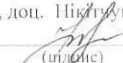


Міністерство освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»
Факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
Кафедра біомедичної інженерії та телекомунікацій

УДК 654.165

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
к.т.н., доц. Нікитук Т.М.


(підпис)
«14» грудня 2021 р.

АТЕСТАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «Дослідження точності визначення місцезнаходження рухомої
станції в мережі CDMA»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Виконавець роботи:


(підпис, дата)

Кравчук І.Р.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

к.т.н., доц.
(науковий ступінь, вчене звання)


(підпис, дата)

Андрєв О.В.
(ініціали, прізвище)

Житомир
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему «Дослідження точності визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЗТРм-20-1 спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» Кравчук І.Р.

Керівник Андрєєв О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дубина О.Ф.
(прізвище та ініціали)

Житомир
2021

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій

 Т.М. Нікітчук
«13» січня 2021 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Кравчук Ілля Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження точності визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA.

затверджено наказом по університету від «8» листопада 2021 р. № 547с

2. Мета дослідження: оцінка точності визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.) - мережа мобільного зв'язку стандарту CDMA.

4. Основні задачі дослідження оцінка точності визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі CDMA

5. Термін подання роботи до захисту 10 грудня 2021 р.

6. Дата видачі завдання «13» січня 2021 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання



(прізвище, ініціали)

Андрєв О.В.
(прізвище, ініціали)

Кравчук І.Р.
(прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
АНОТАЦІЯ	6
РЕФЕРАТ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМИХ СТАНЦІЙ У СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ	
1.1. Огляд і оцінка існуючих систем місцевизначення рухомих станцій в стільникових мережах GSM	13
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ В МЕРЕЖІ CDMA	
2.1. Основні принципи та особливості роботи стандарту CDMA One (IS-95). Технічні характеристики	27
2.2. Методика знаходження відстані між мобільним терміналом і базовими станціями	32
2.3. Розрахунок оцінки середньоквадратичних похибок часу затримки, ліній положення та виміру місцеположення	39
2.4. Методика знаходження відношення сигнал/шум на виході демодулятора	42
2.5. Методика знаходження координат абонентського терміналу по відомим координатам відповідних базових станцій	47
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ ЗА СИГНАЛАМИ СТІЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ CDMA ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗТАШУВАННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ ВІДНОСНО БАЗОВИХ	
3.1. Моделювання розробленого алгоритму. Програмна модель, обґрунтування вибору програмного комплексу та його функціональні можливості	52

3.2. Побудова робочої зони за допомогою моделювання у програмному середовищі	57
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ 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 слідування за затримкою.

АНОТАЦІЯ

В даній магістерській роботі виконана розробка методики місцевизначення рухомої станції в мережі CDMA. Проведений аналіз сучасних методів та пристроїв, що реалізують задачу визначення місцезнаходження рухомих станцій у мережах стільникового зв'язку і визначено, що на сьогодні відсутні аналоги даних методик для стандарту CDMA IS-95. Виконано синтез методики поетапного розрахунку необхідних параметрів по часовим затримкам з урахуванням особливостей стандарту, розрахунку відстаней до абонентського терміналу від відповідних базових станцій та розрахунку координат по заданим координатам базових станцій. Виконано аналітичний та теоретичний аналіз точності проведених розрахунків. Розроблена програмна модель розрахунку місцеположення та координат абонентського терміналу. Побудована робоча зона системи місцевизначення рухомої станції у мережі CDMA. За результатами проведених досліджень розроблені рекомендації щодо використання розробленого методу.

ANNOTATION

In this master's work done to develop methods of position finding mobile station in the network CDMA. The analysis of modern methods and devices that implement the task of determining the location of mobile stations in cellular networks and determined that there was no analogues data presentation techniques for standard CDMA IS-95. 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. Done analytical and theoretical analysis of the accuracy of the calculations.

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

РЕФЕРАТ

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

Ключові слова: базова станція, рухома станція, мобільний зв'язок, CDMA, визначення місцеположення.

Атестаційна магістерська робота викладена на 64 сторінках основного тексту, що включає 27 ілюстрацій, 3 таблиці. А також має 4 додатки, що викладені на 8 сторінках. Список використаних джерел нараховує 21 найменування на 2 сторінках. Повний обсяг роботи складається з 75 сторінок.

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, ознайомлення із існуючими методами визначення місцезнаходження рухомих станцій в мережах стільникового зв'язку, проведено їх аналіз, визначено їх переваги та недоліки. Виявлена відсутність аналогів для досліджуваного стандарту та вказана перспективність розробки даної методики.

У другому розділі виконано синтез методики поетапного розрахунку необхідних параметрів по часовим затримкам з урахуванням особливостей стандарту, розрахунку відстаней до абонентського терміналу від відповідних базових станцій та розрахунку координат по заданим координатам базових станцій.

У третьому розділі розроблено програмну модель та проведено експериментальні дослідження точності місцевизначення в залежності від розташування рухомої станції. Побудована робоча зона системи. Результати дослідження підтвердили ефективність запропонованого методу та узгодженість з теоретичними положеннями.

ВСТУП

До сфери телекомунікацій у наш час інвестується 450 млрд. доларів США. Це друге місце у світовій шкалі інвестицій, випереджаючи галузь хімії та автомобілебудування. Створення систем місцевизначення і телекомунікацій є доволі значним як у своїй вартості реалізації, так і по своїм можливостям та масштабам.

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.

Беручи до уваги оцінку існуючих систем місцевизначення рухомих станцій у мережах стільникового зв'язку можна сказати, що це процес із постійною адаптацією до відповідної системи, оскільки кожна з них базується на певній унікальній технології, що потребує модифікації старих методів визначення.

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. Використовуючи унікальний код для розрізнення кожної окремої соти, CDMA дає можливість безлічі користувачів одночасно "ділити" ефір - без атмосферних перешкод, "перетину" розмов або інтерференції.

В стандарті використовується окрема обробка відбитих сигналів, що проходять із різними затримками і наступне їх сумування значно знижує негативний вплив ефекту багатопроменевості. При окремій обробці променів в кожному каналі прийому на базовій станції використовується 4 паралельно працюючих корелятори, а на рухомій станції – 3. Наявність паралельно працюючих кореляторів дозволяє здійснити м'який режим почергової передачі при переході із одної соти в іншу.

М'який режим почергової передачі проходить за рахунок управління рухомою станцією двома або більше базовими станціями. Транскодер, що входить до складу основного обладнання, проводить оцінку якості прийому сигналів від п'яти базових станцій послідовно кадр за кадром. Процес вибору найкращого кадру призводить до того, що результуючий сигнал може бути сформований в процесі неперервної комутації і наступного сумування кадрів, що приймалися різними базовими станціями, що приймають участь у почерговій передачі сигналу.

Саме на основі цих властивостей даного стандарту, а саме можливості рухомої станції одночасно приймати і обробляти сигнал із щонайменше п'яти базових станцій, порівнювати ці сигнали із опорними і вимірювати відповідну часову затримку та компенсувати за рахунок окремої обробки відбитих сигналів негативний вплив багатопроменевості, що безпосередньо є доцільним для густозаселених районів міста, було вирішено розробити методику визначення рухомої станції в мережі CDMA.

Причиною розробки цієї методики послугувало все більше зростання кількості абонентів у мережі CDMA і необхідність можливості їх місцевизначення. Адже інтегрування у кожний телефонний апарат модуля

глобальної системи позиціювання є недоцільним, оскільки це потребує модифікації застарілих моделей телефону та більшої вартості нових апаратів. А запропонована у роботі методика дає змогу виявляти місцезнаходження мобільного апарату як у центрі комутації, так і безпосередньо самим абонентом без великих витрат на модифікацію системи чи абонентського терміналу.

Метою магістерської роботи є дослідження можливості визначення місцеположення рухомої станції за сигналами стільникової системи CDMA, оцінка точності даної методики та побудова її 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 експериментальних досліджень розробленої методики;
- побудова робочої зони точності місцевизначення розробленої методики;

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 розрахунків методики визначення місцезнаходження рухомої станції та проведена оцінка точності місцевизначення.

Розроблено програмну модель призначену для розрахунків усіх необхідних параметрів розробленої методики визначення місцезнаходження рухомої станції.

Дана система може бути адаптована для інтеграції до програмного забезпечення абонентського терміналу і давати можливість абоненту отримувати значення координат свого місцеположення із середньою точністю ≈ 100 метрів. В залежності від необхідної точності місцевизначення отримані три відповідних ділянки робочої зони в межах стільника. Тому в залежності від заданої точності буде запропонована відповідна ділянка стільника - перша зона із оптимальним показником точності місцезнаходження ($64 > \sigma_R > 57m$), друга зона із задовільним показником точності місцезнаходження ($109 > \sigma_R > 64m$) та третя зона із значенням показника точності місцезнаходження нижче середнього ($490 > \sigma_R > 109m$).

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМИХ СТАНЦІЙ У СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Огляд і оцінка існуючих систем місцевизначення рухомих станцій в стільникових мережах GSM

В даний час стільникові оператори - в тому числі і в Україні - стали досить активно пропонувати нові послуги на основі визначення місця розташування абонента. Існують декілька видів систем мобільного позиціонування. Теоретично системи позиціонування (СП) дозволяють визначити координати абонента з точністю до декількох десятків метрів і є реальною альтернативою системам глобального (супутникового) позиціонування, але лише на території обслуговування стільникових мереж. Завдання позиціонування мобільних телефонів припускає автоматичне визначення їх місця розташування в межах стільникових мереж. При цьому під терміном "місце розташування" слід розуміти не знаходження географічних координат - широти і довготи (що в принципі також можливо, а однозначну ідентифікацію положення власника мобільного телефону на місцевості (електронній карті). Експерти відзначають можливість подвійного призначення подібних технологій, адже теоретично можна відстежити будь-якого власника мобільного телефону. Тим більше, що способи визначення положення, засновані на використанні тільки обладнання мережі, можуть видавати дані безперервно і без жодного повідомлення абонента або його дозволу [1].

Запровадження системи мобільного позиціонування (СМП) викликає тривогу у людей, що піклуються про конфіденційність особистого життя, адже положення мобільного телефону можна визначити не тільки в момент розмови, але і в режимі очікування виклику. У такій ситуації найбільш коректним рішенням є повідомлення координат мобільної станції, тільки після попередньої згоди її власника. З іншого боку, використання систем мобільного позиціонування може серйозно полегшити роботу екстрених служб.

У зв'язку з цим, зокрема, Федеральною комісією з електрозв'язку США (FCC) був розроблений набір вимог, відомий як документ 94-102, прийнятий 12 червня 1996. Він передбачає, щоб до 1 жовтня 2001 року місце розташування будь-якого бездротового абонента, що подзвонив по телефоном служби порятунку 911, могло бути не менше ніж в 67% випадків визначено з похибкою не більше 125 м. Настільки жорсткі вимоги обумовлені тим, що в 1996 році дзвінки з стільникових телефонів в США становили вже приблизно 25% від усіх звернень до служби 911, а загальне число аварійних викликів з мобільних телефонів доходить до 100 тисяч дзвінків на добу. При цьому багато хто з тих, що дзвонять не знають свого точного місця, і їх відшукування займає велику кількість часу, що доходить до годин. А в деяких випадках точне знання місцезнаходження тих, що дзвонять є буквально питанням життя і смерті. Трьома роками пізніше - 15 вересня 1999 року. - FCC затвердила переглянуті правила забезпечення споживачам "розширених" послуг 911, що використовують бездротові телефони. Тепер спеціалізовані мобільні телефони, що мають функцію визначення положення, повинні забезпечувати більш високу точність, ніж звичайні: середню квадратичну похибку (СКП) 50 метрів (для 67% викликів) і максимальну - не більше 150 м (для 95% викликів) [2].

За різними оцінками, ринок служб, заснованих на застосуванні технологій мобільного позиціювання, в 2024 році може досягти обсягу до 40 млрд доларів. Існують декілька видів систем мобільного позиціювання. Відповідно до прийнятої класифікації, СМП діляться на два основних типи: системи, для функціонування яких необхідна доробка або заміна абонентських пристроїв, і, що працюють із звичайними мобільними терміналами (системи позиціонування всередині мережі). У першому випадку буде потрібно або нова SIM-карта, або новий апарат (а можливо, і те і інше). У другому випадку ніяких змін в апаратній частині мобільного терміналу не потрібно, а необхідно тільки зміна програмної частини, таким чином, всі витрати на розгортання системи несе оператор мережі. Для визначення

положення мобільного апарата можуть бути використані три основних параметри радіосигналів: напрямок приходу, амплітуда і час затримки. Амплітуда прийнятих сигналів здатна характеризувати відстань між передавачем і приймачем. Однак на практиці рівень сигналів мобільного телефону в місці прийому залежить від настільки великої кількості причин, що в більшості випадків не може забезпечити необхідну точність визначення місця і використовується в якості допоміжного параметра. Напрямок приходу сигналів може автоматично визначатися, по відмінності фаз сигналів на елементах антени. Можна також використовувати кілька базових станцій, розташованих по сусідству. Використання секторних антен, замість усебічно спрямованих, дозволяє визначити напрямок приходу сигналів з більшою точністю. Перетин пеленгів з двох (або більшого числа) місць забезпечує (з певною точністю) визначення положення мобільного телефону [3].

При реалізації кутомірного методу (метод напрямку приходу сигналів - Angle of Arrival - AOA) вимірюваними параметрами є кути напрямку приходу випромінювання радіотелефону α_1 і α_2 , щодо лінії (бази), що з'єднує дві стільникові станції мережі (див.рис.1.1.).

При реалізації далекомірного методу вимірюваними параметрами є часові затримки Dt_1 і Dt_2 поширення сигналу радіотелефону абонента не менше, ніж до двох стільникових станцій мережі щодо їх часових шкал, які повинні бути синхронізовані між собою, а розраховуються параметри - дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента (див.рис.1.2.).

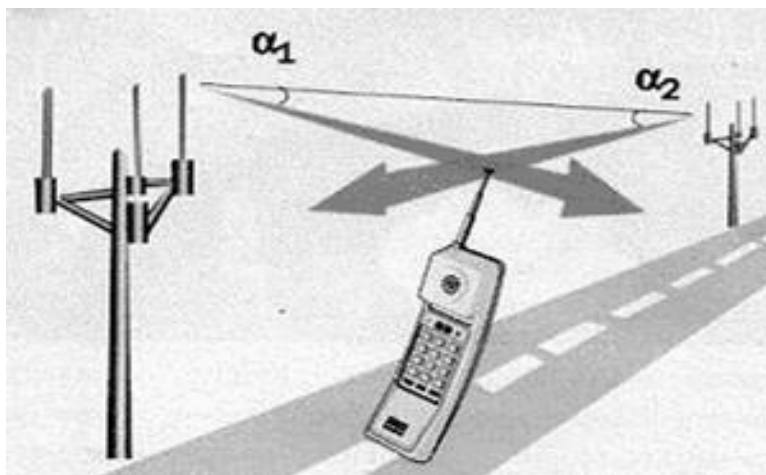


Рис.1.1. - Реалізація кутомірного методу вимірювання місцезнаходження абонентського терміналу

При реалізації різницево-далекомірного методу вимірюваними параметрами є часові затримки Dt_1 , Dt_2 і Dt_3 поширення сигналу радіотелефону абонента не менше ніж до трьох базових станцій мережі щодо їх синхронізованих часових шкал, а розраховуються параметри - дальності від стільникових станцій до місця розташування абонента.

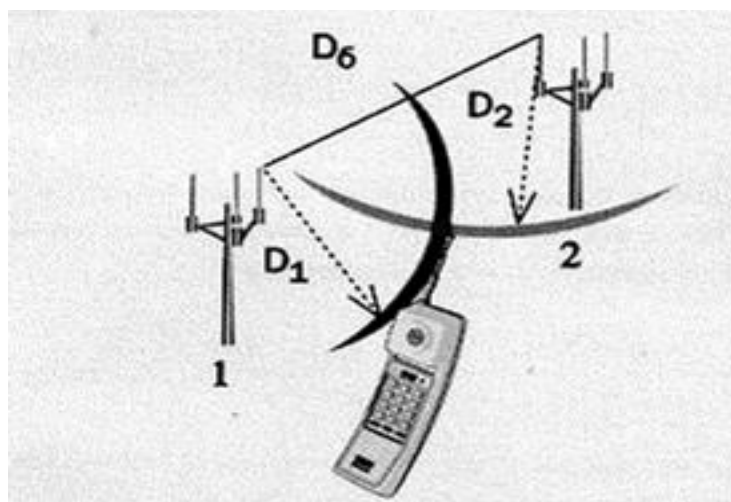


Рис.1.2. - Реалізація далекомірного методу вимірювання місцезнаходження абонентського терміналу

Як один з варіантів підвищення точності визначення місцезнаходження застосовується метод фіксації часу прибуття сигналів (див.рис.1.3.) з

використанням супутникової синхронізації UL-TOA (Uplink TOA). Для забезпечення необхідної точності можлива синхронізація внутрішніх годинників мережі за допомогою супутникової системи GPS (Global Positioning System). Всі дані через мережу оператора зв'язку надходять в обчислювальний центр, де встановлюється місцезнаходження абонента з точністю не гірше 125 м.



Рис.1.3. - Метод фіксації часу прибуття сигналів

Ще один варіант "гібридної" системи визначення місця розташування стільникового абонента це радіонавігаційний метод - локалізація за допомогою додаткової системи GPS (A-GPS - Assistant GPS). При цьому методі (див.рис.1.4.) процес, коли звичайний приймач GPS обчислює розташування, починається із спроби знайти перший навігаційний супутник, ідентифікації, визначення його положення. Потім знаходиться наступний і так далі. З кожного супутника завантажується інформація, виміряні часові затримки і лише потім обчислюється місце розташування даного приймача. Процес визначення місцезнаходження може займати від 40 с до декількох хвилин, а також вимагає прямої видимості принаймні трьох супутників. Метод A-GPS об'єднує класичну інформацію GPS, що містить географічне програмне забезпечення і інформацію мобільної мережі. Мережа вказує мобільному телефону, які саме супутники слід шукати. При цьому кількість

кроків, необхідних для обчислення його місця розташування, зменшується приблизно з 10 до 3. Для зменшення споживання енергії від батареї мобільного телефону дані супутникових вимірювань передаються в мережу і на неї покладається виконання необхідних розрахунків. Користувачам доведеться купувати нові мобільні телефони з вбудованими GPS-приймачами і антеною. Точність позиціонування при використанні даного методу значно вище, що обумовлено жорсткою синхронізацією часових шкал всіх елементів системи.

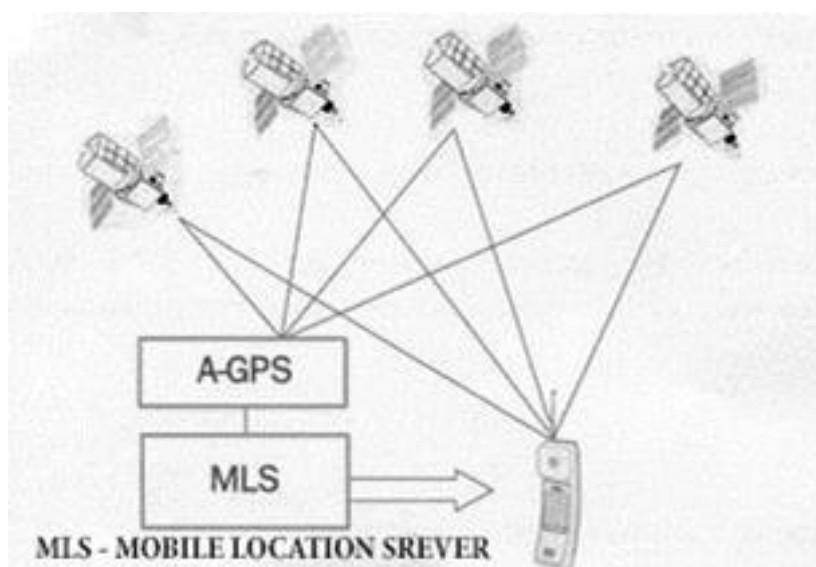


Рис.1.4. - Радіонавігаційний метод - локалізація за допомогою додаткової системи GPS

Унікальним методом позиціонування мобільних телефонів, які не мають аналогів у класичній радіопеленгації, є метод зіставлення образів (сигнатур) місць розташування абонентів (див.рис.1.5.) LRM (Location Pattern Matching), розроблений компанією US Wireless і використовує технологію аналізу параметрів радіосигналу і характеристик його багатопроменевого розповсюдження. Вимірюючи фазові, часові та амплітудні параметри фрагментів радіосигналу мобільного телефону, відбитого від перешкод (будівель, висот і тому подібного), базова станція оцінює структуру подібного "радіовідбитку" (fingerprint) сигналу і обчислює його "сигнатуру" (signature))

Отримана інформація порівнюється системою зі своєю базою зразків таких "сигнатур", що відповідають різним варіантам розташування мобільного абонента на місцевості.

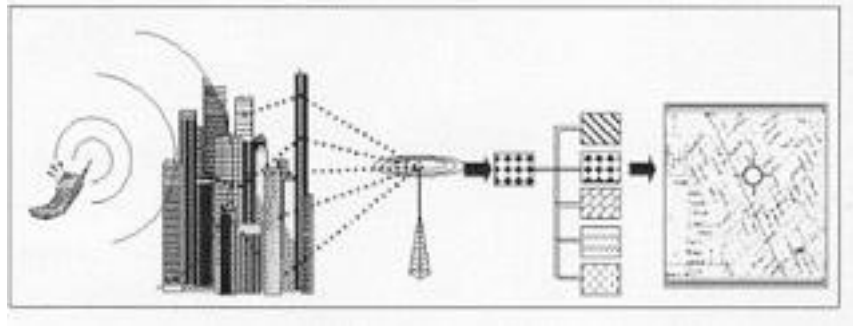


Рис.1.5. - Метод зіставлення образів (сигнатур) місць розташування абонентів

В даний час відомі більше двох десятків систем, що використовують "інтелектуальні" антени, кут приходу сигналів, різницю часу їх приходу, амплітуду сигналів, систему GPS і комбінації цих методів. При цьому досягаються точності визначення координат стільникового телефону у межах від одиниць до сотень метрів.

Характеристики існуючих систем позиціонування мобільних телефонів у стільникових мережах (див.табл.1.1.) дозволяють наочно зробити висновок про реальні можливості визначення місцезнаходження мобільного телефону абоненту та врахувати доцільність переобладнання мобільного апарату для покращення точності місцевизначення [4].

Способів застосування систем позиціонування – безліч, основні варіанти відразу ж спадають на думку - допомога в екстрених випадках, навігація, різні інформаційні служби. Операторів стільникового зв'язку напевно зацікавить розширення можливостей білінгової системи, планування розподілу ресурсів і, як наслідок, підвищення якості наданих послуг. Існує доволі велика кількість галузей, де визначення координат абонента може бути

корисним - ринок сервісів, заснованих на позиціонуванні має доволі широкий діапазон застосування.

Таблиця 1.1. Основні параметри сучасних систем позиціонування

Системи позиціонування	Фірма виробник	Точність, [м]	Швидкодія, [с]	Особливості
Mobile Positioning System	Ericsson	100	5	-
Cellocate System	Cell-Loc Inc.	150/AMPS/ 15- 90/CDMA/	1	-
Cursor	Cambridge Positioning Systems	50	5	Додатковий чіп із ПЗ у мобільному телефоні
TeleSentinel	KSI Inc. & True Position	125	<10	-
Sigma - 5000	SigmaOne Communication Corp.	90-150	<2	Додаткові фазовані решітки на базових станціях
Geometix	Allen Telecom	<150	<1	Додаткові фазовані решітки на базових станціях
RadioCamera	U.S.Wireless Corp.	50	2	-
Snap Track	SnapTrack Inc.	3-20	5	Додатковий чіп із ПЗ у мобільному телефоні
Finder	CellPoint	75	5	-

Як видно із табл.1.1 кожна із систем позиціонування має свої переваги та недоліки, що зосереджується на трьох головних параметрах – точність, швидкодія і необхідність змін у програмному або апаратному середовищі. Тому кожна система є оптимальною для певних заданих умов. Позитивним моментом є те, що технології позиціонування не залишаються замкнутими на операторі - деякі компанії вже поширюють SDK для роботи з системами мобільного позиціонування (СМП), призначені для незалежних розробників.

Комбінуючи можливості WAP і СМП, можна забезпечити мобільним передплатникам найвищий рівень сервісу та надати нові послуги. Безсумнівно, впровадження СМП дасть новий поштовх розвитку всіх видів мобільного бізнесу. Відповідно до прийнятої класифікації, СМП діляться на два основних типи: системи, для функціонування яких необхідна доробка або заміна абонентських пристроїв, і системи, що працюють із звичайними мобільними терміналами.

Найперспективніші варіанти таких систем - Assisted GPS і E-OTD. У Assisted GPS завдання визначення координат мобільної станції (МС) покладається на супутникову систему GPS, а стільникова мережа відіграє роль помічника: надає додаткову інформацію і виконує різні обчислення, що дозволяє підвищити точність (декларується від 15 до 50 метрів) навіть за несприятливих умов. Для роботи з системою ваш мобільний телефон має бути не тільки клієнтом стільникової мережі, але ще й GPS-клієнтом. Таким чином, за різними оцінками, вартість мобільного терміналу збільшиться як мінімум на 40%. Говорити про впровадження подібної системи поки передчасно. Крім порівняно високої вартості її розгортання необхідно відзначити невідповідність GPS-терміналів вимогам масового споживача: проблеми з ергономічністю, складністю [5].

Друга система подібного типу - E-OTD (Enhanced Observed Time Difference - розширена система вимірювання часу). Метод заснований на вимірюванні часу проходження сигналу від базової станції (БС) до двох точок, перша з яких - сам мобільний апарат, а друга - спеціальна станція вимірювання (LMU - Location Measurement Unit), координати якої відомі. Абонентський апарат і станція вимірювання синхронізуються (обчислюється зсув у часі), паралельно визначаються координати МС. Для правильного вирішення завдання необхідно задіяти як мінімум три БС (див.рис.1.6.). Точність визначення координат в E-OTD варіюється від 50 до 125 метрів залежно від ландшафту. Необхідні обчислення можуть проводитися як в мобільному терміналі, так і апаратурою стільникової мережі, але в кожному

разі потрібна доробка програмного забезпечення стільникового телефону (для цього може підійти набір інструментів SIM). У E-OTD і A-GPS користувач контролює процес визначення своїх координат і при бажанні може відключити цю функцію. Вартість впровадження E-OTD для оператора можна оцінити як середню, клієнту ж іноді достатньо просто поміняти SIM-карту. Всі перераховані вище аспекти роблять E-OTD найпривабливішою системою мобільного позиціонування для операторів GSM-мереж в даний момент. Крім того, E-OTD обрана як «рідна» система визначення координат абонента в мережах третього покоління.

Серед систем, що не вимагають доопрацювання абонентських пристроїв, виділяються Cell Of Origin (Cell ID, CGI - Cell Global Identity), засновані на ідентифікації за активного стільника (саме так і працює сервіс «Адреса»), і UL-TOA (Uplink Time Of Arrival, або Time Difference Of Arrival). У першому випадку місце розташування абонента визначається у стільнику, розмір якого варіюється від 150 метрів в міських зонах до 35 кілометрів у сільській місцевості. Звичайно, така точність занадто мала. Плюсом є те, що впровадження подібних механізмів вимагає мінімальних витрат. Для підвищення точності визначення координат використовують додаткові дані. Спочатку можна дізнатися відстань до активної БС за параметром TA (Timing Advance) з точністю 550 метрів, і в підсумку середня похибка складає близько 200 метрів (див.рис.1.7.).

UL-TOA - метод, заснований на вимірюванні часу прибуття сигналу від мобільної станції до декількох базових. Вимірюючи різницю в часі надходження сигналу на кожну з БС, можна визначити координати мобільного терміналу (див.рис.1.8.). Для роботи системи необхідно синхронізувати час усіх БС за допомогою атомного годинника або GPS (в мережах CDMA синхронізація закладена спочатку). Впровадження UL-TOA вимагає значних доопрацювань обладнання мережі, і вартість впровадження оцінюється як дуже висока. До того ж мало кому сподобається, що за ним стежать - контролювати роботу системи з мобільного апарату неможливо.

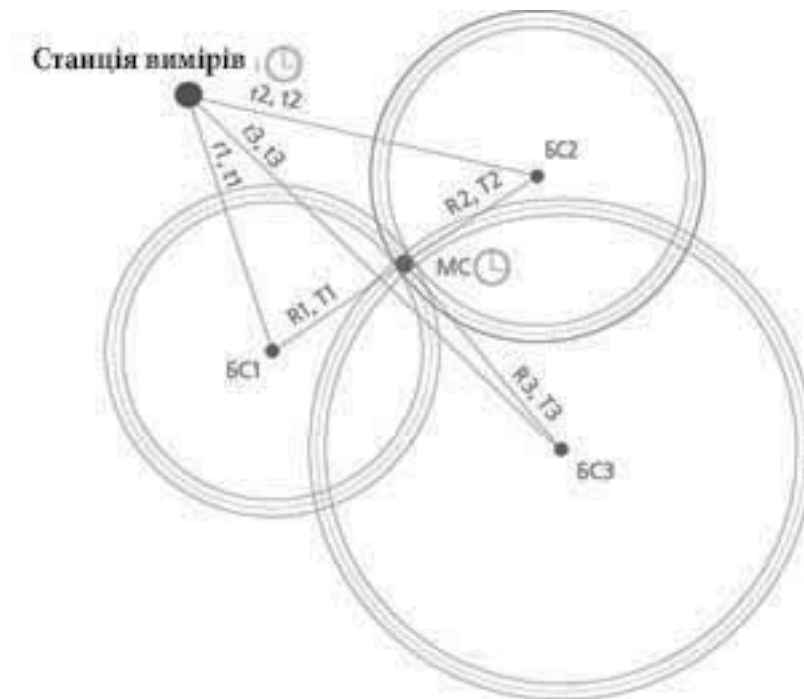


Рис.1.6. - Обчислення координат абонента за допомогою UL-TOA

Нижче наведена методика обчислення координат абонента за допомогою UL-TOA. У системі працюють мобільна і три базові станції. Координати БС відомі. На кожній БС встановлене спеціальне обладнання, що вимірює час отримання сигналу від мобільної станції, годинники на всіх БС синхронізовані. Як тільки всі три БС отримують сигнал від мобільної станції (це може бути будь-який «рух» МС - спроба подзвонити або запит на доступ до БС), дані про час одержання сигналу усіма БС надходять в центр вимірювань, де і розраховуються координати абонента. Для їх обчислення необхідно вирішити рівняння:

$$\begin{aligned} R_1 &= c \cdot t; \\ R_2 &= c \cdot (t + t_1); \\ R_3 &= c \cdot (t + t_2), \end{aligned}$$

де R_x - відстань від БС до мобільної станції;
 t - час проходження сигналу до «першої» БС;
 t_1 і t_2 - різниця в часі надходження сигналу на першу БС і на решту БС;

с - швидкість поширення радіохвиль.

Іноді для підвищення точності задіють чотири БС, а не три.

Нижче наведені варіанти роботи технології CGI-TA (див.рис.1.7.) - Одиночний стільник, що має радіус від 150 метрів (пікосоти) до 35 кілометрів, стільник-сектор, стільник в поєднанні з Timing Advance, стільник-сектор в поєднанні з Timing Advance.

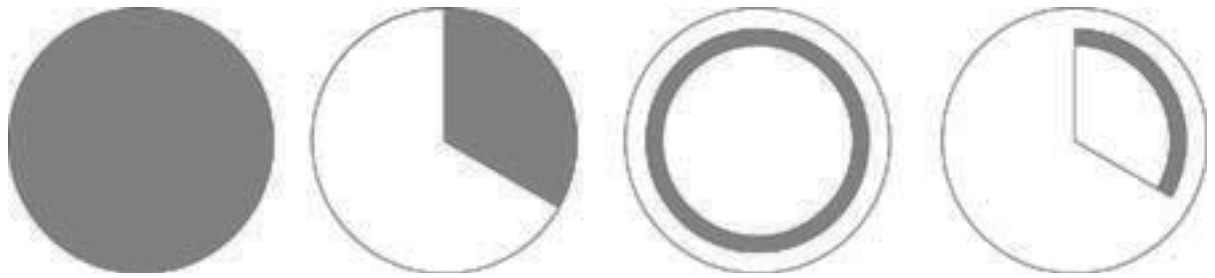


Рис.1.7. - Варіанти роботи технології CGI-TA

Обчислення координат абонента за допомогою E-OTD (Circular E-OTD)

У системі працюють: мобільна станція, три базові і станція вимірювання. Координати станції вимірювання і БС відомі. Годинники мобільної станції та станції виміру не синхронізовані - на кожних свій час. Перша БС посилає імпульс на мобільну станцію і на станцію вимірювання. На телефоні абонента і на станції вимірювання відзначається час прибуття сигналу; значення часу, зазначене на телефоні, відправляється на станцію вимірювання (можливий варіант, коли розрахунки ведуться на самому мобільному терміналі). Ця операція здійснюється мінімум три рази з участю різних БС. Звичайно, все потрібно виконувати швидко, щоб абонент не встиг переміститися на значну відстань. Після того, як дані про час надходження сигналів зібрані, можна починати розрахунки. Для обчислення координат абонента необхідно вирішити просту систему рівнянь:

$$\begin{aligned}R_1 - r_1 &= c \cdot (T_1 - t_1 + dt); \\R_2 - r_2 &= c \cdot (T_2 - t_2 + dt); \\R_3 - r_3 &= c \cdot (T_3 - t_3 + dt),\end{aligned}$$

де R_x - відстань від БС до мобільної станції;
 r_x - відстань від БС до станції вимірювання;
 T_x - час надходження сигналу на МС;
 t_x - час надходження сигналу на станцію вимірювання;
 c - швидкість поширення радіохвиль;
 dt - зміщення в часі між МС і станцією вимірювання.

Як ми бачимо, в системі три невідомі величини (R_x можна виразити через x, y) - координати МС (x, y) і dt , так що обчислення координат стає тривіальним завданням.

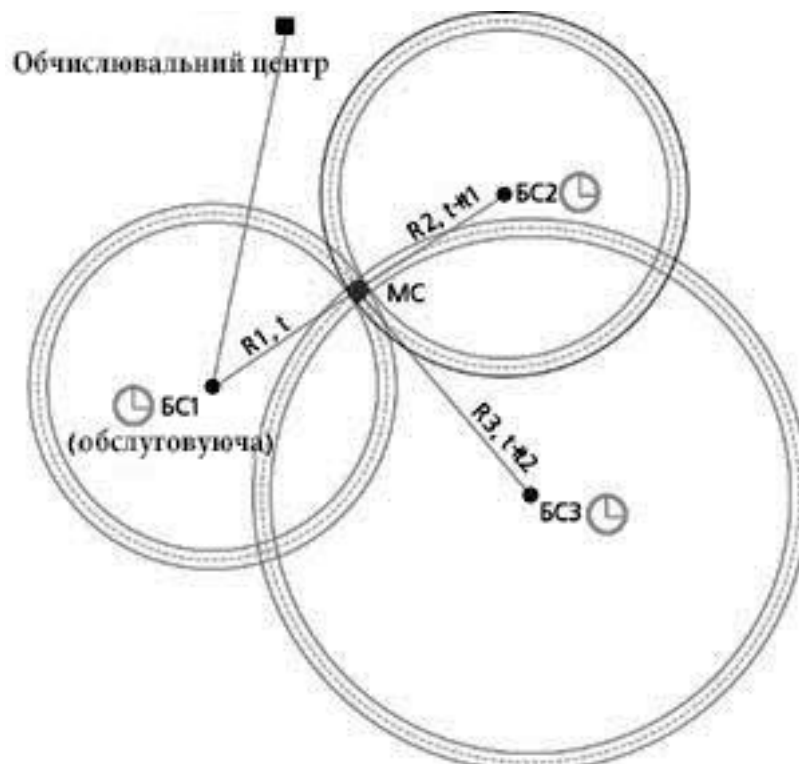


Рис.1.8. - Обчислення координат абонента за допомогою Circular E-OTD

Ознайомившись із основними системами визначення місцезнаходження рухомої станції в мережі стільникового зв'язку, беручи до уваги основні переваги і недоліки перелічених методів було вирішено використовувати далекомірний метод адаптований для стандарту CDMA IS-95. Для урахування особливостей цієї системи ознайомимось із основними принципами її роботи.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ В МЕРЕЖІ CDMA

2.1. Основні принципи та особливості роботи стандарту CDMA

Стільниковий система рухомого радіозв'язку загального користування стандарту IS-95 з кодовим поділом каналів (CDMA) уперше була розроблена фірмою Qualcomm (США). Основна мета розробки полягала в тому, щоб збільшити ємність системи стільникового зв'язку в порівнянні з аналоговою не менш, ніж на порядок і, відповідно, збільшити ефективність використання виділеного спектра частот.

Система CDMA IS-95 дає можливість кожному користувачеві всередині стільника використовувати один і той самий радіоканал і всю виділену смугу частот. Користувач в суміжному стільнику використовує цю ж смугу частот. Замість поділу спектру або часових слотів, кожному користувачеві призначається фрагмент шумоподібної несучої. Оскільки її фрагменти є квазіортогональними, виникає можливість виділити всю ширину виділеного каналу для кожного користувача. Завдяки рішення проблеми ближньої-дальньої зони і динамічному управлінню потужністю вся смуга частот 1,25 МГц використовується кожним користувачем і вона ж використовується в суміжному стільнику. Ємність на один стільник визначається балансом між необхідним відношенням сигнал/шум для кожного користувача і фактором стиснення кодової послідовності. Таким чином, система абсолютно не потребує частотного планування. Для зменшення витрат операторів рухомого зв'язку і полегшення переходу від AMPS до CDMA в системі CDMA передбачена ширина каналу (1,25 МГц), така ж, як і у AMPS. На відміну від інших стільникових систем, трафік одного каналу не є постійною величиною і залежить від голосової активності і вимог, що пред'являються до мережі.

Безпека або конфіденційність є перевагою технології CDMA, оскільки в багатьох випадках операторам стільникових мереж не буде потрібно спеціального устаткування шифрування повідомлень.

Система CDMA Qualcomm побудована по методу прямого розширення спектра частот на основі використання послідовностей 64 видів, сформованих за законом функцій Уолша. Для передачі мовних повідомлень вибрано вокодер з алгоритмом CELP зі швидкістю перетворення 8000 біт/с (9600 біт/с у каналі). Можливі режими роботи на швидкостях 4800, 2400 і 1200 біт/с. У каналах системи CDMA застосовується згорткове кодування зі швидкістю 1/2 (в каналах від базової станції) і 1/3 (в каналах від рухомий станції), декодер Вітербі з м'яким вирішенням, перемішування переданих повідомлень. Основні характеристики стандарту CDMA Qualcomm і технічні параметри обладнання мереж наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1. Основні характеристики стандарту CDMA

Характеристики	Значення
Діапазон частот передачі MS	824,040 – 848,860 МГц
Діапазон частот передачі BTS	869,040 – 893,970 МГц
Відносна нестабільність несучої частоти BTS	$\pm 5 \cdot 10^{-8}$
Відносна нестабільність несучої частоти MS	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$
Вид модуляції несучої частоти	QPSK (BTS), 0-QPSK (MS)
Ширина спектру сигналу, що випромінюється: по рівню мінус 3 дБ та по рівню мінус 40 дБ	1,25 МГц 1,5 МГц
Метод розширення спектру	DSSS-CDMA

Продовження табл.2.1.

Тактова частота ПВП	1,2288 МГц
---------------------	------------

Кількість елементів в ПВП для BTS MS	32768 біт 2^{42} - 1 біт
Кількість каналів BTS на одній несучій частоті	1 пілот-канал, 1 канал сигналізації , 7 каналів перс. виклику, 55 каналів зв'язку
Кількість каналів MS	1 канал доступу, 1 канал зв'язку
Мінімальне для прийому відношення енергії біту інформації до спектральної щільності шуму	6-7 дБ
Максимальна ефективна випромінювана потужність BTS	До 50 Вт
Максимальна ефективна випромінювана потужність MS: 1 клас , 2 клас, 3 клас	6,3 Вт, 2,5 Вт , 1,0 Вт
Точність керування потужністю передавача MS	$\pm 0,5$ дБ

У стандарті використовується роздільна обробка відбитих сигналів, що приходять з різними затримками, і подальше їх вагове додавання, що значно знижує негативний вплив ефекту багатопроменевості. При роздільній обробці променів в кожному каналі прийому на базовій станції використовується 4 паралельно працюючих корелятора, а на рухомий станції - 3 корелятора. Наявність паралельно працюючих кореляторів дозволяє здійснити м'який режим "естафетної передачі" при переході з стільника в стільник.

М'який режим «естафетної передачі» відбувається за рахунок управління рухомою станцією двома або більше базовими станціями. Транскодер, що входить до складу основного обладнання, проводить оцінку якості прийому сигналів від двох базових станцій послідовно кадр за кадром. Процес вибору кращого кадру призводить до того, що результуючий сигнал може бути сформований в процесі безперервної комутації і подальшого «склеювання» кадрів, прийнятих різними базовими станціями, які беруть участь у «естафетної передачі». М'яке перемикання забезпечує високу якість

прийому мовних повідомлень і усуває перерви в сеансах зв'язку, що має місце в стільникових мережах зв'язку інших стандартів.

Зворотні канали в CDMA:

- ✓ Канал доступу - забезпечує зв'язок рухомої станції до базової станції, коли рухома станція не використовує канал трафіку. Канал доступу використовується для установлення викликів і відповідей на повідомлення, передані по каналу виклику (Paging Channel), команди і запити на реєстрацію в мережі. Канали доступу сполучаються (об'єднуються) з каналами виклику;

- ✓ Канал зворотного трафіку - забезпечує передачу мовних повідомлень і керуючої інформації з рухомої станції на базову станцію.

Базова станція одночасно може передавати 64 канали, з яких 2 канали використовуються для синхронізації, 7-для персонального виклику (Paging), інші 55 - для передачі мовних повідомлень (Traffic).

Для передачі всіх 64 каналів застосовується одна і та ж псевдовипадкова послідовність. У кожному каналі при передачі використовується одна з 64 послідовностей Уолша. При зміні знаку біта інформаційного повідомлення фаза використовуваної послідовності Уолша змінюється на 180 градусів. Так як ці послідовності взаємно ортогональні, то взаємні перешкоди між каналами передачі однієї базової станції відсутні.

Перешкоди по каналах передачі базової станції створюють лише сусідні базові станції, які працюють в тій же смузі радіочастот і використовують ту ж саму ПСП, але з іншим циклічним зрушенням.

У рухомих станціях ортогональні сигнали також використовуються при передачі, але не для ущільнення каналів, а для підвищення їх завадостійкості. У цьому випадку кожній групі з 6 біт інформаційного повідомлення відповідає при передачі одна з 64 ортогональних послідовностей Уолша. При передачі кожна рухома станція використовує ПВП з різними циклічними зрушеннями, що дає можливість базовій станції при прийомі розділити сигнали від рухомих станцій.

Перешкоди, створювані іншими абонентськими станціями та іншими базовими станціями, являють собою фактор, зрештою визначає верхній поріг пропускної здатності мережі стандарту CDMA. При розробці мережі з кодовим поділом каналів необхідно звести до мінімуму загальний рівень перешкод.

У стандарті IS-95 регулювання рівня потужності сигналу, випромінюваного рухливою станцією, здійснюється в динамічному діапазоні 84 дБ з кроком 1дБ. Це забезпечує можливість прийому сигналів рухомих станцій базовою станцією з практично однаковим рівнем потужності незалежно від віддалення до базової станції. Чим ближче рівень потужності сигналів від рухомих станцій на вході базової станції до мінімальної, при необхідній якості зв'язку, тим менше рівень взаємних перешкод у системі і, отже, тим вище її ємність.

Високі вимоги до регулювання рівня потужності рухомої станції можна віднести до недоліку системи Qualcomm. Другим недоліком CDMA Qualcomm є необхідність використання однакових за розмірами стільників на всій мережі, у противному випадку виникають взаємні перешкоди від сигналів рухомих станцій, які знаходяться в сусідніх стільниках різного розміру. У цьому випадку також виникає проблема "естафетної передачі".

Іншим чинником, що сприяє зниженню взаємних перешкод в системі CDMA і, отже, збільшенню її ємності є застосування, аналогічно GSM, системи переривчастої передачі мови на основі використання детектора активності мови і вокодера з алгоритмом CELP і змінною швидкістю перетворення аналогового мовного сигналу в цифровий [6].

Випромінювання сигналу рухомою станцією тільки на інтервалах активності мови приводить до додаткового зниження системних перешкод і загальному збільшенню ємності системи CDMA.

Таким чином, розглянувши основні параметри та особливості роботи стандарту IS-95 можна зробити висновок, що система CDMA є максимально сприятливою для реалізації методики місцевизначення рухомої станції по

сигналам стільникової мережі на основі далекомірного методу, що буде базуватись на вимірі затримки прийнятого ПВП відносно опорного.

2.2. 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 [7]:

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

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.

Найпростіша процедура пошуку може бути проілюстрована за допомогою схеми, що зображена на рис.2.1. В першу чергу ключ знаходиться в положенні 1, і один із входів схеми «І» з'єднаний із джерелом позитивної напруги. Перестроюваний генератор тактових імпульсів у автономному режимі керує генератором ПВП приймача. Генератор ПВП має частоту

слідкування символів f_0 , симв./с, що приблизно дорівнює частоті слідкування символів ПВП відповідного передавача.

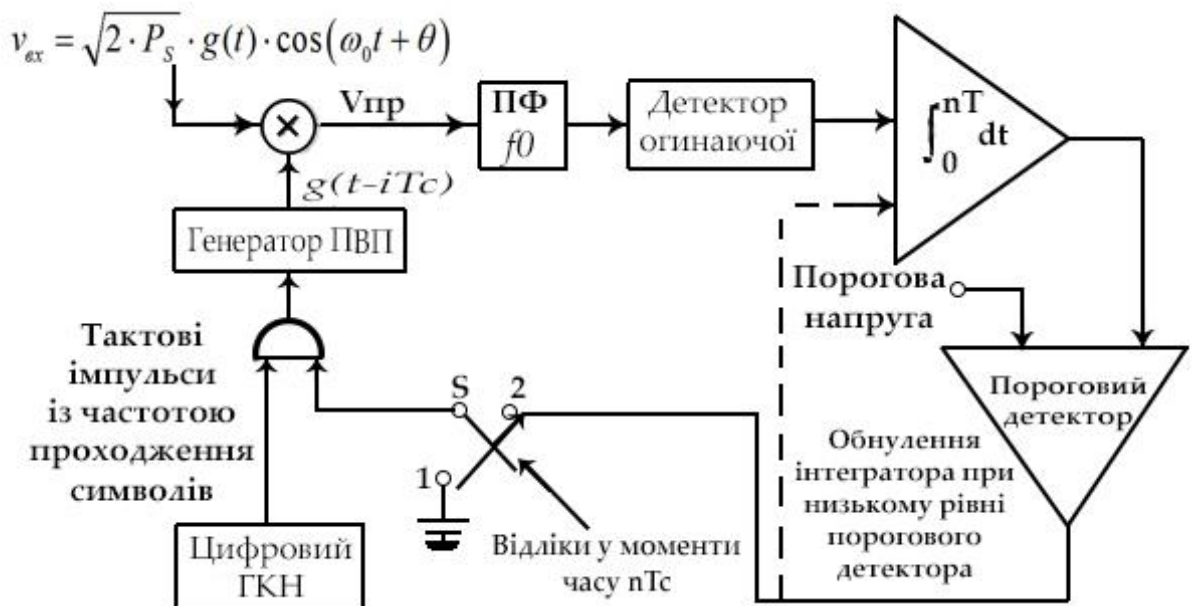


Рис.2.1. - Схема пошуку сигналів із прямим розширенням спектру в системі МДКРК

Перед початком процедури пошуку синхронізація передаючого і приймального генераторів ПВП відсутня, тобто часове положення ПВП, що формуються не узгоджено. Вихідний сигнал перемножувача $V_{пр}$ в цьому випадку визначається виразом [7]:

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

де $v_{пр}$ – вихідний сигнал перемножувача;

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots;$$

T_c – тривалість символу ПВП.

У цьому виразі iT_c визначає першоступеневе часове зміщення сигналу, що приймається із розширенням спектру і опорною ПВП приймача. Похідна

сигналів $v_{np}(t)$ при $i \neq 0$ являє собою сигнал із прямим розширенням спектру. Цей сигнал має достатньо широкий спектр і низький рівень спектральної щільності. Тому після відносно вузькосмугової фільтрації із виділенням огинаючої рівень сигналу буде достатньо низьким. Вихідні сигнали інтегратора і компаратора будуть мати низький рівень. Ключ кожні nT_C секунд переводиться в положення 2. Якщо вихідний рівень компаратора в момент часу nT_C , коли ключ знаходиться у положенні 2, є низьким, то у схемі «І» відбувається заборона надходження тактових імпульсів із виходу генератора, що перестроюється тактових імпульсів на генератор ПВП.

Через відсутність надходження тактових імпульсів в цьому інтервалі часу на генератор ПВП у ньому примусово затримується формування ПВП відносно ПВП передавача. Потім відбувається обнулення інтегратора, ключ знову переводиться в положення 1, і пошук продовжується. Це відбувається кожні nT_C секунд. Процедура спроб і помилок врешті решт призводить до часового узгодження прийнятого і опорного сигналу, що означає, що $iT_C = 0$. Після завершення пошуку, згідно [7], отримаємо:

$$g(t) \cdot g(t - iT_C) = g(t) \cdot g(t - 0 \cdot T_C) = g^2(t) = 1, \quad (2.1)$$

при цьому відбувається стискання спектру прийомного пілот-сигналу і вираз (2.1) приймає наступний вигляд:

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

тобто отримуємо немодульований «пілот-тон». Через вузькосмуговий фільтр, налаштований на частоту f_0 , проходить уся потужність сигналу, що приймається на вхід детектору огинаючої.

У результаті інтегрування огинаючої на протязі часу nT_C формується високий рівень сигналу на виході компаратора, що засвідчує про завершення

етапу пошуку або грубої синхронізації. Після нього починається етап повної процедури синхронізації-слідкування або точна синхронізація.

Слідкування або точна синхронізація сигналів із прямим розширенням спектру виконується за допомогою схеми слідкування за затримкою (ССЗ), зображеною на рис.2.2. Включення ССЗ відбувається відразу після завершення пошуку або грубої синхронізації. На цьому етапі часу розузгодження генераторів ПВП лежить у межах тривалості одного символу, хоча опорна ПВП може формуватися із випередженням (A) або запізненням (D) відносно ПВП, що приймається.

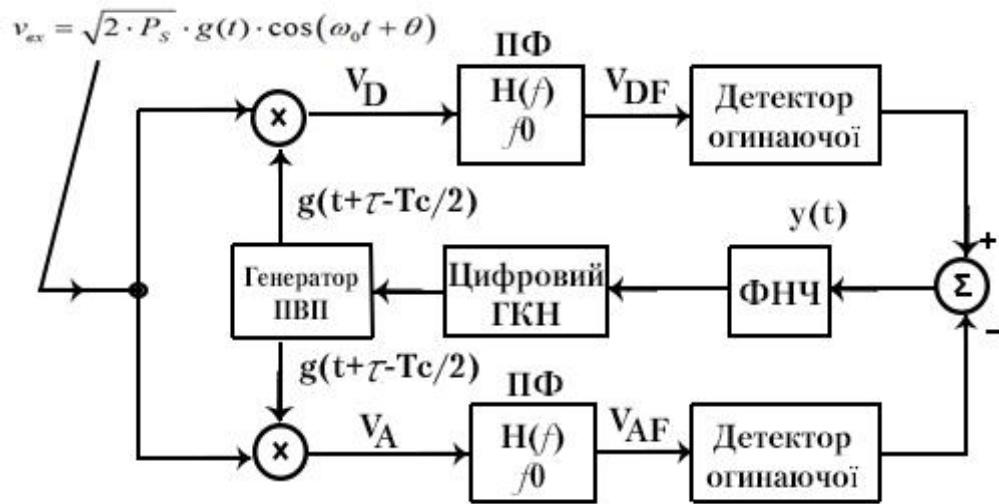


Рис.2.2. - Схема слідкування за затримкою сигналів із прямим розширенням спектру

Тому вихідний сигнал генератора ПВП приймача може бути записаний як $g(t - \tau)$, де $-T_c < \tau < T_c$. Сигнали у різних точках схеми, зображеної на рис.2.2., згідно [7] можуть бути виражені наступним чином:

$$v_D(t) = \sqrt{2P_s} \cdot g(t) g\left(t + \tau - \frac{T_c}{2}\right) d(t) \cos(\omega_0 t + \theta);$$

$$v_A(t) = \sqrt{2P_s} \cdot g(t) g\left(t + \tau - \frac{T_c}{2}\right) d(t) \cos(\omega_0 t + \theta);$$

$$v_{DF}(t) = \sqrt{2P_s} \left[g\left(t + \tau - \frac{T_c}{2}\right) \right] \cdot d(t) \cos(\omega_0 t + \theta);$$

$$v_{AF}(t) = \sqrt{2P_S} \left[g\left(t + \tau - \frac{T_c}{2}\right) \right] \cdot d(t) \cos(\omega_0 t + \theta),$$

де $v_D(t)$, $v_A(t)$, $v_{DF}(t)$, $v_{AF}(t)$ – сигнали на відповідних ділянках схеми, зображеної на рис.2.2.

Смуга пропускання вибирається набагато вужче в порівнянні із шириною спектру ПВП, тому при проходженні похідних сигналів через смугові фільтри відбувається усереднення огибаючих.

Середнє значення похідних $g(t)g\left(t + \tau \pm \frac{T_c}{2}\right)$ представляє собою автокореляційні функції ПВП R_a , згідно [7]:

$$R_a\left(\tau \pm \frac{T_c}{2}\right) = \overline{g(t) \cdot g\left(t - \tau \pm \frac{T_c}{2}\right)}.$$

Детектори огибаючої виділяють огибаючу сигналів $v_{DF}(t)$ та $v_{AF}(t)$, у зв'язку із чим виключається модуляція сигналом повідомлення, що передається $d(t)$. Тому отримуємо:

$$\begin{aligned} |V_{DF}(t)| &= \left| R_a\left(\tau - \frac{T_c}{2}\right) \right|; \\ |V_{AF}(t)| &= \left| R_a\left(\tau + \frac{T_c}{2}\right) \right|. \end{aligned}$$

Керуючий сигнал генератора, що перестроюється $y(t)$ визначається різницею

$$y(t) = \left| R_a\left(\tau - \frac{T_c}{2}\right) \right| - \left| R_a\left(\tau + \frac{T_c}{2}\right) \right|.$$

Якщо τ приймає додатні значення, то формується керуючий сигнал із додатнім знаком і частота генератора, що перестроюється зростає. Це призводить до зменшення τ . При від'ємних значеннях τ формується

керуючий сигнал із від'ємним знаком і частота генератора, що перестроюється зменшується. Це призводить до збільшення τ . Залежність керуючого сигналу від затримки τ (дискримінаторна характеристика) зображена на рис.2.3. [7]

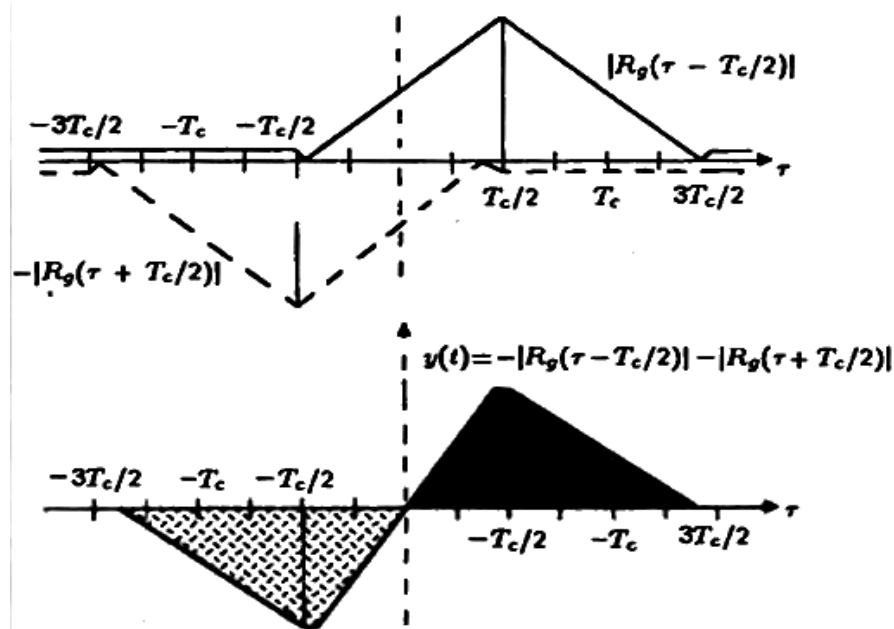


Рис.2.3. - Вхідна напруга генератора, керованого за напругою, схеми слідування за затримкою сигналів із прямим розширенням спектру

Час затримки ПВП можливо обрахувати за допомогою порівняння опорного та прийнятого ПВП. Даний метод дасть змогу отримати час затримки τ як суму дискрет.

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 (див.рис.2.4). 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

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

де $i = 1..7$ (номери відповідних базових станцій);

знаходимо відстань між абонентським терміналом і базовою станцією R_i .

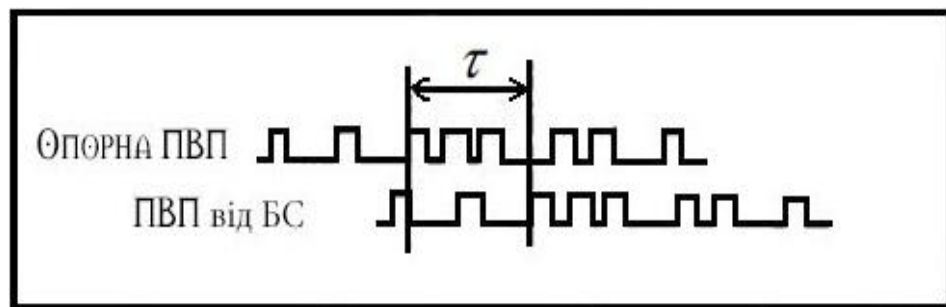


Рис.2.4 - Порівняння опорного та прийнятого ПВП

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.2.5.).

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 місцевизначення. 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.

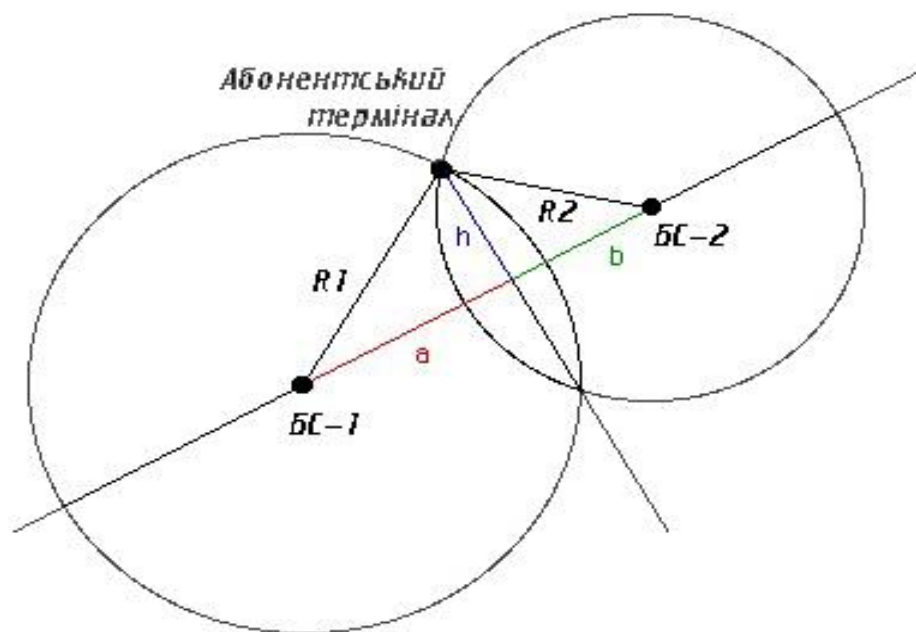


Рис.2.5 - Взаємне розташування АТ і двох БС із урахуванням відповідних ліній дальності

2.3. Розрахунок оцінки середньоквадратичних похибок часу затримки, ліній положення та виміру місцеположення

Наступним кроком, що дає змогу характеризувати ефективність розробленої методики є обрахунок середньоквадратичної похибки точності виміру місцеположення(2.2), лінії положення (2.3) та часу затримки (2.4).

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

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{\sigma_{D1}^2 + \sigma_{D2}^2}}{\sin \alpha_M}, \quad (2.2)$$

де α_M – кут між дотичними до радіусів, проведених із відповідних базових станцій по знайденим радіусам (див.рис.2.6.).

σ_R – похибка визначення ліній положення.

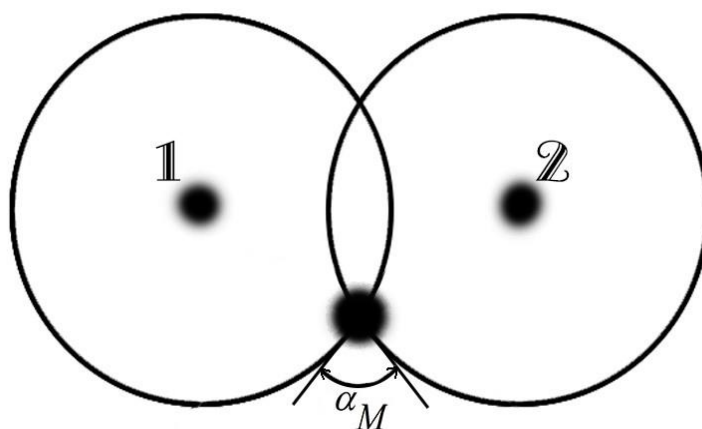


Рис.2.6. - Схематичне зображення кута перетину ліній положення мобільної станції відносно базових станцій

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

$$\sigma_{D1,2} = c \cdot \sigma_{\tau 1,2}, \quad (2.3)$$

де c – швидкість розповсюдження радіосигналу у вільному просторі;

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

$$\sigma_{\tau 1,2} = \frac{\frac{L}{L_H + 1} \cdot \tau_{ПВП}}{\sqrt{q}}, \quad (2.4)$$

де L – кількість символів ПВП;

$\tau_{ПВП}$ – тривалість одного символу ПВП із урахуванням відповідної частоти;

q – відношення сигнал/шум на виході демодулятора.

Тривалість одного символу ПВП знаходиться як відношення:

$$\tau_{ПВП} = \frac{1}{\Delta f_{ПВП}},$$

де $\Delta f_{ПВП}$ – тактова частота ПВП;

Дана залежність знаходиться із рівняння, згідно [8]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ш}^2 = \sigma_R^2 &= (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{(N_0 + N_I) \cdot \Delta F}{P_C} = (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{\Delta F^{вих} \cdot P_{ш}}{\Delta F^{вх} \cdot P_C} = \\ &= (c \cdot \sigma_\tau)^2 \cdot \frac{1}{\frac{P_C^{вх}}{P_{ш}^{вх}} \cdot \frac{\Delta F_{нрм}^{вх}}{\Delta F^{вих}}} = \frac{(c \cdot \sigma_\tau)^2}{q^{вх} \cdot N}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

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_u – 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 (2.4) 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.

Отже для розрахунку відповідних середньоквадратичних помилок необхідно знайти відношення сигнал/шум на виході демодулятора, що буде залежати від чутливості приймача. Отже наступним підпунктом буде розробка методики знаходження відношення сигнал/шум на виході демодулятора.

2.4. Методика знаходження відношення сигнал/шум на виході демодулятора

Потужність сигналу на вході мобільної станції від певної базової станції, що знаходиться на відстані R із рівняння радіозв'язку [8]:

$$R = \sqrt{\frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot P_C}}, \quad (2.6)$$

де $R, [м]$ – дальність мобільного терміналу;

$P_{\Pi}, [Вт]$ – потужність сигналу, що випромінюється базовою станцією;

$G_{\Pi}, [дБ]$ – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{\Pi\Pi}, [дБ]$ – коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$\lambda, [м]$ – довжина хвилі;

$P_C, [Вт]$ – чутливість приймача від певної базової станції;

Перетворивши рівняння (2.6), знаходимо потужність сигналу на вході приймача мобільної станції:

$$P_C = \sqrt{\frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi\Pi} \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot R^2}}.$$

Отримавши значення потужності сигналу, що надходить від одної із базових станції повторюємо розрахунки для інших базових станцій, що знаходяться у стільнику. Маючи потужності сигналу від базових станцій, наступним кроком буде знаходження потужності шумів, яка буде описуватись залежністю [9]:

$$P_{ш} = (N_I + N_0) \cdot \Delta F,$$

де

$\Delta F, [Гц]$ – ширина смуги частот приймача

Тепер поетапно будемо знаходити складові даного рівняння. Візьмемо число M як число базових станцій нашої досліджуваної мережі CDMA IS-95, які знаходяться у стільнику і одночасно працюють у одній смузі частот ΔF . На вхід приймача мобільної станції (МС), що приймає інформацію від i -ої БС, надходять сигнали від $M - 1$ заважаючих базових станцій, що створюють інтерференційні завади. Корисний сигнал і сигнали, що створюють завади мають різні структури, але потужності їх однакові і рівні P_C . Будемо вважати, що значення M достатньо велике, в наслідок чого результуюча взаємна

перешкода, що утворена $(M - 1)$ сигналами завад, представляє собою нормальний випадковий процес. В цьому випадку спектральна щільність потужності взаємних завад постійна у межах спільної полоси частот і рівна [9]:

$$N_I = \frac{\alpha(M-1)P_C}{\Delta F}, \quad (2.7)$$

де $\alpha \geq 1$ - певний коефіцієнт поправки, що визначається структурою використаних сигналів, а саме їх ВКФ. Зважаючи на форму та структуру досліджуваних сигналів, відповідно їх ВКФ, а також приклади розрахунків згідно [9] даний коефіцієнт при перерахунку буде дорівнювати 1,18. А беручи до уваги теоретичний матеріал, про мінімальну кількість базових станцій, що одночасно знаходяться у зоні дії мобільного терміналу ми приймаємо число $M = 7$. Тоді зважаючи на це формула (2.7) прийме вигляд [9]:

$$N_I = \frac{1.18 \cdot \sum_{i=1}^6 P_{Ci}}{\Delta F},$$

де $P_{Ci}, [Bm]$ – потужність сигналу прийнятого сигналу від i -ої БС.

Наступним етапом буде знаходження спектральної щільності потужності флуктуаційних шумів

$$N_0 = k \cdot T_{ш. \Sigma},$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}, [Дж / K]$ – стала Больцмана ;

$T_{ш. \Sigma}, [K]$ – сумарна шумова температура;

$$T_{ш. \Sigma} = T_a + T_{ш. np},$$

де $T_a, [K]$ – шумова температура антени;
 $T_{ш.пр}, [K]$ – шумова температура приймача.

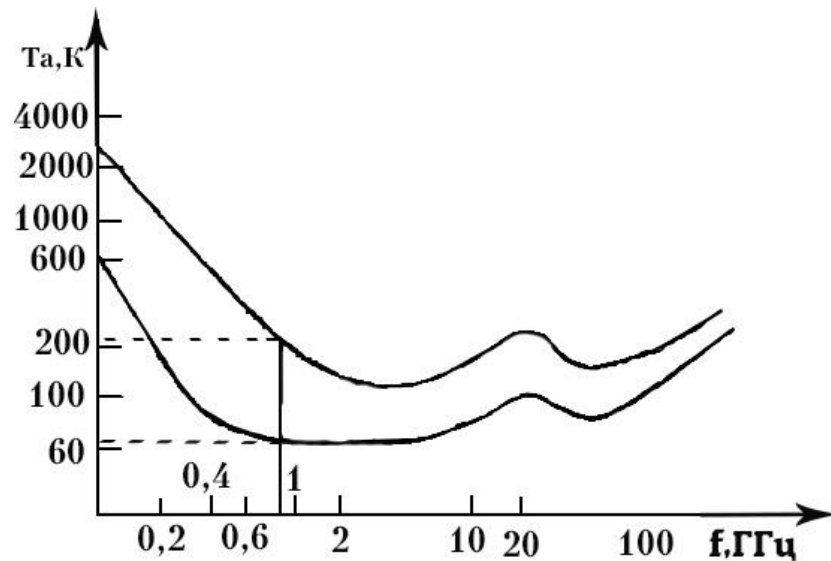


Рис.2.7. - Залежність шумової температури приймальної антени від частоти (верхня лінія – максимальна, нижня лінія – мінімальна).

Середнє значення T_a визначається з рис.2.7 для відповідної частоти, на якій працює стандарт IS-95 – 890 [МГц].

Провівши відповідні перпендикуляри ми матимемо максимальне та мінімальне значення шумової температури антени, а для розрахунків ми беремо їх середнє арифметичне значення .

Наступним кроком є розрахунок шумової температури антени із відношення:

$$T_{ш.пр} = (K_{ш} - 1) \cdot T_0,$$

де $T_0 = 290^\circ K$ (кімнатна температура),

$K_{ш}, [dB]$ – коефіцієнт шуму, що визначається за формулою Фріса:

$$K_{ш} = K_{ш.ПВЧ} + \frac{K_{ш.ЗМ} - 1}{K_{р.ПВЧ}},$$

де $K_{ш.ПВЧ}$, [дБ] – коефіцієнт шуму ПВЧ;

$K_{ш.ЗМ}$, [дБ] – коефіцієнт шуму змішувача;

$K_{р.ПВЧ}$, [дБ] – коефіцієнт підсилення ПВЧ.

Виконавши почерговий обрахунок ми знайдемо шукану потужність шуму для усіх базових станцій, що знаходяться у зоні дії абонентського терміналу, маючи яку ми можемо знайти залежність сигнал/шум на вході корелятора абонентського терміналу

$$q_0 = \frac{P_c}{P_{ш}}.$$

Для того щоб отримати відношення сигнал/шум на виході демодулятора потрібно врахувати, що основною задачею приймального пристрою є оптимальна обробка для отримання максимальної корисної потужності вихідного сигналу. Це відповідно буде аналітично збільшувати відношення сигнал/шум у базу разів. Одне із фундаментальних понять, що визначає завадостійкість і ефективність системи CDMA – «база сигналу». Фізичний зміст цього поняття – збільшення смуги частот сигналу передачі відносно початкового. Для систем із розширеним спектром база сигналу визначається як відношення ширини смуг випромінюваного та початкового (інформаційного) сигналів. Проте частіше величина бази сигналу N обчислюється як похідна ширини спектру F на тривалість елементарного символу T . Для широкосмугових сигналів база значно перевищує 1. Зрозуміло, що чим ширша смуга частот у ефірі і нижче швидкість вхідного сигналу, тим більша база сигналу і відповідно, вища завадостійкість. База сигналу – це характеристика не усієї CDMA-системи, а лише окремого її каналу. Розглянемо випадок для досліджуваної системи IS-95, швидкість чипу

якої рівна $1,2288 \text{ [Мбіт/с]}$, а інформаційна швидкість $9,6 \text{ [кбіт/с]}$, звідси можемо знайти базу як відношення [10]:

$$N = \frac{V_q}{V_I} = 128$$

Маючи конкретне значення бази ми можемо знайти відношення сигнал/шум на виході приймача обрахувавши залежність

$$q = q_0 \cdot N$$

Даний розрахунок ми виконуємо для двох базових станцій із найбільшою потужністю сигналу аби забезпечити найкраще відношення сигнал/шум.

2.5. Методика знаходження координат абонентського терміналу по відомим координатам відповідних базових станцій

Для визначення координат об'єкту використовують дві базові станції, що розміщені в точках А та В (див.рис.2.8), 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.2.8 [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

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

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

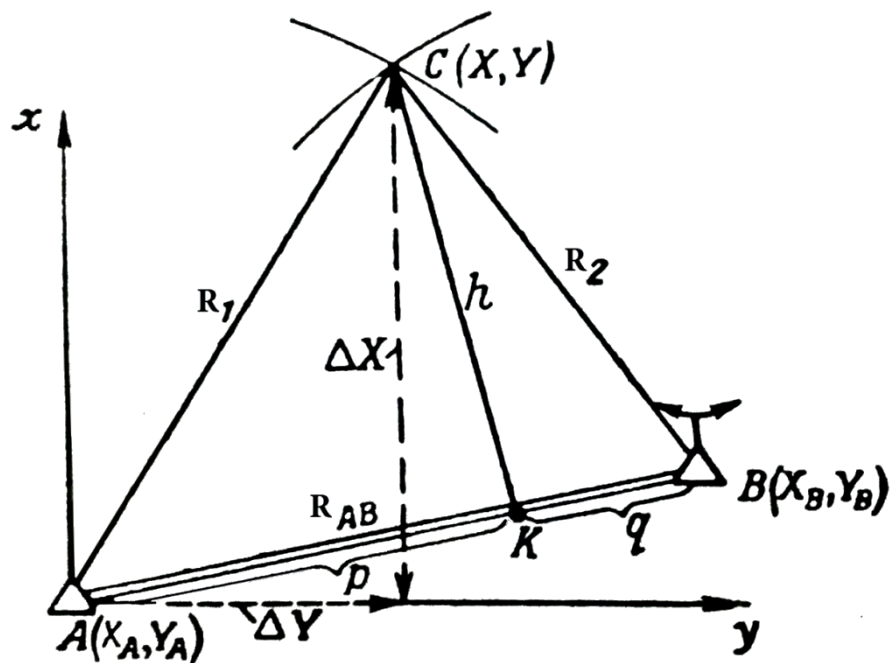


Рис.2.8. – Вирішення задачі визначення координат за допомогою далекомірних систем

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.

Маючи знайдені та істинні координати ми маємо можливість розрахувати похибку знаходження координат:

$$|\rho| = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2},$$

де $\Delta X, \Delta Y$ - різниця між істиною і розрахованою відповідною координатою.

Оскільки розрахунок точності визначення місцезнаходження рухомої станції для одного певного положення є доволі трудомістким процесом, то для оперативного та об'єктивного дослідження залежності точності визначення від розташування абонентського терміналу у стільнику потрібно використовувати програмний комплекс, що буде спрощувати розрахунки і усувати людський фактор, що може впливати на об'єктивність проведення розрахунків для великої кількості точок місцеположення. Тому є доцільним розробити програму для розрахунків наведеної методики.

Отже підсумовуючи даний розділ можна зробити висновок, що порівнюючи опорну та прийняту ПВП можливо знайти часову затримку, знаючи яку можна розрахувати відстані до усіх базових станцій, що знаходяться у зоні дії абонентського терміналу, маючи ці значення можливо отримати місцеположення рухомої станції як лінії перетину радіусів від базових станцій. Для розрахунку середньоквадратичної похибки точності місцевизначення, яка буде вказувати похибку між дійсним і знайденим положенням, потрібно розрахувати відношення сигнал/шум на виході демодулятора, для знаходження якого потрібно поетапно розрахувати потужність сигналу та потужність шуму для кожної базової станції.

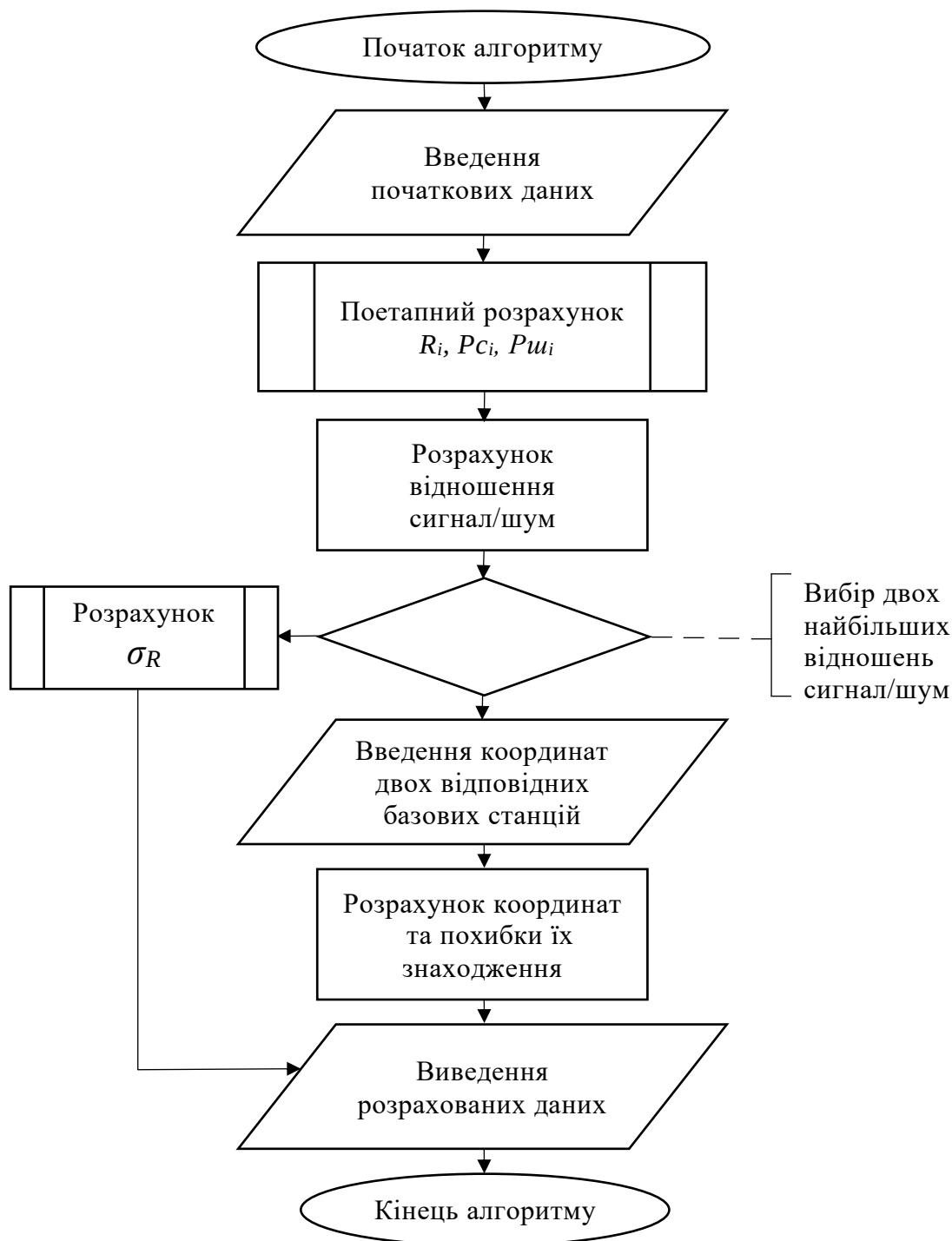


Рис.2.9. – Структурна блок-схема розробленого алгоритму

Опираючись на дану методику можливо скласти певний алгоритм виконання визначення положення рухомої станції для різних точок положення використовуючи певний програмний комплекс. Зобразимо дану послідовність операцій у вигляді блок-схеми алгоритму розрахунків точності місцевизначення рухомої станції та її координат (див.рис.2.9.).

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ ЗА СИГНАЛАМИ СТІЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ CDMA ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗТАШУВАННЯ РУХОМОЇ СТАНЦІЇ ВІДНОСНО БАЗОВИХ

3.1. Моделювання розробленого алгоритму. Програмна модель, обґрунтування вибору програмного комплексу та його функціональні можливості

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 специфічним вузькоспеціалізованим програмним пакетом, що дозволяє проводити математичні розрахунки і симуляцію процесів з високою точністю і наочністю. Окрім цього, такий вибір зумовлений тим, що «*Mathcad*», має так званий «відкритий» інтерфейс (WSTD). Таким чином навіть не маючи спеціальних знань синтаксису мови, але маючи уявлення про суть алгоритму, можливо зробити перевірку і правку програмного коду. Окрім цього «*Mathcad*» містить також усі наявні можливості будь-якої іншої мови програмування: створення циклів, перевірка умов і тому подібні процедури.

Інші мови програмування були відкинуті через складність мови синтаксису та відсутність спеціалізованих математичних засобів які необхідно прописувати через інші функції, і вже присутні у середовищі «*Mathcad*».

Враховуючи практичні дані реально існуючих систем, з урахуванням взаємного розташування базових станцій, відстані між ними та зонами їх дії ми можемо схематично зобразити будову стільника беручи до уваги інформацію, що в зоні дії абонентського термінулу у будь-який момент часу знаходиться п'ять базових станцій (див.рис.3.1). Візьмемо ідеалізований випадок – шестикутний стільник із урахуванням, що відстань між сусідніми базовими станціями три кілометри, згідно [11] для умов міської забудови, дальність дії базових станцій сім кілометрів, тобто зони дії сусідніх базових станцій перетинаються, що буде підтверджувати теоретичні дані про одночасну взаємодію із щонайменше п'ятьма базовими станціями у будь-якому положенні абонентського термінулу у будь-яких момент часу.

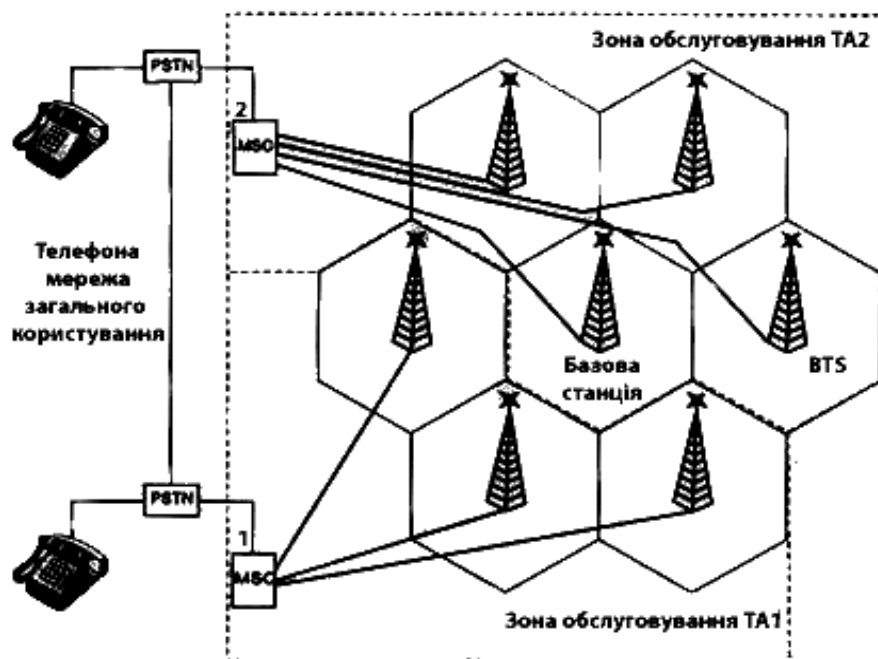


Рис.3.1 - Схематичне зображення стільника та основних його елементів

Отож, розглянемо ситуацію із розміщенням абонентського термінулу у певній випадково заданій точці стільника (див.рис.3.2), де вказано сім базових станцій. Зважаючи на особливість роботи абонентського термінулу, а саме одночасну роботу із щонайменше 5 базовими станціями, що мають

найбільший рівень сигналу, вказані прямі відстаней до базових станцій та зону базових станцій сигнали яких є найменшими через значну віддаленість.

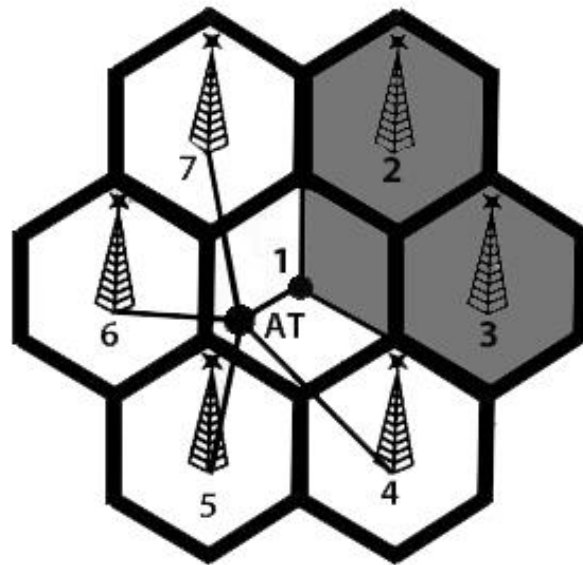


Рис.3.2 - Схематичне зображення стільника із заданим положенням абонентського терміналу

Зведемо задачу знаходження місцеположення до розрахунків у програмному комплексі «*Mathcad*». Перший блок лістингу програми призначений для задавання і зміни початкових умов (Додаток А).

Як вже було сказано, середовище «*Mathcad*» є середовищем з «відкритим» інтерфейсом, таким чином відповідні поля вводу даних не вимагають додаткових пояснень, окрім тих, що дані в коментарях програмного коду.

Відповідно до функціональних блоків, програмна модель поділена на підпункти, кожний з яких є теж «відкритим» і може редагуватись і коректуватись у відповідності до необхідних умов проведення досліджень.

В першому блоці (Додаток А) програми ми задаємо початкові умови, перелічені у списку. Дані змінні є сталими для умов нашого моделювання і беруться із технічної документації потрібної нам системи [12]. До цього списку відносяться – чутливість приймача, коефіцієнти підсилення

приймальної і передавальної антен, частота роботи стандарту, шумова температура антени, температура зовнішнього середовища, стала Больцмана, швидкість розповсюдження радіохвилі у вільному просторі, коефіцієнт шуму, база сигналу, тактова частота ПВП, тривалість однієї дискрети ПВП, коефіцієнт поправки. Увівши усі початкові параметри ми переходимо до другого блоку програми (Додаток Б.1-3).

Другий блок містить основну частину розрахунків. Як можна побачити із лістингу програми другого блоку, ввівши часові затримки, програма проведе усі необхідні розрахунки для поетапного знаходження відповідних відношень сигнал/шум. А саме маючи часові затримки відбувається розрахунок відстані до базових станцій, маючи які, після розрахунку довжини хвилі, програма розраховує відповідні потужності сигналів. Наступний підпункт це знаходження потужності шуму як добуток частоти стандарту і суми спектральної щільності потужності взаємних завад та спектральної щільності потужності флуктуаційних шумів. Далі розраховується залежність відповідних відношень сигнал/шум. Після отримання семи значень відношень ми обираємо два найбільших для оптимального значення подальших розрахунків.

Відкритий інтерфейс програми дозволяє при необхідності проводити моніторинг усіх проміжних значень, що доволі зручно при перевірці розрахунків.

Третій блок містить лістинг програми, призначеної для розрахунку точності місцевизначення, керуючись обраними відношеннями сигнал/шум та тривалістю однією дискрети, отриманої із залежності до тактової частоти ПВП ми знаходимо середньоквадратичну похибку часу затримки (Додаток В).

Як можна побачити із лістингу програми третього блоку після введення початкових даних для розрахунку також потрібно задати кут під яким перетинаються лінії положення. Цей кут можливо виміряти за допомогою програми Screen Protractor. Приклад користування цією програмою вказаний на рис.3.3.

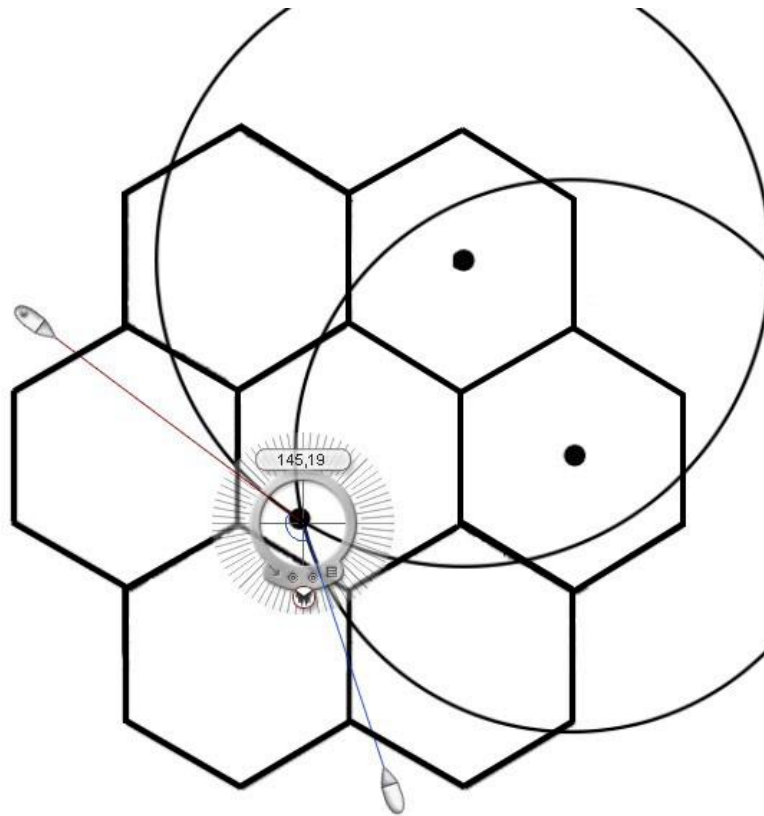


Рис. 3.3. - Вимір кута за допомогою спеціалізованої програми
Screen Protractor

Принцип роботи з цією програмою є доволі простий – встановивши діалогове вікно програми у точці перетину ліній положення ми встановлюємо лінії керування дотично до відповідних ліній положення і встановивши значення міри кута, отримуємо значення у градусах, яке ми і будемо використовувати при обрахунках.

Після введення кута ми отримуємо кінцеве значення розрахунку точності місцевизначення.

Останнім блоком розробленої програми є визначення координат. Даний алгоритм описаний у лістингу четвертого блоку програми (Додаток Д);

Перед введенням координат потрібно брати до уваги від яких базових станцій ведеться розрахунок і ввести відповідні координати базових станцій.

На виході четвертого блоку ми отримаємо відповідні координати місцезнаходження абонентського терміналу відносно координат базових

станцій взятих для розрахунку по відповідній координатній сітці, а також значення похибки розрахованих координат АТ відносно до дійсних координат місцеположення рухомої станції.

Як вже згадувалося раніше даний програмний комплекс є досить зручним для роботи та модифікації при необхідності зміни умов розрахунку. Тому кожен підпункт є відкритим для постійного вдосконалення.

3.2. Побудова робочої зони за допомогою моделювання у програмному середовищі

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.3.9) і почерговий розрахунок точності місцевизначення у всіх можливих місцеположеннях стільника.

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 розробленої програми, 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.

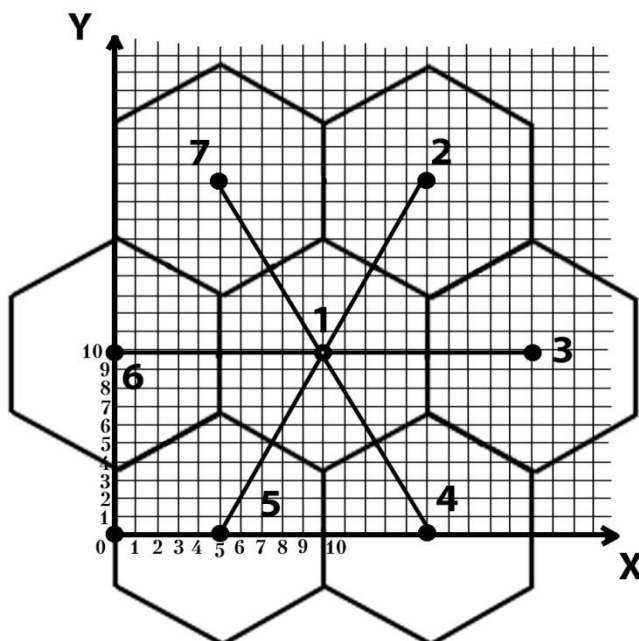


Рис. 3.9. - Розбиття стільника за допомогою координатної сітки

Отримавши усі часові затримки вводимо їх до другого блоку програмного комплексу (Додаток Б.1-4). На виході отримуємо сім відношень сигнал шум, обравши два найбільших вводимо їх значення для розрахунків у третьому блоці (Додаток В). Проводимо дві окружності від базових станцій, відношення сигнал/шум яких найбільше і за допомогою програми Screen Protractor вимірюємо кут перетину ліній положення, який вводимо для розрахунку і на виході третього блоку отримуємо значення середньоквадратичної похибки точності місцевизначення. Останнім кроком є розрахунок координат та похибки їх розрахунку (Додаток Д). 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 $\rho \leq 3\sigma_R$.

Повторюючи розрахунок ми заносимо отримані значення до таб. 3.1, яка буде містити усі необхідні характеристики кожної точки.

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. Тоді для того, щоб отримати наочне відображення розрахунків ми значення розрахованих точностей місцезнаходження проградуємо по всій шкалі і виділимо три групи – третя зона із поганим значенням показника точності місцезнаходження (червоний колір, $490 > \sigma_R > 109$ [м]), друга зона із задовільним показником точності місцезнаходження (жовтий колір, $109 > \sigma_R > 64$ [м]) та перша зона із оптимальним показником точності місцезнаходження (зелений колір, $64 > \sigma_R > 57$ [м]).

Таблиця 3.1. Основні значення проведених розрахунків

Дійсні (x; y)	$\tau_{31},$ мс	$\tau_{32},$ мс	$\tau_{33},$ мс	$\tau_{34},$ мс	$\tau_{35},$ мс	$\tau_{36},$ мс	$\tau_{37},$ мс	$P_{C1},$ мкВт	$P_{C2},$ мкВт	$P_{C3},$ мкВт	$P_{C4},$ мкВт	$P_{C5},$ мкВт	$P_{C6},$ мкВт	$P_{C7},$ мкВт	$q_1,$ раз	$q_2,$ раз	$\alpha_M,$ °	σ_R	$ \rho $
(5; 10)	4,96	13,2	15,04	14,08	9,34	5,02	9,12	28,84	4,07	3,14	3,58	8,13	28,2	8,53	57,4	52,2	41	57,7	69,9
(6; 10)	4	12,48	14,05	12,96	9,56	6,08	8,64	44,35	4,56	3,59	4,23	7,77	19,2	9,51	98,5	28,1	43	63,8	77,2
(7; 10)	2,16	11,84	13,04	12,37	9,64	7,2	9,12	152,1	5,06	4,17	4,64	7,64	13,7	8,53	377	8,15	39	108,9	131,8
(8; 10)	1,92	11,04	11,84	11,68	9,84	8,16	9,04	192,5	5,82	5,06	5,2	7,33	10,6	8,68	488	5,15	37	139,4	168,7
(9; 10)	0,88	10,56	11,09	11,2	10,08	9,12	9,44	916,3	6,36	5,77	5,66	6,98	8,53	7,96	2400	0,98	40	308,4	373,1
(10; 10)	0,06	10,08	10,16	10,01	10,24	10,05	10,02	1970	6,98	6,87	7,08	6,77	7,03	7,07	5115	0,039	24	487,8	590,2
(5; 9)	5,12	14,08	15,04	13,28	8,32	5,12	9,44	27,07	3,58	3,14	4,02	10,25	27,07	7,96	52,4	52,4	47	55,77	67,48
(6; 9)	4,08	13,36	14,24	12,4	8,38	6,16	9,6	42,36	3,97	3,49	4,62	10,1	18,7	7,7	95,1	27,97	48	60,91	73,7
(7; 9)	3,04	12,48	13,25	11,68	8,64	7,2	9,66	76,78	4,55	4,04	5,2	9,5	13,69	7,6	186	13,8	48	79,04	95,64
(8; 9)	2,24	11,76	12	10,88	8,96	8,16	9,76	141,4	5,13	4,93	5,99	8,84	10,66	7,45	356	6,65	52	107,62	130,2
(9; 9)	1,28	11,12	10,96	10,24	9,28	9,12	10,4	433,1	5,74	5,91	6,77	8,24	8,53	6,56	1125	1,99	51	196,8	238,1
(10; 9)	0,96	10,72	10,24	9,76	9,78	10,08	10,72	772	6,18	6,77	7,45	7,42	6,98	6,18	2039	1,006	49	280,3	339,2

Продовження табл. 3.1.

Дійсні (x; y)	$\tau_{31},$ мс	$\tau_{32},$ мс	$\tau_{33},$ мс	$\tau_{34},$ мс	$\tau_{35},$ мс	$\tau_{36},$ мс	$\tau_{37},$ мс	$P_{C1},$ мкВт	$P_{C2},$ мкВт	$P_{C3},$ мкВт	$P_{C4},$ мкВт	$P_{C5},$ мкВт	$P_{C6},$ мкВт	$P_{C7},$ мкВт	$q_1,$ раз	$q_2,$ раз	$\alpha_M,$ °	σ_R	$ \rho $
(5; 8)	5,36	14,48	15,2	12,4	7,36	5,44	10,4	24,7	3,38	3,07	4,62	13,1	23,98	6,56	49,1	46,92	47	58,32	70,57
(6; 8)	4,64	13,76	14,24	11,52	7,36	6,4	10,56	32,96	3,75	3,49	5,35	13,1	17,32	6,36	72,4	28,9	52	60,5	73,2
(7; 8)	3,68	13,12	12,96	10,72	7,68	7,36	10,64	52,4	4,12	4,23	6,18	12,03	13,1	6,27	123,7	16,67	58	69,16	83,68
(8; 8)	2,8	12,56	12,16	10,08	8	8,32	10,72	90,5	4,49	4,79	6,98	11,09	10,25	6,18	224,2	9,76	47	93,34	112,9
(9; 8)	2,08	12	11,2	9,28	8,48	9,32	11,28	164	4,93	5,66	8,24	9,87	8,17	5,57	419,2	5,45	48	122,15	147,8
(10; 8)	1,92	11,68	10,24	8,8	8,96	10,08	11,52	192,5	5,2	6,77	9,16	8,84	6,98	5,35	493	4,4	62	124,34	150,5
(5; 7)	5,76	15,04	15,28	11,84	6,48	5,84	11,28	21,39	3,14	3,04	5,06	16,9	20,81	5,58	42,6	40,96	53	59,8	72,36
(6; 7)	4,96	14,4	14,24	11,04	6,64	6,72	11,44	28,84	3,42	3,49	5,82	16,09	15,71	5,42	62,6	27,8	54	61,8	74,8
(7; 7)	4,08	13,84	13,36	10,24	6,88	7,6	11,52	42,63	3,7	3,98	6,77	14,99	12,29	5,35	98,2	21,8	55	63,9	77,3
(8; 7)	3,44	13,36	12,32	9,44	7,12	8,48	11,84	59,97	3,97	4,68	7,96	14,1	9,87	5,06	142,8	16,6	53	70,85	85,73
(9; 7)	3,04	12,4	11,36	8,8	7,68	9,44	12,08	76,78	4,62	5,49	9,16	12,03	7,96	4,86	188,7	11,98	52	81,93	99,17
(10; 7)	2,88	12,32	10,48	8,14	8,18	10,4	12,48	85,5	4,68	6,46	10,71	10,61	6,56	4,57	213	9,8	58	86,57	104,8
(6; 6)	5,44	15,2	14,4	10,24	5,6	7,2	12,24	23,98	3,07	3,42	6,77	22,63	13,69	4,74	47,9	44,1	49	58,65	70,96
(7; 6)	4,8	14,64	13,44	9,68	5,84	8	12,48	30,8	3,31	3,93	7,57	20,81	11,09	4,56	65,2	36,85	50	57,5	69,58

Продовження табл. 3.1.

Дійсні (x; y)	$\tau_{31},$ мс	$\tau_{32},$ мс	$\tau_{33},$ мс	$\tau_{34},$ мс	$\tau_{35},$ мс	$\tau_{36},$ мс	$\tau_{37},$ мс	$P_{C1},$ мкВт	$P_{C2},$ мкВт	$P_{C3},$ мкВт	$P_{C4},$ мкВт	$P_{C5},$ мкВт	$P_{C6},$ мкВт	$P_{C7},$ мкВт	$q_1,$ раз	$q_2,$ раз	$\alpha_M,$ °	σ_R	$ \rho $
(8; 6)	4,32	14,24	12,56	8,8	6,24	8,96	12,64	38,02	3,49	4,49	9,16	18,22	8,84	4,41	84,8	28,87	52	59,26	71,7
(9; 6)	3,84	13,6	11,6	8	6,88	9,76	12,96	48,12	3,84	5,27	11,09	14,99	7,45	4,23	111,4	20,33	53	65,89	79,73
(10; 6)	3,68	13,44	10,8	7,36	7,36	10,56	13,28	52,4	3,93	6,08	13,1	13,08	6,36	4,02	121,9	16,55	51	72,56	87,79
(8; 5)	5,12	14,8	12,8	8,32	5,44	9,44	13,44	27,07	3,24	4,33	10,25	23,98	7,96	3,93	54,69	45,81	50	55,86	67,59
(9; 5)	4,8	14,56	12	7,52	6,08	10,24	13,76	30,8	3,35	4,93	12,55	19,2	6,77	3,75	66,1	33,51	54	57,56	69,65
(10; 5)	4,64	14,08	11,2	6,88	6,72	11,04	14,08	32,96	3,58	5,66	14,99	15,71	5,82	3,75	72,2	25,53	53	62,81	76
(9; 4)	5,76	15,36	12,32	7,04	5,44	10,56	14,72	21,39	3,01	4,68	14,32	23,98	6,36	3,28	41,7	49,05	53	57,54	65,99
(10; 5)	5,6	15,04	11,52	6,08	6,24	11,36	15,04	22,63	3,14	5,35	19,2	18,22	5,5	3,14	45	35,9	61	58,41	70,68

Маючи отримані значення (див.табл.3.1.), будуюмо робочу зону точності місцезнаходження рухомої станції (див.рис.3.10.). Маркеруючи відповідні точки потенційного місцезнаходження абонентського терміналу у відповідності до шкали градуювання ми отримаємо три відповідні ділянки робочої зони.

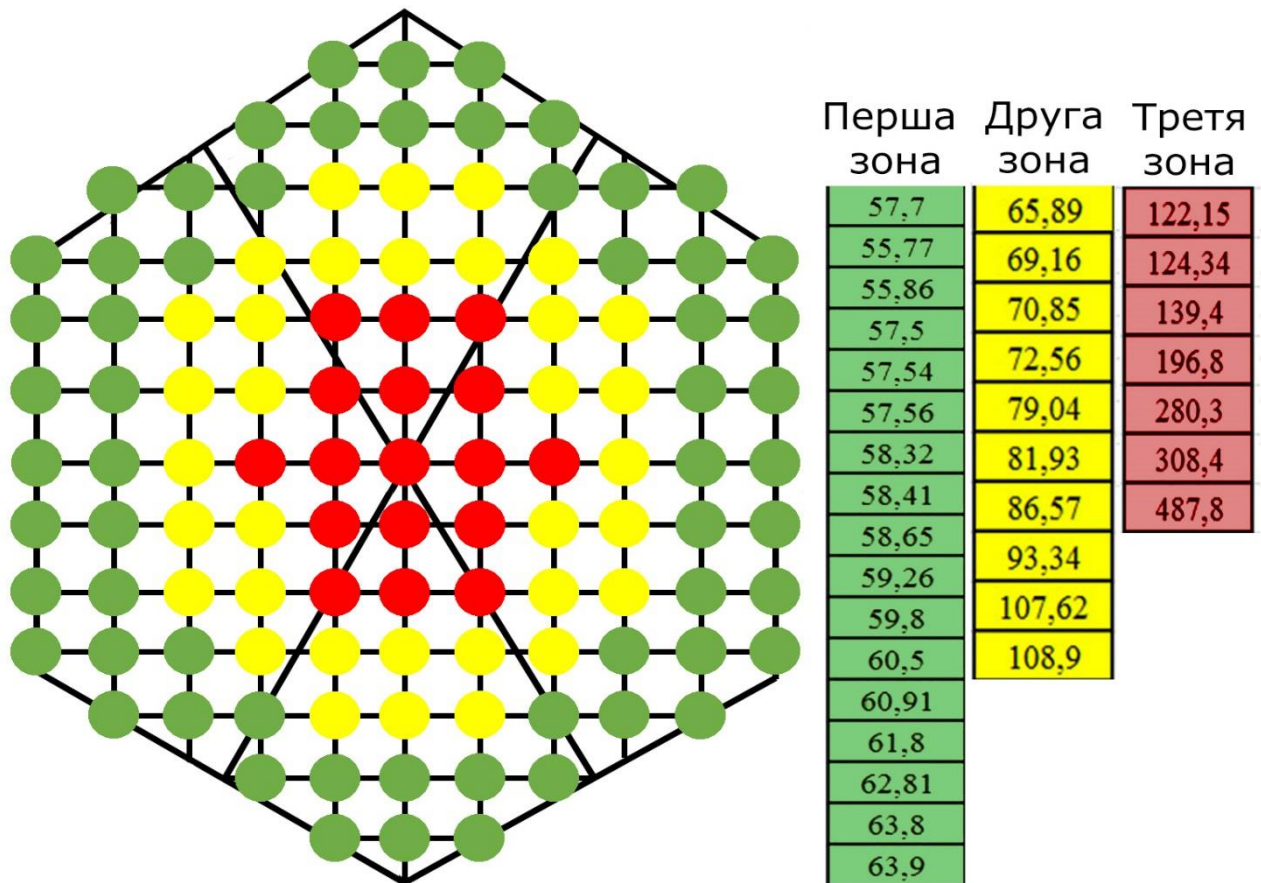


Рис.3.10. – Робоча зона системи

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 впливом інтерференційних завад сусідніх базових станцій, відповідно у дальніх зонах стільника точність є доволі прийнятною у порівнянні із найближчими прототипами для аналогових систем. Проводячи

досліди із урахуванням впливу кута ліній перетину на точність місцевизначення було виявлено, що зростання кута на кожні 10 градусів від 0 до 90 покращує точність приблизно на 3-5% і відповідно погіршує при зростанні після 90 градусів.

Підсумувавши отримані дані можна зробити висновки, що методика є дієвою і попри місця із поганими показниками точності місцевизначення має середню точність ≈ 100 м. Це є доволі прийнятним показником у порівнянні із аналогами методик для місцевизначення інших стільникових систем. До того ж дана методика не потребує жодних апаратурних модифікацій і цілком придатна для впровадження у дію.

ВИСНОВКИ

Виконано огляд науково-технічної інформації відомих систем визначення місцезнаходження рухомих станцій у стільникових системах зв'язку. Показано що розробка запропонованої в роботі методики для стандарту CDMA IS-95 є перспективним напрямком дослідження, оскільки аналоги системи визначення місцезнаходження рухомої станції по сигналам стільникової мережі CDMA відсутні, тому тема роботи є актуальною.

Була 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.

Результатами аналітичного моделювання було визначено робочу зону системи місцевизначення на основі технології CDMA. В процесі проведення моделювання було обрано місцеположення базових станцій та відповідну оптимальну кількість точок потенційного місцезнаходження рухомої станції, для яких були проведені розрахунки відношень сигнал/шум, координат, а також точність їх визначення. У процесі математичного моделювання були отримані реальні аналітичні значення параметрів для кожної точки робочої зони, у відповідності до яких і була побудована робоча зона системи визначення.

Дана система може бути адаптована для інтеграції до програмного забезпечення абонентського терміналу і давати можливість абоненту

отримувати значення координат свого місцеположення із середньою точністю ≈ 100 метрів. В залежності від необхідної точності місцевизначення отримані три відповідних ділянки робочої зони в межах стільника. Тому в залежності від заданої точності буде запропонована відповідна ділянка стільника - перша зона із оптимальним показником точності місцезнаходження ($64 > \sigma_R > 57m$), друга зона із задовільним показником точності місцезнаходження ($109 > \sigma_R > 64m$) та третя зона із значенням показника точності місцезнаходження нижче середнього ($490 > \sigma_R > 109m$). Даний розподіл показників точності місцевизначення у стільнику пояснюється впливом інтерференційних завад сусідніх базових станцій, тому це і викликає у центральній зоні стільника, де потужності сигналів усіх базових станцій максимальні значне погіршення точності визначення місцезнаходження рухомої станції і відповідно на крайніх ділянках стільника даний показник зростає за рахунок зменшення потужності шумів.

Робота виконана в повному обсязі, мета роботи досягнута.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

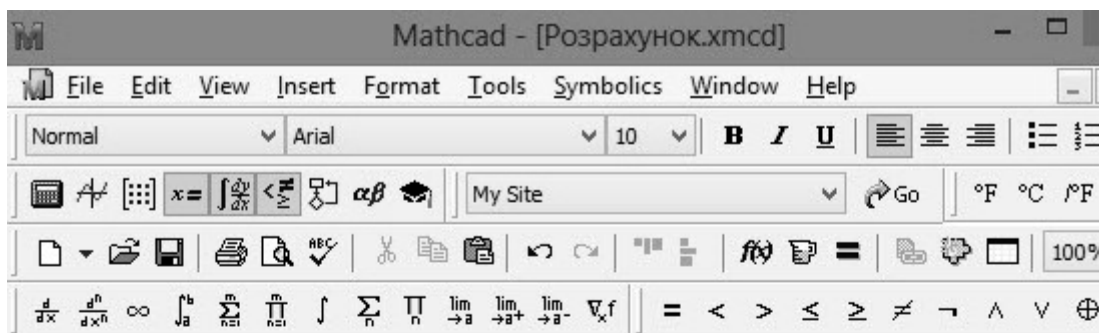
1. Cornell Drentea Modern Communications Receiver Design and Technology. – Artech House, 2010. – 485 p.
2. Ralf Rudersdorfer Radio receiver technology : principles, architectures, and applications / Ralf Rudersdorfer, Ulrich Graf, Hans Zahnd. – John Wiley & Sons Ltd, 2014. – 317 p.
- Kevin McClaning Wireless Receiver Design for Digital Communications. – 2nd ed. – SciTech Publishing, Inc, 2012. – 775 p.
3. Кобилін О. А., Творошенко І.С. Методи цифрової обробки зображень: Навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ. – 2021. – 124 с. зв'язь, 1985. - 384с.
4. PaulClark, David Clark Introduction to Software Defined Radio. Volume 1. – Meadow Registry Press, 2015. – 173 p.
5. Одинський А. "Перспективні технології рухомого радіозв'язку" // Інформост, №2 (20), 2008.
6. John Bard Software defined radio : the software communications architecture / John Bard, Vincent J. Kovarik Jr. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 465 p.
7. Gonzalez, C.Rafael, Woods, E.Richard and Steven, L. «Eddins Digital Image Processing Using MATLAB», 3rd edition, Gatesmark Publishing, 2020. – 1009p.
8. Peter B. Kenington RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio. – Artech House, 2005. – 352 p.
9. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу / П. В. Слободянюк, Т. М. Наритник, В. Г. Благодарний та ін.; за ред. В. Г. Кривуци. – К.: ДУІКТ, 2012. – 596 с.
10. Кононов С.П. Основи радіомовлення. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. - 69 с.
11. І.В. Омелянюк «Solution for transformation of the existing nationwide network for analogue broadcasting into DVB-T SFN networks» конференція «Стратегії.
- 12.

13. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: навчальний посіб.
/ За ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуського, В.І. Правди – К.: Вища шк.,
1999. – 838 с.: іл.
14. Омелянюк І.В. Цифрове ефірне телебачення. Практика, нові напрямки
розвитку цифрового ефірного телебачення та створення цифрових
ефірних телемереж. Посібник для фахівців телебачення. – К.: ЗАО
«ТЕЛЕРАДІОКУР'ЄР», 2009. – 192с.
15. Волочий Б.Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах. Ч.1:
Навч. Посібник. – Львів: Видавництво Національного університету
«Львівська політехніка», 2005. – 196с.
16. Основи теорії мереж передачі та розподілу даних: Навч. Посібник / І.А.
Жуков, М.А. Віноградов, В.І. Дрововозов, Н.Ф. Халімон. – К.: Книжкове
вид-во НАУ, 2006. – 272 с.
18. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів: Підручник / За ред. Б.А.
Мандзія. – Львів: Видавничий дім «Ініціатива», 2008. – 240 с.
19. Фриз С.П., Андреев О.В., Рихальський О.Р., Дубина О.Ф. Теорія і техніка
радіолокації та радіонавігації : навчальний посібник. – Житомир:
Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 178 с.
20. Супутникова радіонавігація. – К.: Техніка, 2004. – 328 с.; іл. – Бібліогр.:
с. 320–325.
21. T. Sutton, O. Dassau, M. Sutton. A Gentle Introduction to GIS. Brought to
you with QGIS, a Free and Open Source Software GIS Application for
everyone. – South Africa, Eastern Cape: Chief Directorate: Spatial Planning &
Information, Department of Land Affairs, Eastern Cape, 2009. – 99 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.1

Інтерфейс програмного середовища із першим блоком розробленої програми
(частина перша)



Блок 1

Задавання початкових даних

1. Вводимо значення сталих та змінних величин,
необхідних для подальших розрахунків

Випромінювана потужність БС	$P_{\text{п}} := 50$
Коефіцієнт підсилення передавальної антени	$G_1 := 24 \text{ дБ}$ $G_{\text{п}} := 1585 \text{ разів}$
Коефіцієнт підсилення приймальної антени	$G_2 := 7 \text{ дБ}$ $G_{\text{пр}} := 224 \text{ разів}$
Частота роботи стандарту CDMA	$\Delta f := 890 \cdot 10^6$
Шумова температура антени	$T_{\text{а}} := 145$
Температура зовнішнього середовища	$T_{\text{о}} := 290$
Стала Больцмана	$k := 1.38 \cdot 10^{-23}$

Додаток А.2

Інтерфейс програмного середовища із першим блоком розробленої програми
(частина друга)

Швидкість розповсюдження радіохвилі у вільному просторі	$c := 3 \cdot 10^8$
Коефіцієнт шуму	$K_{ш} := 3$
База сигналу	$b := 128$
Тактова частота ПВП	$f_{пвп} := 1.2288 \cdot 10^6$
Тривалість однієї дискрети ПВП	$\tau_c := \frac{1}{f_{пвп}} = 8.138 \times 10^{-7}$
Коефіцієнт поправки	$\alpha := 1.18$

Додаток Б.1

Інтерфейс програмного середовища із другим блоком розробленої програми
(частина перша)

Блок 2

Розрахування відношення сигнал/шум

1. Вводимо часові затримки від відповідних базових станцій

Час затримки від першої базової станції $\tau_{з1} := 3.68 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від другої базової станції $\tau_{з2} := 13.12 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від третьої базової станції $\tau_{з3} := 12.96 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від четвертої базової станції $\tau_{з4} := 10.72 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від п'ятої базової станції $\tau_{з5} := 7.68 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від шостої базової станції $\tau_{з6} := 7.36 \cdot 10^{-6}$

Час затримки від сьомої базової станції $\tau_{з7} := 10.64 \cdot 10^{-6}$

2. Розраховуємо відстані до відповідних базових станцій

$$R1 := c \cdot \tau_{з1} = 1.104 \times 10^3$$

$$R2 := c \cdot \tau_{з2} = 3.936 \times 10^3$$

$$R3 := c \cdot \tau_{з3} = 3.888 \times 10^3$$

$$R4 := c \cdot \tau_{з4} = 3.216 \times 10^3$$

$$R5 := c \cdot \tau_{з5} = 2.304 \times 10^3$$

$$R6 := c \cdot \tau_{з6} = 2.208 \times 10^3$$

$$R7 := c \cdot \tau_{з7} = 3.192 \times 10^3$$

Додаток Б.2

Інтерфейс програмного середовища із другим блоком розробленої програми
(частина друга)

3. Розраховуємо потужності сигналів

$$\lambda := \frac{c}{\Delta f} = 0.337$$

$$P_{c1} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R1^2 \cdot (4\pi)^2} = 5.24 \times 10^{-5}$$

$$P_{c2} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R2^2 \cdot (4\pi)^2} = 4.122 \times 10^{-6}$$

$$P_{c3} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R3^2 \cdot (4\pi)^2} = 4.225 \times 10^{-6}$$

$$P_{c4} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R4^2 \cdot (4\pi)^2} = 6.175 \times 10^{-6}$$

$$P_{c5} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R5^2 \cdot (4\pi)^2} = 1.203 \times 10^{-5}$$

$$P_{c6} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R6^2 \cdot (4\pi)^2} = 1.31 \times 10^{-5}$$

$$P_{c7} := \frac{P_{\Pi} \cdot G_{\Pi} \cdot G_{\Pi P} \cdot \lambda^2}{R7^2 \cdot (4\pi)^2} = 6.268 \times 10^{-6}$$

4. Розраховуємо потужність шуму

$$N_{\Pi 1} := \frac{\alpha \cdot (P_{c2} + P_{c3} + P_{c4} + P_{c5} + P_{c6} + P_{c7})}{\Delta f}$$

$$N_{\Pi 2} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c3} + P_{c4} + P_{c5} + P_{c6} + P_{c7})}{\Delta f}$$

$$N_{\Pi 3} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c2} + P_{c4} + P_{c5} + P_{c6} + P_{c7})}{\Delta f}$$

$$N_{\Pi 4} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c5} + P_{c6} + P_{c7})}{\Delta f}$$

$$N_{\Pi 5} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c4} + P_{c6} + P_{c7})}{\Delta f}$$

$$N_{\Pi 6} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c4} + P_{c5} + P_{c7})}{\Delta f}$$

Додаток Б.3
Інтерфейс програмного середовища із другим блоком розробленої програми
(частина третя)

$$N_{\pi 7} := \frac{\alpha \cdot (P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c4} + P_{c5} + P_{c6})}{\Delta f}$$

$$T_{\pi} := T_a + T_o \cdot (K_{\pi} - 1) = 725$$

$$N_0 := k \cdot T_{\pi} \qquad N_0 := 1.0005 \cdot 10^{-20}$$

$$N_1 := N_0 + N_{\pi 1}$$

$$N_2 := N_0 + N_{\pi 2}$$

$$N_3 := N_0 + N_{\pi 3}$$

$$N_4 := N_0 + N_{\pi 4}$$

$$N_5 := N_0 + N_{\pi 5}$$

$$N_6 := N_0 + N_{\pi 6}$$

$$N_7 := N_0 + N_{\pi 7}$$

$$P_{\pi 1} := (N_1) \cdot \Delta f = 5.419 \times 10^{-5}$$

$$P_{\pi 2} := (N_2) \cdot \Delta f = 1.112 \times 10^{-4}$$

$$P_{\pi 3} := (N_3) \cdot \Delta f = 1.11 \times 10^{-4}$$

$$P_{\pi 4} := (N_4) \cdot \Delta f = 1.087 \times 10^{-4}$$

$$P_{\pi 5} := (N_5) \cdot \Delta f = 1.018 \times 10^{-4}$$

$$P_{\pi 6} := (N_6) \cdot \Delta f = 1.006 \times 10^{-4}$$

$$P_{\pi 7} := (N_7) \cdot \Delta f = 1.086 \times 10^{-4}$$

**5. Розраховуємо відношення
сигнал/шум на виході приймача**

$$\gamma_1 := \left(\frac{P_{c1}}{P_{\pi 1}} \right) \cdot b = 123.777 \qquad \gamma_2 := \left(\frac{P_{c2}}{P_{\pi 2}} \right) \cdot b = 4.747$$

$$\gamma_3 := \left(\frac{P_{c3}}{P_{\pi 3}} \right) \cdot b = 4.87 \qquad \gamma_4 := \left(\frac{P_{c4}}{P_{\pi 4}} \right) \cdot b = 7.269$$

$$\gamma_5 := \left(\frac{P_{c5}}{P_{\pi 5}} \right) \cdot b = 15.124 \qquad \gamma_6 := \left(\frac{P_{c6}}{P_{\pi 6}} \right) \cdot b = 16.674$$

Додаток Б.4

Інтерфейс програмного середовища із другим блоком розробленої програми
(частина четверта)

$$\gamma_7 := \left(\frac{P_{c7}}{P_{ш7}} \right) \cdot b = 7.386$$

**6. Вибираємо два найбільших відношення
для подальших розрахунків**

$$q_1 := \gamma_1$$

$$q_2 := \gamma_6$$

Додаток В

Інтерфейс програмного середовища із третім блоком розробленої програми

Блок 3

Розрахування похибки точності місцезнаходження

1. Розраховуємо похибки часу затримки

$$\sigma_{\tau 1} := \frac{\tau c}{\sqrt{q1}} \qquad \sigma_{\tau 2} := \frac{\tau c}{\sqrt{q2}}$$

2. Розраховуємо похибки ліній положення

$$\sigma_{D1} := c \cdot \sigma_{\tau 1} \qquad \sigma_{D2} := c \cdot \sigma_{\tau 2}$$

3. Розраховуємо похибку точності місцезнаходження

Задаємо кут під яким перетинаються лінії положення відповідних базових станцій
(для задання змінної у градусах додаємо змінну "deg")

$$\alpha M := 58 \cdot \text{deg}$$

$$\sigma_R := \sqrt{\frac{\sigma_{D1}^2 + \sigma_{D2}^2}{\sin(\alpha M)}} = 69.159$$

Додаток Д
Інтерфейс програмного середовища із четвертим блоком
розробленої програми

Блок 4

Розрахування координат абонентського терміналу

1. Вводимо координати відповідних базових станцій

БС1	БС2
$X_a := 3000$	$X_b := 0$
$Y_a := 3000$	$Y_b := 3000$

$$R_{ab} := \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} = 3 \times 10^3$$

$$X := X_b - (Y_a - Y_b) \cdot \sqrt{\frac{R_6^2}{R_{ab}^2} - 0.5^2} \cdot \left(1 + \frac{R_6^2 - R_1^2}{R_{ab}^2}\right) + (X_a - X_b) \cdot \left(1 + \frac{R_6^2 - R_1^2}{R_{ab}^2}\right)$$

$$Y := Y_b + (X_a - X_b) \cdot \sqrt{\frac{R_6^2}{R_{ab}^2} - 0.5^2} \cdot \left(1 + \frac{R_6^2 - R_1^2}{R_{ab}^2}\right) + (Y_a - Y_b) \cdot \left(1 + \frac{R_6^2 - R_1^2}{R_{ab}^2}\right)$$

$$X = 2136.3$$

$$Y = 2447.38$$

2. Маючи відповідні координати, розраховуємо похибку визначення координат

Вводимо дійсні значення координат рухомої станції

$$X_d := 2100$$

$$Y_d := 2400$$

$$\rho := \sqrt{(X_d - X)^2 + (Y_d - Y)^2} = 83.68$$