

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Дослідження методів визначення точності метрологічних вимірювань

Виконав:

Студент 2 курсу, групи ПЗМ-20-1
Кожевніков А. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 121 – Інженерія програмного
забезпечення

Тип програми Освітньо –
наукова

Керівник проф. Білоус Н.
В.

Допускається до захисту

Зав. Кафедри _____

З.В. Дудар

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Програмної інженерії
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	121 – Інженерія програмного забезпечення (код і повна назва)
Тип програми	освітньо-наукова програма
Освітня програма	Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студента _____ Кожевнікова Андрія Олександровича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів визначення точності метрологічних вимірювань» затверджена наказом університету від «24» _____ березня _____ 2022 р. № _____
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «_10_» _____ травня _____ 2022 р.
3. Вихідні дані до роботи методи GPS процесів, мова програмування C#, мова програмування JavaScript, фреймворк Angular, пояснювальна записка.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз предметної галузі та постановка задачі, конкуренти, опис ідеї і алгоритму, проектування і розробка програмного модуля, проектування і проведення експериментів, аналіз результатів.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд	20.01.2022	виконано
2	Аналіз методів предиктивного обслуговування	01.02.2022	виконано
3	Аналіз методів машинного навчання	08.02.2022	виконано
4	Вибір методів з постановкою задач	17.02.2022	виконано
5	Написання пояснювальної записки	20.03.2022	виконано
6	Розробка практичної частини роботи	25.04.2022	виконано
7	Підготовка матеріалів для захисту	08.05.2022	виконано
8	Захист роботи	23.05.2022	виконано

Дата видачі завдання

24 січня

2022 р.

Студент

Керівник роботи

(підпис)

проф. Білоус Н. В.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка містить: 83 стор., 24 рис., 1 табл, 22 джерел.

METROLOGY, GLOBAL POSITIONING SYSTEM, PRECISE POINT POSITIONING, .NET, C#, ANGULAR, VISUAL STUDIO.

Об'єктом дослідження є окремі галузі та процеси метрології, а саме алгоритми та методи системи глобального позиціонування, аналіз та дослідження окремих процесів, та їх реалізація в програмній моделі для аналізу їх точності.

Метою роботи є створення першої стабільної версії програмної системи для оцінки точності метрологічних методів пов'язаних із певним підходом визначення місцезнаходження системою глобального позиціонування.

Методи розробки базуються на засобах взаємодії з відкритими сервісами GPS, й мовах C#, ASP.NET Core, фреймворку Angular, та середовищі розробки Visual Studio Code й Visual Studio 2022.

В результаті роботи було проведено аналіз та моделювання предметної області, досліджено методи систему глобального позиціонування та програмна система для аналізу точності одного з методів GPS.

Explanatory note to the undergraduate practice: 83 p., 24 fig., 1 table, 22 sources.

METROLOGY, GLOBAL POSITIONING SYSTEM, PRECISE POINT POSITIONING, .NET, C#, ANGULAR, VISUAL STUDIO.

The object of research is individual branches and processes of metrology, and the algorithms and methods of the global positioning system, analysis and research of individual processes, and their implementation in the software model to analyze their accuracy.

The method of work is to create the first stable version of the software system for assessing the accuracy of metrological methods associated with a particular approach to determining the definition of global positioning system.

Development methods are based on the means of interaction with open GPS services, and C #, ASP.NET Core, Angular framework and development environment Visual Studio Code and Visual Studio 2022.

As a result of the work the analysis and modeling of the subject area was carried out, the methods of global positioning and the software system for the analysis of the accuracy of one of the GPS methods were investigated.

Я, Кожевніков Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по-батькові)
студент(ка) групи ППЗМ-20-1 здобувач вищої освіти на другому (магістерському)
рівні

кафедра програмної інженерії,
(повна назва кафедри)

заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему

Дослідження методів визначення точності метрологічних вимірювань,

що буде представлена до ЕК для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIArKhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомлений(а) з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1 Аналіз предметної області.....	12
1.1 Опис предметної галузі	12
1.2 Аналіз підходів та методів рішення	15
1.2.1 Опис підходів позиціонування	15
1.2.2 Опис методів відстеження у часі	22
1.3 Аналіз існуючих систем	23
1.3.1 Google Maps.....	24
1.3.2 HERE WeGo Maps.....	25
1.3.3 Apple Maps	26
1.3.4 Waze.....	27
1.3.5 Leica Infinity and Geo Office	27
1.3.6 CHC Geomatics Office Software	28
1.3.7 Використання Starlink в Україні для воєнних цілей	28
1.4 Постановка задачі.....	29
2 Дослідження та аналіз методів рішення	31
3 Моделювання та деталі реалізації програмного забезпечення.....	38
3.1 Формування вимог до програмної системи.....	38
3.1.1 Вимоги до функціональності програмної системи	38
3.1.2 Операційні вимоги	38
3.1.3 Вимоги до ресурсів	39
3.1.4 Вимоги до документації	39
3.2 Аргументація вибору технологій для створення програмного забезпечення	39
3.3 UML моделювання системи.....	43

3.4	Описання програмного забезпечення	47
4	Експериментальні дослідження та тестування програмного забезпечення.....	50
4.1	Тестування програмного забезпечення.....	50
4.2	Експериментальні дослідження програмного забезпечення	51
	Висновки	52
	Перелік посилань.....	53
	ДОДАТОК А Перелік джерел посилання за науковими напрямами керівника та науковців кафедри програмної інженерії	Ошибка! Закладка не определена.
	ДОДАТОК Б Звіт перевірки на плагіат від Unichек	Ошибка! Закладка не определена.
	ДОДАТОК В	Ошибка! Закладка не определена.
	Ліцензійний договір про публікацію в журналі Technology Audit and Production Reservers	Ошибка! Закладка не определена.
	Публікація в журналі Technology Audit and Production Reservers.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ДОДАТОК Г Слайди презентації	Ошибка! Закладка не определена.
	ДОДАТОК Д Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на відповідність оформлення «Вимоги ДСТУ 3008:2015»	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CORS — (від англ.) continuously operating reference station,
DGNSS — (від англ.) differential global navigation satellite system,
GNSS — (від англ.) global navigation satellite system,
GPS — (від англ.) global positioning system,,
NIST — (від англ.) National Institute of Standards and Technology,
PPP — (від англ.) precise point positioning,
PWA— (від англ.) progressive web apps,
REST — (від англ.) representational state transfer,
RTK — (від англ.) real time kinematic,
WGS 84 — (від англ.) world geodetic system 1984,
ГІС — геоінформаційна система,

ВСТУП

Останні роки все більше й більше йде тенденція у автоматизації ручної праці, а техніка, яка заміщає ручну працю становиться все більше багатофункціональною та потужною. Спочатку комп'ютери виконували лише обчислення даних, потім вирішування алгоритмічних задач, а сьогодні завдяки прогресу у машинному навчання, біоінформатиці, інтернету речей та посиленню обчислювальних потужностей вони стали невід'ємною частинною життя людини[1]. Ноутбуки, смартфони, планшети, розумні будинки вже являються рутинною кожного з нас. Сотні задач, які раніше виконувала людина власноруч, зараз за неї виконують машини. Але не всі.

Тема даної роботи, а саме дослідження методів визначення точності метрологічних вимірювань, була обрана саме тому, що багато рутинних функцій та процесів, які виконуються протягом метрологічної роботи досі не автоматизовано або вони не є досить гарними, як праця виконана людиною. Наприклад, багато метрологічних вимірювань відстані можуть робитися нейронними мережами за допомогою комп'ютерного зору, але над цим досі працюють люди у Харківському регіональному науковому-виробничому центрі або Харківському інституті метрології, державному підприємстві всеукраїнського державного науково-виробничому центрі стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів у Києві або у такому ж центрі у Львові. Людство має досвід за багатьох сфер того, що машини можуть виконувати роботу не гірше ніж ручна, а навіть навпаки краще, тим паче в тих процесах, де необхідна точність. А саме метрологія одна з таких.

Сьогодні однієї з важливих галузей науки та промисловості є дослідження космічних просторів та об'єктів. Наприклад, компанія SpaceX активно вивчає планету Марс: як його поверхню, так і атмосферу й геохімію – для подальшої колонізації в найближчому майбутньому. Немаловажливу роль у цих дослідженнях відіграє практичні методи метрології, а особливо методи GPS. Але дослідження космосу не єдина галузь, де активно використовуються ці методи.

Нажаль, в Україні вже декілька місяців як йде війна із окупаційними військами армії російської федерації. Багато міст та сел зазнали часткової або повної руйнації, вони стали непридатними до життя в них. Наприклад, в місті Харкові майже одна тисяча будівель була пошкоджена, а в Маріуполі 90-95% від усіх будівель, деякі села припиняють своє існування взагалі. Люди вимушені тікати з рідних місць на захід України або закордон, часто беручи із собою лише найнеобхідніше: документи, гроші, телефон та запасний одяг. В таких умовах необхідно швидко орієнтуватися на новій місцевості, тому вони використовують додатки із GPS навігацією для того, щоб знайти дорогу до найближчого магазину, до найближчого міста або центра міста, для пошуку своїх родичів та друзів, тощо. Точність геолокації зараз дуже важлива, саме тому безпосередньою метою даної роботи є дослідження методів GPS позиціювання та GPS навігації, аналіз самих процесів GPS, способи їх вдосконалення та створення нових.

Актуальність проблеми ще збільшує те, що у зв'язку із воєнними діями компанія Starlink поставляє свої супутники на територію України. Ці супутники надають більше можливостей та потужностей, тому їх розгляд та аналіз можуть стати суттєвою частиною роботи.

Слід зазначити, що насамперед метою роботи є створення першої робочої версії програмної системи для розгляду та аналіз GPS методів та процесів лише для мирних, наукових та дослідницьких цілей. Але не виключно, що результати можуть вплинути й на державні або воєнні функції.

Об'єкт дослідження — методи метрології, а саме алгоритми та методи GPS, аналіз та дослідження окремих процесів, та їх реалізація в програмній моделі для аналізу їх точності.

Основним предметом дослідження є метод GPS точного позиціонування точки та похибки його результатів.

Отже тема та засоби для виконання роботи є актуальними. Метою атестаційної роботи є вдосконалення існуючих методів GPS позиціювання та GPS навігації а також створення прототипу нового методу на основі вдосконалення взаємодії із супутниками, у тому числі із супутниками Starlink.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Опис предметної галузі

Метрологія — це наукове дослідження вимірювань[2]. Воно встановлює спільне розуміння одиниць, вирішальних у зв'язуванні людської діяльності[3].

Метрологію можна розділити на три підгалузі: наукова метрологія, прикладна метрологія та законодавча метрологія (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Підгалузі метрології

Законодавча метрологія – це та частина, що стосується нормативних вимог до добре встановлених вимірювань та засобів вимірювальної техніки для захисту споживачів та чесної торгівлі. Такі законодавчі вимоги можуть впливати з необхідності захисту здоров'я, громадської безпеки, навколишнього середовища, забезпечення оподаткування, захисту споживачів та справедливої торгівлі.

У прикладній метрології наука про вимірювання розвивається у напрямі виробництва та інших процесів, що забезпечує придатність вимірювальних приладів, їх калібрування та контроль якості. Виготовлення якісних вимірювань є важливим у промисловості, оскільки воно впливає на вартість і якість кінцевого продукту, а також важливу частину впливу на витрати виробництва. Хоча в цій області метрології акцент робиться на самих вимірюваннях, простежуваність калібрування вимірювального пристрою необхідна для забезпечення впевненості у вимірюванні. Визнання метрологічної компетенції в промисловості може бути досягнуто за допомогою угод про взаємне визнання, акредитації або експертної перевірки. Промислова метрологія має важливе значення для економічного та

промислового розвитку країни, а стан промислово-метрологічної програми країни може свідчити про її економічний стан.

Наукова метрологія є основою всіх підгалузей і стосується розробки нових методів вимірювання, реалізації еталонів і передачі цих еталонів користувачам. Цей вид метрології вважається найвищим рівнем метрології, який прагне до найвищого ступеня точності. Бюро мір і ваг веде базу даних про метрологічні калібрування та вимірювальні можливості інститутів у всьому світі. Ці інститути, діяльність яких перевіряється експертами, є основними орієнтирами для метрологічної простежуваності[4]. На рисунку 1.2 можна побачити вплив наукової метрології на інші галузі науки.

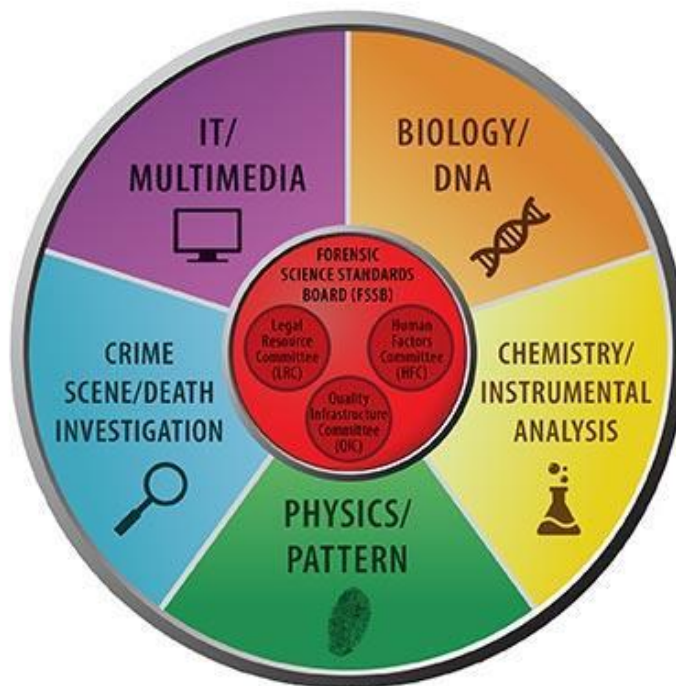


Рисунок 1.2 – Галузі, на які впливає наукова метрологія

Метрологічну діяльність координують національні лабораторії, такі як Національний інститут стандартів і технологій (NIST, США) та Національний інститут метрології, якості та технологій (Inmetro, Бразилія), які на міжнародному рівні координуються міжнародним бюро мір і ваг[4]. Паралельно, стандартизацію координує Міжнародна організація зі стандартизації разом з іншими організаціями,

такими як Версальський проект перспективних матеріалів і стандартів (VAMAS), основною метою якого є підтримка торгівлі високотехнологічною продукцією через міжнародні спільні проекти, спрямовані на забезпечення технічної бази для складання кодексів практики та специфікацій на передові матеріали[5, 6].

Метрологічна простежуваність визначається як «властивість результату вимірювання, завдяки якому результат може бути пов'язаний з еталоном через документований безперервний ланцюжок калібрування, кожне з яких сприяє невизначеності вимірювання». Це дозволяє порівнювати вимірювання, незалежно від того, чи порівнюється результат із попереднім результатом у тій же лабораторії, результатом вимірювання рік тому, або з результатом вимірювання, проведеного в будь-якому іншому місці світу.

З описання підгалузей слід виділити наукову, оскільки саме вона вивчає та регулює точність методів метрології. А також данна робота є науковим дослідженням окремих частин метрології та належить однойменній підгалузі.

В межах даної роботи слід детальніше розглянути таку частину метрології як систему глобального позиціонування. GPS — це утиліта, що належить США, яка надає користувачам послуги позиціонування, навігації та визначення часу. Ця система складається з трьох сегментів: космічного сегменту, сегмента управління та сегмента користувача. Космічні сили США розробляють, обслуговують та експлуатують космічні та контрольні сегменти.

Космічний сегмент складається з номінальної групи з 24 діючих супутників, які передають односторонні сигнали, які дають поточне положення супутника GPS і час.

Сегмент керування складається із станцій моніторингу та керування по всьому світу, які підтримують супутники на їхніх правильних орбітах за допомогою випадкових командних маневрів і коригують супутники, завантажують оновлені навігаційні дані та підтримують працездатність та статус супутникового сузір'я.

Сегмент користувача складається з обладнання GPS-приймача, яке приймає сигнали від супутників GPS і використовує передану інформацію для обчислення тривимірного положення та часу користувача[6, 7].

1.2 Аналіз підходів та методів рішення

1.2.1 Опис підходів позиціонування

Позиціонування GPS може виконуватися одним із двох способів: позиціонування точки або відносне позиціонування. Позиціонування точки GPS використовує один GPS-приймач, який вимірює кодову псевдодальність, щоб миттєво визначити позицію користувача, якщо на приймачі видно чотири або більше супутників. Очікувана точність горизонтального позиціонування від цивільних приймачів коду зменшилася з приблизно 100м, коли була включена вибіркова доступність, до приблизно 22м за відсутності селективної доступності. GPS-позиціонування в основному використовується, коли потрібна відносно низька точність. Сюди входять програми для відпочинку та навігації з низькою точністю[8].

Однак для відносного позиціонування GPS використовуються два приймачі GPS, які одночасно відстежують ті самі супутники. Якщо обидва приймачі відстежують щонайменше чотири спільні супутники, то можна отримати рівень точності позиціонування від сантиметра до кількох метрів. Вимірювання фази несучої та/або псевдодіапазону можна використовувати у відносному позиціонуванні GPS, залежно від вимог до точності[9]. Перший забезпечує максимально можливу точність. Відносне позиціонування GPS використовується для високоточних програм, таких як геодезія та картографування, ГІС та точна навігація.

Позиціонування точки GPS, також відоме як автономне, передбачає лише один GPS-приймач. Тобто один GPS-приймач одночасно відстежує чотири або більше супутників GPS для визначення власних координат по відношенню до центру Землі (рис. 1.3). Майже всі GPS-приймачі, доступні в даний час на ринку, здатні відображати координати їх розташування.

Щоб визначити положення точки приймача в будь-який час, потрібні координати супутника, а також мінімум чотири діапазони до чотирьох супутників. Приймач отримує координати супутника через навігаційне повідомлення, а діапазони отримуються або з C/A-коду, або з P(Y)-коду, залежно від типу приймача (цивільний або військовий). Виміряні псевдодальності забруднені помилками синхронізації годинника як супутника, так і приймача. Виправлення помилок супутникового годинника може бути здійснено шляхом застосування корекції супутникового годинника в навігаційному повідомленні; помилка тактової частоти приймача розглядається як додатковий невідомий параметр у процесі оцінки[4].

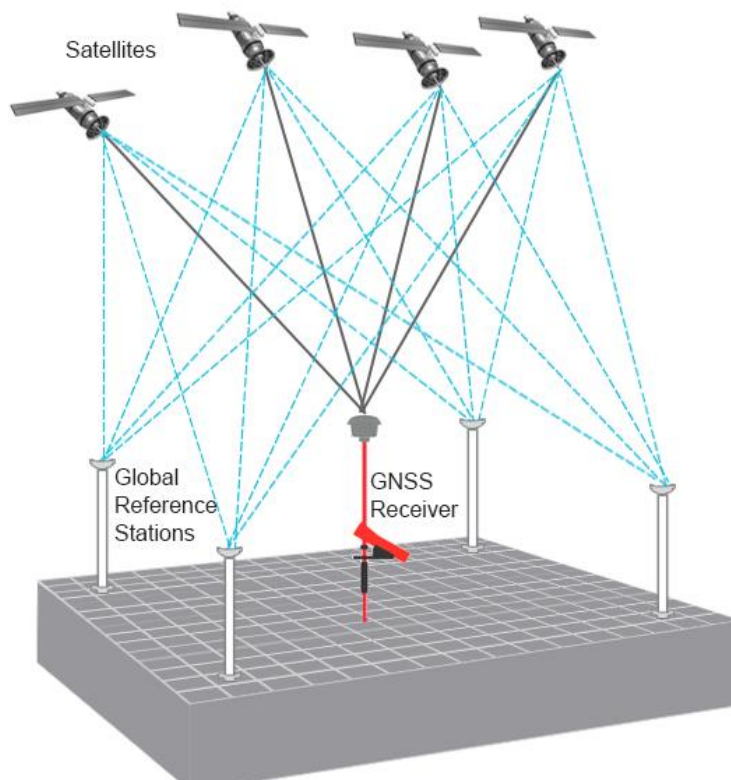


Рисунок 1.3 – Позиціонування точки GPS

Таким чином загальна кількість невідомих параметрів доводиться до чотирьох: три для координат приймача і один для помилки годинника приймача. Ось чому необхідно принаймні чотири супутники. Слід зазначити, що якщо відстежується більше чотирьох супутників, застосовується так звана оцінка найменших квадратів або фільтрація Калмана. Оскільки координати супутника

надаються в системі WGS 84 - стандартизованій координатній системі на Землі, отримані координати приймача будуть також у системі WGS 84. Проте більшість приймачів GPS надають параметри перетворення між WGS 84 і багатьма локальними датами, які використовуються в усьому світі.

Відносне позиціонування GPS, яке також називають диференціальним позиціонуванням, використовує два приймачі GPS, які одночасно відстежують ті самі супутники, щоб визначити їх відносні координати (рис. 1.4). З двох приймачів один вибирається як еталонний або базовий, який залишається нерухомим на місці з точно відомими координатами[9]. Інший приймач, відомий як ровер або віддалений приймач, має невідомі координати. Приймач ровера може бути нерухомим або не нерухомим, залежно від типу роботи GPS.

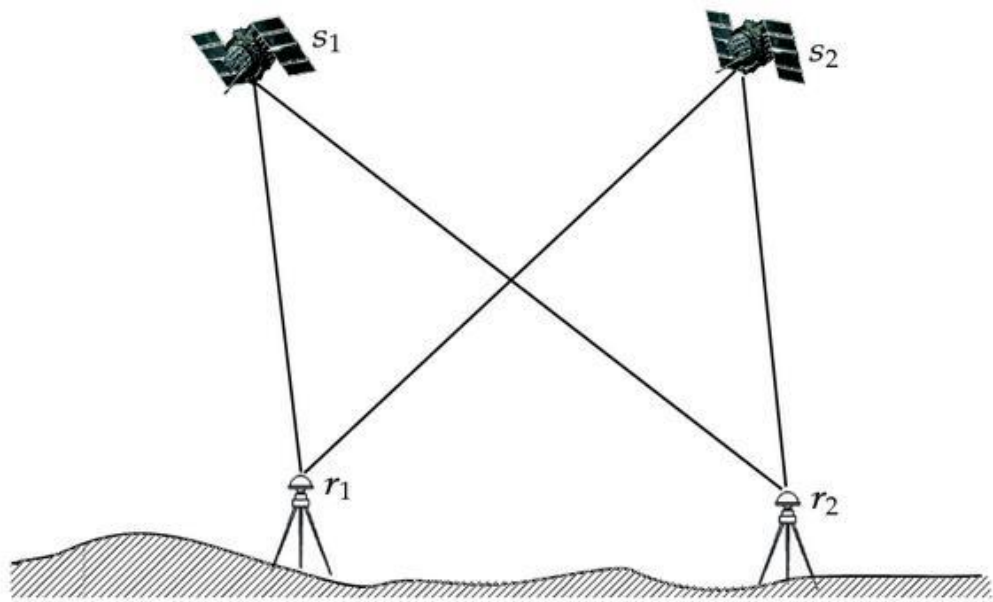


Рисунок 1.4 – Відносне позиціонування GPS

Для відносного позиціонування потрібно мінімум чотири загальні супутники. Однак відстеження більш ніж чотирьох загальних супутників одночасно дозволить підвищити точність рішення для визначення позиції GPS[6]. Вимірювання фази несучої та/або псевдодальності можна використовувати у відносному позиціонуванні. Різноманітні методи позиціонування використовуються для надання рішення після обробки або в реальному часі.

Відносне позиціонування GPS забезпечує більш високу точність, ніж автономне позиціонування. Залежно від того, чи використовуються вимірювання фази несучої чи псевдодіапазону у відносному позиціонуванні, можна отримати рівень точності від субсантиметра до кількох метрів. В основному це пов'язано з тим, що вимірювання двох (або більше) приймачів, які одночасно відстежують конкретний супутник, містять більш-менш однакові похибки та зміщення[6]. Чим менша відстань між двома приймачами, тим більше подібні помилки. Тому, якщо взяти різницю між вимірюваннями двох приймачів (звідси назва «диференціальне позиціонування»), подібні похибки будуть усунені або зменшені.

Статична GPS-зйомка є методом відносного позиціонування, який залежить від вимірювань фази несучої[4]. Він використовує два (або більше) стаціонарних приймачів, які одночасно відстежують одні й ті самі супутники (рис. 1.5). Один приймач, базовий приймач, встановлюється над точкою з точно відомими координатами, як-от пам'ятник огляду (іноді його називають відомою точкою). Інший приймач, віддалений приймач, встановлюється над точкою, координати якої шукають (іноді її називають невідомою точкою). Базовий приймач може підтримувати будь-яку кількість віддалених приймачів, за умови, що на базі та віддалених місцях видно мінімум чотири загальні супутники.

Взагалі, цей метод заснований на зборі одночасних вимірювань як на базі, так і на дистанційному приймачі за певний період часу, які після обробки дають координати невідомої точки. Час спостереження або заняття варіюється від 20 хвилин до кількох годин, залежно від відстані між базою та віддаленими приймачами (тобто довжини базової лінії), кількості видимих супутників та геометрії супутника. Вимірювання зазвичай проводять з інтервалом запису в 15 або 20 секунд або з одним виміром зразка кожні 15 або 20 секунд[9].

Після завершення польових вимірювань зібрані дані завантажуються з приймачів на ПК для обробки. Залежно від вимог користувача, базової довжини та інших факторів можна вибрати різні варіанти обробки. Наприклад, якщо базова лінія відносно коротка, скажімо, 15 або 20 км, вирішення параметрів

неоднозначності буде ключовою проблемою для забезпечення високоточного позиціонування.

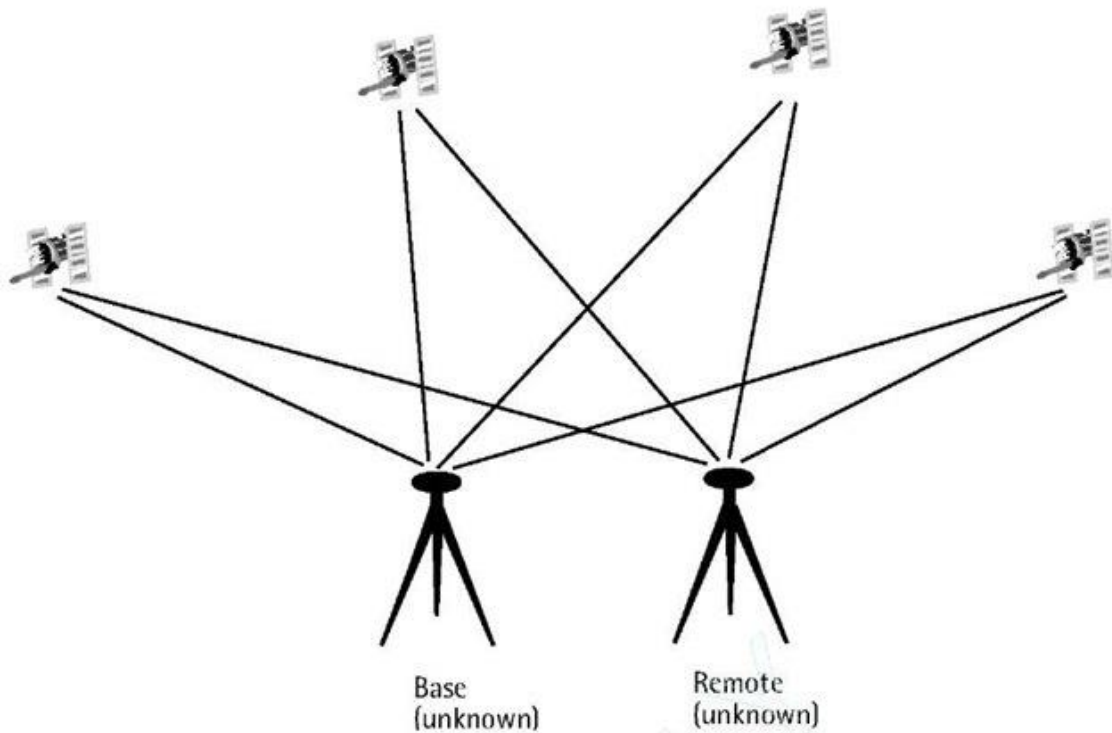


Рисунок 1.5 – Статична GPS-зйомка

Швидка статична зйомка — це метод відносного позиціонування на основі фази несучої, подібний до статичної GPS-зйомки. Тобто він використовує два або більше приймачів, які одночасно відстежують ті самі супутники (рис. 1.6). Однак при швидкій статичній зйомці лише базовий приймач залишається нерухомим над відомою точкою протягом усього сеансу спостереження.

Приймач роверу залишається нерухомим над невідомою точкою лише короткий проміжок часу, а потім переміщається до іншої точки, координати якої шукаються[4]. Подібно до статичної GPS-зйомки, базовий приймач може підтримувати будь-яку кількість роверів.

Цей метод підходить, коли дослідження включає в себе кілька невідомих точок, розташованих поблизу (тобто в межах приблизно 15 км) від відомої точки. Обстеження починається з встановлення базового приймача над відомою точкою, а приймач роверу – над першою невідомою точкою.

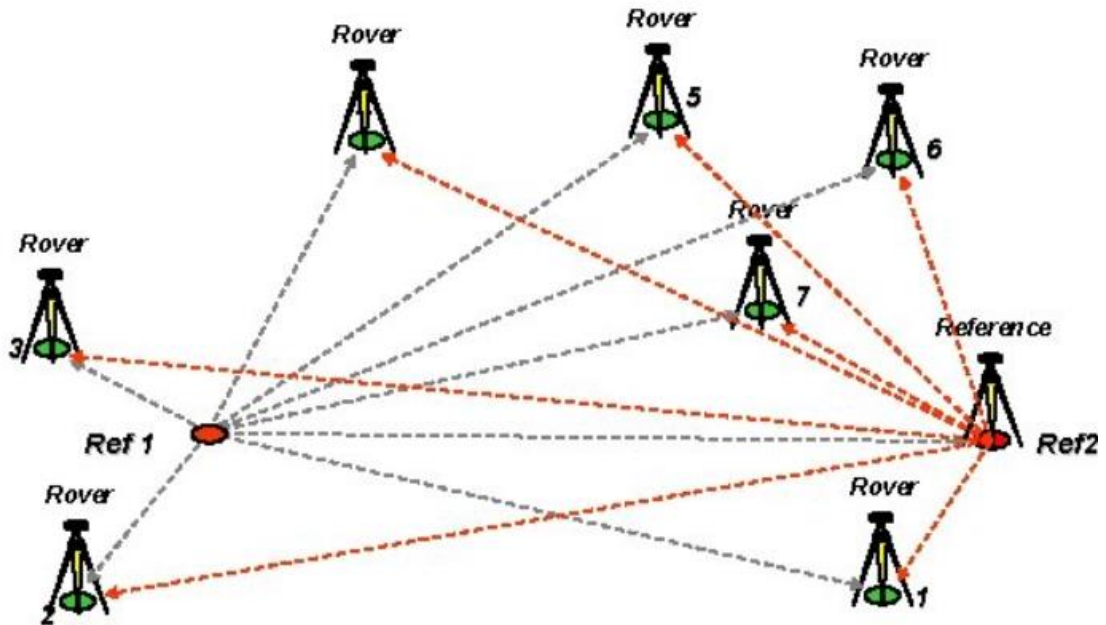


Рисунок 1.6 – Швидка статична GPS-зйомка

Зйомка stop-and-go є ще одним методом відносного позиціонування на основі фази несучої. Він також використовує два або більше приймачів GPS, які одночасно відстежують ті самі супутники: базовий приймач, який залишається нерухомим над відомою точкою, і один або кілька приймачів роверу[4]. Приймач ровера рухається між невідомими точками і робить коротку зупинку в кожній точці, щоб зібрати дані GPS (рис. 1.7). Дані зазвичай збираються зі швидкістю запису від 1 до 2 секунд протягом приблизно 30 секунд на кожну зупинку[9]. Як і попередні методи, базовий приймач може підтримувати будь-яку кількість роверів. Цей метод підходить, коли дослідження включає велику кількість невідомих точок, розташованих поблизу (тобто в межах до 10-15 км) від відомої точки.

Опитування починається з визначення початкових цілочисельних параметрів неоднозначності, процес, відомий як ініціалізація приймача. Це можна зробити різними методами, розглянутими в наступній темі. Після успішного виконання ініціалізації точність позиціонування на сантиметровому рівні можна отримати миттєво[8]. Це вірно до тих пір, поки існує мінімум чотири загальні супутники, які одночасно відстежуються як базою, так і приймачами роверу. Якщо ця умова не

виконується в будь-який момент під час обстеження, процес ініціалізації необхідно повторити, щоб забезпечити точність сантиметрового рівня.

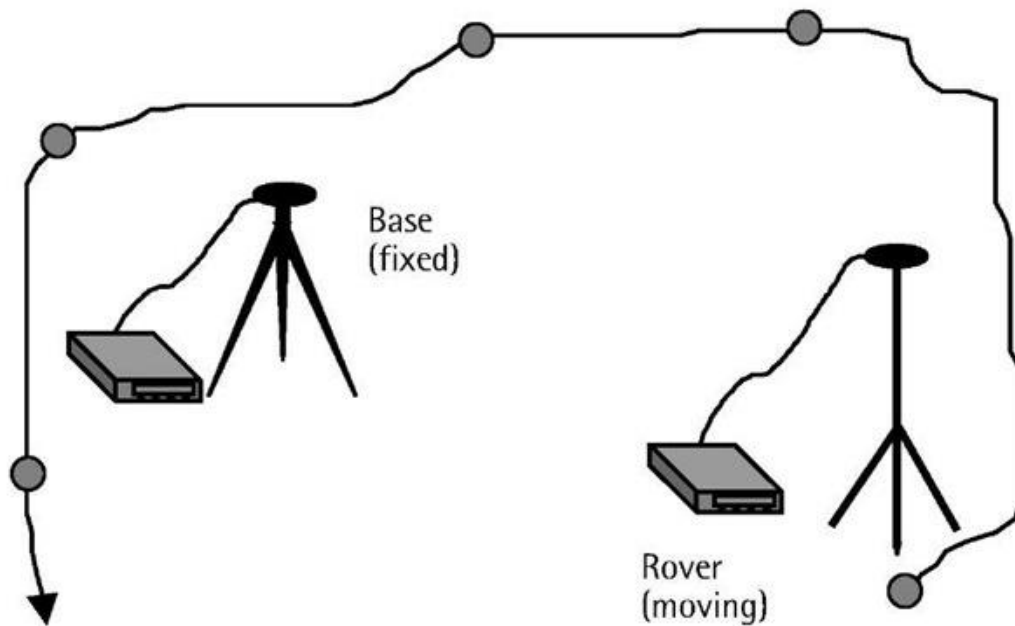


Рисунок 1.7 – Зйомка stop-and-go

Після ініціалізації ровер рухається до першої невідомої точки. Зібравши приблизно 30 секунд даних, ровер переміщається, не вимикаючись, до другої точки і процедури повторюються[9]. Надзвичайно важливо, щоб принаймні чотири супутники відстежувалися навіть під час руху; інакше процес ініціалізації потрібно повторити знову, наприклад, знову зайняти попередню точку. Після збору та завантаження даних для їх обробки використовується програмне забезпечення для ПК. Деякі програмні пакети мають функції прямої та зворотної обробки, які допомагають отримати фіксоване рішення або точність до сантиметрового рівня. Як одночастотні, так і двочастотні приймачі можуть використовувати метод зйомки stop-and-go.

Окремий випадок зйомки stop-and-go відомий як кінематична GPS-зйомка. Обидва методи в принципі однакові; однак останнє не вимагає зупинок у невідомих точках. Очікується, що точність позиціонування буде вищою при зйомці з зупинкою та вперед, оскільки похибки усереднюються, коли приймач зупиняється в невідомих точках.

1.2.2 Опис методів відстеження у часі

Зйомка та картографування були однією з перших комерційних адаптацій GPS, оскільки вони забезпечували широту та довготу безпосередньо без необхідності вимірювати кути та відстані між точками.

Однак він не повністю замінив геодезичний польовий інструмент, такий як теодоліт, електронний далекомір або більш сучасний тахеометр, через вартість технології та потребу в GPS, щоб мати можливість «бачити» супутники, що обмежує його використання поблизу дерев, і високі будівлі.

На практиці технологія GPS часто вбудовується в тахеометр для отримання повних даних опитування. Приймачі GPS, які використовуються для базових вимірювань, зазвичай складніші та дорогі, ніж зазвичай використовуються, і вимагають високоякісної антени.

Існують два методи вимірювання GPS, які використовують в геодезії для відстеження у часі.

Статична базова лінія GPS. Статичний GPS використовується для визначення точних координат точок зйомки шляхом одночасного запису GPS-спостережень над відомою та невідомою точкою обстеження протягом щонайменше 20 хвилин[8]. Дані потім обробляються в офісі для надання координат з точністю вище 5 мм залежно від тривалості спостережень та наявності супутника на момент вимірювань[4].

Кінематичні спостереження в реальному часі. Тут один приймач залишається в одному положенні над відомою точкою – базовою станцією – а інший приймач переміщається між позиціями – станцією ровера. Положення роверу можна обчислити та зберегти протягом кількох секунд, використовуючи радіозв'язок, щоб забезпечити корекцію координат[4]. Цей метод дає точність, подібну до вимірювань базової лінії в межах 10 км від базової станції[8].

Для цього використовуються безперервно діючі опорні станції (CORS). GPS-приймач якості опитування в місці як відправна точка для будь-яких вимірювань GPS в окрузі. Звичайними користувачами CORS є гірничі об'єкти, великі інженерні проекти та органи місцевого самоврядування. GPS-приймачі геодезистів можуть потім збирати польові дані та об'єднувати їх з даними CORS для обчислення позицій. У багатьох країнах є мережа CORS, яка використовується багатьма галузями промисловості. CORS — це Австралійська регіональна мережа GPS, яка використовує онлайн-систему обробки для доставки даних через Інтернет протягом 24 годин і визначення позицій з точністю до кількох сантиметрів[8, 9]. Локальні мережі CORS також використовуються для надання миттєвих позицій, подібних до методу RTK, за допомогою каналу передачі даних мобільного телефону.

1.3 Аналіз існуючих систем

Як було зазначено в описі предметної галузі, GPS система складається з трьох сегментів, два з яких контролюються державою США, тому зміну, вдосконалення або створення своєї системи в даній роботі розглянуто не буде. Отже розглянемо саме систему GPS та користувачів сервісів цієї системи.

Як і Інтернет, GPS є важливим елементом глобальної інформаційної інфраструктури. Вільна, відкрита та надійна природа GPS привела до розробки сотень додатків, що впливають на всі аспекти сучасного життя. Технологія GPS зараз є у всьому, від мобільних телефонів і наручних годинників до бульдозерів, транспортних контейнерів і банкоматів.

Доповнення GPS – це будь-яка система, яка допомагає GPS, забезпечуючи точність, цілісність, доступність або будь-яке інше покращення позиціонування, навігації та визначення часу, яке не є частиною самого GPS.

Як державним, так і приватним секторами розроблено широкий спектр різноманітних систем геолокації. Такими системами можна вважати мобільні застосунки. Розглянемо декілька з них.

1.3.1 Google Maps

Google Maps (рис. 1.8) — це веб-сервіс, який надає детальну інформацію про географічні регіони та сайти по всьому світу. На додаток до звичайних дорожніх карт, Google Maps пропонує повітряні та супутникові види багатьох місць. У деяких містах Google Maps пропонує перегляд вулиць, які містять фотографії, зроблені з транспортних засобів.



Google Maps

Рисунок 1.8 – Google Maps

Google Maps пропонує кілька послуг як частину більшої веб-програми, а саме:

- планувальник маршрутів пропонує маршрути для водіїв, велосипедистів, пішоходів і користувачів громадського транспорту, які хочуть здійснити подорож з одного конкретного місця в інше;
- інтерфейс програми Google Maps (API) дає змогу адміністраторам веб-сайтів вбудовувати Карти Google у власний сайт, наприклад, довідник з нерухомості або сторінку громадських послуг;
- карти Google для мобільних пристроїв пропонують службу визначення місцезнаходження для автомобілістів, яка використовує місцезнаходження

мобільного пристрою за допомогою глобальної системи позиціонування (GPS), а також дані з бездротових і стільникових мереж;

Із недоліків Google Maps можна виділити недостатню точність, особливо при поворотах та залежність від підключення до мережі Інтернет. Офіційно зазначена точність до 20 метрів, але можуть бути неточності, якщо смартфон знаходиться в будівлі чи під землею.

1.3.2 HERE WeGo Maps

HERE WeGo (рис. 1.9) є одним із небагатьох серйозних конкурентів Google Maps у сфері навігаційних додатків. Він має простий, елегантний інтерфейс з параметрами відображення по всьому світу. Ви можете завантажити карти для використання в автономному режимі у вашому регіоні. Це має допомогти в місцях із нечіткими з'єднаннями даних. HERE WeGo також показує вам інформацію про затори (якщо доступна), карти громадського транспорту, і ви можете налаштувати, зберігаючи місця для швидких маршрутів пізніше.



Рисунок 1.9 – HERE WeGo Maps

Це все безкоштовне для використання. Існує також програма для створення карт, яка також дозволяє змінювати карти.

Серед недоліків можна зазначити ті ж самі, що й у Google Maps, але HERE WeGo Maps має більший функціонал без підключення до інтернету. Щодо точності, має таку ж, як і в Google Maps, але частота неточностей більша.

1.3.3 Apple Maps

Найбільш прямий суперник Google Maps – Apple Maps (рис. 1.10), оскільки він попередньо завантажується на iPhone та інші продукти Apple.

Персоналізовані функції, як визначення місцезнаходження вашого припаркованого автомобіля, запускаються прямо на пристрої. Дані, які використовуються для покращення навігації, як, наприклад, маршрути та пошукові терміни, не пов'язані з особою. Натомість ця інформація базується на випадкових ідентифікаторах, які постійно змінюються.

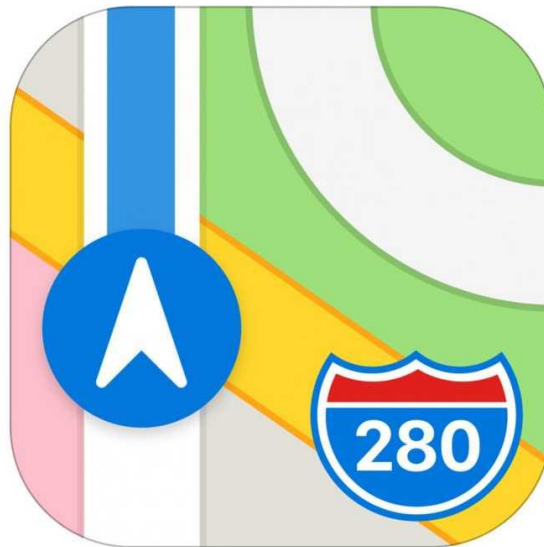


Рисунок 1.10 – Apple Maps

Серед усіх популярних застосунків Apple Maps виділяється феноменальною точністю – до 30 сантиметрів. Але без підключення до інтернету не працює.

1.3.4 Waze

Ця програма виділяється завдяки своїй інформації про трафік із натовпу. Дає вам змогу в режимі реального часу знати про аварії, будівництво, поліцію, перекриття доріг та інші події, пов'язані з дорожнім рухом, щоб ви могли вибрати альтернативний маршрут. Слід сказати, що через свою особливість із відстеженням багатьох цілей водночас для кожного із користувачів точність дуже страждає та іноді є відхилення до 50 метрів.

1.3.5 Leica Infinity and Geo Office

Також не слід забувати про програмне забезпечення спрямоване на наукові дослідження. Одним з представником таких ПО є Leica Infinity and Geo Office (рис. 1.11). Geo Office отримує та автоматично зберігає інформацію про нові високосні секунди. Програмне забезпечення для зйомок та інженерії Leica Geo Office дозволяє використовувати весь потенціал ваших даних.

The logo for Leica Geosystems is displayed in a vibrant red color. The word "Leica" is written in a classic, elegant script font, with a thick, curved underline that sweeps across the width of the letters. Below "Leica", the word "Geosystems" is written in a bold, sans-serif font, also in red. The overall design is clean and professional.

Рисунок 1.11 – Leica Geosystems

За допомогою програмного забезпечення Leica Geo Office ви можете інтегровано переглядати та керувати даними TPS, GPS та рівня. Він також дає змогу обробляти дані самостійно або об'єднувати.

Серед функціоналу Leica Geosystemes є прямий доступ до широкого спектру зовнішніх служб і підтримка різних форматів даних гарантують, використання актуальних даних всюди на будь-якому етапі проекту. Візуалізація своїх даних та розрахування та підготування необхідної інформації для підготовки до польових робіт.

1.3.6 СНС Geomatics Office Software

СНС Geomatics Office Software — це потужне офісне програмне забезпечення, розроблене для інженерів як інтегрована платформа для встановлення зв'язку між польовим і офісним робочим процесом за допомогою кількох датчиків GPS і створення багатих результатів. Програма CGO володіє всіма необхідними функціями для пост-обробки супутникових даних всіх існуючих глобальних навігаційних систем.

Основні можливості програмного забезпечення CGO:

- постобробка статичних і кінематичних спостережень;
- підтримка даних ГЛОНАСС, GPS і BeiDou;
- наявність великої кількості форматів імпорту;
- контроль якості під час процесу імпорту даних GNSS.

1.3.7 Використання Starlink в Україні для воєнних цілей

Досліджуючи дану тему в рамках цієї роботи неможливо оминати використання GPS у зв'язку із супутниками Starlink, які були передані однойменною компанією Ілона Маска Україні для державних та воєнних цілей.

Зазвичай для знищення великої кількості ворожої бронетехніки необхідно згрупувати декілька артилерійський зброй у певному периметрі для того, щоб за однією командою відкрити вогонь у щільній скупченості. Така тактика має велику

вогневу міць, але несе певні недоліки. По-перше, таке скупчення є дуже помітним, а по-друге, переміщення зброй потребує великої кількості ресурсів та часу і робить їх ще помітнішими.

Але нещодавно українські програмісти створили програмне забезпечення, яке у реальному часі відстежує переміщення ворожої техніки за допомогою високоякісних камер та високоточних GPS навігаторів на супутниках Starlink. За допомогою камер відстежується переміщення бронетехніки, а за допомогою GPS визначаються найближчі одиничні артилерійський зброї, яким подається сигнал для відкриття вогню по конкретній точці. Таким чином це покриває недоліки попередньої стратегії, і тепер одиночним артилерійським зброям набагато легше ховатися в лісах, окопах або залишених будівлях, а переміщення майже неможливо відстежити. За деякими даними така комбінація робить українську артилерію найсильнішою у світі на теперішній момент.

1.4 Постановка задачі

Перед початком роботи для подальшого дослідження та проектування програмної системи необхідно визначитися з вимогами до неї. У загальному випадку під вимогами розуміють сукупність властивостей, які повинна мати система, що реалізується. В даному випадку необхідно виділити функціональні властивості, які мають бути реалізовані в готовій системі.

Метою роботи є проектування, дослідження вже існуючих процесів системи глобального позиціонування та аналіз їх уцілому й точності зокрема. Такі дослідження будуть відносно швидкості реагування на зміну геопозиції та її точність.

Результатом роботи повинна стати програмна система у вигляді веб-додану для аналізу точності глобального позиціонування. Така система дозволяє з високою точністю відстежувати положення апарату зв'язку із системою GPS на місцевості та аналізувати точність методу та технічної частини системи, а саме GPS приймач.

Хоча вона спрямована більш на дослідницькі цілі, її можна буде інтегрувати у будь-які інші системи зав'язані на глобальному позиціонуванні для використання як методи геопозиціонування.

Також необхідно визначити обмеження програмного забезпечення. Додаток, який є результатом даної роботи, спрямований на дослідницьку роботу та аналіз існуючих методів глобальної системи позиціонування та механічних GPS приймачів у різних пристроях, як, наприклад, мобільні телефони. Оскільки створення нових методів GPS базується на втручанні в схему праці та комунікації механічних частин GPS, як, наприклад, сузір'я супутників або статичних еталонних GPS приймачів, а вдосконалення точності майже повністю базується на вдосконаленні якості механічних частин роботи GPS, що не є задачами, які необхідно виконати в межах цієї роботи.

Отже в результаті необхідно створити веб-доданок, який можна буде використовувати для аналізу точності методів GPS як бібліотеку для інтегрування у системи GPS або використовувати як API. Прикладами таких систем можуть бути мапи, автонавігатори, відстеження іншої людини, тощо.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ РІШЕННЯ

Для дослідження та аналізу методів GPS у першому розділі були розглянуті усі методи та дано їх опис, а також проаналізовано існуючі системи, їх функціонал та характеристики.

Серед підходів позиціонування GPS було розглянуті такі методи, як позиціонування точки, відносне позиціонування, статична GPS зйомка, швидка статична GPS зйомка та stop-and-go зйомка. А серед методів відстеження у часі були описані статичний, кінематичний та безперервно діючий. І хоча вони не сильно відрізняються в характеристиках точності, місця та цілі їх використання досить різні.

Спочатку GPS використовувався для воєнних та державних досягнень, але незабаром його почали використовувати у промислових та повсякденних справах. А сьогодні глобальне позиціонування використовується для дослідження космосу та космічних об'єктів. Наприклад, для космічного дослідження в часто використовуються швидка статична GPS зйомка та stop-and-go зйомка, а для повсякденних цілей – позиціонування точки.

Нажаль, для практичного аналізу та дослідження багатьох методів є багато перешкод, таких як наявність GPS роверу або статичного еталонного приймача або навіть декількох. Але для дослідження позиціонування точки досить наявності одного GPS приймача, який є у кожному телефоні, тому цей метод і буде центральним об'єктом практичного та аналітичного дослідження.

Що стосовно методів зйомки у часу, то для аналізу більше підходить кінематичне спостереження у реальному часі, оскільки воно є найпоширенішим у використанні для повсякденних цілей. Наприклад, цей метод використовуються у мобільних додатках, описаних в першому розділі при аналізі існуючих систем. Примітивну схему роботи цього методу можна побачити на рисунку 2.1. Доречі, з тих же мобільних додатків можна визначити середню точність методів GPS, які в них використовуються. Однак, як було зазначено, точність упирається не тільки в

методи та підходи, а й якість та точність механічних приборів, які для них використовуються, такі як GPS приймач, ровер або суптнік.

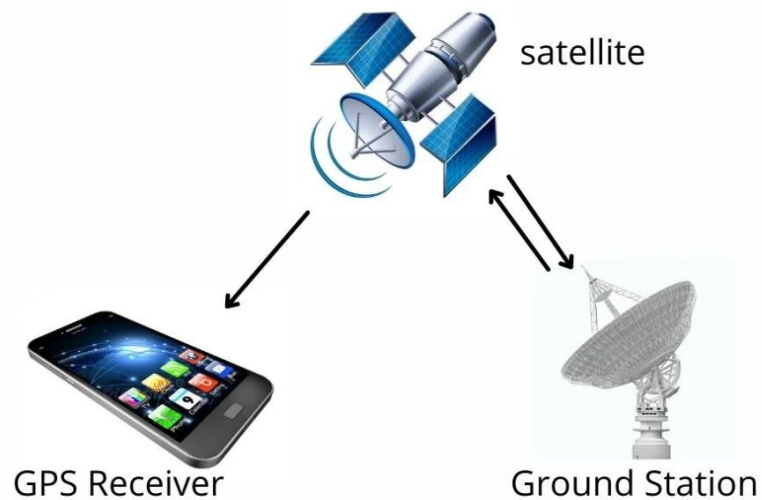


Рисунок 2.1 – Загальна схема взаємодії механічних приборів GPS

Розглянемо детальніше метод позиціонування точки GPS. Точне позиціонування точки (PPP) — це метод позиціонування глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS), який розраховує дуже точні позиції з похибками всього в кілька сантиметрів за хороших умов. PPP — це комбінація кількох відносно складних методів уточнення позиції GNSS, які можна використовувати з апаратним забезпеченням, наближеним до споживчого рівня, щоб отримати результати, близькі до рівня зйомки. PPP використовує один GNSS-приймач, на відміну від стандартних методів RTK, які використовують тимчасово фіксований базовий приймач у польових умовах, а також відносно поблизу мобільний приймач. Методи PPP дещо перетинаються з методами позиціонування DGNSS, які використовують постійні опорні станції для кількісної оцінки системних помилок (рис. 2.2).

Рішення PPP залежить від супутникового годинника GNSS та корекцій орбіти, які генеруються мережею глобальних довідкових станцій. Після розрахунку поправок вони доставляють кінцевому користувачеві через супутник або через

Інтернет. Ці поправки використовуються приймачем, що призводить до дециметрового рівня або кращого позиціонування без необхідності базової станції.

PPP забезпечує точність до 3 сантиметрів. Типове рішення PPP вимагає певного періоду часу для зближення з точністю до дециметра, щоб усунути будь-які локальні зміщення, такі як атмосферні умови, багатопроменеве середовище та геометрія супутника. Фактично досягнута точність і необхідний час зближення залежать від якості поправок і того, як вони застосовуються в приймачі.

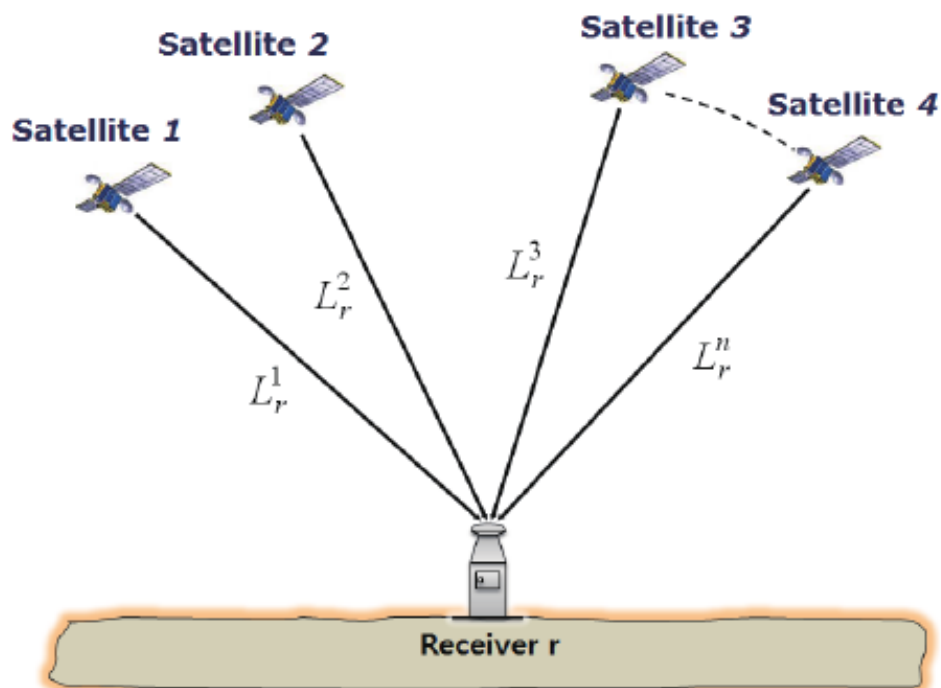


Рисунок 2.2 – Схема точного позиціонування точки

Точне позиціонування точки спирається на два загальні джерела інформації: прямі спостережувані та ефемериди. Прямі спостережувані дані — це дані, які GPS-приймач може вимірювати самостійно. Одним з прямих спостережень для PPP є фаза несучої, тобто не тільки повідомлення про час, закодовані в сигналі GNSS, а й те, чи йде хвиля цього сигналу «вгору» чи «вниз» у даний момент. Ефемериди — це точні вимірювання орбіт супутників GNSS, зроблені геодезичним співтовариством із глобальними мережами наземних станцій. Супутникова навігація працює за принципом, що положення супутників у будь-який момент

часу відомі, але на практиці удари мікрометеороїдів, зміна тиску сонячної радіації тощо означають, що орбіти не є цілком передбачуваними (рис. 2.3).

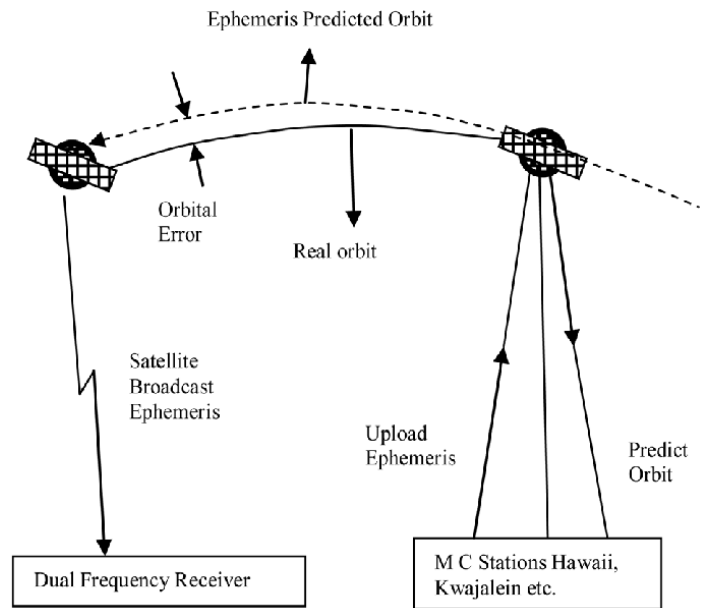


Рисунок 2.3 – Вплив ефемеридів на предбачення орбіти

Одним з основних недоліків методів PPP є те, що вони вимагають досить тривалого часу зближення для досягнення максимальної продуктивності. Стандартні методи PPP зазвичай займають багато десятків хвилин для початкового зближення. Однак багато нових методів PPP, нещодавно запропонованих, здатні значно скоротити цей початковий час зближення або, якщо доступна зовнішня точна іоносферна інформація, навіть усунути його.

Алгоритм точного позиціонування точки – це техніка позиціонування точки, яка використовує:

- точні орбіти супутника та годинники замість поправок, які транслюють супутники;
- дуже точні додаткові моделі помилок;
- послідовна фільтрація двочастотних псевдодіапазонів і спостережуваних на фазі несучої.

Завдяки цій обробці PPP може обчислити точні координати приймача разом із годинником приймача, затримкою траєкторії та неоднозначністю початкової фази для всіх супутників (рис. 2.4).

Точність годинників і орбіт супутника є одним з найважливіших факторів, що впливають на якість алгоритму PPP. Іншим важливим фактором, який впливає на результати точного позиціонування точки, є кількість та якість спостережень. Як і будь-яка методика GNSS, на PPP впливають перешкоди прямої видимості супутника. Навіть найточніші дані орбіти та годинника марні, якщо користувач не може відстежувати певні супутники. Коли видимість із супутника частково перешкоджає, найкраще обслуговування можна забезпечити, використовуючи повний спектр супутників з усіх доступних сузір'їв супутників.

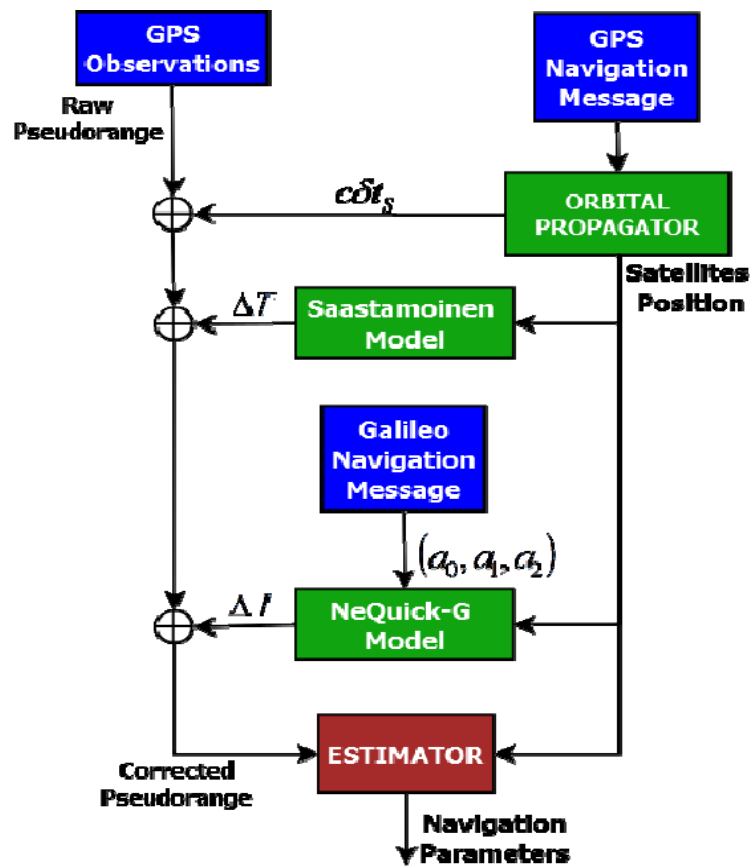


Рисунок 2.4 – Алгоритм методу точного позиціонування точки GPS

Техніка PPP пропонує значні переваги в порівнянні з диференційними методами точного позиціонування. PPP включає лише один приймач GNSS, і, отже, не потрібні опорні станції поблизу користувача.

Точне позиціонування точки можна розглядати як підхід до глобальної позиції, оскільки його позиційні рішення посиляються на глобальну систему відліку. Як наслідок, PPP забезпечує набагато більшу узгодженість

позиціонування, ніж диференційний підхід, при якому рішення щодо позиції є відносно локальної базової станції (станцій).

PPP зменшує витрати на оплату праці та обладнання та спрощує операційну логістику до польових робіт, оскільки усуває залежність від базової станції (станцій).

PPP може підтримувати інші програми, крім позиціонування. Наприклад, оскільки методика PPP оцінює годинник приймача та параметри тропосферного ефекту на додаток до параметра координат положення, вона надає інший спосіб точної передачі часу та оцінки тропосфери за допомогою одного приймача GNSS.

Стосовно проблем, техніка PPP ставить перед собою кілька практичних проблем, щоб повністю розкрити потенціал до застосування[10, 11]. Сюди входять тривалий час ініціалізації та цілочисельне вирішення неоднозначності. Проте, як уже згадувалося, за останнє десятиліття було запропоновано багато нових рішень та уточнень для алгоритмів PPP, щоб впоратися з вищевказаними проблемами[12], що рухається в напрямку практичних PPP у всіх сферах обслуговування.

Що стосовно кінематичної зйомки у реальному часі, ця техніка стала комерційно доступною лише в останні роки. Цей метод скорочує час спостереження до кількох хвилин. У зв'язку з постійним розвитком технології та обмеженістю середовища, в якій вона може бути використана, лише кілька організацій використовували її у виробництві.

За результатами дослідження було визнано потенціал впровадження новорозробленої техніки в свою діяльність на закордонних проектах. Ця компанія переважно виконує проекти землеустрою, геодезії та картографування в країнах, що розвиваються. Як і для більшості проектів такого характеру, зазвичай потрібен значний геодезичний компонент.

Геодезична складова передбачала посилення первинної геодезичної мережі та встановлення деякого контролю третього порядку на різних пілотних ділянках. Кінематичні операції, розроблені Департаментом земель, були успішно реалізовані на проекті на Кіпрі для координації приблизно 60 точок, що потребують лише п'ятиденних спостережень.

Термін «кінематична GPS-зйомка» дійсно є широким визначенням для опису фактичної техніки. Це передбачає високу точність у режимі відносного позиціонування з використанням спостережень фази несучої. Слово «кінематичний» передбачає безперервне визначення траєкторії, таким чином, у застосуванні до GPS-зйомки, воно означало б рішення вектора базової лінії на основі епохи за епохою (рис. 2.5).

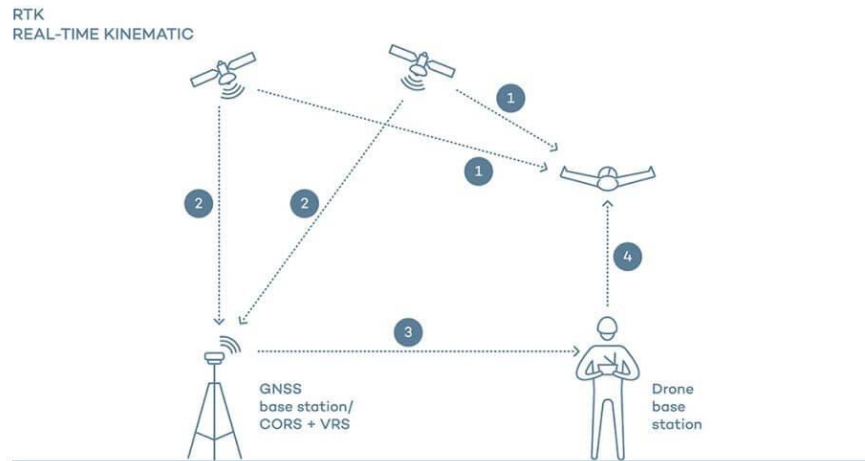


Рисунок 2.5 – Схема кінематичної зйомки у реальному часі

Корекція в режимі реального часу має перевагу обробки та перегляду виправлених вимірювань із сантиметровою точністю в режимі реального часу під час роботи в полі. Крім того, кінематична зйомка дозволяє розташовувати позиції в системі координат з географічними прив'язками та дає змогу в реальному часі вимірювати кути, відстані, площу та навігацію під час перебування в полі. Однак, щоб отримати ці переваги, базова станція повинна бути встановлена на відомій позиції, як-от раніше встановлений еталон або пам'ятник, або працювати протягом достатньо тривалого часу, щоб її можна було виправити за допомогою незалежного програмного забезпечення.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДЕТАЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Формування вимог до програмної системи

3.1.1 Вимоги до функціональності програмної системи

Функціонал розроблюваного програмного забезпечення повинен задовольняти задачі, сплановані у четвертому пункті першого розділу, а саме:

- з високою точністю знаходити місцезнаходження користувача за допомогою GPS;
- надавати можливість користувачу вручну обрати свою геолокацію на мапі або за координатами для подальшого аналізу точності;
- проводити порівняльний аналіз точності місцезнаходження за допомогою PPP методу GPS.

Інтерфейс веб-доданку повинен підтримуватися на екранах різного розміру та працювати в усіх популярних браузерних програмах. Він має бути інтуїтивно зрозумілим для звичайного користувача мережею Інтернет.

Сервер розроблюваної програмної системи повинен обробку запитів від клієнтської частини в будь-який момент часу при роботі системи за допомогою REST API.

Програмне забезпечення повинно складатися з серверної та клієнтської частин і бути представлено у вигляді .cs, .csproj та .sln файлів для серверної частини та у вигляді .ts, .html та .sass файлів для клієнтської частини.

3.1.2 Операційні вимоги

Для коректної роботи програмної системи необхідний браузер Google Chrome не старіший за версію 52, або браузер Mozilla Firefox не старіший за версію 48, або браузер Internet Explorer від компанії Microsoft не старіший за версію 10, або браузер Microsoft Edge будь-якої версії починаючи з першої. Для роботи

сервера програмної системи необхідно щоб була встановлена платформа .NETCore пізніше версії 3.1.

3.1.3 Вимоги до ресурсів

Для експлуатації серверної частини програмної системи необхідні наступні мінімальні характеристики: 2 Гб оперативної пам'яті, IntelCorei3-12100 або AMD Ryzen-3250U, 1Гб дискового простору для розгортання серверу на платформі .NET Core[14].

3.1.4 Вимоги до документації

Розроблюване програмне забезпечення повинно супроводжуватися документами(відповідно до методичних рекомендацій): розрахунково-пояснювальна записка (відповідно до Державного стандарту України ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення).

3.2 Аргументація вибору технологій для створення програмного забезпечення

Під час дослідницької роботи було створено програмне забезпечення для аналізу точності методів описанх в другому пункті роботи. Це програмне забезпечення складається з серверної та клієнтської частин.

Для написання серверної частини було обрано платформу ASP.NET Core на основі мови програмування С# версії Standard, оскільки ASP.NET Core – це нова модульна, кросплатформна, розширювана, асинхронна та бережлива платформа з відкритим вихідним кодом.

Важливою частиною цього є те, що це єдиний API, який працює на різних платформах. Немає необхідності піклуватися про це, оскільки пакет уже містить різні реалізації для кожного середовища. Функції конфігурації також стали більш зручними для різних платформ, замінивши старі файлами JSON або INI і змінними середовища. Кросплатформенність також означає, що існує більш широкий спектр операційних систем, які можна використовувати для розгортання, оскільки Azure підтримуватиме ASP.NET Core як у Linux, так і в Windows віртуальних машинах.

Немаловажливим фактором при виборі платформ було те, що платформа .NET Core має вбудований функціонал для роботи із GPS, що знаходиться у бібліотеці System.Device.Location. Але за необхідністю можна встановити сторонню бібліотеку за допомогою пакетного менеджера NuGet, що є також перевагою платформи (рис. 3.1).

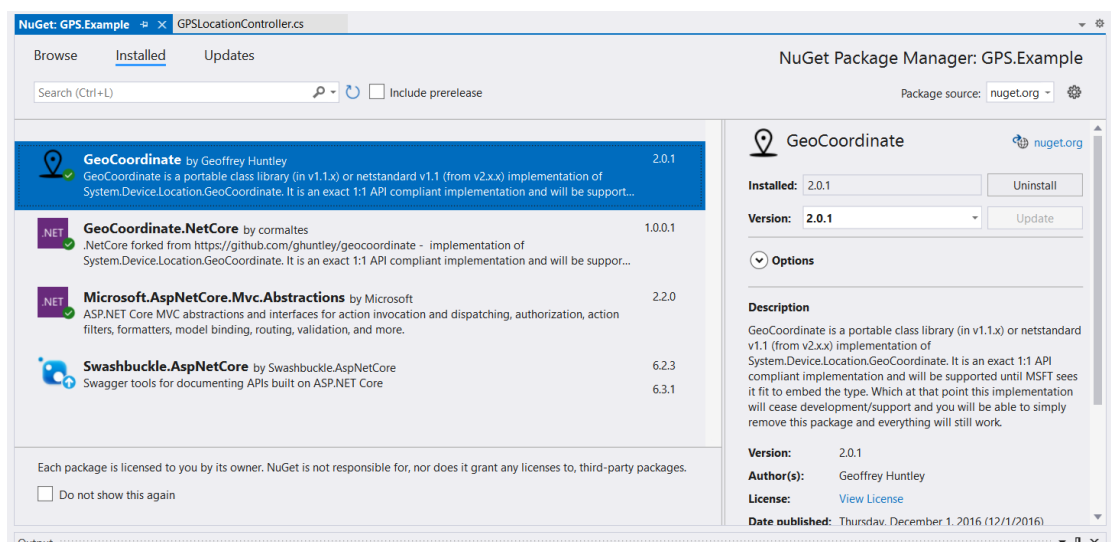


Рисунок 3.1 – Управління пакетами додатку за допомогою пакетного менеджера NuGet

Також .NET Core і ASP.NET Core є відкритими вихідними кодами. Це робить процес розробки прозорим і чистим, дозволяючи розробникам брати участь у перевірці коду, виправленні помилок, надаючи нові функції та можливість детально вивчати використані бібліотеки. Одне означає інше, і відкритий код дає змогу Microsoft розширити уніфікацію .NET і на міжплатформну розробку. .NET

Core має єдину кодову базу, яку можна використовувати для створення та підтримки всіх платформ, включаючи Windows, Linux і Mac OS.

Платформа .NET Core являє собою набір пакетів NuGet, які забезпечують невелику, дискретну частину функціональних можливостей. Це дозволяє оптимізувати програми, зробити їх більш легкими та набагато компактнішими.

У якості інтегрованого середовища розробки був обран програмний інструмент Visual Studio 2022 Community, оскільки він надає усі необхідні інструменти для роботи з платформою ASP.NET Core та був початково розроблений для роботи із програмними мовами платформи .NET. А версія Community є повністю безкоштовною, що дозволяє створювати не тільки доказ концепції програмного забезпечення, а й повністю працююче, підтримувати його роботоздатність, розширяти функціонал та масштабувати.

Для створення клієнтської частини програмного забезпечення було прийнято рішення використовувати JavaScript фреймворк –Angular 13 версії через його переваги та простоту інтегрування з GPS функцією й Google Maps.

Серед важливих переваг Angular слід зазначити те, що Angular використовує HTML для визначення інтерфейсу програми. На відміну від JavaScript, HTML є набагато менш складною мовою. Він також відомий своїми інтуїтивно зрозумілими та декларативними можливостями, створюючи такі директиви, як ng-model, ng-repeat, контроль форм і ng-app. Це означає, що вам більше не потрібно витратити час на виконання програм і визначати, що завантажується першим. Після того, як ви визначите свої потреби, Angular займається іншим.

Також Angular використовує для написання логічної частини не звичайний JavaScript, а TypeScript. Це просто незамінний додаток для JavaScript, який допомагає при розробці додатків Angular нового віку. Перехід до TypeScript полягав у забезпеченні вищої безпеки для примітивів та інтерфейсів. Крім того, він може легко виявляти помилки та усувати їх на ранньому етапі процесу без написання коду або виконання завдань з обслуговування. Перевагою Angular є сумісність з TypeScript на найнижчому рівні, що робить його використання дуже простим та ефективним.

Економічне рішення, Angular PWA, допомагає веб-сайтам виглядати як мобільні програми. Використання PWA допомагає вашим програмам працювати ефективно та зберігає пропускну здатність, де це можливо.

Однією з багатьох переваг є те, що вона підтримується Google. Довгострокова підтримка, яку пропонує Google, зміцнює її віру в структуру та те, як технологічний гігант планує розширити екосистему Angular. Ще один цікавий момент, який слід відзначити, полягає в тому, що Google також створює програми, використовуючи цю потужну структуру, і досить оптимістично оцінює її стабільність. Завдяки цьому Angular дуже добре поєднується з технологією Google Maps API.

Немаловажливим фактором обрання Angular було те, що TypeScript має дуже гарну вбудовану бібліотеку для роботи з глобальною системою позиціонування.

Як було зазначено вище для відображення GPS позиції на мапі було обрано технологію Google Maps, оскільки ця технологія має гарний та добре описаний API, легко інтегрується у інші програмні рішення, а особливо до Angular PWA. Також немало важливим факторами є те, що Google Maps має досить великий функціонал як для звичайних користувачів, так і для розробників програмного забезпечення. А ще є звичним та інтуїтивно зрозумілим більшості користувачів мережі Інтернет.

У якості інтегрованого середовища розробки для клієнтської частини було обрано Visual Studio Code. Visual Studio Code є безкоштовним, з відкритим вихідним кодом і кросплатформним. Це означає, що він працює на Windows, Linux та macOS.

Також до 2016 року Visual Studio Code зайняв 13-е місце серед найпопулярніших інструментів розробки на Stackoverflow. Маленькому великому редактору коду не знадобилося багато часу, щоб досягти місця №1 згідно з опитуванням розробників 2019 року, коли ним користувалися 50% з 87 317 респондентів (рис. 3.2).

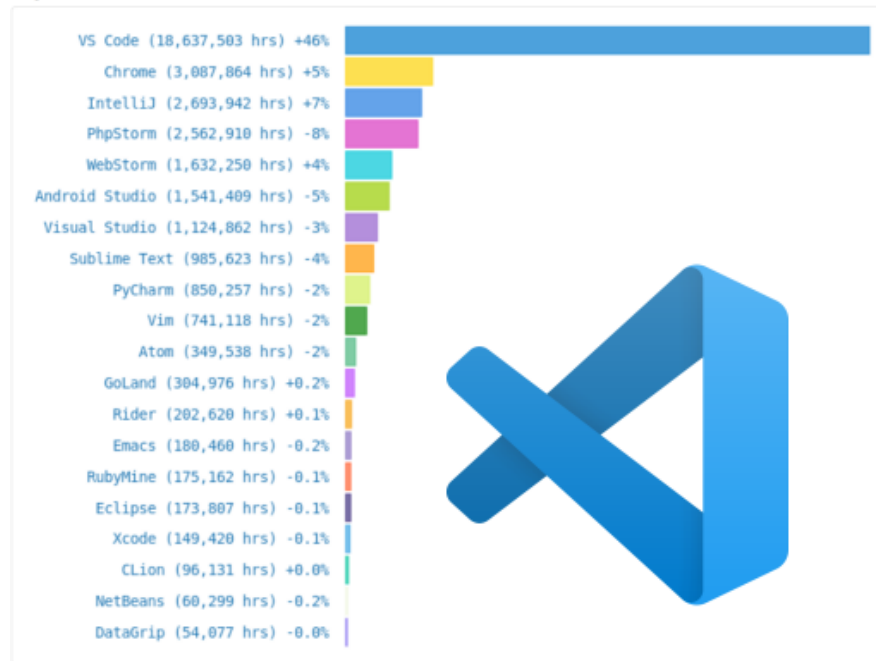


Рисунок 3.2 – Популярність VS Code серед розробників за 2019 рік

На відміну від багатьох інших редакторів коду, Visual Studio Code має вбудований налагоджувач і підтримує єдине представлення коду та налагоджувача. Це значно полегшує та пришвидшує процес відстеження помилок та ознайомлення з кодом. Вам не потрібно мати кілька екранів, щоб запускати різні консолі та переставляти їх щоразу, коли вам потрібно щось мінімізувати. Він вбудований в дизайн і налаштований бажаний робочий простір.

На додаток до цього, є IntelliSense, але вбудований в редактор коду. IntelliSense — це форма кодування з прогнозом. З додаванням розширень фреймворку, бібліотеки та/або мовних плагінів, ви можете ще більше використовувати це за допомогою готових шаблонів.

3.3 UML моделювання системи

Моделювання розроблюваної системи проводиться за допомогою UML. Це допоможе відобразити функціональність та внутрішню структуру програмного забезпечення та системи. UML – мова графічного опису для об’єктного моделювання в галузі розробки програмного забезпечення [13].

UML – це мова загального призначення для розробки та моделювання в області програмної інженерії, яка призначена для забезпечення стандартного способу візуалізації дизайну системи.

- При розробці системи були створені діаграми наступних типів: □ –
- діаграма варіантів використання;
 - діаграма класів;
 - діаграма розгортання.

Use Case діаграма – діаграма, що відображає відносини між акторами та прецедентами і є складовою частиною моделі прецедентів, що дозволяє описати систему на концептуальному рівні (рис. 3.3).

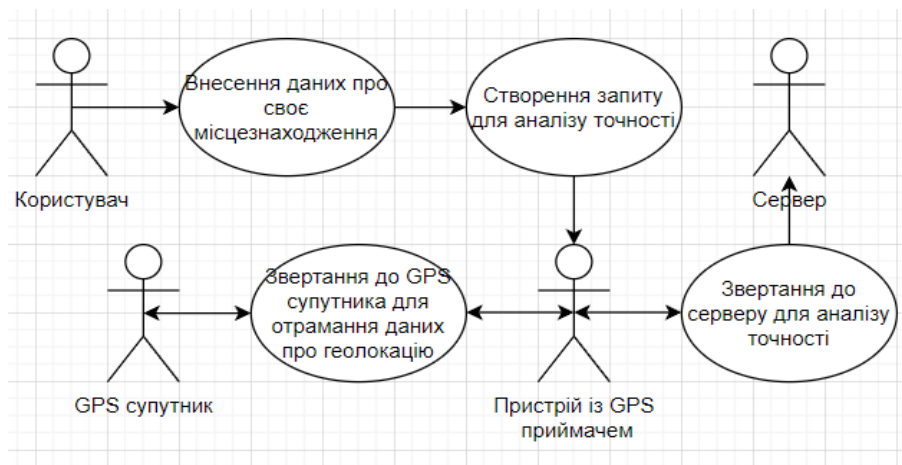


Рисунок 3.3 – Діаграма варіантів використання

На діаграмі можна побачити список дій користувача, який використовує систему. Користувач – це людина, яка використовує веб-доданок для аналізу точності методу PPP GPS на своєму пристрої.

Основна дія, яку виконує користувач – це вручне внесення даних про своє місцезнаходження за допомогою Google Maps та запит на аналіз системою точності GPS методу.

На діаграмі також можна побачити пристрій із GPS приймачем, який звертається до супутника для отримання даних про своє місцезнаходження. GPS супутник, який реагує на запит пристроя та відсилає необхідні дані. Також актором на діаграмі є сервер, який приймає запити з клієнтської частини (пристрою із GPS приймачем), оброблює їх та відсилає результат назад.

На рисунках 3.4 та 3.5 зображено діаграми класів серверної та клієнтської частин відповідно.

Діаграма класів — це тип діаграми статичної структури, яка описує структуру системи, показуючи її класи, їхні атрибути, операції (або методи) та зв'язки між об'єктами.

Діаграма класів є основним будівельним блоком об'єктно-орієнтованого моделювання. Використовується як для загального концептуального моделювання структури програми, так і для детального моделювання, переведення моделей у програмний код. Діаграми класів також можна використовувати для моделювання даних[13, 14].

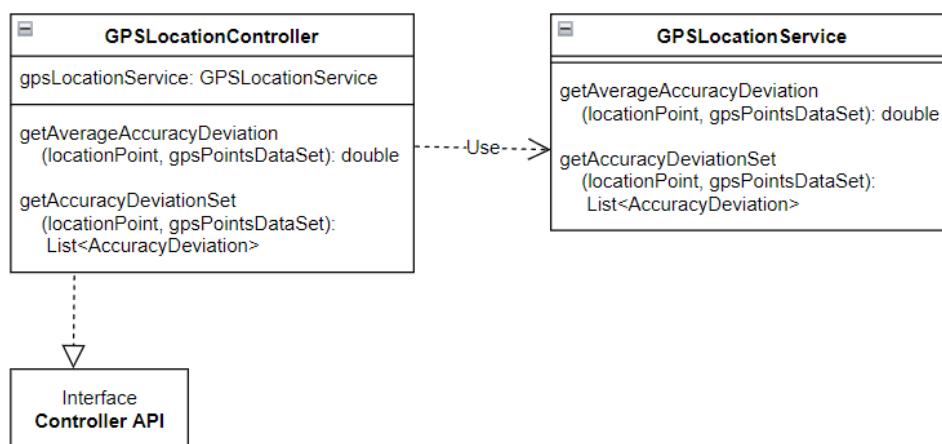


Рисунок 3.4 – Діаграма класів серверної частини

Тут зображено інтерфейс **ControllerAPI**, який дозволяє класу **GPSLocationController** організувати зв'язок з веб-клієнтом за допомогою REST

API. Клас `GPSLocationController` має два методи `getAverageAccuracyDeviaton` та `getAccuracyDeviationSet`, а також поле `gpsLocationService`. Клас `GPSLocationService` має однойменні методи, в яких реалізує логіку підрахунку точності GPS.

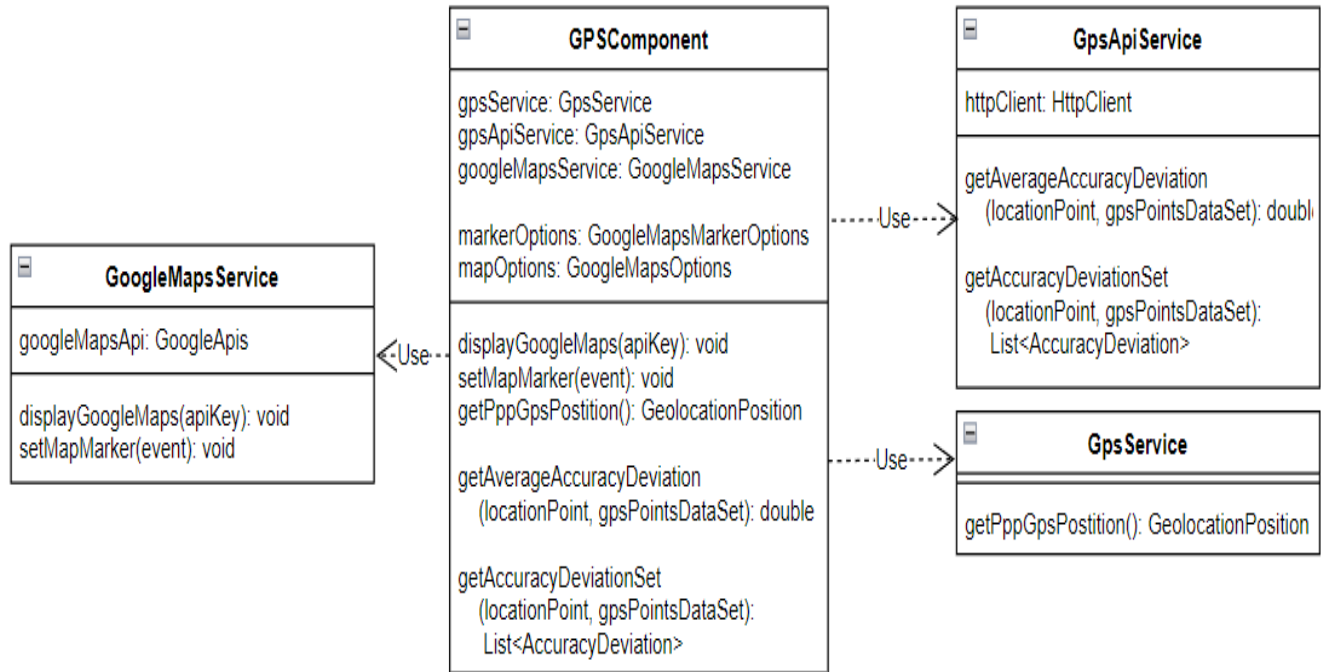


Рисунок 3.5 – Діаграма класів клієнтської частини

На діаграмі класів клієнтської частини основним класом є `GPSComponent`, який представляє логічну частину HTML сторінки.

Також на діаграмі зображені такі компоненти як `GpsApiService`, який відповідає за створення REST запитів до серверної частини; `GpsService`, який відповідає за знаходження геолокації за допомогою PPP методу GPS; та `GoogleMapsService`, який відповідає за підключення до Google API, налаштування Google Maps та відклику на створення користувачем маркеру свого місцезнаходження на мапі.

Як було зазначено у попередньому пункті для написання клієнтської частини використовується Angular 13 версії, а для створення серверної частини ASP.NET Core 3.1 на основі програмної мови C# шостої версії та стандарту .NET 6.1. У якості серверу використовується Web API на основі протоколу Representational State Transfer. На рисунку 3.6 можна побачити діаграму розгортання.

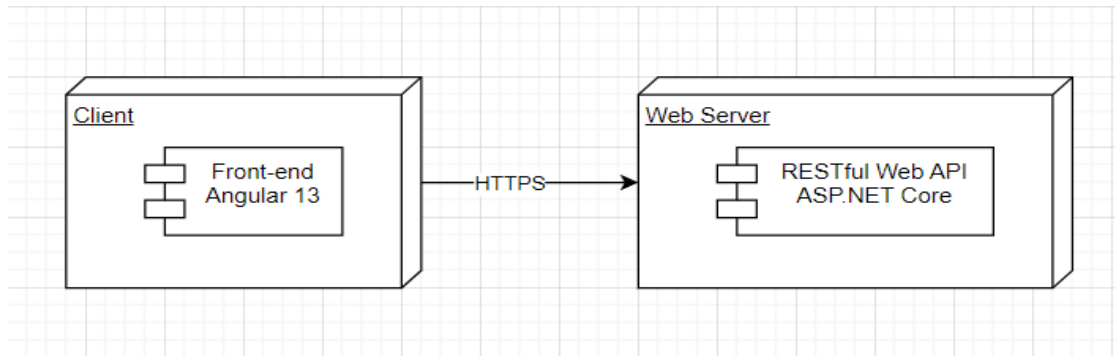


Рисунок 3.6 – Діаграма розгортання

Для зв'язку серверної та клієнтської частин використовується стандарт REST API на основі HTTPS протоколу. Захищений протокол передачі гіпертексту (HTTPS) є розширенням протоколу передачі гіпертексту (HTTP). Використовується для безпечного зв'язку через комп'ютерну мережу та широко використовується в Інтернеті[15].

3.4 Описання програмного забезпечення

У якості програмного забезпечення було створено додаток, за допомогою якого можна проаналізувати точність GPS методів та GPS приймачів клієнтського пристрою.

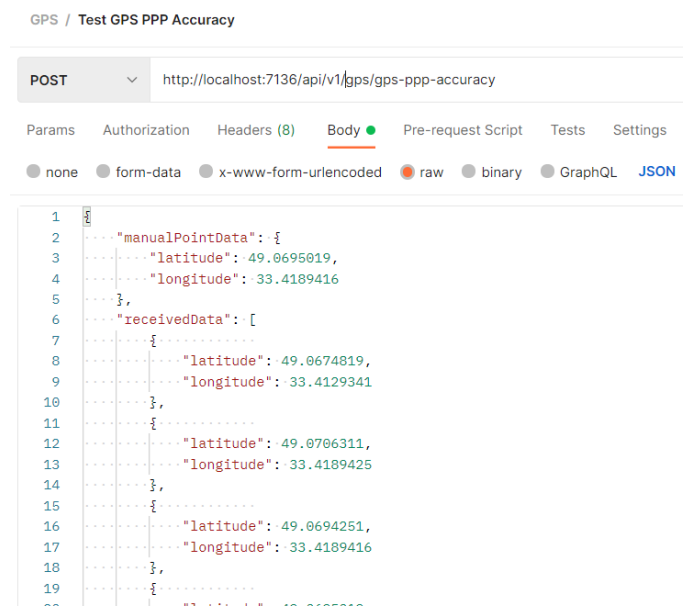
Функціонал додатку є дуже простим, але реалізує необхідні задачі. На клієнтській частині за допомогою GPS приймача клієнтського пристрою та імплементованого методу точного позиціонування точки зчитується геопозиція та за допомогою Google Maps користувач відмічає вручну максимально точно своє місцезнаходження.

Для звертання до серверної частини було створено API, який можна побачити на рисунку 3.7. Цей API є HTTPS Post методом, який приймає наступні данні:

- довготу та широту точки обраної вручну користувачем;

– масив точок із довготою та широтою, які були отримані за допомогою методу PPP через приймач у пристрої користувача.

За відміченою користувачем точкою зчитуються дані довготи та широти до п'ятнадцяти знаків після коми задля більшої точності. Далі за допомогою GPS методу та інструментів TypeScript велику кількість разів зчитується та точка, на якій бачить користувача система глобального позиціонування, та записується у масив даних.



```

GPS / Test GPS PPP Accuracy
POST http://localhost:7136/api/v1/gps/gps-ppp-accuracy
Params Authorization Headers (8) Body Pre-request Script Tests Settings
none form-data x-www-form-urlencoded raw binary GraphQL JSON
1
2   "manualPointData": {
3     "latitude": 49.0695019,
4     "longitude": 33.4189416
5   },
6   "receivedData": [
7     {
8       "latitude": 49.0674819,
9       "longitude": 33.4129341
10    },
11   {
12     "latitude": 49.0706311,
13     "longitude": 33.4189425
14   },
15   {
16     "latitude": 49.0694251,
17     "longitude": 33.4189416
18   },
19   {
20     "latitude": 49.0694251,
21     "longitude": 33.4189416
22   }
23 ]

```

Рисунок 3.7 – HTTPS метод для визначення точності GPS методу позиціонування точки

Ці дані разом із даними з точки, відмоченої вручну відправляються на серверну частину, де підраховуються середня похибка та результат повертається знов на клієнтську частину. Для демонстрації використання доданку на рисунку 3.8 можна побачити інтерфейс.

Також слід пам'ятати, що в більшості комп'ютерів та ноутбуків немає GPS приймача, тому їх місцезнаходження визначається за допомогою IP-адреси. Таке позиціонування може відхилятися до кількох сотень метрів, тому використовувати цей доданок має сенс лише на пристрої, де є GPS приймач.

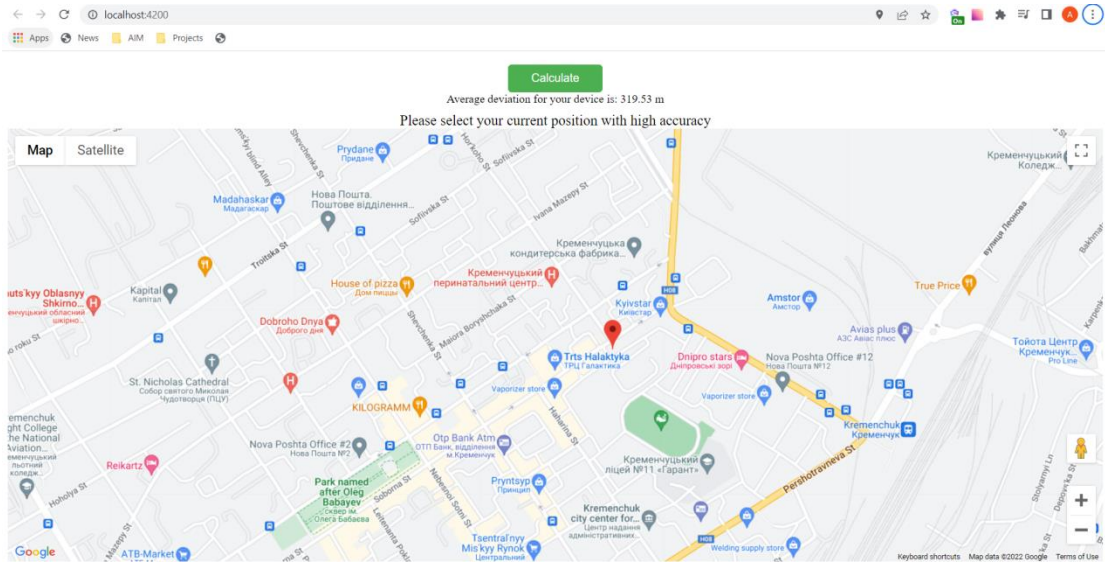


Рисунок 3.8 – Інтерфейс доданку

На скріншоті інтерфейсу доданку можна побачити використання Google map для відмічення вручну своєї точки місцезнаходження. Надалі повинна натискатися кнопка «Calculate», після якої створюється масив даних із точок визначених GPS за допомогою методу точного позиціонування точки. Після того, як підрачується середнє відхилення, дані будуть зображені під цією кнопкою.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Тестування програмного забезпечення

Тестування ПЗ — це процес технічних досліджень, призначений для виявлення інформації про якість продукту щодо контексту, в якому він буде використовуватися. Методи тестування включають процес пошуку помилок або інших дефектів, а також тестування програмних компонентів. Кількість можливих тестів навіть для простих програмних компонентів досить велика, тому під час розробки веб-додатка, було проведено модульне тестування та тестування API.

Тестування API проводилось за допомогою методу димового тестування та програми Postman. Димове тестування є попереднім тестуванням для виявлення простих збоїв, досить серйозних, щоб, наприклад, відхилити майбутній випуск програмного забезпечення. Димові тести — це підмножина тестових випадків, які охоплюють найважливіші функціональні можливості компонента або системи, які використовуються для оцінки того, чи правильно працюють основні функції програмного забезпечення[16].

Під час тестування API за допомогою методу димового тестування було знайдено декілька дефектів та виправлено їх, тому таке тестування виявилось досить ефективним.

Для того, щоб протестувати окремі компоненти системи було проведено модульне тестування. На клієнтській частині модульне тестування було зроблено за допомогою стандартних функцій Angular та бібліотек Jasmine та Karma.

Для модульного тестування на серверній частині було створено декілька unit-тестів за допомогою бібліотеки NUnit.

Під час модульного тестування було виявлено невелику кількість дефектів, але таке тестування допомагає розробки програмного забезпечення та створює чітку специфікацію для компонентів системи.

4.2 Експериментальні дослідження програмного забезпечення

Під час розробки програмного забезпечення було проведено експериментальні дослідження точності GPS пристроїв для різних пристроїв. Результати проведення можна побачити в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Результати аналітичного тестування

Пристрій	Кількість проведених тестів	Метод GPS	Середнє відхилення (у метрах)
Ноутбук Lenovo Thinkbook 15	200	Визначення за допомогою IP-адреси	319.53
Смартфон Samsung Galaxy A10	200	Precise point positioning	3.62
Смартфон iPhone 13	200	Precise point positioning	0.76

За таблицею можна зрозуміти, що метод визначення за допомогою IP-адреси є дуже неточним, та може відхилятися на кілька сотень метрів, як було описано у третьому розділі. Метод PPP є досить точним та відрізняється лише від технічних характеристик GPS приймача. Як було зазначено під час аналізу існуючих систем, Apple Maps є досить точним додатком через гарні технічні характеристики GPS приймача у iPhone.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було проведено дослідження предметної області, обґрунтовано доцільність розробки системи, описані принципи її роботи, виявлено основні функції та реалізовано рекомендаційний модуль.

Для реалізації усього необхідного функціоналу була проаналізована предметна область, розглянуті методи визначення метрологічної точності в цілому та в рамках системи глобального позиціонування як безпосереднього об'єкту роботи. Тому були розглянуті основні методи та процеси системи GPS. А також були описані методи, на основі яких працює система глобального позиціонування, описані їх характеристики, переваги та недоліки.

Також були розглянуті існуючі популярні програмні системи, а саме мобільні застосунки, які основані на використанні системі глобального позиціонування, описані їх призначення та виділені основні недоліки, такі як залежність від підключення до мережі інтернет, повільна швидкість реакції та недостатня точність відображення реального місцеположення на місцевості.

Поставлена задача реалізувати програмну систему, яка вирішить існуючі проблеми за допомогою покращення існуючих процесів зв'язку із GPS системою як один з методів визначення метрологічної точності.

Надалі було обрано методи, які є центральними об'єктами дослідження, та на основі яких було створено додаток для тестування точності цих методів. Обрані методи були більш детально описані та проаналізовані, а також були надані цілі їх використання.

Для розробки програмного забезпечення були створені UML діаграми, а саме діаграма варіантів використання, діаграма розгортання та діаграма класів для серверної та клієнтської частин.

Було описано тестування програмного забезпечення методами димового тестування для серверного API через програму Postman та методом модульного тестування для усіх логічних частин програми.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Н.В. Білоус, В.М. Малкіна "Методика вимірювання показників вибірки насіння соняшнику на основі класифікації за ознаками геометричних інваріантів", 3.01.2015
2. What is metrology? Celebration of the signing of the Metre Convention, World Metrology Day 2004". BIPM. 2004. Archived from the original on 2011-09-27. Retrieved 2018-02-21.
3. Collège français de métrologie [French College of Metrology] (2006). Placko, Dominique (ed.) до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110866515000341>.
4. GPS: Global Positioning System (or Navstar Global Positioning System)" Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard, Section B.3, Abbreviations and Acronyms.
5. "GPS.gov: GPS Accuracy". www.gps.gov. Archived from the original on January 4, 2018. Retrieved January 17, 2018.
6. N Bilous, E Visotskaja, O Kozina, A Porvan, G Kobzar, A Krasov "Improving of recognition accuracy of ecg-signal in various disorders of heart and optimization of treatment by drugs", 2009
7. "GPS Accuracy". GPS.gov. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing.
8. GPS.gov. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing
9. J. Li and M. Wu, "A positioning algorithm of AGPS," International Conference on Signal Processing Systems, Singapore, IEEE, 2009.
10. Crease, Robert P. "Metrology in the balance". Physics World. Institute of Physics. Retrieved 23 March 2018
11. M.D. Laínez Samper et al, Multisystem real time precise-point-positioning, Coordinates, Volume VII, Issue 2, February 2011

12. GNSS Solutions: Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking, Inside GNSS, October 2007
13. Unified Modeling Language User Guide, The (2 ed.). Addison-Wesley. 2005. p. 496. ISBN 0321267974. , See the sample content, look for history
14. Sparks, Geoffrey. "Database Modeling in UML". Retrieved 8 September 2011.
15. "Secure your site with HTTPS". Google Support. Google Inc. Archived from the original on 1 March 2015. Retrieved 20 October 2018.
16. Dustin, Rashka, Paul. "Automated Software Testing -Introduction, Management, and Performance". Addison-Wesley 1999, p. 43-44.
17. Hramm, O., Bilous, N., Ahekan, I. "Configurable Cell Segmentation Solution Using Hough Circles Transform and Watershed Algorithm", 2019
18. Shcherbakova, G., Krylov, V., Logvinov, O., Bilous, N. "Adjustement of wavelet function parameters for analysis of non-stationary periodic signals with multistart optimization", 2018
19. Agnew, D.C., Larson, K.M "Finding the repeat times of the GPS constellation", 2007
20. Кожевніков А. О., Груздо І.В., "Програмна система для замовлення портативного wi-fi на дроні.", 2020
21. A.O. Rakova, N.V. Bilous, "Reference points method for human head movements tracking", Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020
22. Steitz, David E. "National Positioning, Navigation and Timing Advisory Board Named", 2007