

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Система визначення місцезнаходження мобільного абонента»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Владислав ІВАНЦОВ  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Анатолій ТАРАНЕНКО  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Іванцова Владислава Ігоровича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система визначення місцезнаходження мобільного абонента»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: розробити систему визначення місцезнаходження мобільного абонента із застосуванням супутникової системи радіонавігації

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз систем визначення місцезнаходження, методи локалізації мобільного абонента, обчислення координат за методом A-GPS

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

## 6. Календарний план-графік

| № пор. | Завдання                                                      | Термін виконання          | Відмітка про виконання |
|--------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1      | Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи | 22.05.2023-<br>24.05.2023 | Виконано               |
| 2      | Вступ                                                         | 25.05.2023                | Виконано               |
| 3      | Аналіз систем визначення місцезнаходження                     | 26.05.2023-<br>28.05.2023 | Виконано               |
| 4      | Методи локалізації мобільного абонента                        | 29.05.2023-<br>06.06.2023 | Виконано               |
| 5      | Обчислення координат за методом А-GPS                         | 07.06.2023-<br>13.06.2023 | Виконано               |
| 6      | Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи           | 14.06.2023-<br>25.06.2023 | Виконано               |

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Анатолій ТАРАНЕНКО

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис випускника)

Владислав ІВАНЦОВ

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Система визначення місцезнаходження мобільного абонента» містить 46 сторінок, 10 рисунків, 2 таблиці, 8 використаних джерел.

Визначення, місцезнаходження, мобільний абонент, методи, обчислення, моделі, сигнали, GPS, стільникові системи.

Об'єкт дослідження – Система стільникового зв'язку стандарту 3GPP.

Предмет дослідження – Технології та процеси визначення місцезнаходження мобільних абонентів.

Мета кваліфікаційної роботи – Розробка комбінованої системи визначення місцезнаходження мобільних абонентів.

Метод дослідження – Аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень з систем визначення місцезнаходження мобільного абонента, а також при розробці нових методів і технологій для цієї системи.

## ЗМІСТ

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....                          | 6  |
| ВСТУП .....                                              | 8  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ..... | 10 |
| 1.1. Стільникова система локалізації.....                | 10 |
| 1.2. Супутникові системи позиціонування.....             | 17 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО АБОНЕНТА.....    | 23 |
| 2.1. Мережна локалізація.....                            | 23 |
| 2.2. Метод А-GPS.....                                    | 28 |
| РОЗДІЛ 3. ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ЗА МЕТОДОМ А-GPS.....     | 35 |
| 3.1. Структура обчислювача.....                          | 35 |
| 3.2. Кореляційний приймач ПВП.....                       | 40 |
| ВИСНОВКИ .....                                           | 44 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                         | 46 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP (3rd Generation Partnership Project) – проект партнерства 3-го покоління.

A-GPS (Assisted Global Positioning System) – підтримувана глобальна система позиціонування.

ATD (Absolute Time Difference) – абсолютна різниця часу.

BSC (Base Station Controller) – контролер базової станції.

CN (Core Network) – ядро мережі.

GERAN (GSM Edge Radio Access Network) – мережа радіодоступу GSM EDGE.

GMLC (Gateway Mobile Location Centre) – центр мобільної локації шлюзу.

GNSS (Global Navigation Satellite System) – глобальна навігаційна супутникова система.

GPRS (General Packet Radio Service) – загальна пакетна радіослужба.

GPS (Global Positioning System) – глобальна система позиціонування.

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальна система мобільних комунікацій.

GTD (Geometric Time Difference) – геометрична різниця часу.

HLR (Home Location Register) – реєстр місцезнаходження абонентів.

HSS (Home Subscriber Server) – сервер домашніх абонентів.

LCS (Location Services) – служби локації.

LMU (Location Measurement Unit) – блок вимірювання місцезнаходження.

MSC (Mobile Switching Center) – мобільний центр комутації.

OTDOA-IPDL (Observed Time Difference of Arrival - Initial Power Delay Line) – спостережувана різниця часу прибуття - початкова лінія затримки сигналу.

PLMW (Physical Layer Measurement and Control) – вимірювання та керування фізичним рівнем.

QoS (Quality of Service) – якість обслуговування.

RAN (Radio Access Network) – радіомережа.

RNC (Radio Network Controller) – контролер радіомережі.

RTD (Round Trip Delay) – затримка кругової поїздки.

RTT (Round Trip Time) – час кругової поїздки.

SGSN (Serving GPRS Support Node) – обслуговуючий вузол підтримки GPRS.

SMLC (Serving Mobile Location Centre) – обслуговуючий мобільний центр локації.

SRNC (Serving Radio Network Controller) – обслуговуючий радіомережевий контролер.

TDOA (Time Difference of Arrival) – різниця часу прибуття.

TOA (Time of Arrival) – час прибуття.

UE (User Equipment) – користувацьке обладнання.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – універсальна мобільна телекомунікаційна система.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) – земний радіодоступ umts.

VLR (Visitor Location Register) – реєстр місцезнаходження відвідувачів.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зростання використання мобільних технологій та швидкий розвиток інтернету призвели до змін у способах, якими ми взаємодіємо з оточуючим світом. Сьогодні мобільні пристрої, такі як смартфони, стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, забезпечуючи нам доступ до безлічі послуг та можливостей.

Попит на надійне та точне визначення місцезнаходження мобільних абонентів стає з кожним днем більший. Постійне зростання використання різних мобільних пристроїв, створює потребу в розробці систем визначення місцезнаходження з достовірністю і точністю.

Актуальність цієї теми впливає з різноманітних областей застосування, таких як навігація, транспорт, безпека, логістика, медицина, соціальні мережі та багато інших. Точне визначення місцезнаходження мобільних абонентів дозволяє забезпечити широкий спектр послуг, наприклад, навігацію, місцеві рекомендації, місцезнаходження близьких, відстеження втрачених або викрадених пристроїв та багато іншого.

**Мета і завдання дослідження.** Розробити комбіновану систему визначення місцезнаходження мобільних абонентів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. дослідити наявні системи, що використовуються для визначення місцезнаходження;
2. провести аналіз існуючих систем визначення місцезнаходження, включаючи точність, швидкість визначення та використання ресурсів;
3. зробити висновки, виявити недоліки та запропонувати можливі шляхи їх поліпшення та вдосконалення.

**Об'єктом дослідження** є система стільникового зв'язку стандарту 3GPP.

**Предметом дослідження** є технології та процеси визначення місцезнаходження мобільних абонентів.



**Методи досліджень.** Аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані результати дослідження системи визначення місцезнаходження мобільного абонента мають велике практичне значення. Завдяки можливості досить точно визначати місцезнаходження мобільних абонентів, є можливість реалізовувати системи відстеження втрачених або викрадених пристроїв або надавати швидку допомогу в надзвичайних ситуаціях. Результати дослідження мають значний практичний вплив, що сприятиме покращенню якості послуг, безпеці користувачів та ефективності в різних галузях застосування.

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

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ

### 1.1. Стільникова система локалізації

Для багатьох цілей у мережі мобільного зв'язку є надзвичайно важлива функція визначення місцезнаходження абонента. Це можливо за допомогою послуги визначення місцезнаходження LCS.

Послуга визначення місцезнаходження LCS, що і в мережі UMTS, що і мережі GSM розподіляється подібним чином між існуючими елементами мережі. І для роботи та підтримки LCS до всієї системної архітектури був доданий важливий новий мережевий елемент, а саме шлюзовий мобільний центр визначення місцезнаходження GMLC. В мережі UMTS прибрані деякі мережеві рішення, які є не обов'язкові та спрощують структуру служби визначення LCS, на відміну від GSM.

В наземній мережі доступу UTRAN так і в базовій мережі CN присутні обладнання та функції LCS. Компоненти, що містяться в UTRAN здійснюють збір та обробку даних про позиціонування для визначення місцезнаходження мобільного пристрою. Центр GMLC забезпечує в базовій мережі CN зв'язок між компонентами для передачі іншим послугам або додаткам клієнтів дані позиціонування. За допомогою контролера SRNC контролюються та завершаються вимірювання радіоканалу, вимірювання параметрів режиму м'якого перемикавання [1].

Також був створений незалежний центр для того, щоб визначати місцезнаходження SMLC для позиціонування за допомогою GPS. Для послуг визначення місцезнаходження LCS і UMTS головний принцип полягає в поділенні задач базової мережі та радіомережі. Центр SMLC в мережі GSM може бути вбудованим до контролера базової станції BSC, або бути окремим елементом фізичної мережі.

Мобільний автономний центр позиціонування SMLC в GSM і контролер, що обслуговує радіомережу SRNC в UTRAN відстежують вимірювання позиціонування,

обирають методи позиціонування та знаходять те місце, де розташовується конкретний термінал. Всю інформацію вони отримують із вимірювань цього ж терміналу або блоків, виділених з LMU базових станцій, або інших блоків, які є підключені до них.

До послуг локаційного сервісу LCS є певні вимоги 3GPP, які містять в собі більше формальний підхід щодо функцій різних елементів в мережі LCS та пов'язаних з ними інтерфейсів.

На рис. 1.1. можна побачити еталонну модель 3GPP надання послуг LCS в мережі доступу GERAN.

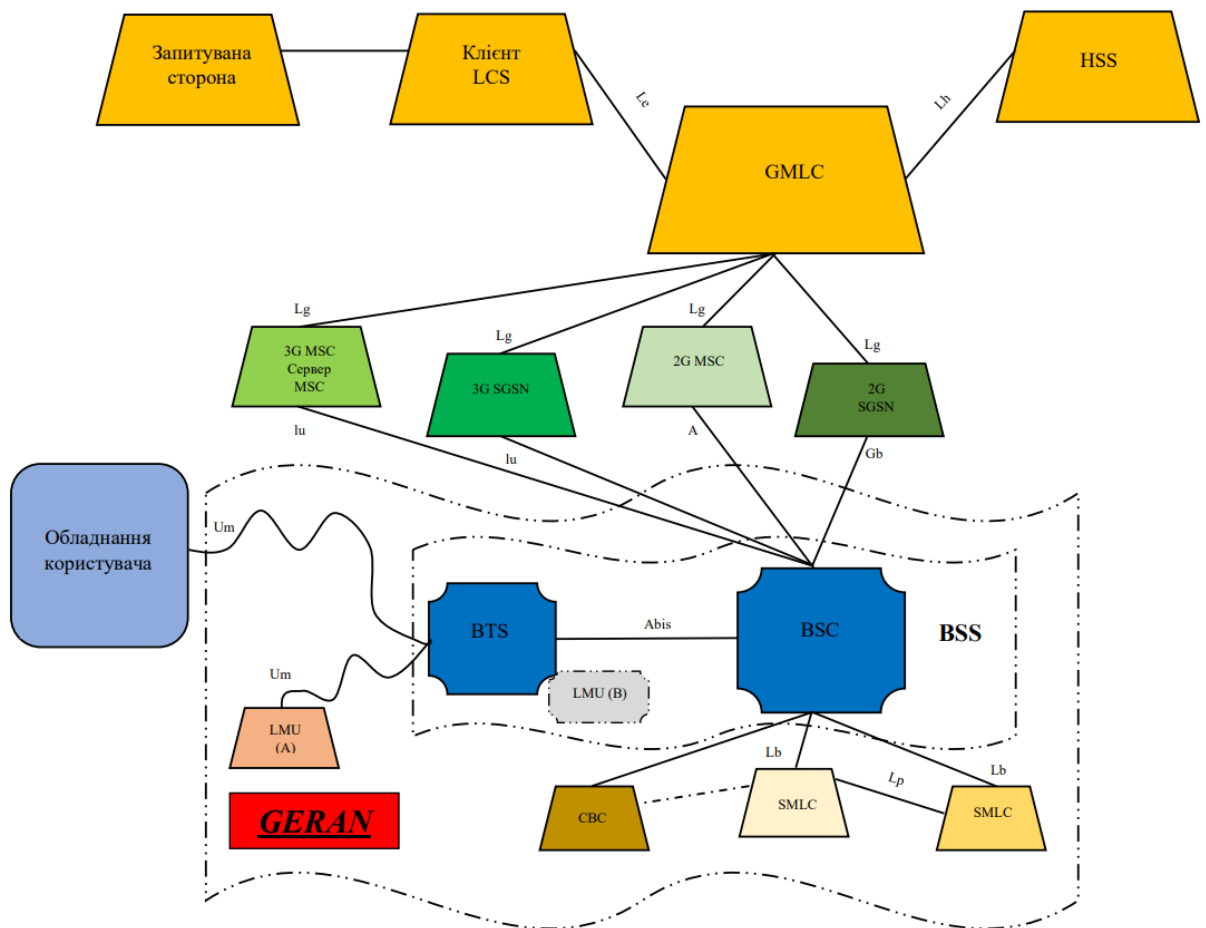


Рис. 1.1. Еталонна модель 3GPP надання послуг LCS в мережі доступу GERAN

А на рис. 1.2. зображена еталонна модель 3GPP надання послуг LCS в мережі доступу UTRAN.



разу, коли виконується запит на визначення його місцезнаходження. Користувач може прийняти або відхилити запит місцезнаходження від зазначеного клієнта LCS.

Мережа відправить цей запит лише на ті термінали, які можуть керувати запитом та показати його користувачеві. Термінал інформує мережу про свою можливість зробити це, використовуючи так звані класи маркерів UE. Кінцеве обладнання надсилає маркер 2-го класу базової мережі в MSC/SGSN, щоб показати, чи підтримує обладнання UE режим перевірки конфіденційності.

Крім того, обладнання UE надсилає маркер 3-го класу мережі доступу до радіо RAN в контролер радіомережі RNC , а також BSC і MSC у випадку GSM, що вказує на підтримувані методи позиціонування LCS. Базова мережа не має потреби у цій інформації.

Центри GMLC, MSC та SGSN відповідають за тарифікацію та створення рахунків за послугу LCS, включаючи клієнтів та абонентів, включаючи домашніх та гостьових абонентів інших загальнодоступних мобільних мереж PLMN. Центри MSC та SGSN також контролюють надання послуги визначення місцезнаходження певному обладнанню UE таким же чином, як це робиться для інших мобільних послуг. Реєстр MSC/VLR управляє послугою позиціонування LCS в області комутації каналів базової мережі, а обслуговуючий вузол SGSN - в області комутації пакетів [2].

У домашньому реєстрі HLR зберігаються дані і профілі захисту абонентів, які користуються послугою LCS, а також інформація про VLR або SGSN де мобільний пристрій зареєстрований на даний момент.

Шлюзовий центр GMLC використовує протокол сигналізації MAP (Mobile Application Part) через інтерфейс Lh для запиту інформації про маршрутизацію в домашньому реєстрі HLR. Це означає, що GMLC запитує HLR, у якому VLR або SGSN наразі зареєстроване певне мобільне обладнання. Ця інформація необхідна GMLC для належного направлення запитів на позиціонування до відповідного VLR або SGSN.

Центр GMLC виступає в ролі посередника між зовнішніми клієнтами, які користуються послугою LCS, і мобільною мережею. Він передає запити на визначення місцезнаходження клієнта до центрів MSC/VLR або SGSN відповідно до

інформації, зазначеної в домашньому реєстрі HLR. Центр GMLC перевіряє ідентифікацію клієнта послуги LCS з використанням домашнього реєстру HLR, що означає, що він перевіряє, чи має клієнт право отримувати послугу визначення місцезнаходження щодо даного абонента.

Центр GMLC перевіряє, чи відповідає місцезнаходження, отримане від мережі, вимогам щодо якості обслуговування (QoS), які вказані в запиті клієнта LCS. Крім того, центр GMLC контролює потік запитів на визначення місцезнаходження між одночасними або періодичними запитами і може перетворювати отриману від мережі інформацію про місцезнаходження на локальні координати. Стандарти 3GPP визначають, яким чином центр GMLC повинен керувати складними комбінаціями різних і періодичних запитів визначення місцезнаходження. Клієнт LCS може запитати звіт про місцезнаходження в будь-який момент, коли його мобільний пристрій активується, а також може періодично отримувати дані про місцезнаходження того ж абонента.

Якщо ж розглядати функції LCS в мережах доступу UTRAN або GSM, там обслуговуючий контролер радіомережі SRNC в UTRAN або SMLC в GSM, вибирає відповідний метод позиціонування, який забезпечує QoS у запиті на позиціонування. На додаток до всього, обслуговуючий контролер SRNC також контролює, як метод позиціонування реалізується в UTRAN і обладнанні користувача.

При використанні методу OTDOA-IPDL обслуговуючий контролер SRNC контролює та визначає періоди мовчання різних базових станцій, мінімізуючи вплив на параметри UTRAN. Це може бути зроблено за попередньо встановленими шаблонами або на вимогу. Крім того, контролер радіомережі RNC координує ресурси мережі UTRAN, які використовуються для позиціонування терміналу.

У мережевих методах позиціонування обслуговуючий контролер SRNC обчислює оцінку місцезнаходження та отриману точність. Щоб отримати основні або допоміжні дані радіовимірювань, необхідних для позиціонування терміналу UE, він керує кількістю блоків LMU базових станцій. Обмін сигналами між контролером SRNC і LMU відбувається через інтерфейс lub, а в деяких режимах м'якої передачі обслуговування - через інтерфейс lur [3].

Зазвичай, в UMTS разом із базовою станцією розміщуються блоки LMU, які не потребують спеціальних технічних умов. Головні функції блоку LMU полягають у вимірюванні відносної різниці часу RTD між різними базовими станціями та абсолютної різниці часу ATD відносно посилання на генератор або інші сигнали, які передаються базовими станціями для радіовимірювань, синхронізації або інтерфейсів. Деякі результати вимірювань, отримані з блоку LMU, повертаються контролеру SRNC і можуть бути використані різними методами позиціонування. Усі основні і допоміжні вимірювання, отримані з LMU, передаються тільки обслуговуючому контролеру SRNC, пов'язаному з відповідною базовою станцією. Контролер SRNC безпосередньо або в попередньо визначеній послідовності контролює синхронізацію і періодичність вимірювань блоку LMU базової станції.

Система навігації є надзвичайно важливою складовою нашого сучасного життя. Особливо під час поїздок в незнайомі для вас міста, або ж коли ви знаходитесь в якомусь певному місці і не знаєте куди вам далі рухатися і як далеко ви знаходитесь від свого будинку.

Також надзвичайно важливим є дізнатися, яким найкоротшим шляхом рухатися до потрібної вам точки від того місця де ви знаходитесь. І саме в цьому вам допоможе послуга визначення місцезнаходження LCS. Вона зможе визначити те місце, де ви знаходитесь в реальному часі і прокласти найкоротший маршрут до того місця, яке ви шукаєте.

Але для цього потрібно узгодити схему, як саме, ви і надавач послуги буде обмінюватися між собою інформацією. Можна для цього використовувати географічні координати. Саме в координатах міститься точна інформація про місцезнаходження, але в повсякденному житті незручно постійно використовувати координати для пошуку потрібного місця. Тому, їх переводять в адреси вулиць та номерів будинків і деколи підв'язують до певних квадратів на сітці карти. І все це відображається на екрані вашого гаджету у вигляді голосових повідомлень, текстових повідомлень або певним зображенням карти на екрані вашого телефону (рис.1.3).

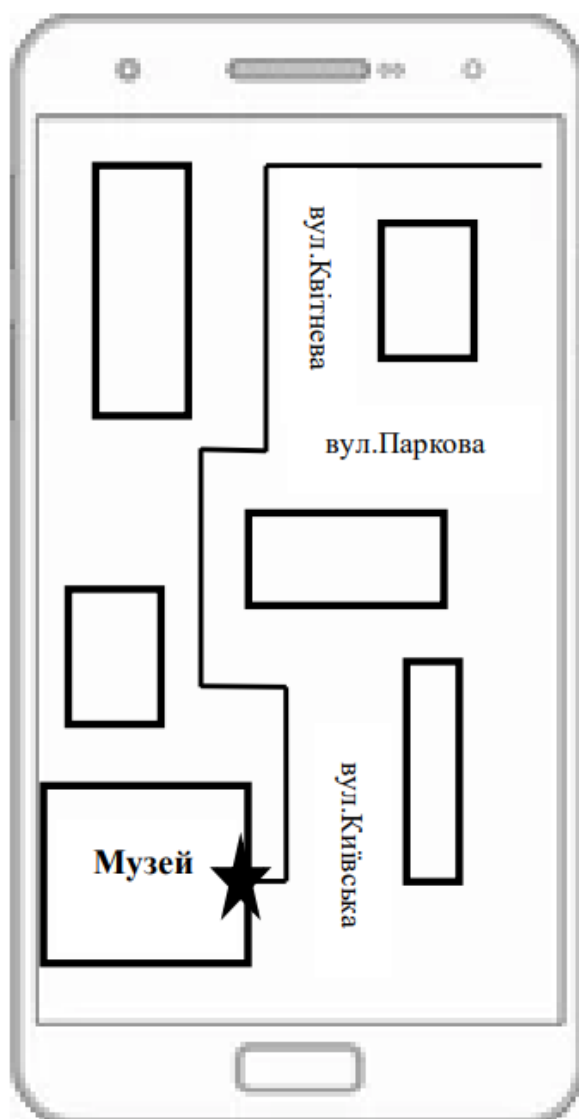


Рис. 1.3. Графічний приклад вигляду послуги для визначення місцезнаходження LCS, щоб дізнатися напрям руху

На рис.1.3. ми можемо побачити, як може виглядати відображення інформації, завдяки якій, ми можемо знайти певний об'єкт навіть тоді, коли ми там ніколи раніше не були.

На екрані мобільного гаджету можна побачити поточне ваше розташування або ж подивитися, як виглядає потрібна місцевість. В цьому є великі переваги, адже отримана інформація доступна в будь-який момент, коли нам це потрібно. Завдяки можливості побачити своє поточне розташування та отримати інформацію про місцевість, звичайним користувачам це допомагає бути більш самостійними та орієнтуватися у світі навколо нас маючи при собі лише смартфон чи інший гаджет.



## 1.2. Супутникові системи позиціонування

Супутникові системи позиціонування – це технології, що дозволяють точно визначати місце розташування об'єктів на землі, в повітрі та на морі за допомогою супутникових сигналів.

Найбільш використовуваною системою глобальної навігаційної супутникової системи GNSS є система глобального позиціонування GPS.

Global Positioning System була розроблена Сполученими Штатами Америки у 1970-х роках, а для цивільних осіб вона стала доступною в 1990-х роках.

24 супутника, що обертаються навколо Землі на висоті 20 тисяч кілометрів та мають зв'язок із наземними станціями, що приймають та обробляють випромінювані сигнали від цих супутників [4]. GPS є такою системою, що враховує точний час та тривимірну позицію у будь-якому куточку на Землі (рис.1.4).

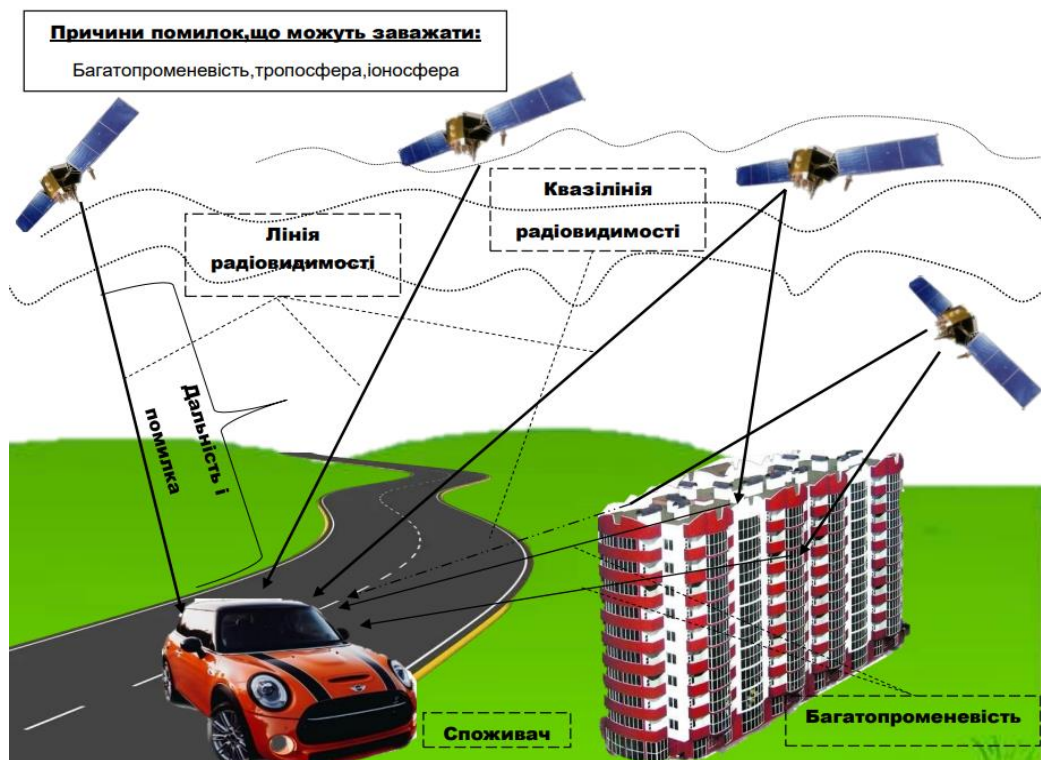


Рис. 1.4. Основна архітектура системи глобального позиціонування (GPS)

Шляхом отримання сигналів від щонайменше чотирьох супутників GPS за допомогою ТОА-вимірювання, або псевдодальності можна визначити місцезоташування за допомогою GPS.

Значення псевдодальності є вимірними відстанями, що враховують пряму видимість LOS між кожним  $N_{sat}$  супутником і приймачем. Для кожного супутника  $k$  псевдодальність  $p_k$  буде дорівнювати:

$$p_k = \sqrt{(x_k - x_u)^2 + (y_k - y_u)^2 + (z_k - z_u)^2} + c \cdot \Delta b_u, k = 1, 2, \dots, N_{sat}, \quad (1.1)$$

де  $x_k, y_k, z_k$  – геоцентричні, геофіксовані координати супутника  $k$ , а  $c$  – швидкість світла. Індекс  $u$  відноситься до споживача, а  $x_u, y_u, z_u$  – геофіксовані координати споживача. Тимчасовий зсув користувача  $\Delta b_u$  є зрушенням між часом опорного приймача та GPS-часом, який ми не знаємо.

Система, що складається принаймні з чотирьох рівнянь піддається лінеаризації та ітеративному розв'язанню, щоб визначити місцезоташування споживача та його тимчасового зсуву за допомогою методу найменших квадратів (LS). Тимчасовий зсув користувача є змінною величиною, що впливає на всі псевдодальності та залежить від часу [3].

Є багато різних факторів, які вносять відхилення у вимірювання псевдодальності та обумовлюють цей тимчасовий зсув, а саме:

- зсув та дрейф шкали часу в приймачі споживача;
- затримка, яка з'являється після того, коли сигнал обробляється або проходить в приймачі та антені.
- затримка, яка з'являється після того, коли аналоговий або цифровий сигнал проходить через супутникову апаратуру;

Вирішуючи системи рівнянь можна досягти високоточного позиціонування. Але є декілька джерел помилок GPS. Перше джерело містить невідомі атмосферні помилки або затримки в тропосфері та іоносфері. Рівняння псевдодальності через них

не може передбачити, коли прибуде сигнал, адже LOS-сигнал прибуває пізніше. Також є друге джерело помилки псевдодальності – багатопроменеве поширення.

Атмосферні фактори безпосередньо впливають на LOS-сигнал ТОА, а ось вже багатопроменевість є причиною помилкових вимірювань ТОА-сигналу приймачем GPS.

GPS, як і будь-яку систему GNSS можна поділити на три сегмента (рис.1.5):

- орбітальна група (space segment – SS), що включає систему космічних апаратів пов'язаних між собою.
- наземна система контролю та керування (the operation control segment – OCS), що включає в собі вимірювальні блоки положення супутників.
- користувацьке обладнання для приймання (the user segment – US).

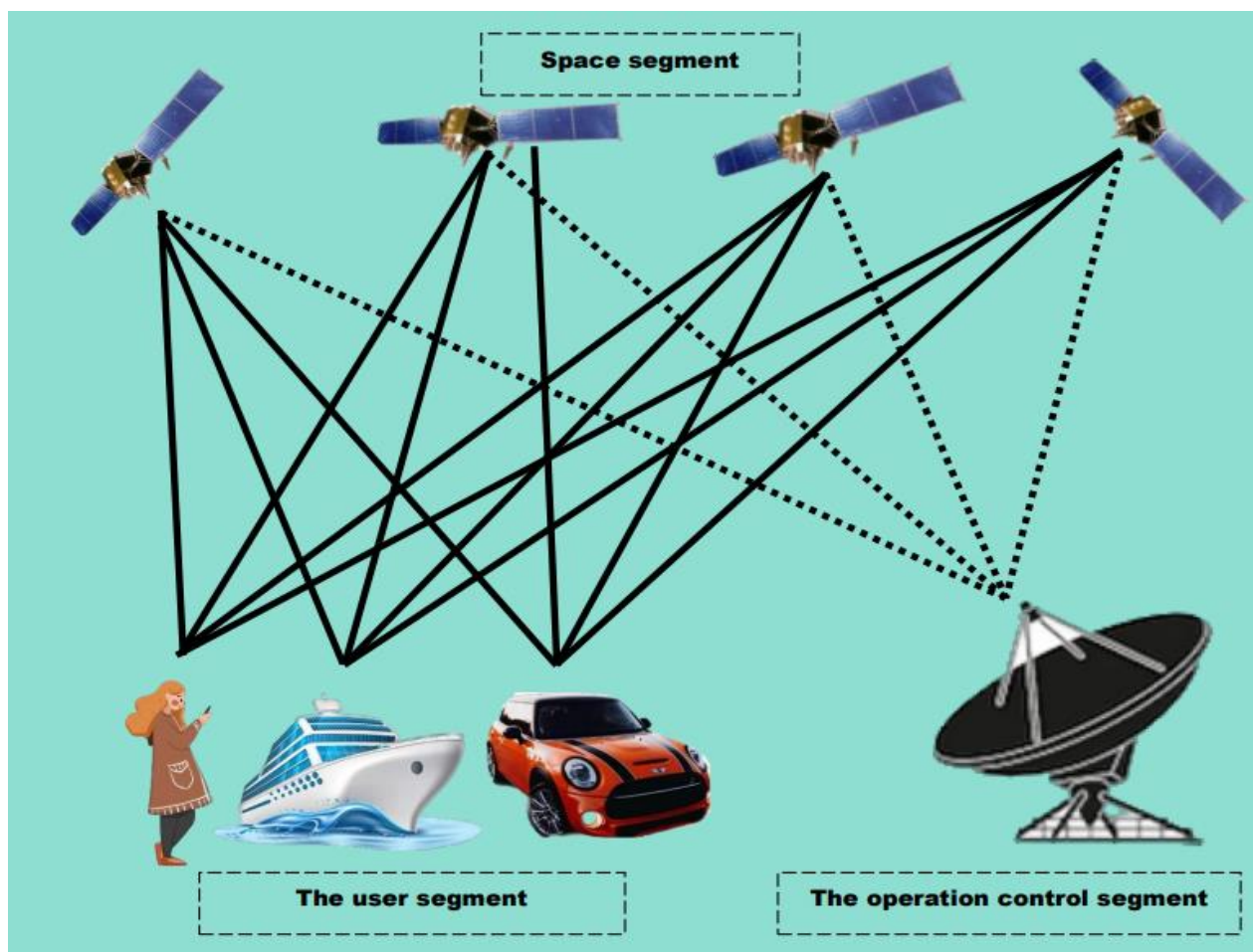


Рис. 1.5. Сегменти супутникових навігаційних систем

За допомогою вимірювальних блоків, які включені до OCS проводиться стеження та корекція супутникового годинника, проводиться технічний контроль стану супутників та відбувається оновлення багатьох параметрів, які потрібні для коректної роботи обладнання. Для того, щоб з'ясувати, де саме знаходиться користувач, його час та швидкістю з якою він пересувається використовуються GPS-приймачі, що приймають сигнал та обробляють сигнали GPS. В наш час, користувацькі приймачі можуть бути влаштовані в смартфони, автомобілі, навігаційне обладнання на палубі корабля та ще в багатьох пристроях [1].

Завдяки, правильно налаштованій системі та взаємодією цих трьох сегментів GPS-приймачі використовуючи сигнали з супутників можуть точно визначити місцезнаходження на поверхні Землі. Вся отримана інформація може бути використовувана в різних способах та в різних галузях.

Інформація є надзвичайно важливою для геодезії та створення карт. За допомогою даних GPS, використовуються для вимірювання точних координат точок на земній поверхні, є можливість створювати детальні карти, виконувати зйомку будівельних об'єктів, контролювати зсуви земної поверхні та інші геодезичні задачі.

Дані GPS використовують і для логістичних цілей, що використовують для визначення оптимального маршруту, керування та відстеження транспортних засобів, що використовуються для доставки товарів.

Однак, в медицині також використовують дані отримані від GPS для відстеження людей з певними медичними проблемами, такими як хвороба Альцгеймера, для забезпечення їх безпеки. Це досягається шляхом встановлення GPS-пристрою на мобільний гаджет або носимий пристрій, лікарі та родичі можуть відстежувати місцезнаходження людини в режимі реального часу.

Це дозволяє виявляти потенційно небезпечні ситуації, наприклад, коли людина заблукає. За допомогою GPS-даних, медичний персонал або родичі можуть швидко реагувати та знайти людину, яка потребує допомоги.

Крім того, відслідковування по GPS може допомогти встановити регулярні маршрути та звички людей з певними медичними проблемами. Наприклад, у випадку

хвороби Альцгеймера, коли пацієнт раптово забуває де вона знаходиться, GPS-пристрої можуть записувати та зберігати історію переміщень людини. І медичні фахівці можуть аналізувати дані та розуміти зміни у поведінці пацієнта, що допомагає скорегувати ефективніше лікування.

На основі постійного розвитку GPS-технологій, з'явився та розширюється перелік можливостей у телемедицині. Зокрема, лікарі мають можливість надавати консультації та вести віддалену діагностику, надавати необхідну медичну допомогу, фізично не відвідувавши пацієнта.

Застосування GPS-технологій в медицині також сприяє розвитку телемедицини. Завдяки можливості відстеження місцезнаходження пацієнтів з використанням GPS, лікарі можуть надавати консультації та віддалену діагностику, необхідну медичну допомогу та нагадування про ліки, незалежно від фізичного розташування пацієнта.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

В даному розділі розглянуто послугу визначення місцезнаходження LCS. Виявилось, що саме вона дозволяє визначити місцезнаходження абонента в реальному часі. Ця послуга розподіляється між різними елементами мережі, такими як шлюзовий мобільний центр визначення місцезнаходження (GMLC) у мережах UMTS та GSM.

Виявлено, що вона значно полегшує орієнтування користувачів у незнайомих місцях і допомагає їм дістатися до бажаної точки швидко та ефективно.

Розглянувши супутникову систему GPS, було виокремлено фактори, які вносять відхилення у вимірювання псевдодальності та обумовлюють цей тимчасовий зсув. Було досліджено, за допомогою яких вимірювальних блоків проводиться стеження та корекція супутникового годинника, проводиться технічний контроль стану супутників та відбувається оновлення багатьох параметрів, які потрібні для коректної роботи обладнання.

А також дослідив, які корисні можливості відкриває для медицини використання даних, отриманих від системи GPS. А саме те, що це сприяє поліпшенню якості життя людей, які обмежені в деяких життєвих речах та надає їм більшу безпеку. Завдяки цій технології, пацієнти можуть отримувати належну медичну догляд та підтримку, а їх близькі менше перейматимуться за їх стан.

Дійшов висновку, що завдяки точному визначенню місцезнаходження на поверхні Землі, GPS став невід'ємною частиною багатьох галузей та побутових додатків.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО АБОНЕНТА

#### 2.1. Мережна локалізація

Визначення місцезнаходження відіграє досить важливу роль та є одною з важливих особливостей стільникових систем.

У сервісів LCS є декілька шляхів розвитку. Це використання точної інформації про місцезнаходження, яка отримується за допомогою GPS-приймача, або можна використовувати інформацію про приблизне місцезнаходження користувача взявши за основу радіопокриття мережі зв'язку. Ще одним із шляхів є обчислення часу за допомогою сучасних методів та інших даних, що є в радіомережі, які надсилаються до мобільного девайса користувача [5].

На основі цього розробляється та вже є доступними велика кількість комерційних додатків, що допомагають користувачам у різних сферах життя. Інформація може використовуватися для того, щоб керувати трафіком на дорогах, для повідомлення про надзвичайні ситуації, для роботи таксі або громадського транспорту, ігри та ще багато іншого.

Одним із прикладів комерційного додатку, що використовує дані про місцезнаходження є додаток “Uklon”, який пропонує послуги таксі та перевезень. Використовуючи інформацію про місцезнаходження користувача, щоб визначити де він перебуває та вказати найближчий до нього шлях. А користувач може бачити, де перебуває найближчий від нього автомобіль.

Також такі додатки, як: “Airbnb”, “Google Maps”, “Eway”, гра “Pokemon Go” та багато інших для своєї роботи використовують інформацію про місцезнаходження.

Дослідивши та вивчивши особливості стільникової мережі, було визначено найважливіші методи для визначення того, в якому географічному положенні знаходиться мобільний телефон користувача в стільниковій мережі.

Радіосигнал, який бере участь з метою забезпечення більш точної оцінки позиціонування взаємодіє в методі RTT. Для того, аби врахувати координати пристрою дозволяється використати виміри часу RTT сигналів, які є прийнятими від кількох базових станцій. Виявилось, що час проходження відстані від терміналу до базової станції та в зворотньому порядку, дорівнюватиме часу RTT [2].

Виразивши через швидкість радіохвилі та час, матимемо відстань між базовими станціями та терміналом, отримавши наступну формулу (2.1):

$$D = \frac{RTT}{2} \cdot c + \varepsilon, \quad (2.1)$$

де RTT – час звернення;  $c$  – швидкість розповсюдження радіохвиль в стільнику, що дорівнює швидкості світла в вільному просторі  $3 \times 10^8$  м/с;  $\varepsilon$  – похибка вимірювань;  $D$  – відстань від мобільного телефону до базової станції.

Дані вимірювань часу RTT від сусідніх базових станцій, за можливістю, можна використовувати, для більш точної оцінки того, де саме знаходиться мобільний телефон. Адже, радіус кола навколо базової станції і є відстанню. Оцінка місця положення знаходитиметься в точці, де пересікатимуться три кола, які належать сусіднім базовим станціям, котрі розташовані в центрах цих кіл.

А ось там, де термінал спостерігає за різницею в часі проходження радіосигналів від сусідніх базових станцій, коли вже проведена обробка всіх вимірювань різниці по часу проходження сигналів між мінімум трьома базовими станціями, що мають відомі координати, то по цьому вже оцінюється невідоме положення терміналу. Виміряний терміналом час TDOA складатиметься з RTD + GTD. Цілком реальна величина, яка має в собі певну інформацію про місцезнаходження мобільного пристрою, завдяки тому, що може визначити гіперболу між двома базовими станціями і є різницею у часі GTD. А якщо в деяких системах не синхронізовані базові станції, то тоді повинна бути відома різниця в часі RTD передачі сигналів від сусідніх базових станцій [3].



Розташування мобільного терміналу обчислюється на основі різниці в часі TDOA між обслуговуючою базовою станцією та сусідньою базовою станцією, яка визначає гіперболу, яка фокусується на координатах передавальної антени цієї базової станції. Якщо існує більше ніж одне значення TDOA, розташування мобільного терміналу можна обчислити, як середньоквадратичну відстань до терміналу на гіперболічній кривій. Отже, якщо є різниця в часі поширення сигналу між терміналом та базовими станціями та наявна пряма видимість, виходить, що мобільний термінал розташований на гіперболі (2.2):

$$D_1 - D_3 = c \cdot \Delta t = c \cdot GTD = \sqrt{(X_i - x_m)^2 + (Y_i - y_m)^2 + (Z_i - z_m)^2}, \quad (2.2)$$

де  $X_i, Y_i, Z_i$  – координати сусідніх базових станцій;  $x_m, y_m, z_m$  – координати мобільного терміналу;  $c$  – швидкість світла;  $\Delta t$  – різниця часу проходження сигналу TDOA від сусідніх базових станцій;  $D_i$  – відстань від мобільного телефону.

Розглянувши дану формулу, я можу сказати, що достатньо буде виміряти два значення TDOA, якщо в наявності буде три базові станції.

Обчислення координат місця засноване на часі, поширення радіосигналу від мобільного пристрою до базової станції є методом TOA. Мінімізуючи середньоквадратичну відстань між терміналом і відповідними колами часу TOA, за методом тріангуляції можна визначити, в якому положенні знаходиться термінал, якщо щонайменше є три вимірювання часу поширення TOA. Відстань між базовою станцією та терміналом є пропорційною часу поширення  $t_i$ , тому відстань по лінії прямої видимості між базовою станцією та мобільним телефоном дорівнюватиме (2.3):

$$D_i = c \cdot t_i, \quad (2.3)$$

де  $t_i$  – час поширення сигналу від терміналу до базової станції і навпаки;  $c$  – швидкість електромагнітної хвилі.

Похибку вимірювань часу TOA завжди варто брати до уваги, коли потрібно обчислити похибку місцеположення. Тому, що на практиці в житті завжди є певна похибка, яка з'являється через екранування та відбивання сигналу, відсутності прямої видимості або ж через завмирання сигналу. Використавши метод найменших квадратів, можна отримати оцінку відстані між базовими станціями та мобільним телефоном, отримавши (2.4):

$$D_i = \sqrt{(X_i - x_m)^2 + (Y_i - y_m)^2 + (Z_i - z_m)^2} + \varepsilon, \quad (2.4)$$

де  $X_i, Y_i, Z_i$  – координати сусідніх базових станцій;  $x_m, y_m, z_m$  – шукані координати мобільного терміналу.

Якщо стільникові системи будуть несинхронізованими, то можуть виникнути певні проблеми, адже для цього методу потрібне дуже точне синхронізування базових станцій. Великою перевагою використання методу TOA є те, що мобільні апарати не потрібно модернізувати, проте потрібно модернізувати мережу, а модернізація є досить дорогою.

Одною з найкращих систем радіонавігації в наш час є система GPS, яку обслуговує уряд Сполучених Штатів Америки для використання у цивільних цілях, а також військових цілях. GPS можна інтегрувати з мобільними системами різними способами [6].

Першим кроком є розміщення GPS-приймача в абонентському терміналі, який дає такі ж переваги, як і автономний GPS-приймач. Точність і швидкість GPS-приймача можна додатково вдосконалити, надсилаючи додаткові дані GPS на термінал. Додаткові дані GPS можуть генеруватися декількома опорними

приймачами GPS і доставлятися на мобільні термінали через канали стільникової мережі, що робить GPS дуже корисним у стільникових мережах.

Варто звернути увагу на те, що позиціонування в GPS базується на вимірюванні часу поширення сигналу від супутника до приймача. Супутники GPS випромінюють високоточний сигнал ультрависокої частоти, який приймач отримує. Приймач має в своєму складі прецизійний генератор, який вимірює час затримки сигналу від кожного супутника. Тому можна обчислити відстань від приймача до кожного супутника використавши ці вимірювання.

Метод триангуляції для визначення місцезнаходження приймача, можна застосувати, коли приймач отримує сигнали від трьох і більше супутників. Сутність самої триангуляції полягає у тому, що приймач знаходиться на перетині сфер, які мають радіуси, рівні відстаням до відповідних супутників.

Для точного позиціонування необхідна синхронізація між генератором у приймачі та генераторами супутників. Під час практичної реалізації GPS, може постати складна ситуація, оскільки вимагає точної синхронізації високочастотних сигналів. Тоді, щоб точніше провести корекцію невідомої похибки генератора приймача, GPS використовує сигнал від четвертого супутника. Це дає можливість мінімізувати вплив неточностей генератора приймача на точність позиціонування.

GPS на даний час є одною з найточніших систем, за допомогою якої проводиться визначення місцезнаходження, зокрема при використанні диференційної системи GPS. Часто виникають проблеми всередині приміщень, адже GPS-приймачі повинні знаходитися в зоні прямої видимості чотирьох супутників.

Також GPS-приймач має досить велику супутникову антену, що недобре впливає на використання стільникових систем. Щоб вирішити дані проблеми, було проведено стандартизацію GSM та UMTS.

## 2.2. Метод А-GPS

А-GPS – це система, яка часто значно покращує продуктивність запуску, тобто час до першого виправлення, системи супутникового позиціонування GPS. Розвиток цієї системи був прискорений Федеральною комісією США зі зв'язку США 911, адже завдяки використанню А-GPS диспетчери екстрених служб можуть отримувати дані про місцезнаходження стільникового телефону. Це дає можливість вирахувати, де саме перебуває людина, яка, наприклад, втратила свідомість. Використовуючи систему А-GPS відповідні служби отримують інформацію, де перебуває постраждала людина, щоб відправити лікарів до неї.

Автономні GPS-пристрої є залежними тільки від інформації, яка отримується від супутників. В умовах поганого супутникового сигналу система А-GPS використовуючи дані від веж стільникового зв'язку, покращує точність та якість. На заваді сигналу у міських районах можуть стати метеологічні умови, дерева або ж супутникові сигнали можуть демонструвати багатопроменеве поширення, коли сигнали пропускають структури. Тому, деякі автономні GPS навігатори при поганих умовах чекають кращого прийому із супутника, бо через розрив супутникового сигналу не можуть визначити місцезнаходження. А для цього, стандартному GPS навігатору потрібно близько 13 хвилин, щоб встановити зв'язок та визначити місцерозташування з найменшою похибкою.

Тут вже на допомогу і приходять система А-GPS, яка використовує зовнішні дані для вирішення виниклих питань. Графічне зображення роботи системи А-GPS зображено на рисунку 2.1. Однак, цю послугу надає мережевий провайдер і тому він може виставляти рахунок користувачу, що використовує дану систему, згідно з тарифами, яку встановив провайдер.

В основному функціональні можливості А-GPS залежать від того, чи є підключення до постачальника, який надає послугу або наявності підключення до Інтернету. Якщо мобільний телефон або будь-який інший мобільний пристрій, який містить зовнішній радіоприймач L1, але не матиме вбудованого механізму GPS, то він

працюватиме лише при наявності підключення до постачальника послуги. Він же в свою чергу, для кожного пристрою використовує певні алгоритми, що допомагають обчислити місцезнаходження.

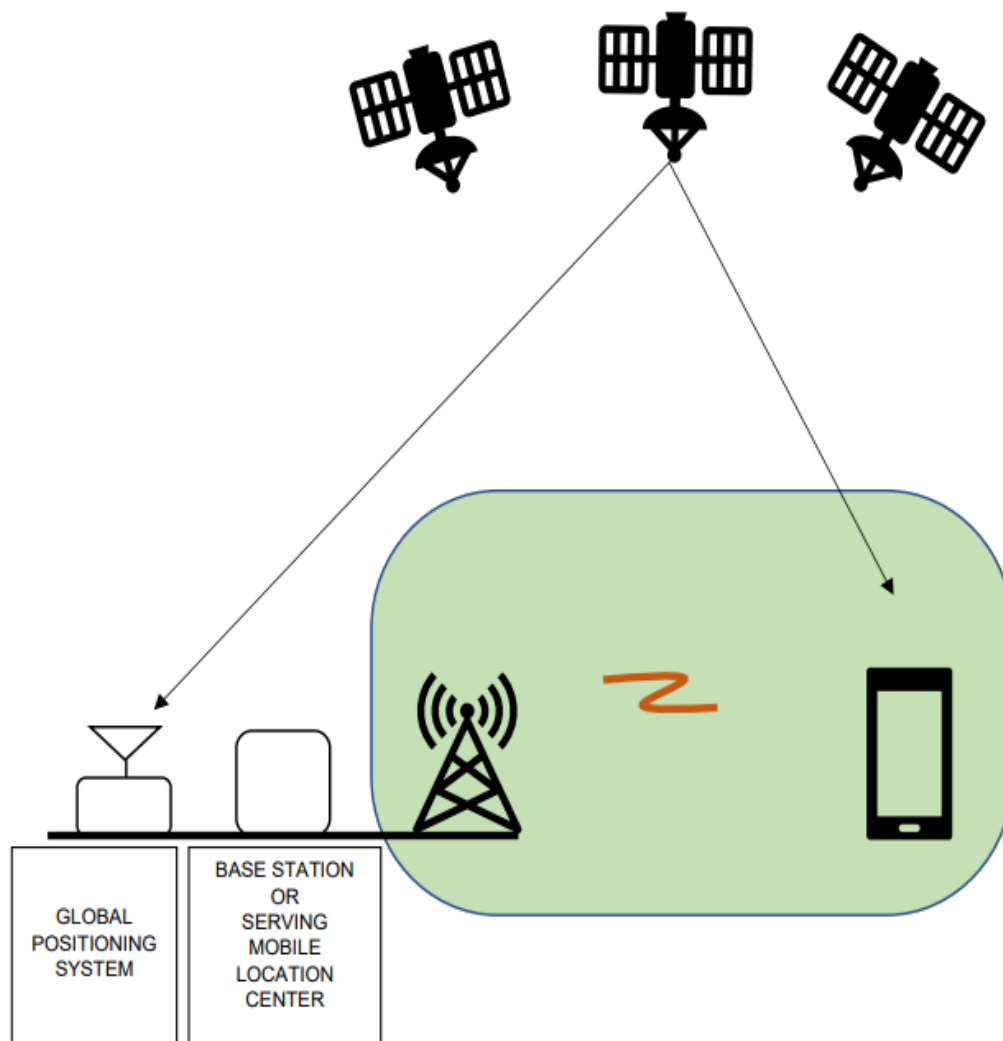


Рис. 2.1. Графічне зображення роботи системи A-GPS

А ось, якщо мобільний пристрій має потрібний набір мікросхем GPS, то йому не потрібне з'єднання для передачі даних, для захоплення та обробки даних GPS, для визначення місцезнаходження, бо він отримує дані безпосередньо від супутників GPS і може сам обчислювати положення. Підключення до постачальника є допоміжною

опцією, яка допоможе підвищити продуктивність мікросхеми GPS, що знаходиться у мобільному пристрої. Допомога може бути двох типів. Перше, це використання інформації на основі мобільної станції (MSB), що допомагає швидше отримувати супутникові сигнали. Ця інформація, в своєму складі, може містити альманахи для GPS-супутників або орбітальні дані, за допомогою яких, у деяких випадках, GPS-приймач матиме можливість більш швидко встановлювати зв'язок із супутниками. А точний час, може надати мережа.

Другий тип допомоги Mobile Station Assisted (MSA) - полягає він в тому, що використовується інформація, яка надходить від GPS-приймача, для розрахунку місцеположення за допомогою серверу. Знімок GPS-сигналу, разом із приблизним часом захоплюється пристроєм в потрібне місце для подальшої обробки. Більш точніше розрахувати місцеположення можливо, знаючи місцеві іоносферні та інші умови, які впливають на GPS-сигнал, завдяки попередньо обстежених координат вишок стільникового зв'язку. Щоб отримати інформацію GPS, стандартний приймач, який має підтримку A-GPS, використовує Інтернет або інше з'єднання із сервером, щоб зв'язатися із сервером допомоги [7].

Сучасні мобільні телефони, якими ми користуємося, дуже часто містять в собі A-GPS, систему визначення місцеположення Wi-Fi або ж іноді використовують гібридну систему, за допомогою якої визначається місцеположення.

Високочутливий GPS – це технологія, не потребує додаткової інфраструктури, і завдяки якій можна в умовах, де поганий сигнал, отримувати більш точну інформацію про місцезнаходження. Особливістю даної технології є те, що вона може працювати там, де стандартний GPS-приймач не прийматиме сигнал або матиме дуже слабкий сигнал. Наприклад, це може бути густий ліс чи місто, в якому знаходиться багато високих будинків.

Автономний GPS потребує орбітальної інформації від супутників для обчислення поточного положення. Швидкість передачі супутникових сигналів становить лише 50 біт на секунду, тому завантаження орбітальної інформації, такої як ефемериди та альманахи, безпосередньо з супутників зазвичай займає багато часу,

а якщо супутникові сигнали втрачаються при отриманні цієї інформації, вона відкидається, і автономну систему доводиться починати заново з нуля.

В A-GPS оператор мережі розгортає A-GPS сервери, які є кеш-серверами для GPS-даних. Ці сервери A-GPS завантажують орбітальну інформацію з супутників і зберігають її в базі даних; пристрої з підтримкою A-GPS можуть підключатися до цих серверів за допомогою радіоканалів мобільних мереж, таких як GSM, CDMA (Code Division Multiple Access), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) і LTE (Long-Term Evolution), або інших радіоканалів, таких як Wi-Fi, для підключення та завантаження цієї інформації. Швидкість передачі даних цими каналами зазвичай висока, тому час, необхідний для завантаження орбітальної інформації, невеликий.

Для моніторингу та аналізу різних аспектів мережі існує досить велика кількість розроблених програм. Такими програмами є: “Netmonitor”, “Speedtest by Ookla”, “OpenSignal” та ще досить великий список програм, що дозволяють вимірювати силу сигналів, тип мереж та інші важливі параметри.

“Netmonitor” являється досить потужним інструментом, який відображає стан мережі стільникового оператора. Використовуючи його, можна визначити силу сигналу, рівень вхідного сигналу чи основні параметри мережі. Базові функції, що містяться в додатку “Netmonitor” наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Базові функції додатку “Netmonitor”

|                                           |                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Відображення інформації про сигнал мережі | Виводить інформацію про рівень сигналу, потужність сигналу, шум, тип мережі. Це може бути 2G, 3G, 4G, 5G. Завдяки цьому, користувач може з'ясувати наскільки стабільну мережу від має. |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                     |                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вимірювання швидкості передачі даних:               | Використовуючи мобільну мережу, додаток має можливість виміряти швидкість передачі даних. Це потрібно для з'ясування швидкості Інтернет-підключення.                         |
| Відображення інформації про соти та базові станції: | Відображає всі доступні базові станції та соти мережі. Має та виводить необхідну інформацію про ідентифікацію сот, силу сигналу, частоти та ще певний перелік характеристик. |
| Запис журналу подій                                 | Веде запис журналу, в який вносить отриману інформацію про всі події та зміни, які відбувалися за певний відрізок часу.                                                      |
| Аналіз даних та звіти                               | Надає повний аналітичний висновок про роботу мобільної мережі. За потреби, за цим висновком можна виправити проблеми, які виникнули та покращити зв'язок.                    |

Дуже зручним та корисним є те, що додаток має картографічний інтерфейс, який відображає на мапі базові станції та інші типи мережевих об'єктів та позначає кожен точку окремим маркером (рис. 2.2.). Натиснувши на вибраний маркер, отримуємо повну інформацію про цей об'єкт.

Необхідно зазначити, що особливо корисним додаток буде, коли потрібно налаштувати антену мобільного пристрою. Це може бути антена, яка безпосередньо розміщена в середині мобільного пристрою, або ж виносна антена, що розміщується окремо та є підключеною до мобільного пристрою.



Додаток дозволяє провести аналіз сигналу і визначити оптимальне положення антени для отримання найкращого зв'язку. Можна спостерігаючи зміни в сигналі при різних положеннях антени, вибрати найсильніший сигнал. Також, додаток може надати графічне відображення сигналу, де ви побачите місцезнаходження мобільної станції та сигнальну силу у різних напрямках.

Завдяки цьому додатку, можна самостійно налаштувати антену мобільного пристрою без додаткової допомоги фахівців. Цим самим отримати найкращий сигнал, який позитивно вплине на користування мобільним пристроєм.

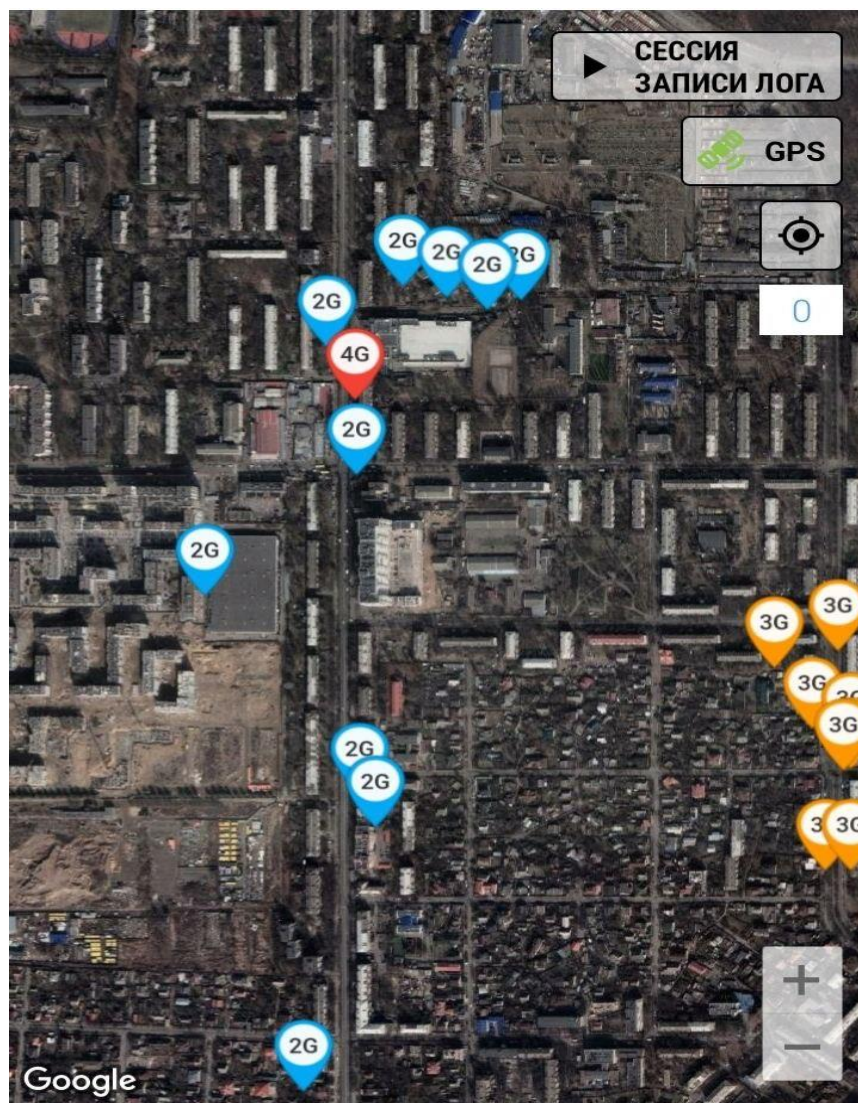


Рис. 2.2. Відображення базових станцій на карті у програмі “Netmonitor”

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В даному розділі було визначено, які шляхи розвитку є у сервісів LCS та які додатки є доступними для користування. Було досліджено ключові особливості стільникової мережі та визначено найважливіші методи для визначення того, в якому географічному положенні знаходиться мобільний телефон користувача в стільниковій мережі.

Для досягнення точного позиціонування необхідна синхронізація між генераторами у приймачі та генераторами супутників. З'ясувалося, що GPS використовує сигнал від четвертого супутника, щоб провести корекцію похибки генератора приймача і покращити точність позиціонування.

Проаналізував та виділив базові функції додатку "Netmonitor". Прийшов до того, що цей додаток є незамінним інструментом для налаштування антени мобільного пристрою. Він дозволяє користувачам отримати детальну інформацію про сигнал мобільної мережі, провести аналіз сигналу та вибрати оптимальне положення антени для отримання найкращого зв'язку. Завдяки цьому додатку, користувачі можуть самостійно підняти якість зв'язку та забезпечити стабільний та сильний сигнал мобільної мережі.

## РОЗДІЛ 3

### ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ЗА МЕТОДОМ А-GPS

#### 3.1. Структура обчислювача

Функція приймача GNSS полягає у визначенні розташування користувача, що включає в собі швидкість його руху та час, на основі сигналів, що надходять від супутників. За допомогою програмного забезпечення, яке призначене для допомоги у визначенні місцезнаходженні, апаратних засобів та аналогових і цифрових методів, та їх комбінування, відбувається визначення розташування.

Із розвитком технологій та оновлення, обладнання, що використовує аналогово-цифрове перетворення стало не дуже доцільно. Тому, сучасні GNSS-приймачі за своїм принципом дії є схожими до приймальних антен і тому зараз вони переважно працюють у цифровому вигляді. Аналогова частина приймачів обмежена функціями фільтрації, посиленням та знижуючим перетворенням високочастотного сигналу. Через цифровий сигнальний процесор здійснюється вся обробка сигналу, після того, як аналогово-цифровий сигнал оцифрувався [8]. Основна загальна структура GNSS-приймача зображена на рисунку 3.1.



Рис. 3.1. Загальна структура GNSS-приймача

В GNSS-приймачі можна виділити шість основних підсистем, що забезпечують його функціонування, а саме:

- фізична антена, яка приймає сигнал,
- радіочастотний ланцюг,
- аналогово-цифровий перетворювач,
- блок обробки сигналу,
- блок обробки навігаційних даних,
- портативний генератор приймача.

Коли сигнал передається від супутника, то він приймається антеною, яка працює у L-діапазоні з правою круговою поляризацією, що має майже повну напівсферичну зону покриття. Щоб мінімізувати непотрібні радіочастотні перешкоди, після антени розташовується пасивний полосовий фільтр. Вхідний сигнал посилюється за допомогою LNA (Low-Noise Amplifier). Це досягається шляхом змішування отриманого сигналу з несучою частотою  $f_c$  з місцевими високочастотними коливаннями на частоті  $(f_0 + f_{IF})$  в супергетеродинному приймачі. При змішуванні висока частота  $(2f_0 + 2f_{IF})$  фільтрується полосовим передкореляційним фільтром.

Важливо зазначити, що ширина смуги фільтра має бути достатньою для того, щоб сигнал передався без змін. Також, для зниження рівня шуму повинна бути менша пропускна здатність. Далі йде аналогово-цифровий перетворювач, який створює дуже швидкий потік даних, призначених для оцифрування сигналу. Для обробки сигналів чи навігаційних даних, кожному супутнику потрібен свій канал, який не залежить від інших. Сигнал, що входить, обов'язково повинен бути прив'язаним до певного супутника для того, щоб в кожному каналі він міг бути оброблений.

В сучасних приймачах може міститися досить велика кількість каналів. Сигнал, який надійшов від конкретного супутника у дискретний інтервал часу  $n$  і є пов'язаним із одним каналом приймача, оцифрувався. Цей процес описується формулою (3.1).

$$y_{IF}[n] = \sqrt{2P_r c_{IF}(nT_C - \tau)D(nT_C - \tau)\cos\phi_{IF}} \cos(2\pi(f_{IF} + f_D)nT_C + \phi_{IF} + v[n]), \quad (3.1)$$

де  $P_r$  – потужність прийнятого високочастотного сигналу;  $C_{IF}(nT_C - \tau)$  – код який передається та пов'язаний з конкретним супутником;  $D(nT_C - \tau)$  – біт навігаційних даних;  $T_C$  – тривалість кодового імпульсу;  $\tau$  – затримка коду;  $f_D$  – доплерівський зсув частоти;  $\phi_{IF}$  – фаза несучої проміжної частоти;  $v[n]$  – адитивний шум.

Стадія присвоєння – це процес присвоєння каналу до певного супутника. Саме в цій стадії виконується оцінка несучої частоти та затримки коду, який належить супутнику. Коли сигналу, який надійшов присвоївся потрібний канал, відбувається кореляція сигналу. Підсумком такої кореляції є те, що в систему відстеження вводиться результат, щоб оцінити час коду та несучу частоту.

Навігаційні дані та час затримки від кожного супутника, що визначаються блоком обробки сигналів, є вхідними даними для системи обробки навігаційних даних. Під час навігації часові затримки перетворюються на відстань від користувацького терміналу до спостережуваних супутників, а навігаційне повідомлення розшифровується для визначення ефемерид та розрахунку положення супутника на орбіті.

З усього цього впливає те, що на кінцевому етапі при наявності значень положення супутників та псевдодальності, обчислюється місцезнаходження користувача.

Першим і дуже важливим кроком в обробці сигналу є виявлення цього сигналу, який йде від потрібного супутника до приймача, та його прийом. Починається він з двовимірного пошуку в частотній та часовій областях. Під час пошуку може з'явитися часова невизначеність, яка пов'язана з тим, що є невизначеність дальніметрії або

супутника або користувача. Також, якщо супутник чи користувач рухається, то передбачається доплерівський зсув, який обов'язково потрібно знайти.

І вже від апріорної інформації, що доступна приймачу, на момент початку прийому, можна окремо визначити наступні режими роботи, вказані в таблиці (3.1).

Таблиця 3.1

Режими роботи

| Тип режиму       | Опис режиму                                                                                                                                                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Холодний старт   | Апріорна інформація про супутникове групування відсутня. Вичерпний пошук проводиться по всіх супутниках, всіх часових зсувах та всіх частотах.                                                      |
| Теплий старт     | Приймачеві доступні дані альманаху, приблизний час та місцезнаходження користувача. Проводиться обмежений пошук лише для обмеженої кількості супутників в межах невеликого вікна по часу і частоті. |
| Гарячий старт    | Використовується інформація з останнього відстеження супутників. Проводиться обмежений пошук відповідно до цієї інформації.                                                                         |
| Допоміжний старт | Використовується зовнішня інформація, така як альманах, приблизне місце і час.                                                                                                                      |

Зазвичай, двовимірний пошук має такий процес, де шляхом помилок та спроб послідовно перевіряється кожна комбінація частоти та часу. Малі комірки підвищують чутливість, але разом із цим збільшують тривалість процесу пошуку.

Великі комірки мають обмежену кількість можливостей пошуку, що сприяє скороченню часу пошуку, але також зменшує точність його результатів.

Проаналізувавши дану інформацію, я знайшов компроміс. Найкращим варіантом буде, коли часовий інтервал буде рівний часу передачі половини кодового елемента, а частотний інтервал буде в декілька сотень герц.

На рисунку 3.2. можна побачити, які є рівні в приймачі при обробці сигналу.

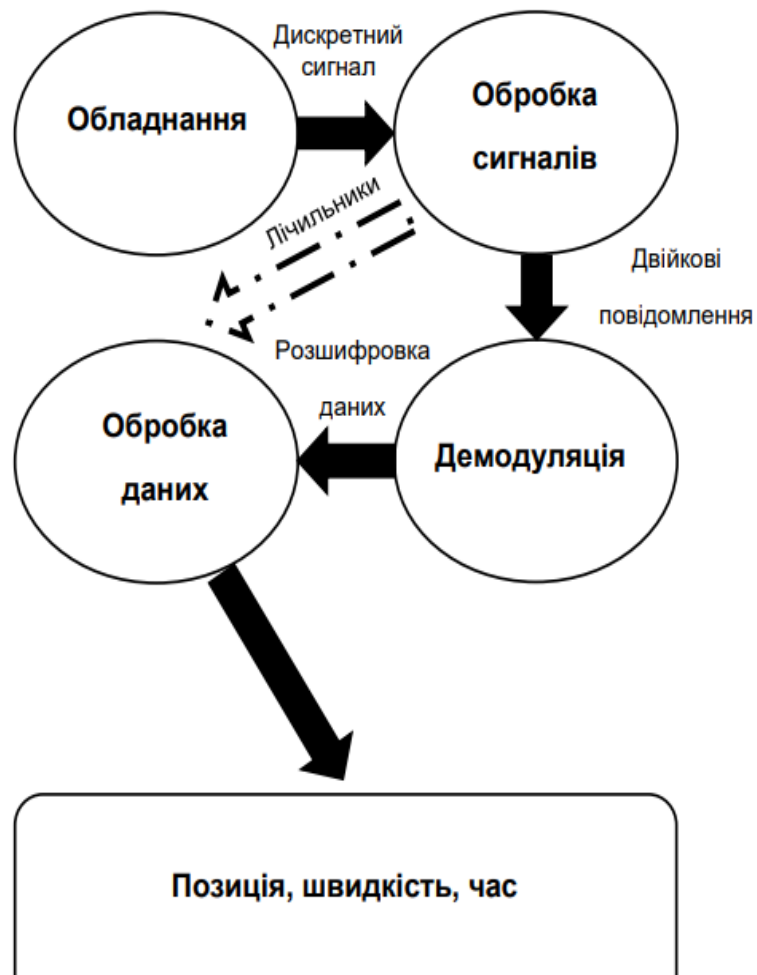


Рис.3.2 Рівні обробки даних в приймачі

### 3.2. Кореляційний приймач ПВП

В системах навігації за допомогою супутників та системах позиціонування є багато компонентів, що беруть участь в прийомі та обробці сигналів. Проте, одним із головних компонентів в цих системах є кореляційний приймач. За допомогою нього знаходяться та виявляються сигнали від супутника. Виконуючи послідовне порівняння сигналу, який він отримав з різноманітними зсувами часу, знаходить оптимальне збігання.

Кореляційний приймач ПВП є складовою частиною GNSS-приймача. В перелік його задач входить: виявлення, синхронізація та декодування сигналів, що отримуються від супутників, і потім для визначення псевдодальностей між приймачем і супутниками, провести обробку цих сигналів. На рис. 3.3. наведена структурна схема кореляційного приймача.

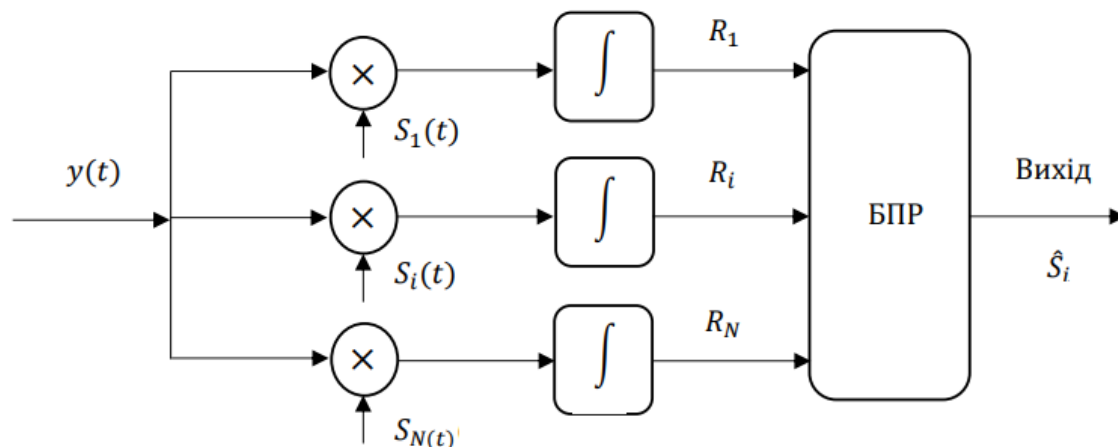


Рис.3.3 Структурна схема кореляційного приймача

Ключовим фактором роботи GNSS-приймача служить точна оцінка затримки сигналу. За допомогою точної оцінки затримки сигналу, з'являється можливість оцінювати відстань приймача до супутника, який передає сигнал. Доплерівська



частота та фаза, затримка сигналу зазвичай отримується із сигналу  $y_{IF}$  використовуючи архітектуру, що являє собою замкнуту синхронізацію та основана на принципі нульового пошуку.

Метод нульового пошуку є найбільш поширеним на відстежувальній стадії роботи GNSS-приймачів, але можливе ще використання інших стратегій, залежно від програмного забезпечення, що встановлене в приймачах [7].

Стандартним способом представлення функцій приймача при обробці та відстеженні сигналів є використання трьох ітераційних оцінок для трьох різних параметрів сигналу:

- для відстеження несучої частоти використовується частотна автопідстройка (FLL) (Frequency-Locked Loop), яка залежить від номінального значення та невідомої величини, що оцінюється при отриманні сигналу;
- фазова автопідстройка (PLL) (Phase-Locked Loop) використовується для відстеження фази несучої частоти і залежить від попередньої фази;
- затримка автопідстройки (DLL) (Delay-Locked Loop) використовується для відстеження затримки коду і допомагає визначити значення затримки.

Під час етапу відстеження отримуються навігаційні дані та результати вимірів від системи слідкування, які передаються до блоку обробки навігаційних даних. Операції FLL, PLL і DLL регулюються за одним і тим самим принципом, а саме архітектурою нульового пошуку, але вони відрізняються тільки сигналом, який вони обробляють, та відповідним параметром, який вони повинні синхронізувати.

Синхронізатор нульового пошуку - це загальна ітераційна алгоритмічна архітектура, де вхідний сигнал  $y[n, \xi]$ , що містить параметр  $\xi$ , спочатку об'єднується з локально згенерованим опорним сигналом  $y_{ref}[n, \xi[n - 1]]$ , який зазвичай має таку ж основну структуру, як і вхідний сигнал і характеризується параметром, встановленим на попередній ітерації  $\xi[n - 1]$ . Потім об'єднаний сигнал

перетворюється за допомогою математичної дискримінаційної функції в різні метрики  $e[n]$ , величина якої залежить від оцінки похибки.

Однією з основних властивостей такої метрики є те, що один з можливих її нулів, вибраний в залежності від параметра, який потрібно оцінити, відповідає шуканому значенню. Тому, ключовою операцією нульового пошуку є знаходження нуля його дискримінаційної функції, що здійснюється за допомогою ітерацій. Після оцінювання дискримінаційної функції відповідно визначений нижньочастотний фільтр згладжує сигнал помилки, щоб якомога більше зменшити внесок шуму  $v[n]$ , при цьому зберігаючи реактивність циклу до динаміки параметра, який потрібно оцінити. Цикл завершується шляхом вилучення оцінки параметра  $\xi[n]$ , з відфільтрованого сигналу помилки  $e[n]$ , щоб згенерувати в наступній ітерації іншу реалізацію опорного сигналу в залежності від нової оцінки  $y_{ref}[n, \xi[n + 1, \xi[n]]$ .

Функція генерації сигналу помилки може бути нелінійною, але вона зручна для вивчення всієї системи в області її лінійності, яка приблизно вірна, якщо помилка є достатньо малою. Тому ця гіпотеза дозволяє використовувати стандартні методи аналізу, що є справедливими для лінійних систем, таких як аналіз у частотній області і визначення.

Найбажанішим пошуком у порівнянні з іншими методами синхронізації є нульовий пошук. Тому, що він чутливий до абсолютних значень комбінованого сигналу.

Під час етапу відстеження вимірювання, зокрема коду, здійснюється відносно локального опорного приймача. Однак, для правильної синхронізації з універсальним глобальним часом GNSS, необхідна подальша корекція. Ця корекція здійснюється шляхом порівняння відхилення часу приймача від часу GNSS як четвертого невідомого параметра в навігаційному рівнянні, разом з трьома координатами, які відносяться до користувача.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В даному розділі розглянуто та описано структуру обчислювача та GNSS-приймача. Виявилося, що із розвитком технологій та оновленням обладнання, використання аналого-цифрового перетворення є застарілим та не доцільним. Натомість, в наш час GNSS-приймачі все більше переважають у цифровому вигляді.

Було виявлено, що вхідними даними для систем обробки навігаційних даних є навігаційні дані та час затримки від кожного супутника.

Малі комірки підвищують чутливість, але разом із цим збільшують тривалість процесу пошуку. Великі клітинки мають обмежену кількість можливостей пошуку, що сприяє скороченню часу пошуку, але також зменшує точність його результатів.

Дослідивши та проаналізувавши основні моменти, знайшов компроміс. Пролягає він в тому, що найкращий варіант, це коли часовий інтервал буде рівний часу передачі половини кодового елемента, а частотний інтервал буде в декілька сотень герц.

Також з'ясував, що потрібна корекція для правильної синхронізації з універсальним глобальним часом GNSS.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було проведено дослідження, аналіз та вивчення наявних систем, методів і технологій, що використовуються для визначення місцезнаходження.

Виявив, що для багатьох цілей у мережі мобільного зв'язку є надзвичайно важлива функція визначення місцезнаходження абонента. Впровадити це можливо за допомогою послуги визначення місцезнаходження LCS. Також було проаналізовано різницю еталонної моделі 3GPP надання послуг LCS в мережі доступу GERAN та еталонної моделі 3GPP надання послуг LCS в мережі доступу UTRAN.

Важливо зазначити, щоб визначати місцерозташування для позиціонування за допомогою GPS, створений окремий мережний центр SMLC. В мережі GSM він може бути вбудованим до контролеру базової станції BSC, або бути окремим елементом фізичної мережі.

Проаналізувавши роботу послуги LCS, навів один із прикладів, коли абонент перебуває в незнайомому місці і не знає наскільки далеко він знаходиться від свого будинку і в якому напрямку йому далі рухатись. Вона визначить поточне місце абонента та прокладе найкоротший маршрут до потрібного йому місця. Використовуючи географічні координати, що для зручності підв'язані до певних квадратів на сітці карти, а також номери будинків і назви вулиць, точна інформація про місцерозташування відобразиться на екрані гаджету абонента. Інформація може бути виведена у вигляді текстових повідомлень, голосових повідомлень або певного зображення карти. А головним виявилось те, що потрібну інформацію користувач може подивитися в будь-який момент, коли вона йому буде потрібна.

Дослідивши та вивчивши особливості стільникової мережі, було визначено найважливіші методи для визначення того, в якому географічному положенні знаходиться мобільний телефон користувача в стільниковій мережі.

Один із методів полягає в тому, що радіосигнал, який бере участь з метою забезпечення більш точної оцінки позиціонування взаємодіє в методі RTT. Для того,

аби вирахувати координати пристрою дозволяється використати виміри часу RTT сигналів, які є прийнятими від кількох базових станцій. Виявилось, що час проходження відстані від терміналу до базової станції та в зворотньому порядку, дорівнюватиме часу RTT.

А там де термінал спостерігає за різницею в часі проходження радіосигналів від сусідніх базових станцій, коли вже проведена обробка всіх вимірювань різниці по часу проходження сигналів між мінімум трьома базовими станціями, що мають відомі координати, то по цьому вже оцінюється невідоме положення терміналу.

Важливим кроком в обробці сигналу є виявлення цього сигналу, який йде від потрібного супутника до приймача, та його прийом. Починається він з двовимірного пошуку в частотній та часовій областях. Під час пошуку може з'явитися часова невизначеність, яка пов'язана з тим, що є невизначність дальніметрії, супутника або користувача. Також, якщо супутник чи користувач рухається, то передбачається доплерівський зсув, який обов'язково потрібно знайти.

Визначив режими роботи, доступні приймачу тоді, коли він починає приймати сигнал.

Саме зростаючий інтерес до систем визначення місцезнаходження з боку багатьох сфер, включаючи медицину, логістику, транспорт та інших, свідчить про актуальність вивчення, дослідження та впровадження нових методів і технологій в системи визначення місцезнаходження мобільних абонентів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. E.D. Kaplan, Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications, third ed., Artech House, 2017.
2. F. Hillebrand, GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication., first ed., 2009
3. H. Kaaranen, A. Anttinen, L. Laitinen, S. Naghian, V. Niemi, UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services, second ed., Wiley & Sons, 2005
4. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/gps.html>.
5. P. Misra, P. Enge, Global Positioning System: Signal Measurements and Performance, Revised second ed., Ganga-Jamuna Press, Lincoln, 2010.
6. <https://www.geotab.com/blog/what-is-gps/>
7. J. Bao-Yen Tsui, Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 2005.
8. D. Dardari, M. Luise, E. Falletti, Satellite and Terrestrial Radio Positioning Techniques: A Signal Processing Perspective, first ed., Academic Press, 2011.