біт послідовності тривалістю τ_0 кожен. У цьому випадку база ШПС чисельно дорівнює кількості елементів ПВП $B = T / \tau_0 = L$. Спектр сигналу $S_{\text{ШПС}}(f)$ має лінійчасту структуру та обвідну типу $\sin x / x$.

Стрибкоподібна зміна частоти несучої, як правило , здійснюється за рахунок швидкої перебудови вихідної частоти синтезатора відповідно до закону формування псевдовипадкової послідовності . Прийом ШПС здійснюється оптимальним приймачем, який для сигналу з повністю відомими параметрами обчислює кореляційний інтеграл [1]:

$$Z = \int_0^T x(t)u(t)dt, \quad (1.2)$$

де $x(t)$ - вхідний сигнал, що являє собою суму корисного сигналу $u(t)$ і перешкоди $n(t)$ (у даному випадку білий шум). Потім величина Z порівнюється з порогом Z_0 .

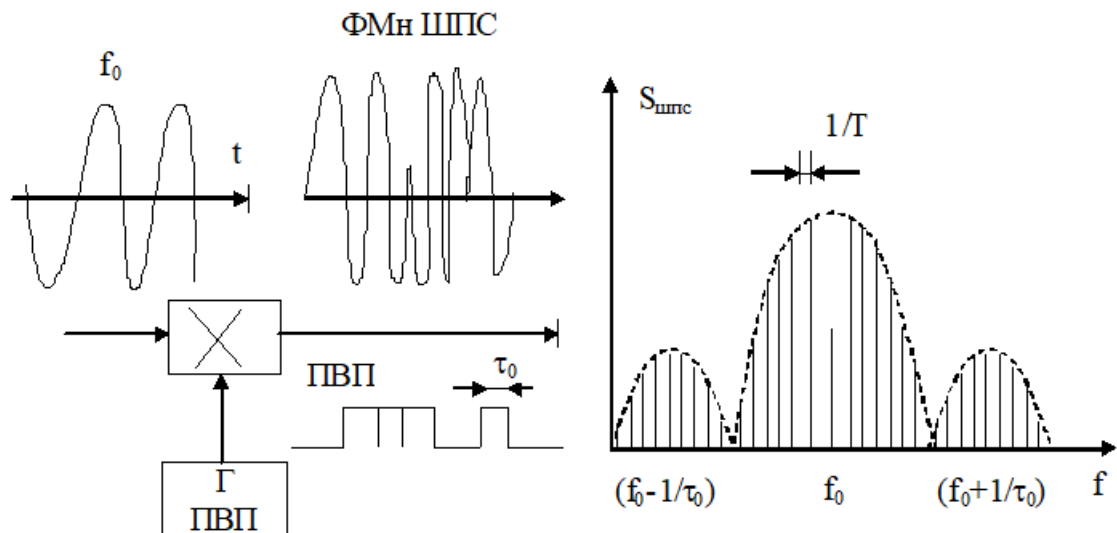


Рисунок 1.1 -Спосіб формування ШПС методом прямого розширення спектра частот

Значення кореляційного інтеграла знаходиться за допомогою корелятора рис. 1.2 або узгодженого фільтра. Корелятор здійснює «стиснення» спектра широкосмугового вхідного сигналу шляхом множення його на еталонну копію $u(t)$ з подальшою фільтрацією в смузі $1/T$, що і призводить до покращення співвідношення сигнал / шум на виході корелятора в V разів по відношенню до входу. При виникненні затримки між прийнятим і опорним сигналами, амплітуда вихідного сигналу корелятора зменшується і наближається до нуля, коли затримка стає рівною тривалості елемента ПВП τ_0 . Ця зміна амплітуди вихідного сигналу корелятора визначається видом АКФ при співпадаючих вхідної і опорної ПВП і ВКФ при відмінності вхідної і опорної ПВП.

На рис. 1.3 показана структура М-послідовності з $L=15$, вид її періодичної АКФ і аперіодичної АКФ, тобто періодично не продовженого в часі сигналу.

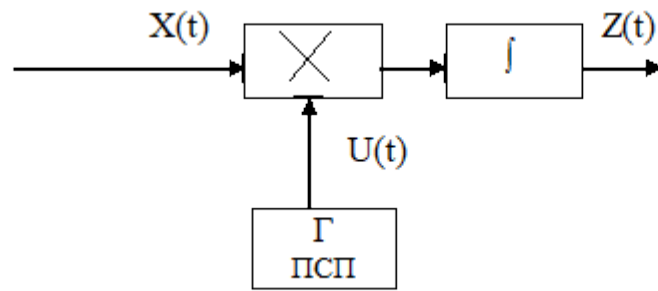


Рисунок 1.2 - Схема кореляційного приймача ШПС

Вибираючи певний ансамбль сигналів з "хорошими" взаємними і автокореляційними властивостями, можна забезпечити в процесі кореляційної обробки (згортки ШПС) поділ сигналів. На цьому заснований принцип кодового розділення каналів зв'язку.

В існуючих і розроблюваних системах стільникового зв'язку переважно використовуються ШПС, формування яких здійснюється по методу розширення спектра [1,2,6,10,12]. У цьому випадку адресність абонентів визначається формою псевдовипадкової послідовності, використовуваної для розширення смуги спектра частот. Радіосигнал, сформований в цьому випадку (див. рис. 1.1) називається фазоманіпульованим широкосмуговим сигналом (ФМн ШПС). Домінуюче значення у виборі виду ПВП для формування ШПС в системах рухомого радіозв'язку грають, перш за все, взаємні і автокореляційні характеристики ансамблю сигналів, його обсяг, простота реалізації пристрою формування та « стиснення » (згортки) сигналів в приймачі. У цьому випадку для формування ФМн ШПС переважно використовуються лінійні m -послідовності і їхні сегменти. Для розширення обсягу ансамблю сигналів часто використовують складові ПВП, сформовані, наприклад, на основі m -послідовностей і послідовностей Уолша [2,3,6].

1.2 Загальні принципи побудови цифрових мобільних систем з кодовим поділом каналів

Створення систем стільникового рухомого радіозв'язку з кодовим поділом абонентів стримувалося відсутністю технічних і технологічних

можливостей по реалізації малогабаритних, малоспоживаючих і багатофункціональних пристроїв «стиснення» ШПС. В даний час ці проблеми успішно вирішені американськими фірмами Qualcomm, Inter Digital, Motorola. На основі пропозицій фірми Qualcomm у США прийнятий стандарт IS-95 на систему стільникового рухомого радіозв'язку з кодовим поділом каналів. У рамках європейської програми RACE розробляється проект CODIT (з кодовим поділом тестового стенду), основною метою якого є вивчення потенційних можливостей системи множинний доступ із кодовим розподілом як методу доступу для третього покоління систем стільникового рухомого зв'язку UMTS / FPLMTS. Характерною рисою CDMA є те, що ні часовий, ні частотний ресурси прямо між абонентами не поділяються. У найбільш розповсюдженій реалізації CDMA – IS-95 або cdmaOne, ця смуга дорівнює приблизно 1,25 МГц.

При прийомі витягти інформацію із сигналу, що прийшов від конкретного радіотелефону, можна лише перемноживши його повторно з адресним сигналом цього радіотелефону. Завдяки описаним вище кореляційним властивостям, легко побудувати фільтр, що виділить сигнал від конкретного радіотелефону на фоні інших.

Реальним позитивним ефектом для абонента є те, що використання досить довгих адресних послідовностей забезпечує ефективне шифрування переданої інформації. У IS-95 використовуються послідовності довжиною 2^{15} і 2^{42} символів. Ансамблі послідовностей утворюються шляхом циклічного зсуву.

Приймачі та передавачі кожного каналу BTS і АС використовують всю смугу частотного каналу шириною 1,23 МГц. Розглянемо, як в такій спільній для всіх абонентів смузі частот здійснюється передача даних, призначених для будь-якого з абонентів (наприклад, абонента 1). Спочатку (див. рис.1.4) здійснюється попереднє перетворення даних абонента 1, (в каналному кодері, за рахунок перемежування і т.д.). Далі, до отриманих даних вноситься каналний код 1, властивий тільки даному абоненту 1. Отриманий сигнал, після його скремблювання, здійснює модуляцію несучої частоти. Таке формування сигналу в передавачі здійснюється у вигляді

послідовних кадрів, тривалістю 20 мс. Отриманий сигнал передається антеною в зону обслуговування даного передавача. На приймальному кінці, аналогічно, здійснюється демодуляція та дескремблювання отриманого сигналу. Далі, аналогічно, на основі відомого каналного коду 1, з сумарних даних усіх абонентів виділяються тільки дані потрібного абонента 1. При використанні всіх інших каналних кодів, крім коду 1, внаслідок їх ортогональності, вихідний сигнал приймача буде рівний нулю.

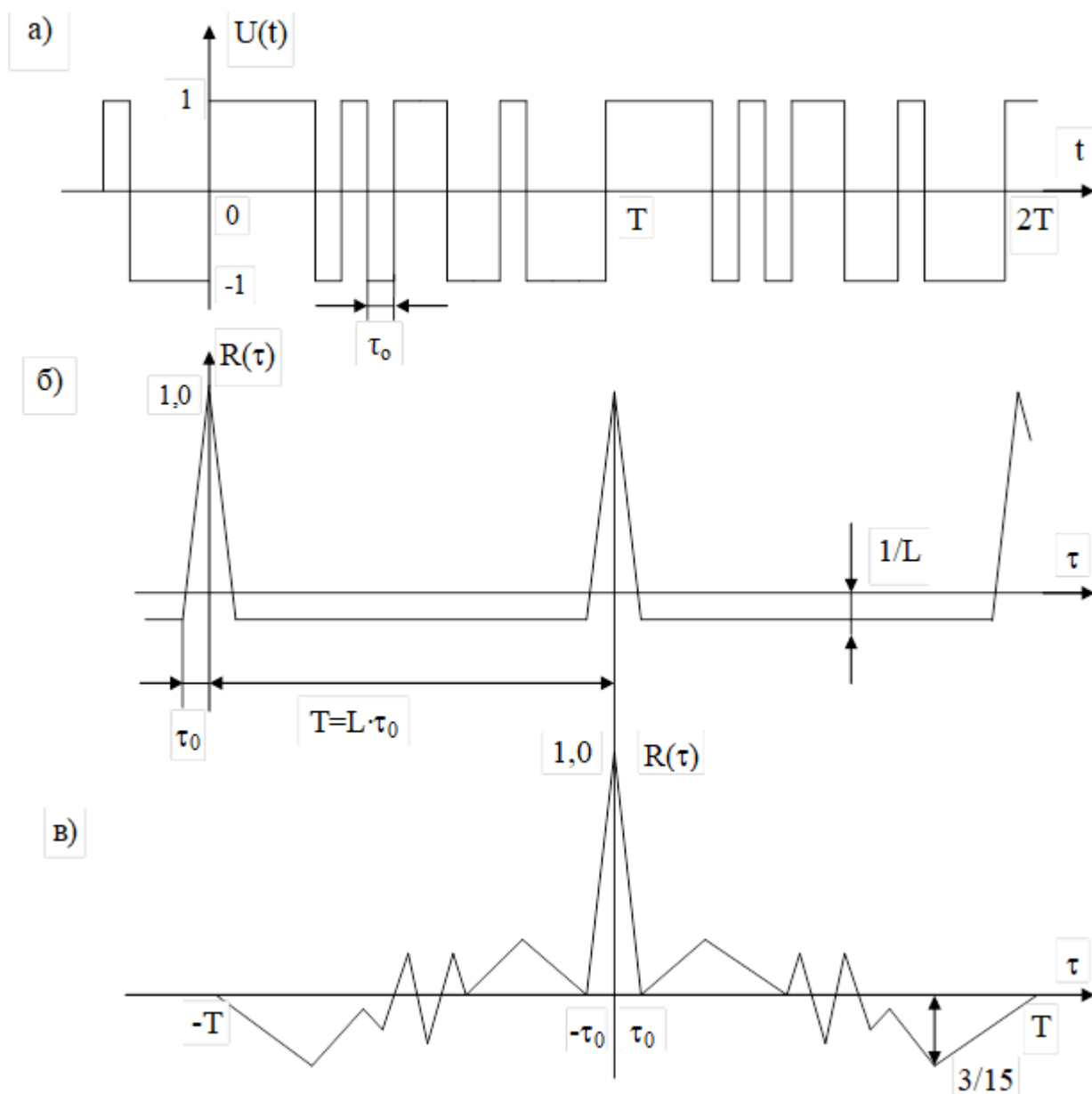


Рисунок 1.3. Структура М-послідовності с $L=15$ та її АКФ

Таким чином, в загальному, розглянуто передачу даних для потрібного абонента. Канал зв'язку від BTS до АС називається прямим каналом, а

канал зв'язку від АС до BTS – зворотнім каналом. Використання дуплексної схеми FDD означає, що з метою розділення дуплексних каналів (прямого та зворотного) використовуються різні діапазони частот 824,025...848,985 МГц та 869,025...893,985 МГц [6]. При цьому в кожному з діапазонів використовується смуга частот 1,23 МГц (табл. 1). В прямому каналі використовується QPSK модуляція, а в зворотному каналі O-QPSK модуляція. Ці види модуляції збільшують швидкість передачі інформації в 2 рази (кожен символ передає два біти інформації).

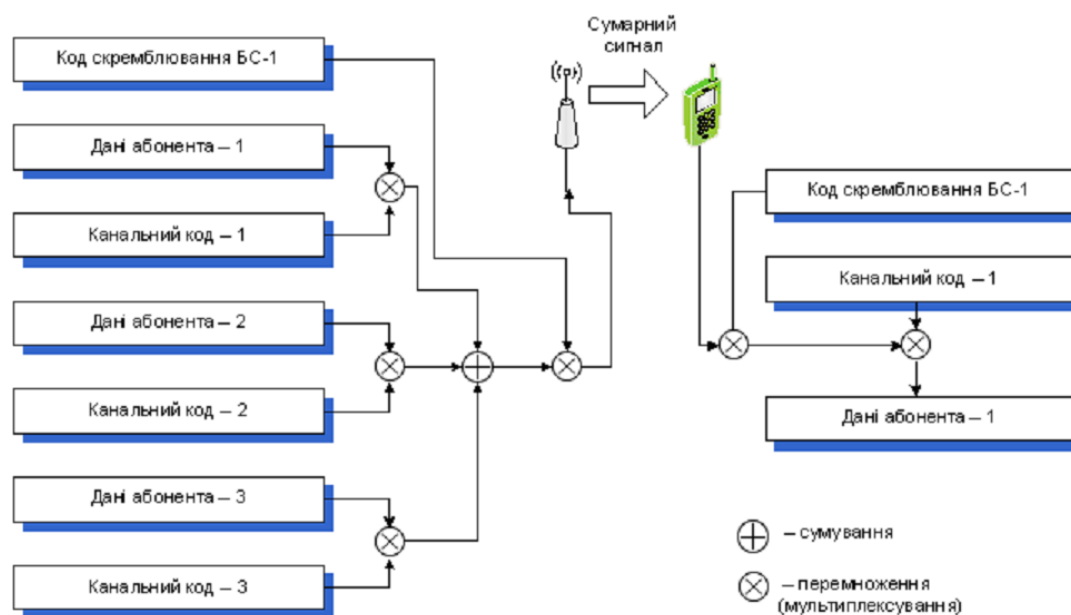


Рисунок 1.4 - Принципи зв'язку в системах CDMA

Між БС та АС повинні передаватись біти інформації з певною швидкістю біт/с. Реально замість бітів інформації передаються символи (або чіпи) з швидкістю символ/с (або чіп/с). Кількість символів в загальному випадку відрізняється від кількості бітів інформації. Наприклад, при використанні багатопозиційних видів модуляції кількість символів стає меншою за кількість інформаційних бітів (в одному символі передається декілька бітів). Навпаки, при використанні кодерів з швидкістю $1/k$ (на один вхідний біт на виході кодера утворюється k вихідних бітів) кількість символів стає більшою за кількість бітів. Система забезпечує певну швидкість передачі

Технічний параметр	Значення
Діапазон частот передачі MS	824,040-848,970 МГц
Діапазон частот передачі BTS	869,040-893,970 МГц
Вид модуляції несучої частоти	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Ширина спектра випромінюваного сигналу: по рівню мінус 3 дБ по рівню мінус 40 дБ	1,25 МГц 1,50 МГц
Тактова частота ПВП	1,2288МГц
Кількість елементів в ПВП для BTS	32768 біт

незалежно від того, що передається (біти інформації чи символи). Очевидно, якщо кількість символів більша за кількість інформаційних бітів, то

Таблиця 1.1 Технічні параметри системи IS-95

швидкість передачі останніх буде меншою за швидкість передачі символів. Відношення кількості чіпів до кількості бітів, які їх утворили, характеризує розширення спектру.

для MS	$2^{42}-1$ біт
Кодування в каналах передачі MS	згортковий код $r=1/3$, $K=9$, 64 кодування ортогональними сигналами Уолша
Необхідне для прийому відношення енергії біта інформації до спектральної щільності шуму (E_b/N_0)	6-7дБ

В системі, найвища вхідна швидкість інформаційного сигналу становить 19,2 Кбіт/с, а швидкість передачі чіпів (після кодування сигналу) – 1,2288 Мбіт/с. В результаті кожному інформаційному бітові вхідного потоку відповідає $(1,2288 \cdot 10^6)/(19,2 \cdot 10^3)=64$ чіпів вихідної послідовності. Виграш у відношенні сигнал/шум для розширеного і вхідного сигналу становить $10 \cdot \lg(128) \approx 18$ дБ. Якщо прийняти, що на вході приймача допустиме відношення сигнал/шум в 3 дБ, то передачу теоретично можна вести при рівні сигналу на 15 дБ нижче рівня інтерференційних завад. Найважливіші характеристики всієї системи IS-95, в основному, визначаються технічними можливостями базової станції – BTS, та абонентських станцій AC.

Для забезпечення можливості одночасного обслуговування однією BTS багатьох AC в межах одного частотного каналу формується 64 кодованих канали в прямому каналі. Для формування кодованих каналів використовується три види функцій:

- 1) ПВП — короткий код;
- 2) ПВП — довгий код;
- 3) Функції Уолша.

Всі вони являються загальними для BTS та AC, але реалізують різні функції представлені в табл. 1.2. У випадку прямого каналу передавальна частина знаходиться на базовій станції.

Таблиця 1.2 Параметри кодових послідовностей в стандарті IS-95

Тип сигналу	Довжина коду	Виконувані функції	
		BTS (базова станція)	АС (абонентська станція)
Код Уолша	64	Кодове ущільнення або розділення 64 каналів CDMA	Завадостійке кодування
Короткий код	$2^{15}-1$	Розділення сигналів базових станцій за величиною циклічного зсуву	Код з однаковим фіксованим циклічним зсувом, як опорний сигнал скремблера
Довгий код	$2^{42}-1$	Проріджений довгий код – як опорна послідовність скремблера	Довгий код з різним циклічним зсувом, як адресна послідовність

Для розпізнавання різних каналів використовується код прямого розширення спектру. Код розширення спектру в прямому каналі включає 64 ортогональні 64-бітові коди, отримані з матриці Адамара розміром 64x64.

Характерною особливістю технології CDMA являється кодове розділення каналів (абонентів) в загальній частотно-часовій області. При цьому використовується метод прямого розширення спектру DS-CDMA, який передбачає додавання даних (інформації) до каналного (розширюючого коду).

2. АНАЛІЗ АКФ І ВКФ ФУНКЦІЙ ШПС, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В СТАНДАРТІ CDMA

Протягом багатьох років системи з розширеним спектром методом прямої послідовності застосовувались тільки у військових цілях. Псевдошумовий сигнал з потужністю, яка не перевищує рівень шуму, досить важко виявити. Для можливості його розпізнавання приймач повинен знати конкретну ПВП, що використовувалась в передавачі, та бути синхронізованим з передавачем. Відмітимо, що в реальних системах використовуються псевдовипадкові послідовності з періодом від декількох десятків до багатьох тисяч біт. Вибір послідовності проводиться наступним чином:

- щоб її автокореляційна функція була приблизно рівна нулю незалежно від часового зсуву між послідовністю та її зсунутою копією (винятком є лише нульовий зсув, при якому автокореляційна функція приймає своє максимальне значення);

- в той же самий час функція взаємної кореляції для різних послідовностей однакової довжини повинна бути рівна нулю для будь-якого часового зсуву між послідовностями.

Нульова автокореляційна функція для будь-яких, відмінних від нуля, часових зсувів забезпечує стійкість системи до багатопроменевого поширення радіохвиль. Ширококутовий сигнал значно менше піддається впливу різних завад та перешкод. Розповсюджуючись між базовою станцією і мобільним апаратом, радіохвиля багато разів відбивається від перешкод. В результаті інтерференції сигналів, що пройшли різними шляхами, інтенсивність сигналу в певних точках приймання може різко зменшитись. Тобто, сигнал від передавача до одержувача потрапляє не тільки по найкоротшому шляху - прямій, але й іншими шляхами. Ця властивість розповсюдження радіосигналу називається багатопроменим поширенням радіохвиль. Багатопроменеve поширення може викликати ряд небажаних ефектів.

Стійкість до багатопроменевого поширення сигналу виникає, якщо тривалість чіпа є коротшою за найменшу різницю між затримками поширення сигналу різними шляхами. Сигнал приходить в приймач у вигляді декількох зсунутих в часі копій. Але різниці між часовими зсувами переважно більші тривалості одного чіпа. Отже приймач синхронізується з сильнішою складовою прийнятого сигналу. В результаті кореляційної обробки всі інші копії сигналу відкидаються. Точно так само, завдяки нульовій взаємній кореляції між двома різними послідовностями, відкидаються сигнали інших користувачів. З властивостей взаємної кореляції ПВП, які використовуються можна отримати цікаву властивість систем з розширеним спектром. Завдяки тому, що кореляційні пристрої приймача пропускають лише єдину послідовність, один і той же спектр може розділятися між різними користувачами, що використовують різні псевдо випадкові послідовності. Така властивість якраз і лежить в основі методу CDMA.

Сигнали з розширеним спектром мають цікаву особливість. При передавачі) відбувається розширення спектру сигналу. В приймачі вхідний радіосигнал з розширеним спектром поступає на корелятор, на другий вхід якого також подається шумоподібна послідовність, аналогічна тій, що була використана в передавачі. В результаті перемноження вхідного радіосигналу з шумоподібною послідовністю на виході корелятора отримаємо ефект зворотній тому, що відбувся в передавачі (спектр сигналу знову звужиться і стане рівним ширині спектру каналної бітової послідовності). Важливо відмітити наступну властивість сигналу з розширеним спектром:

- при першому перемноженні (в передавачі) бітової послідовності з сигналом шумоподібною послідовністю відбувається розширення спектру;
- друге перемноження (в кореляторі приймача) з такою ж шумоподібною послідовністю, знову звужує спектр до початкового спектру каналних бітів.

Ця властивість сигналів з розширеним спектром відіграє важливу роль в зменшенні негативного впливу завад. Інтерференція сигналів, що прийшли різними шляхами призводить до зниження сумарної інтенсивності лише в достатньо вузькому частотному діапазоні, і знову корисну інформацію можна відновити використовуючи непошкоджену частину сигналу. Звичайно, сигнал дещо погіршується, проте це погіршення не порівняти з втратами якості зв'язку при використанні звичайних методів модуляції. При використанні розширеного спектру можна прийняти сигнал, тільки знаючи послідовність, на яку був перемножений корисний сигнал при його передачі, в іншому випадку він виглядатиме як шум (звідси і назва). Для функціонування такої системи важливо забезпечити наступне: якщо два абонентські телефони, що знаходяться в зоні дії однієї базової станції, працюють на загальній частоті, але з різними кодуєчими послідовностями, то ці сигнали практично не повинні створювати перешкод один для одного.

Розширення спектру здійснюється за допомогою ПВП. ПВП – це повністю детерміновані періодичні цифрові послідовності з настільки довгим періодом порівняно з часом передачі одного елемента послідовності, що сторонньому спостерігачеві вони здаються випадковими [8]. В дійсності такі послідовності не можуть бути повністю випадковими, оскільки вони повинні бути повторені в приймачі. Кореляційна функція повинна представляти собою ідеальний імпульс, тобто символи ідеальної псевдовипадкової послідовності не повинні бути корельованими. Виникає наступне питання: які властивості повинна мати розширююча послідовність у випадку, якщо декілька користувачів виконують радіопередачу в одному і тому самому діапазоні частот (як це здійснюється в CDMA системі), щоб розрізнити користувачів? В якості розширюючої цифрової послідовності при застосуванні методу з розширенням спектру використовуються:

- послідовності Уолша;
- m-послідовності.

Розглянемо модуляцію в прямому каналі зв'язку, яка передбачає модуляцію інформаційного потоку, швидкість якого згідно рис. 1.8 складає 19,2 кбіт/с, ПВП на основі послідовностей Уолша 64 порядку, внаслідок чого швидкість потоку даних збільшується до 1,2288 Мбіт/с. Далі потік накладається на послідовність швидкість потоку якої складає також 1,2288 Мбіт/с. Так для простоти розрахунків і наглядної подачі АКФ і ВКФ ПВП, операція «виключне або» замінюється логічним множенням, при цьому біт інформації у вигляді «0» замінюється на «-1». Узагальнена структурна схема при канальній модуляції представлена на рис. 2.1.

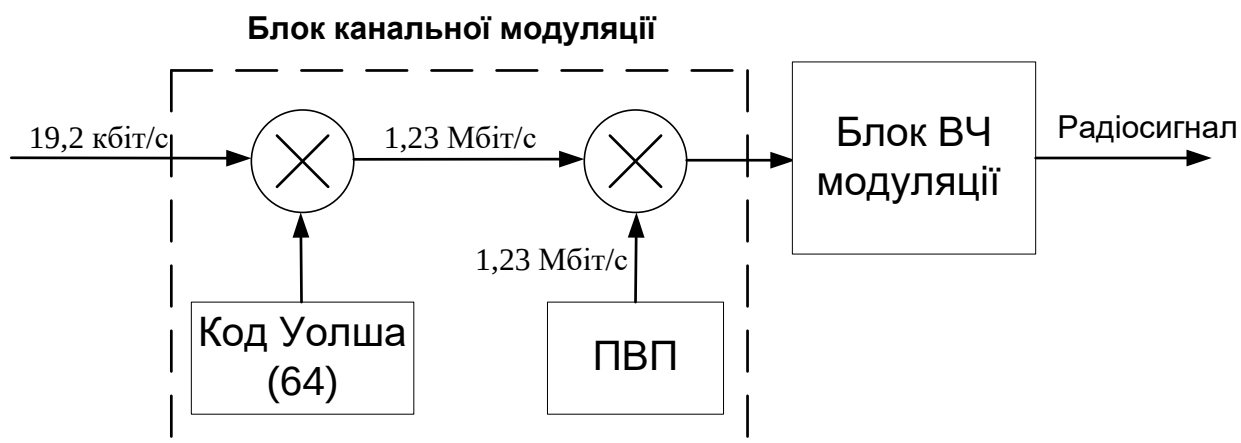


Рисунок 2.1- Структурна схема при канальній модуляції

Спочатку, як видно із схеми інформаційний потік модулюється послідовністю Уолша. Послідовностям Уолша властива їх точна взаємна ортогональність, яка описується рівнянням:

$$r = \int_0^T S_i(t) \times S_j(t) dt = 0$$

Така властивість, як відомо являється визначальною для CDMA систем. Взаємна кореляція двох різних послідовностей Уолша точно рівна нулю, тому послідовності Уолша використовуються в CDMA системах.

Кожна із послідовностей Уолша представляє собою один з k рядків матриці Адамара, причому в стандарті CDMA найчастіше використовується 64 рядкові матриці. Основна властивість рядків матриці полягає в тому, що вони (і їхня інверсія) взаємно ортогональні. Спосіб побудови матриці

Адамара досить простий. Матриця першого порядку $A_1 = [1]$. Матриця другого порядку

$$A_2 = \begin{bmatrix} A_1 & A_1 \\ A_1 & -A_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Матриця четвертого порядку має вигляд:

$$A_4 = \begin{bmatrix} A_2 & A_2 \\ A_2 & -A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Отже матриця $2n$ -го порядку утворюється за схемою: $H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix}.$

Рядки матриці $2n$ -го порядку побудовані в часі, замінивши в них символи «-1» на «0» і будуть являтися функціями або кодами Уолша. Для дослідження АКФ і ВКФ послідовностей Уолша створюємо матрицю Адамара 64 порядку в програмному пакеті MATLAB. Функція $H = \text{hadamard}(n)$ – створює матрицю Адамара порядку n . На рис. 2.2 показано відповідно генерація кодів Уолша за допомогою матриці Адамара.

Для аналізу АКФ і ВКФ виберемо два довільних рядка матриці Адамара за допомогою функції $\text{str} = H(k, :)$ в програмному середовищі. Вибираємо 11 і 56 рядки матриці, що і будуть відповідати відповідним послідовностям Уолша. На рис. 2.3 показаний приклад вибору необхідних рядків послідовностей.

Скориставшись програмою Microsoft Excel проведемо дослідження АКФ і ВКФ відповідних послідовностей. Записуємо значення 11-ої функції Уолша до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Кодова послідовність 11-ої функції Уолша

$W^{(11)}(t)$	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1
	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1		

Тривалість кодової комбінації t складає: $t=(1/1,23) \cdot 64 = 52 \cdot 10^{-6}$ с. Загальна формулу для визначення АКФ має вигляд:

$$r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s(t - \tau) dt. \quad (2.1)$$

Так як для дискретних функцій інтегрування можна замінити сумуванням, то перетворимо формулу (2.1) у вигляд:

$$r_i(\tau) = \sum_{p=1}^i W_i(t) W_i(t - \tau), \quad (2.2)$$

де $r_i(\tau)$ – значення АКФ у певній точці при зсуві на величину τ ,
 $W_i(t)$ – значення i -го чіпа в послідовності,
 $W_i(t-\tau)$ – значення i -го чіпа при зсуві на величину τ ,
 $i = 1 \dots 64$ – номер чіпа послідовності.

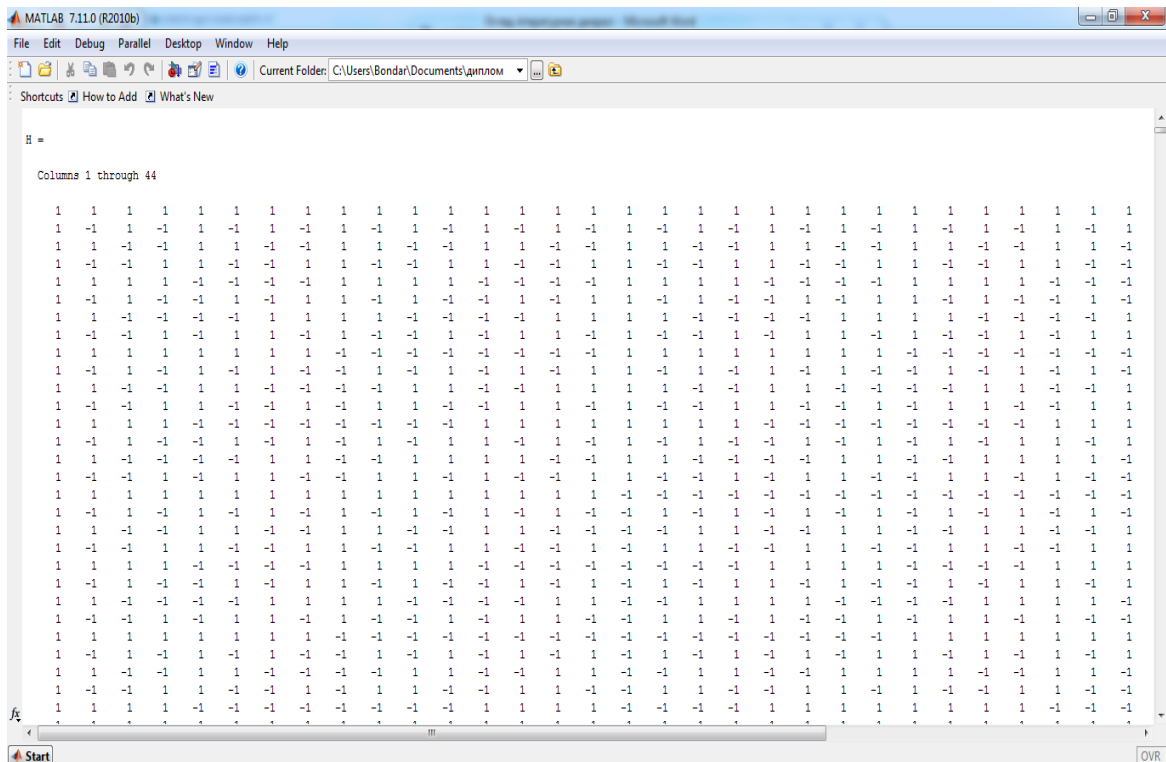


Рисунок 2.2 -Генерація кодів Уолша за допомогою матриці Адамара
 Задавши величину зсуву $\tau = (0,8;1,6;2,4 \dots 52) \cdot 10^{-6}$ с, тобто з кроком тривалістю в одного чіпа, те $t_{\text{бит}}=0,8 \cdot 10^{-6}$ с. Дані розрахунків числових значення АКФ для

11-ї функції Уолша приведені в табл. 2.2. Графічний вигляд АКФ поданий на рис.2.4.

Таблиця 2.2 Значення АКФ 11-ї функції Уолша у певній точці

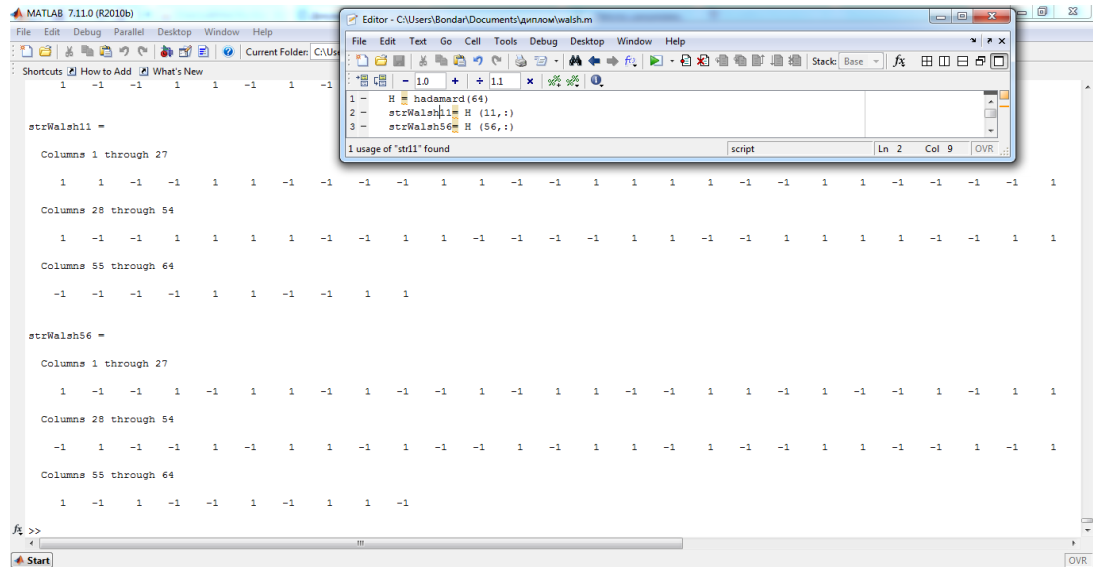


Рисунок 2.3 Вибір необхідних для аналізу послідовностей

$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}	$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}	$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}	$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}	$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}	$\tau, 10^{-6} \text{ c}$	r_{11}
-51,2	0	-33,6	14	-16	4	1,6	-34	19,2	-40	36,8	-6
-50,4	1	-32,8	-5	-15,2	-11	2,4	-15	20	-9	37,6	5
-49,6	2	-32	-24	-14,4	-26	3,2	4	20,8	22	38,4	16
-48,8	-1	-31,2	-7	-13,6	11	4	15	21,6	9	39,2	3
-48	-4	-30,4	10	-12,8	48	4,8	26	22,4	-4	40	-10
-47,2	1	-29,6	7	-12	13	5,6	-15	23,2	-9	40,8	-3
-46,4	6	-28,8	4	-11,2	-22	6,4	-56	24	14	41,6	4
-45,6	-1	-28	-7	-10,4	-13	7,2	-13	24,8	9	42,4	3
-44,8	-8	-27,2	-18	-9,6	-4	8	30	25,6	32	43,2	2
-44	-3	-26,4	7	-8,8	13	8,8	13	26,4	7	44	-3
-43,2	2	-25,6	32	-8	30	9,6	-4	27,2	-18	44,8	-8
-42,4	3	-24,8	9	-7,2	-13	10,4	-13	28	-7	45,6	-1
-41,6	4	-24	14	-6,4	-56	11,2	-22	28,8	4	46,4	6
-40,8	-3	-23,2	-9	-5,6	-15	12	13	29,6	7	47,2	1
-40	-10	-22,4	-4	-4,8	26	12,8	48	30,4	10	48	-4
-39,2	3	-21,6	9	-4	15	13,6	11	31,2	-7	48,8	-1
-38,4	16	-20,8	22	-3,2	4	14,4	-26	32	-24	49,6	2
-37,6	5	-20	-9	-2,4	-15	15,2	-11	32,8	-5	50,4	1
-36,8	-6	-19,2	-40	-1,6	-34	16	4	33,6	14	51,2	0
-36	-5	-18,4	-11	-0,8	15	16,8	11	34,4	5		
-35,2	-4	-17,6	18	0	64	17,6	18	35,2	-4		
-34,4	5	-16,8	11	0,8	15	18,4	-11	36	-5		

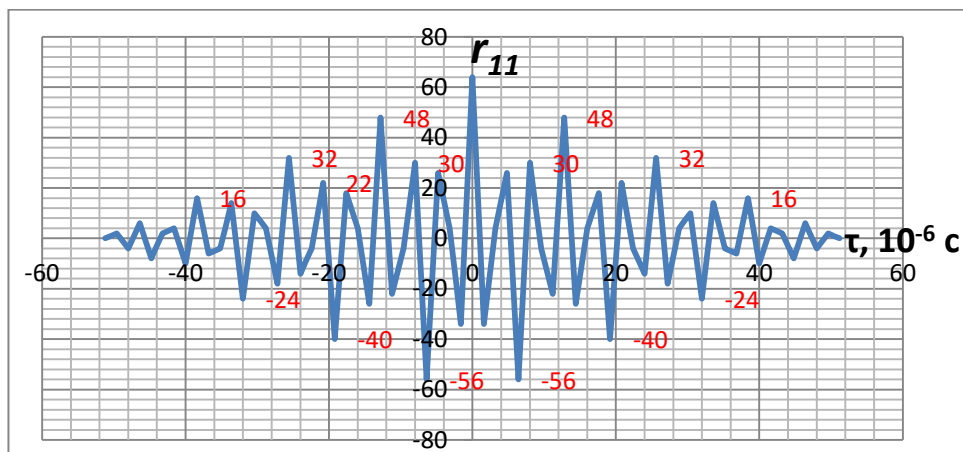


Рисунок 2.4- АКФ 11-ої функції Уолша

Проведемо розрахунок ВКФ для 11-ої і 56-ої послідовності Уолша, перетворивши формулу (2.2):

$$r_{ij}(\tau) = \sum_{p=1}^i W_i^{(11)}(t) W_j^{(56)}(t - \tau). \quad (2.3)$$

Записуємо значення чіпів послідовності 56-ої функції Уолша до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Кодова послідовність 56-ої Уолша

$W^{(56)}(t)$	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1		

Розраховані значення ВКФ для 11 і 56 послідовності Уолша приведені в табл.2.4 і у вигляді графіка ВКФ на рис. 2.5.

Таблиця 2.4 Значення ВКФ 11-ої і 56-ої функції Уолша у певній точці

$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$	$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$	$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$	$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$	$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$	$\tau, 10^{-6} \text{ с}$	$r_{11,56}$
-51,2	0	-33,6	0	-16	0	1,6	1	19,2	0	36,8	0
-50,4	1	-32,8	1	-15,2	3	2,4	-3	20	1	37,6	2
-49,6	0	-32	0	-14,4	0	3,2	0	20,8	0	38,4	0
-48,8	-1	-31,2	-2	-13,6	1	4	3	21,6	3	39,2	1
-48	0	-30,4	0	-12,8	0	4,8	0	22,4	0	40	0
-47,2	1	-29,6	1	-12	-3	5,6	1	23,2	1	40,8	-2
-46,4	0	-28,8	0	-11,2	0	6,4	0	24	0	41,6	0
-45,6	-2	-28	2	-10,4	1	7,2	1	24,8	-3	42,4	1
-44,8	0	-27,2	0	-9,6	0	8	0	25,6	0	43,2	0
-44	1	-26,4	1	-8,8	3	8,8	3	26,4	1	44	1
-43,2	0	-25,6	0	-8	0	9,6	0	27,2	0	44,8	0
-42,4	1	-24,8	-3	-7,2	1	10,4	1	28	2	45,6	-2
-41,6	0	-24	0	-6,4	0	11,2	0	28,8	0	46,4	0
-40,8	-2	-23,2	1	-5,6	1	12	-3	29,6	1	47,2	1
-40	0	-22,4	0	-4,8	0	12,8	0	30,4	0	48	0
-39,2	1	-21,6	3	-4	3	13,6	1	31,2	-2	48,8	-1
-38,4	0	-20,8	0	-3,2	0	14,4	0	32	0	49,6	0
-37,6	2	-20	1	-2,4	-3	15,2	3	32,8	1	50,4	1
-36,8	0	-19,2	0	-1,6	1	16	0	33,6	0	51,2	0
-36	1	-18,4	3	-0,8	1	16,8	1	34,4	2		
-35,2	0	-17,6	0	0	0	17,6	0	35,2	0		
-34,4	2	-16,8	1	0,8	1	18,4	3	36	1		

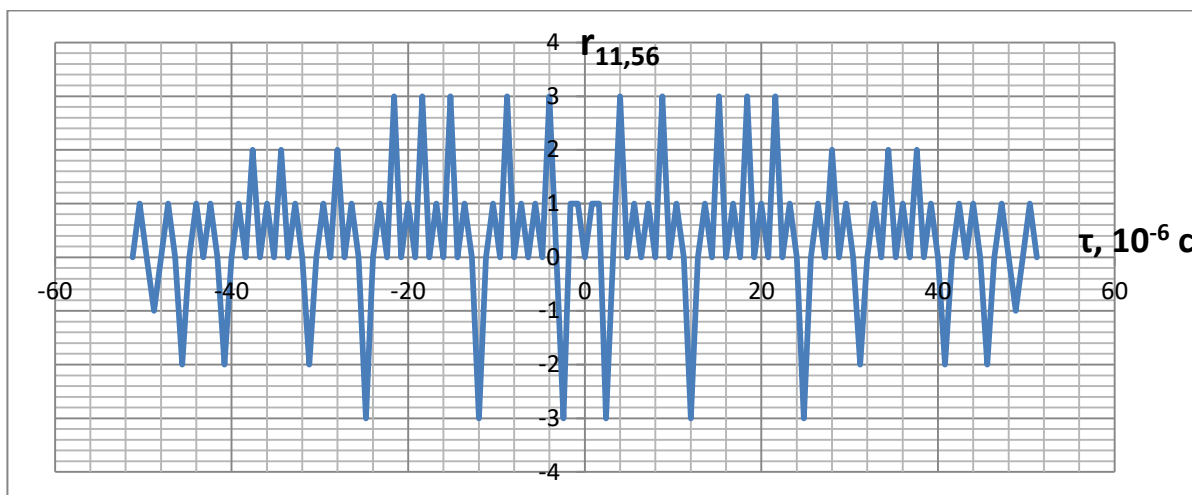


Рисунок 2.3 - ВКФ 11-ої і 56-ої функції Уолша

Аналізуючи подані нижче таблиці і графіки АКФ і ВКФ послідовностей Уолша, можна стверджувати що рівень бічних складових надзвичайно великий, внаслідок чого рівень їх амплітуд впливає на прийом корисної інформації. Приймач отримає дані від БС тільки при співпаданні кодових послідовностей, але так як до МС приходять ехо-копії сигналу з різною затримкою внаслідок багатопробеневого поширення хвиль то їх значення будуть складуватись або відніматись, і буде сприйматися приймачем як додатковий шум. Сигнал є корисним тільки для певного абонента від своєї БС, а сигнали від інших БС являються для нього заважаючими, тобто взаємною системною перешкодою.

Такий рівень бічних складових негативно впливає на роботу інших абонентів, створюючи на їх входах додатковий рівень шуму. Отже основним недоліком являється ненульові функції кореляції послідовності Уолша з своєю циклічно зсунутою копією, або з циклічно зсунутою копією іншої послідовності Уолша такої самої довжини.

3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ В МЕРЕЖІ CDMA

3.1. Методика знаходження відстані між мобільним терміналом і базовими станціями

Методика визначення відстані базується на основі далекомірного методу, що опирається на вимір затримки ПВП. В цілях спрощення процедури і скорочення часу синхронізації, тобто пошуку сигналів із прямим розширенням спектру, модуляцію сигналом повідомлення, що передається $d(t)$ виключають, вважаючи що $d(t)=1$.

Немодульований сигнал з прямим розширенням спектру (без модуляції повідомленням, що передається) носить назву пілот-сигнал – v_{ex} , який визначається наступним чином [6,7]:

$$v_{ex} = \sqrt{2 \cdot P_s} \cdot g(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta), \quad (3.1)$$

де P_s – потужність сигналу;

$g(t)$ – несуче коливання;

ω_0 – початкова частота сигналу;

t – час сигналу;

θ – початкова фаза сигналу.

Такий сигнал надходить на вхід приймача на протязі процедури пошуку.

Час затримки ПВП можливо обрахувати за допомогою порівняння опорного та прийнятого ПВП. Найбільш близьким до необхідного за технічною сутністю є спосіб визначення затримки одного псевдовипадкового радіосигналу щодо іншого, що полягає у демодуляції псевдовипадкових радіосигналів, вимірі затримки одного демодульованого псевдовипадкового радіосигналу щодо іншого і визначенні шуканої часової затримки за результатами цих вимірів. Даний метод призначений для

використання в системах виміру дальності. Оскільки тривалість ПВП стандарту множинного доступу із кодовим розділенням сигналу є відомою, то маючи певну кількість дискрет, що ми отримаємо буде характеризувати тривалість часу затримки. Маючи час затримки τ і знаючи швидкість розповсюдження радіохвилі у вільному просторі c , опираючись на залежність $\hat{R}_i = c \cdot \hat{\tau}_i$ ($i = 1..7$ - номери відповідних базових станцій), знаходимо відстань між абонентським терміналом і базовою станцією R_i . Повторюючи поетапно розрахунок для сусідніх базових станцій та провівши від них радіуси, які будуть рівними відстані між абонентським терміналом (АТ) та відповідними базовими станціями (БС) на лінії перетину цих радіусів знаходимо точне місцеположення АТ. Отримавши значення відстаней між абонентським терміналом і базовими станціями можливо зобразити графічно їх взаємне розташування (див.рис.3.1.). Враховуючи певну невизначеність точного місцеположення абонентського терміналу відносно базових станцій за рахунок двох точок перетину ліній відстаней до БС ми беремо до уваги поділ соти однієї БС на сектори. Оскільки кожна БС має поділ на три сектори, приблизно 120° кожен, то отримавши дані у якому саме секторі знаходиться АТ дана невизначеність може бути усунена. Маючи місцеположення, потрібно оцінити з якою точністю проводиться дана оцінка місце визначення.

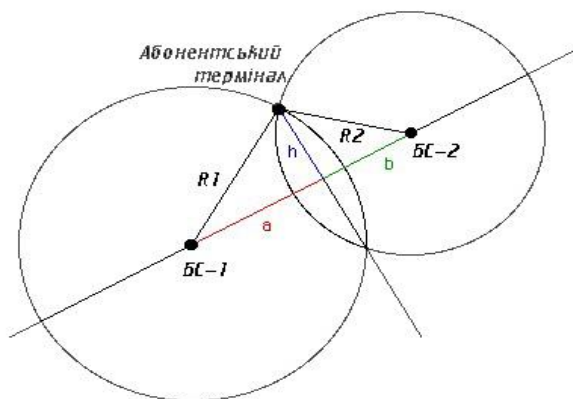


Рисунок 3.1- Лінії положення далекомірною методу

Важливою характеристикою даного параметру є оцінка середньоквадратичної похибки виміру місцеположення. Дана похибка дає змогу оцінити наскільки відповідає виміряне значення місцеположення рухомої станції відповідному дійсному значенню місцезнаходження абонентського терміналу.

3.2. Розрахунок середньоквадратичних похибок визначення місцеположення

Наступним кроком, що дає змогу характеризувати ефективність розробленої методики є обрахунок середньоквадратичної похибки точності виміру місцеположення, лінії положення та часу затримки.

Точність визначення координат є важливою характеристикою систем місцевизначення. Вона описується формулою [8]:

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{\sigma_{D1}^2 + \sigma_{D2}^2}}{\sin \alpha_M}, \quad (3.2)$$

де α_M – кут між дотичними до радіусів, проведених із відповідних базових станцій по знайденим радіусам,

σ_R – похибка визначення ліній положення.

Місцевизначення об'єкту позиційним методом визначається як точка перетину щонайменше двох ліній положення різного роду. Що описується даним рівнянням:

$$\sigma_{D1,2} = c \cdot \sigma_{\tau 1,2}, \quad (3.3)$$

де c – швидкість розповсюдження радіосигналу у вільному просторі;

σ_{τ} – середньоквадратична похибка виміру часу затримки, що описується рівнянням:

$$\sigma_{\tau 1,2} = \frac{\frac{L}{L_H + 1} \cdot \tau_{ПВП}}{\sqrt{q}}, \quad (3.4)$$

де L – кількість символів ПВП;

$\tau_{ПВП} = \frac{1}{\Delta f_{ПВП}}$ – тривалість одного символу ПВП із урахуванням тактової

частоти ПВП $\Delta f_{ПВП}$;

q – відношення сигнал/шум на виході демодулятора.

Тривалість одного символу ПВП знаходиться як відношення:

Дана залежність знаходиться із рівняння, згідно [8]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ш}^2 = \sigma_R^2 &= (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{(N_0 + N_I) \cdot \Delta F}{P_C} = (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{\Delta F^{вих} \cdot P_{ш}}{\Delta F^{вх} \cdot P_C} = \\ &= (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{1}{\frac{P_C^{вх}}{P_{ш}^{вх}} \cdot \frac{\Delta F_{прм}^{вх}}{\Delta F^{вих}}} = \frac{(c \cdot \sigma_\tau)^2}{q^{вх} \cdot N}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де $\varepsilon_{ш}$ – дисперсія шуму;

σ_R – середньоквадратична похибка точності виміру місцеположення;

c – швидкість розповсюдження радіосигналу у вільному просторі;

σ_τ – середньоквадратична похибка виміру часу затримки;

N_0 – спектральна щільність потужності флуктуаційних шумів;

N_I – спектральна щільність потужності взаємних завад;

ΔF – діапазон частот фільтру нижніх частот;

$\Delta F^{вих}$ – діапазон частот приймача на виході;

$\Delta F^{вх}$ – діапазон частот приймача на вході;

$P_{ш}$ – потужність шуму;

P_C – потужність сигналу;

q^{ex} – відношення сигнал/шум на вході корелятора;

N – база сигналу.

Зважаючи на значення відношення $\frac{L}{L_H + 1} = \frac{128}{129} \approx 1$, формула (3.4) матиме вигляд

$$\sigma_{\tau 1,2} \approx \frac{\tau_{ПВП}}{\sqrt{q}}.$$

Таким чином, точність знаходження місцеположення зростає при зменшенні похибок визначення ліній положення і наближення куту перетину ліній положення α_M до 90° . Якщо оцінка похибок на основі наближених формул недостатня, то розрахована точка перетину ліній положення знаходиться у межах області, що називається еліпсом похибок або еліпсом розсіювання.

3.3. Методика знаходження координат абонентського терміналу по відомим координатам базових станцій

Для визначення координат об'єкту використовують дві базові станції, що розміщені в точках А та В (див.рис.3.2), координати яких відповідно дорівнюють X_A, Y_A , та X_B, Y_B .

Для виведення формул визначення координат об'єкту із точок розміщення базових станцій можна провести дуги окружностей із радіусами R_1 та R_2 , що проходять через абонентський термінал С (X, Y).

Розглянемо методику розрахунку координат об'єкту в прямокутних координатах, відповідно до рис.3.2 [10].

$$\left. \begin{aligned} (X - X_B)^2 + (Y - Y_B)^2 &= R_2^2 \\ (X - X_A)^2 + (Y - Y_A)^2 &= R_1^2 \end{aligned} \right\},$$

за умови, що

$$(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 = R_{AB}^2,$$

можливо отримати приріст ΔX та ΔY по відношенню до першої і другої базової станції.

Формули для визначення координат об'єктів будуть мати вигляд

$$X = X_B - (Y_A - Y_B) \sqrt{\frac{R_2^2}{R_{AB}^2} - 0,5 \left(1 + \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{AB}^2} \right)} + (X_A - X_B) \cdot \left(1 + \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{AB}^2} \right);$$

$$Y = Y_B - (X_A - X_B) \sqrt{\frac{R_2^2}{R_{AB}^2} - 0,5 \left(1 + \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{AB}^2} \right)} + (Y_A - Y_B) \cdot \left(1 + \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_{AB}^2} \right),$$

де $(X_A; Y_A), (X_B; Y_B)$ - координати відповідних базових станцій;

$(X; Y)$ - координати абонентського терміналу;

R_1 - відстань першої БС до АТ;

R_2 - відстань від другої БС до АТ;

R_{AB} - відстань від першої до другої БС.

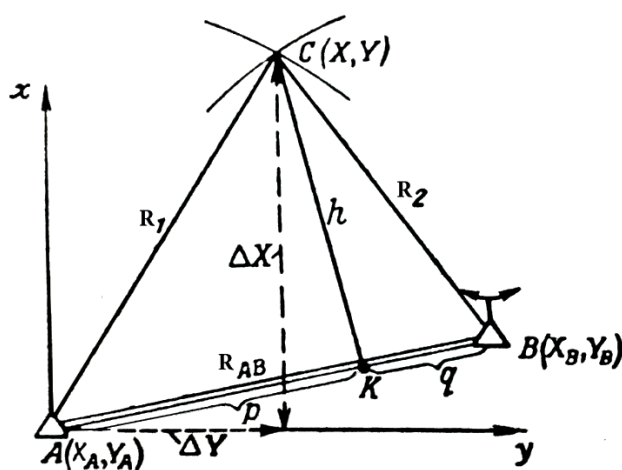


Рисунок 3.2. – Вирішення задачі визначення координат за допомогою далекомірних систем

Маючи відхилення знайдених значень від істинних координат $\Delta X, \Delta Y$ маємо можливість розрахувати похибку знаходження координат: $|\rho| = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$.

Зобразимо дану послідовність операцій у вигляді блок-схеми алгоритму розрахунків точності місцевизначення рухомої станції (див.рис.3.3.).

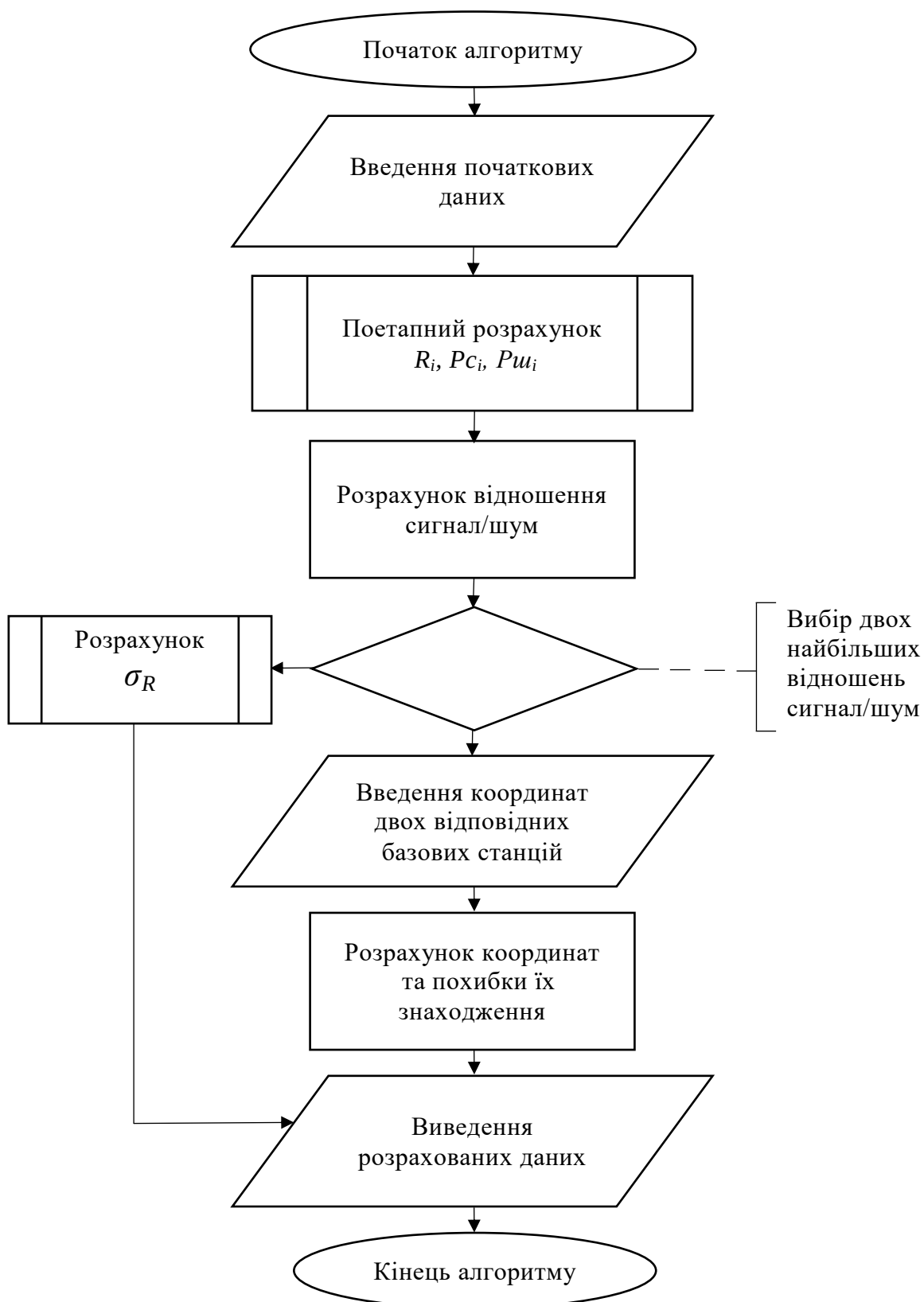


Рисунок 3.3. – Блок-схема розробленого алгоритму

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ

Згідно алгоритму, розробленого в попередньому розділі, програмна модель повинна містити функціональні блоки, що будуть забезпечувати: введення даних необхідних для розрахунків, розрахунок відношення сигнал/шум для кожної БС по введеним часовим затримкам, розрахунок середньоквадратичних похибок точності місцевизначення з урахуванням виділення двох найбільших відношень сигнал/шум, розрахунок координат АТ відносно заданих координат БС та розрахунок похибок визначення координат.

В якості середовища програмування було обрано «*Mathcad*», яке являється специфічними вузькоспеціалізованим програмним пакетом, що дозволяє проводити математичні розрахунки і симуляцію процесів з високою точністю і наочністю.

Наступним кроком для оцінки ефективності даної методики є побудова робочої зони, за допомогою моделювання у програмному середовищі відповідних умов місцезнаходження рухомої станції відносно базових. Сутністю побудови робочої зони є розбиття стільника на певні ділянки за допомогою відповідної координатної сітки (див.рис.4.1) і почерговий розрахунок точності місцевизначення. Дане зображення дає змогу побачити, що будь-яка ділянка стільника це ніщо інше як сукупність точок, точність місцевизначення у яких ми можемо розрахувати циклічно повторюючи розрахунки чотирьох блоків, вводячи змінні необхідні для розрахунку. Для наочності проведемо розрахунок однієї із точок досліджуваної ділянки соти. Для прикладу візьмемо точку з координатами (7; 8). Маючи зображення розміщення базових станцій із накладеною координатною сіткою та відповідним масштабом визначаємо потрібну нам точку. Вимірюємо відстані до усіх БС та проводимо зворотній розрахунок:

$$\hat{\tau}_i = \frac{\hat{R}_i}{c},$$

де i – індекси відповідних базових станцій.

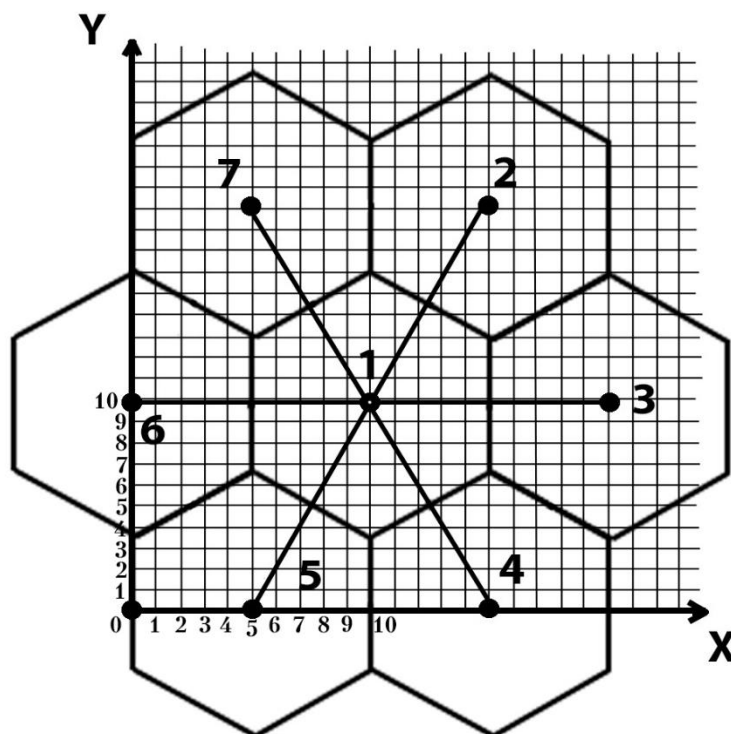


Рисунок 4.1. - Розбиття стільника за допомогою координатної сітки

Отримавши усі часові затримки вводимо їх до другого блоку, на виході отримуємо сім відношень сигнал шум. Обравши два найбільших вводимо їх значення для розрахунків у третьому блоці. Проводимо дві окружності від базових станцій, відношення сигнал/шум яких найбільше і за допомогою програми Screen Protractor вимірюємо кут перетину ліній положення. Вводимо значення кута перетину і на виході третього блоку отримуємо значення середньоквадратичної похибки точності місцевизначення. Останнім кроком є розрахунок координат та похибки їх розрахунку. Вводимо відповідно до координатної сітки координати базових станцій, які використовувались для розрахунку похибок. Отримаємо розраховані координати, та ввівши у другому пункті дійсні координати отримуємо

похибку їх визначення. Отримане значення повинно задовольняти нерівність $\rho \leq 3\sigma_R$.

Виконавши дані розрахунки для четвертої частини стільника ми можемо за рахунок симетричності побудови стільника зобразити робочу зону інших трьох ділянок як дзеркальне відображення попередньо обрахованої. Далі будуємо робочу зону системи визначення місцезнаходження рухомої станції (див.рис.4.2.).

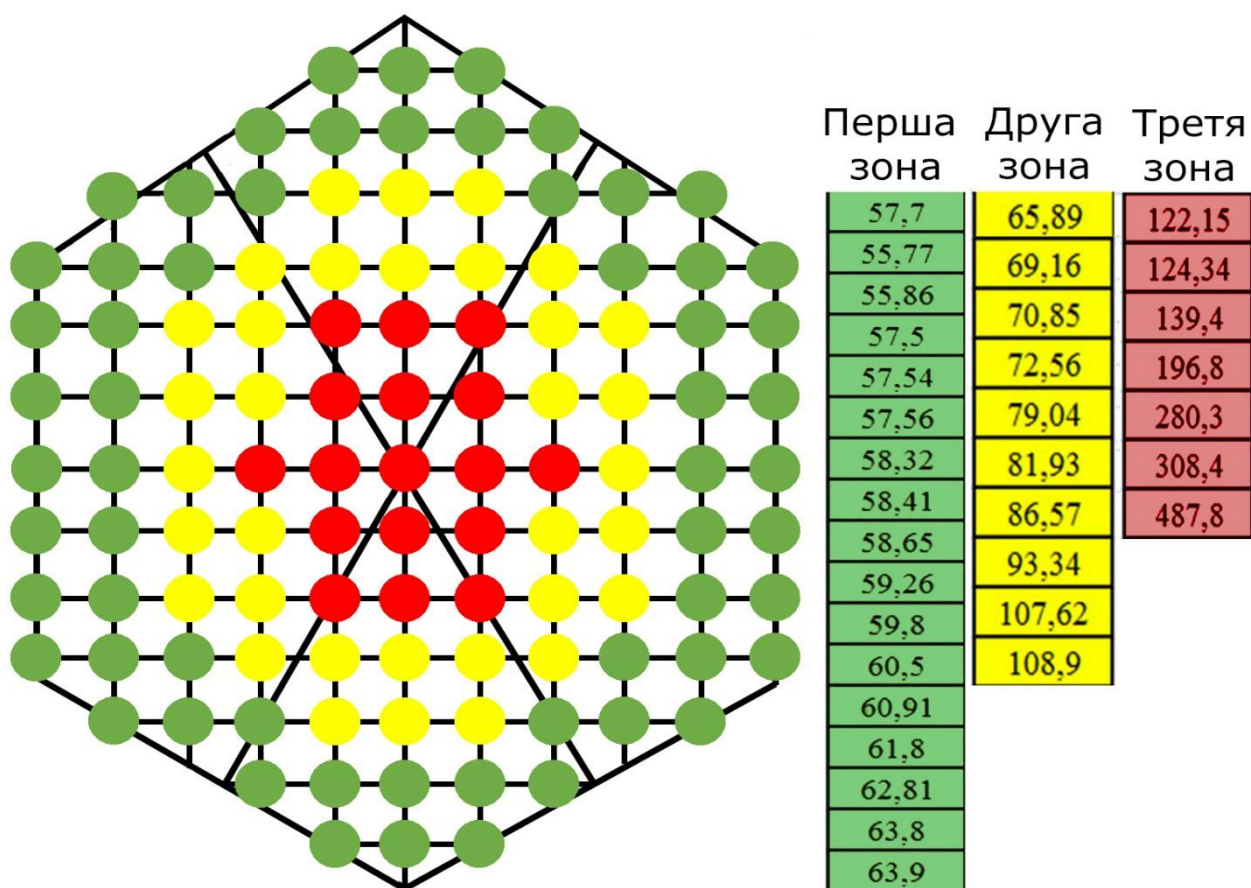


Рисунок 4.2 – Робоча зона системи

Залежно від точності місце визначення всю робочу зону можна поділити на три ділянки. Ділянка, що позначена червоним кольором, відповідає найгіршій точності ($490\text{м} > \sigma_R > 109\text{ м}$), ділянка жовтого кольору - задовільним показникам точності ($109\text{м} > \sigma_R > 64\text{ м}$) та ділянка зеленого кольору має найкращий показник точності місце визначення ($64\text{м} > \sigma_R > 57\text{ м}$).

Аналізуючи отримані дані ми можемо зробити висновки про залежність точності визначення місцезнаходження рухомої станції відносно її розташування у стільнику, а саме точність у центрі стільника є найгіршою, що можна пояснити достатньо малим значенням кута перетинання ліній положення. Проводячи досліди із урахуванням впливу кута перетину ліній положення на точність місцевизначення було виявлено, що із зростанням кута на кожні 10 градусів покращується точність приблизно на 3-5%.

Підсумувавши отримані дані можна зробити висновки, що середня точність у межах робочої зони складає приблизно 100 м.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано огляд особливостей сигналів, що використовуються у стандарті CDMA IS-95, проведена оцінка можливості використання функцій Уолша для оцінки дальності до рухомої станції, спираючись на кореляційні властивості шумоподібних сигналів

Розроблена методика визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA за сигналами базових станцій на основі аналізу технічних характеристик та принципів побудови системи CDMA. Запропоновано для проведення місцевизначення використовувати далекомірний метод, що базується на визначенні затримки сигналів відносно кожної базової станції через аналіз структури широкосмугових сигналів, а саме на основі аналізу структури сигналів калібровки, що випромінюються базовими станціями. Отримані аналітичні вирази щодо точності визначення місцезнаходження рухомої станції. Розроблений алгоритм знаходження координат рухомої станції на основі заданих координат двох базових станцій та розраховані значення похибки їх знаходження.

За результатами аналітичного моделювання було визначено робочу зону системи місцевизначення на основі технології CDMA. В процесі проведення моделювання було обрано місцеположення базових станцій та розраховані значення точності місце визначення для кожної точки робочої зони.

Середньоквадратична похибка визначення місцеположення змінюється у межах стільника, що пояснюється зміною значенням кута перетинання ліній положення. При цьому зростанням кута на кожні 10 градусів покращує точність визначення місцеположення приблизно на 3-5%.

Робота виконана в повному обсязі, мета роботи досягнута.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Яненко О. П. Метрологія мобільних телекомунікаційних систем: навч. посібн. / О. П. Яненко, В. В. Лисенко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 300 с.
2. Скрипник Ю. О. Технології бездротових мереж та мобільного зв'язку: навч. посібн. / Ю. О. Скрипник. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – 365 с.
3. Губарєв В. Г. Технології передачі даних у бездротових мережах: підручник / В. Г. Губарєв. – Київ : КНУБА, 2016. – 278 с.
4. Петров О. С. CDMA технології в телекомунікаційних системах / О. С. Петров. – Львів : ЛНУ, 2014. – 292 с.
5. Дробязко Т. І. Основи мобільного зв'язку та мережі CDMA: навч. посібн. / Т. І. Дробязко. – Одеса : ОНПУ, 2018. – 312 с.
6. Коваленко І. В. Теорія радіозв'язку та методи місцевизначення у CDMA системах / І. В. Коваленко. – Київ : Кондор, 2019. – 210 с.
7. Сидоренко В. Д. Методи оцінювання точності у системах мобільного зв'язку / В. Д. Сидоренко. – Львів : ЛНУ, 2020. – 238 с.
8. Кравчук П. М. Цифрові технології місцевизначення в системах CDMA / П. М. Кравчук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 270 с.
9. Чернявський О. С. Алгоритми і методи розрахунку точності в CDMA мережах / О. С. Чернявський. – Харків : ХАІ, 2021. – 310 с.
10. Lee J. CDMA Systems for Wireless Communications / J. Lee. – New York : Wiley, 2008. – 420 p.
11. Viterbi A. Principles of Spread-Spectrum Communication Systems / A. Viterbi. – New York : Springer, 2005. – 345 p.
12. Holma H. WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE / H. Holma, A. Toskala. – Chichester : Wiley, 2007. – 500 p.
13. Chen J. Positioning in Wireless Communications Systems / J. Chen, Y. Xie. – Cambridge : Cambridge University Press, 2017. – 280 p.

14. Rappaport T. *Wireless Communications: Principles and Practice* / T. Rappaport. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. – 707 p.
15. Schwarz S. *LTE and 5G: Modern Radio Access Technologies* / S. Schwarz, M. Rupp. – Cambridge : Cambridge University Press, 2020. – 450 p.
16. Saunders S. *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems* / S. Saunders. – Chichester : Wiley, 2007. – 456 p.
17. Li X. *Location-Based Services in Mobile Networks* / X. Li. – New York : Springer, 2013. – 330 p.
18. Tavares P. *Wireless Location in CDMA Networks* / P. Tavares. – London : Wiley, 2002. – 305 p.
19. Dong H. *Modern CDMA Techniques* / H. Dong. – Berlin : Springer, 2016. – 298 p.
20. Lin Y. Accuracy of Positioning in CDMA Cellular Networks // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2021. – Vol. 18, No. 3. – P. 148-160.
21. Anderson J. Analysis of Mobile Station Positioning Techniques in CDMA Networks // *Wireless Networks Journal*. – 2019. – Vol. 25, No. 4. – P. 237-250.
22. Sun W. Hybrid Localization in CDMA Networks for High-Accuracy Positioning // *International Journal of Telecommunications*. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 89-102.
23. Patel K. Impact of Environmental Factors on Mobile Station Positioning in CDMA Networks // *IEEE Communications Letters*. – 2019. – Vol. 23, No. 7. – P. 620-628.
24. Sharma S. Advanced Algorithms for Enhancing Positioning Accuracy in CDMA Systems // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 450-462.
25. Li J. Positioning Accuracy in Dense Urban Environments Using CDMA // *Journal of Wireless Mobile Networks*. – 2022. – Vol. 11, No. 1. – P. 32-47.

26. Barnes C. Analysis of Localization Error in CDMA Networks // Journal of Communications. – 2020. – Vol. 15, No. 4. – P. 158-172.
27. Krishnan R. Position Estimation Techniques in CDMA-Based Systems // International Journal of Wireless Information Networks. – 2019. – Vol. 26, No. 3. – P. 115-128.
28. Wang H. Evaluation of Time-Based Positioning Techniques in CDMA Networks // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2020. – Vol. 19, No. 5. – P. 120-135.
29. Fischer M. Precision Localization in CDMA Cellular Networks: Methods and Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2021. – Vol. 23, No. 4. – P. 501-519.
30. Яненко О. П. Точність місцевизначення в CDMA мережах: методи та підходи // Вісник ХНУРЕ. – 2020. – № 5. – С. 65-78.
31. Лисенко В. В. Аналіз методів підвищення точності місцевизначення в системах CDMA // Вісник ОНПУ. – 2019. – № 3. – С. 98-112.
32. Гриценко І. В. Порівняння методів місцевизначення у системах мобільного зв'язку CDMA // Телекомунікаційні системи. – 2021. – № 6. – С. 54-69.
33. Савченко О. С. Оцінка похибки місцевизначення рухомої станції у мережі CDMA // Радіотехніка. – 2020. – № 2. – С. 41-56.
34. Коваль І. В. Підвищення точності місцевизначення в системах CDMA за допомогою гібридних алгоритмів // Інформаційні технології і телекомунікації. – 2019. – № 4. – С. 75-90.
35. Піддубний М. А. Використання технології GPS для покращення місцевизначення у CDMA мережах // Телекомунікації і безпека. – 2021. – № 7. – С. 110-125.
36. Мельниченко Т. С. Дослідження впливу перешкод на точність місцевизначення в мережах CDMA // Вісник Київського політехнічного інституту. – 2022. – № 5. – С. 34-49.

- 37.Петров П. М. Методи покращення точності місцевизначення в системах мобільного зв'язку CDMA // Вісник ВНТУ. – 2019. – № 10. – С. 80-95.
- 38.Мартиненко С. О. Аналіз похибок при місцевизначенні у CDMA мережах з рухомими станціями // Радіoeлектроніка і телекомунікації. – 2021. – с. 27-42.