

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«На правах рукопису»  
УДК 681.3

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
О.І. Ролік  
«\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Засоби обробки навігаційних даних на основі фільтру Калмана у  
системах відстеження рухомих об'єктів»**

Виконав:  
студент II курсу, групи ІА-61м  
О.С.Соколенко

\_\_\_\_\_

Керівник:  
професор, д.ф.-м.н., професор  
А.Ю. Дорошенко

\_\_\_\_\_

Рецензент:  
доцент, канд.фіз.-мат.наук  
О.П. Ігнатенко

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**

**Кафедра автоматизації та управління в технічних системах**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ С.Ф. Теленик

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Соколенко Олександр Сергійовичу**

1. Тема дисертації «Засоби обробки навігаційних даних на основі фільтру Калмана у системах відстеження рухомих об'єктів», науковий керівник дисертації Дорошенко Анатолій Юхимович, професор, д.ф.-м.н., професор, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження – навігаційні системи.
4. Предмет дослідження – засоби обробки навігаційних даних у системах відстеження рухомих об'єктів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз засобів обробки навігаційних даних; аналіз існуючих рішень, технік та особливостей; порівняння та вибір методу обробки навігаційної інформації; збір та обробка даних, проведення експериментального дослідження; оцінка результатів, написання пояснювальної записки.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: механізми отримання навігаційних даних, існуючі методи обробки, причини виникнення помилок та передумови до застосування, візуалізація процесу збору даних, графіки результативності обробки.
7. Перелік публікацій: 1) «Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга» – «SIMULATION» – Збірник праць конференції С.237-241.

2) «Обработка GPS координат с использованием Калмановской фильтрации» – Научный журнал «Проблемы программирования» – 2018 – №1 – С. 105-111.

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації            | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз існуючих засобів обробки навігаційних даних         | 15.03.18-29.03.18                                |          |
| 2     | Порівняння та вибір методу обробки навігаційної інформації | 30.03.18-09.04.18                                |          |
| 3     | Збір та обробка даних                                      | 10.04.18-17.04.18                                |          |
| 4     | Проведення експериментального дослідження                  | 18.04.18-28.04.18                                |          |
| 5     | Оцінка результатів                                         | 29.04.18-02.05.18                                |          |
| 6     | Написання пояснювальної записки                            | 03.05.18-14.05.18                                |          |

Студент

О.С. Соколенко

Науковий керівник дисертації

А.Ю. Дорошенко

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Засоби обробки навігаційних даних на основі фільтру Калмана у системах відстеження рухомих об'єктів»: 119 с., 33 рис., 28 табл., 2 додатки, 32 джерела.

Об'єкт дослідження – навігаційні системи.

Мета роботи – розробка методу обробки навігаційних даних з метою підвищення точності визначення місцезнаходження об'єкта та достовірності отримуваної інформації.

Тема застосування глобальних систем супутникової навігації є актуальною та перспективною в області моніторингу місцезнаходження рухомих об'єктів. Навігаційні системи мають досить широкий спектр застосування у будь-якій області корисній для користувача.

Розвиток та розповсюдження сучасних систем супутникового моніторингу тісно пов'язані із підвищенням точності та достовірності прийнятих навігаційних даних. В даний час широко використовуються сервіси GPS-трекінгу, завданням яких є відстеження маршрутів спостережуваних об'єктів з метою їх збереження, подальшого аналізу та обробки, а персональний GPS-моніторинг використовується в багатьох сферах діяльності, тому проблема обробки великої кількості навігаційних даних є актуальною.

Результати роботи впроваджені на комерційному базисі.

Прогнозовані перспективи для подальшого розвитку – використання альтернативних, спарених та реалізація нових засобів і технік для обробки навігаційних даних.

**ФІЛЬТРАЦІЯ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ, ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ФІЛЬТР КАЛМАНА**

## ABSTRACT

Master's thesis «Navigation data processing facilities on the Kalman filter basis in mobile objects tracking system» consists of 119 pages, 33 figures, 28 tables, 2 appendices, 32 sources.

The object of the study is navigation system.

The topic of application of global satellite navigation systems is actual and promising in the field of monitoring the location of mobile objects. Navigation systems have a fairly wide range of applications in any field useful to the user.

The development and dissemination of modern satellite monitoring systems are closely related to increasing the accuracy and reliability of the adopted navigation data. Currently, GPS tracking services are widely used, whose task is to track the routes of the monitored objects for the purpose of their preservation, further analysis and processing, and personal GPS monitoring is used in many areas of activity, so the problem of processing a large number of navigation data is relevant.

Development results are used on commercial basis.

The research has prospects for use of alternative, paired and implementation of new tools and techniques for processing navigation data.

NAVIGATION DATA FILTERING, GLOBAL NAVIGATION SYSTEM,  
KALMAN FILTER

## ЗМІСТ

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                   | 9  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....                                                      | 11 |
| 1.1 Global Positioning System .....                                                          | 12 |
| 1.2 Історія створення супутникової системи навігації GPS.....                                | 14 |
| 1.3 Принцип роботи супутникової навігаційної системи .....                                   | 16 |
| 1.4 Недоліки GPS .....                                                                       | 20 |
| 1.5 Типи старту GPS-приймача .....                                                           | 22 |
| 1.6 Прискорення запуску приймача .....                                                       | 24 |
| 1.7 Наземні станції контролю.....                                                            | 25 |
| 1.8 A-GPS.....                                                                               | 31 |
| 1.9 Функції A-GPS.....                                                                       | 32 |
| 1.10 Переваги A-GPS .....                                                                    | 33 |
| 1.11 Недоліки A-GPS .....                                                                    | 33 |
| 1.12 Область застосування супутникових систем навігації.....                                 | 33 |
| 1.13 Основні галузі використання.....                                                        | 34 |
| 1.14 Конструкція навігаційного приймача .....                                                | 35 |
| 1.15 Переваги використання програмного приймача .....                                        | 36 |
| 1.16 Структура GPS сигналу .....                                                             | 37 |
| 1.17 Коди Голда.....                                                                         | 39 |
| 1.18 Повідомлення даних.....                                                                 | 43 |
| 1.19 Обробка сигналів GPS-приймачем та визначення доступності<br>супутникового сигналу ..... | 44 |
| 1.20 Пошук несучої частоти .....                                                             | 46 |
| 1.21 Відстеження фази коду .....                                                             | 46 |
| 1.22 Висновки до розділу.....                                                                | 49 |
| РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ФІЛЬТРАЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ.                                    | 50 |
| 2.1 Механізми отримання даних .....                                                          | 53 |
| 2.2 Огляд існуючих методів .....                                                             | 54 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.1 Метод швидкої фільтрації потоку даних .....                                                              | 54  |
| 2.2.2 Адаптивний алгоритм обробки потоку навігаційних даних на основі<br>методу діагностичної фільтрації. .... | 57  |
| 2.2.3 Блоково-часовий алгоритм фільтрації геолокаційних даних.....                                             | 58  |
| 2.2.4 Фільтр Калмана .....                                                                                     | 59  |
| 2.3 Передумови до застосування.....                                                                            | 62  |
| 2.4 Математична модель.....                                                                                    | 65  |
| 2.4.1 Рівняння ФК.....                                                                                         | 69  |
| 2.5 Висновки до розділу.....                                                                                   | 70  |
| РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ<br>ПРОПОНОВАНОГО РІШЕННЯ.....                      | 71  |
| 3.1 Збір даних .....                                                                                           | 71  |
| 3.2 Оцінка результатів .....                                                                                   | 75  |
| 3.3 Висновки до розділу.....                                                                                   | 76  |
| 4 РОЗДІЛ 4ПРОЕКТ ЯК СТАРТАП .....                                                                              | 77  |
| 4.1 Опис ідеї проекту .....                                                                                    | 77  |
| 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....                                                                      | 81  |
| 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....                                                  | 82  |
| 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....                                                                | 91  |
| 4.5 Розроблення маркетингової програми .....                                                                   | 94  |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                                 | 98  |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                                         | 99  |
| ДОДАТОК А .....                                                                                                | 103 |
| ДОДАТОК Б.....                                                                                                 | 109 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- GPS – від англ Global Positioning System
- NMEA – від англ National Marine Electronics Association
- C/A-код – від англ Coarse/Acquisition
- GMT – від англ Greenwich Mean Time
- EPE – від англ Estimated position error
- ETA – від англ Estimated time of arrival
- OS — від англ. Operating System
- RF – від англ. Radio frequency
- TTFF – від англ Time To First Fix
- WGS-84 – від англ. World Geodetic System 1984

## ВСТУП

Використання глобальних супутникових навігаційних систем знаходить все більше можливостей у застосуванні для визначення місцезнаходження в системах відслідковування рухомих об'єктів. Стрімкий розвиток та розповсюдження сучасних систем супутникового моніторингу тісно пов'язані з підвищенням достовірності та точності отримуваних навігаційних даних.

Тема застосування глобальних систем супутникової навігації є актуальною та перспективною в області моніторингу місцезнаходження рухомих об'єктів. Навігаційні системи мають досить широкий спектр застосування у будь-якій області корисній для користувача.

Використання засобів обробки навігаційних даних в складних моніторингових системах дозволяє зменшити обсяг інформації, що передається, та підвищити точність позиціонування. Фільтрація даних полягає у позбавленні від надлишкових даних, що не надають корисної інформації про становище рухомого об'єкта, а також у відсіві викидів, що призводять до спотворень даних.

Мета магістерської дисертації – розробка методу обробки навігаційних даних з метою підвищення точності визначення місцезнаходження об'єкта та достовірності отримуваної інформації.

Об'єкт дослідження – навігаційні системи.

Предмет дослідження – засоби обробки навігаційних даних у системах відстеження рухомих об'єктів.

Результати даного дослідження впроваджені на комерційному базисі.

За результатами досліджень опубліковані статті: стаття «Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга» – SIMULATION» – Збірник праць конференції С.237-241; Стаття «Обработка GPS координат з використанням Калманівської фільтрації» – Науковий журнал «Проблеми програмування» – 2018 – №1 – С. 105-111.



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Супутникова навігаційна система – система космічного базування, котра дозволяє визначати поточне місцезнаходження в глобальних масштабах будь-яких рухомих об'єктів та їх швидкість, а також здійснювати точну координацію часу.

Супутникову навігаційну систему можна розглядати як високотехнологічну інформаційну систему комбінованої дії, що складається з п'яти основних сегментів [5] (Рисунок 1.1).

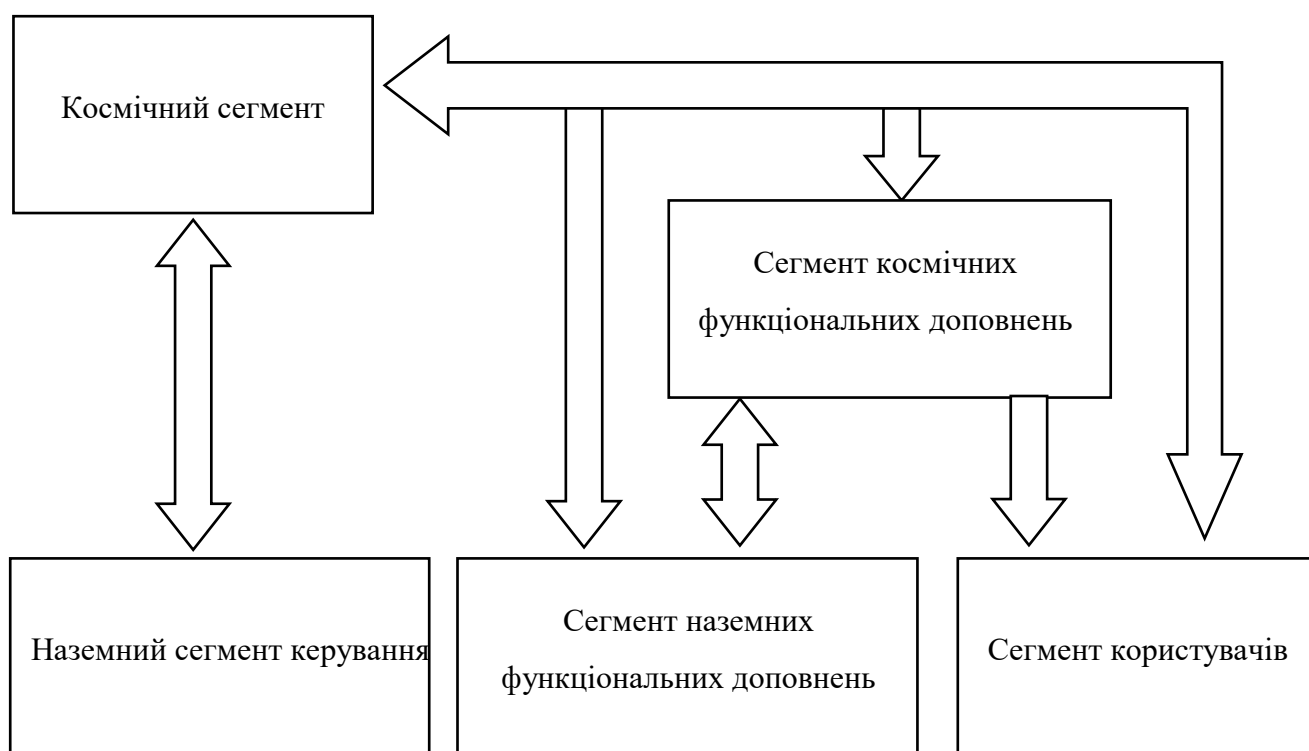


Рисунок 1.1 – Організація супутникової навігаційної системи

Наземний сегмент містить в собі центр управління сегментом космічних апаратів, а також станції, що контролюють навігаційні супутники.

На керуючий сегмент покладені завдання прогнозування, визначення та уточнення параметрів руху навігаційних супутників.

Космічний сегмент є системою навігаційних супутникових апаратів, які обертаються по еліптичних орбітах навколо Землі.

Призначений для користувача сегмент – сегмент клієнтів. Включає в себе всі пристрої, які мають можливість отримання даних з супутника для визначення власного місцезнаходження.

Основною функцією сегментів наземних і космічних функціональних доповнень є забезпечення точності навігаційних визначень, цілісності, безперервності, доступності та експлуатаційної готовності системи в цілому. У свою чергу сегменти можуть виступати окремими ізольованими апаратно-програмними комплексами. [4]

### 1.1 Global Positioning System

GPS – глобальна супутникова система навігації, яка забезпечує вимірювання відстані, часу і визначає місцезнаходження у всесвітній системі координат WGS 84. Система дозволяє визначати місцезнаходження та швидкість відслідковуваних об'єктів у будь-якому місці Землі (лише за виключенням приполярних областей), та майже при будь-якій погоді, а також у навколоземному космічному просторі. Навігаційна система розроблена і реалізована для використання Міністерством оборони США, при цьому в даний час вона доступна для використання цивільними особами – необхідний лише навігатор або інший апарат (смартфон, мобільний термінал) з GPS-приймачем для визначення власного місцезнаходження. [5,6]

Незважаючи на загальну першочергову воєнізовану мету створення проекту, з часом навігаційна система набула розповсюдженого повсякденного використання, GPS-приймачі з'явилися в мобільних пристроях, літаках, кораблях, ракетах та інших спеціалізованих пристроях. Окрім реалізації апаратної складової, споживачам були представлені різноманітні програмні застосунки, завдяки яким можна швидко визначити місцезнаходження об'єкта при оновленні даних у реальному часі.

Останнім часом все більша кількість країн світу проявляють свій власний інтерес до створення навігаційних систем глобального позиціонування власного виробництва. Прикладами можуть служити ГЛОНАСС у Російській Федерації, Galileo в Європі, BeiDou в Китаї, IRNSS у Індії. Причиною для таких стрімких та істотних змін слугує прагнення, котрі викликані бажанням отримати повну незалежність від Американської системи супутникової навігації (GPS/NAVSTAR), так як існує можливість дистанційного відключення всієї системи з ініціативи власника, що може привести до серйозних збоїв у функціонуванні важливих систем усередині кожної з держав. У подібних відповідальних стратегічних системах для підвищення надійності і точності, зазвичай, прийнято використовувати спарені системи, що складаються з 2-х і більше супутникових навігаційних систем.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця існуючих світових навігаційних систем космічного базування

| Система                  | GPS                      | GLONASS                  | BeiDou                   | Galileo                  | IRNSS (NAVIC)            |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Власник                  | США                      | РФ                       | КНР                      | ЕС                       | ИНДИЯ                    |
| Спосіб доступу до каналу | CDMA                     | FDMA                     | CDMA                     | CDMA                     | CDMA                     |
| Висота орбіти            | 20,180 km<br>(12,540 mi) | 19,130 km<br>(11,890 mi) | 21,150 km<br>(13,140 mi) | 23,222 km<br>(14,429 mi) | 36,000 km<br>(22,000 mi) |
| Період обертання         | 11:58:00                 | 11:16:00                 | 12:38:05                 | 14:05:00                 | 23:42:04                 |
| Обертань за 24 год       | 2                        | 17/8                     | 17/9                     | 17/10                    |                          |
| Кількість супутників     | 32                       | 28                       | 35                       | 8 + (4)                  | 7                        |

## Продовження таблиці 1.1

|         |                                                   |                                                |                                                                                 |                                                                                      |                                                                  |
|---------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Частота | 1.57542 GHz (L1 signal)<br>1.2276 GHz (L2 signal) | Around 1.602 GHz (SP)<br>Around 1.246 GHz (SP) | 1.561098 GHz (B1)<br>1.589742 GHz (B1-2)<br>.20714 GHz (B2)<br>1.26852 GHz (B3) | 1.164–1.215 GHz (E5a and E5b)<br>1.260–1.300 GHz (E6)<br>1.559–1.592 GHz (E2-L1-E11) | S-band (2–4 GHz)                                                 |
| Статус  | Експлуатується                                    | Експлуатується                                 | 22 супутника експлуатуються<br>40 готуються до запуску в 2018-2020              | 8 супутників експлуатуються<br>22 готуються до запуску в 2018-2020                   | Експлуатується, планується збільшення кількості супутників до 11 |

## 1.2 Історія створення супутникової системи навігації GPS

Ідея реалізації навігаційної супутникової системи виникла у 50-х роках минулого століття. Американські вчені під час спостереження за сигналом отриманого від супутника виявили, досить специфічне явище. Полягало воно у тому, що при наближенні космічного апарату до Землі збільшується частота сигналу, і навпаки при віддаленні – зменшується, що відбувається завдяки ефекту Доплера. Сенс відкриття полягав в тому, що, знаючи координати розташування об'єкта на планеті, є можливість визначення положення і швидкості навігаційного супутника. А якщо відомо координати навігаційного супутника, тоді є безперечний факт визначення власних координат і швидкості пересування. Після цього відкриття вченими розпочалася робота над імплементацією першого прототипу [7].

Можливість реалізації з'явилася тільки у 1973 році, коли була розроблена програма DNSS. Пізніше назва була змінена на Navstar-GPS, і тільки потім система супутникової навігації отримала звичну для нас назву – GPS.

Перший супутник був виведений на орбіту влітку 1974 року. І тільки до 1993 року запустили останній 24-й супутник, який закривав повноцінне покриття земної поверхні. Саме тоді глобальну систему супутникової навігації повноцінно взяли на озброєння. У військових з'явилася можливість використовувати дану навігаційну систему для наведення ракет на нерухомі наземні об'єкти. Після вдосконалення даної системи, з'явилася можливість наведення і на рухомі об'єкти.

Під час створення, глобальна система позиціонування розроблялася для застосування тільки у військових цілях. Але після інциденту, що стався 1983 року, коли літак Корейських авіаліній, на борту якого перебували 293 пасажери, під час вторгнення в радянський повітряний простір був збитий, президент США Рональд Рейган дав змогу частково застосовувати системи навігації для цивільних цілей. Але при цьому американські вчені навмисно зменшили точність визначення місцезнаходження, щоб не допустити використання даної системи супутникової навігації у військових цілях іншими користувачами.

У 2000 році указом президента США було скасовано навмисне загроблення точності супутникової навігаційної системи після появи інформації про розшифровку алгоритму, за допомогою якого вчені навмисно зменшували точність на частоті L1.

Космічні апарати рухаються по шести кругових траєкторіях орбіти Землі, висота яких досягає  $\sim 20180$  км. Випромінювання сигналів відбувається в таких діапазонах:  $L2 = 1227,60$  МГц, а  $L1 = 1575,42$  МГц, а група  $IF$  може випромінювати на  $L5 = 1176,45$  МГц. Прийом навігаційних даних здійснюється тільки при безпосередній наявності супутника «в небі» і обробляються вони на стороні клієнта за допомогою приймача GPS.

Військові структури мають доступ до додаткових частот, чинним в діапазонах каналів L1/L2.

На орбіті постійно обертається угруповання із 30 супутників, завдяки котрому забезпечується стовідсоткова працездатність всієї системи, незалежно від місцезнаходження рухомого об'єкта-приймача на земній кулі. Але при взаємодії усіх компонентів системи, вони не завжди здатні забезпечувати прийнятний розрахунок місцезнаходження і впевнений прийом сигналу. Для того щоб уникнути перебоїв у навігаційній системі, необхідно виводити на ремонт діючі сателіти, а також для збільшення точності позиціонування в цілому, на орбіті обертаються кілька запасних супутників.

Після запуску супутників блоку ІІF, була введена частота L5 (1176.45 МГц). L5 отримала розповсюджену назва Safety Of Life («безпека життя людини»). Сигнал L5 на 3 дБ потужніше за цивільний, а смуга його пропускання у 10 разів ширша. Використовується даний тип сигналу тільки під час критичних ситуацій, в яких є безпосередній зв'язок із загрозою для життя людини.

### 1.3 Принцип роботи супутникової навігаційної системи

Загальний принцип роботи супутникової системи навігації GPS ґрунтується на використанні космічного угруповання з 30 космічних апаратів, яка крім 27 діючих складається ще, на випадок виходу з ладу одного з основних, та із 3 запасних сателітів. Розмір робочої орбіти навігаційних супутників дорівнює близько 19 000 км. За 1 добу кожен космічний апарат робить два повних оберти навколо Землі. Налаштоване угруповання супутників таким чином, щоб забезпечувати неперервний прийом сигналу у будь-якій точці земної поверхні, як мінімум, чотирьома сателітами. Тобто, саме мінімальною кількістю, котре необхідне для визначення точного місцезнаходження рухомого об'єкта. GPS-приймач розраховує своє місцезнаходження по відношенню лише до видимих супутників. Чим більша кількість видимих у небі супутників і чим сильніше буде рівень сигналу, що надходить від них – тим точніше будуть результати визначення координат клієнта. При звичайному використанні користувач отримує дані з 6–12 супутників. [9]

Визначення відстані до кожного супутника визначається по затримці передачі сигналу. Далі, отримавши просторові координати 3 точок і 3 відстаней до шуканої точки, знаходить місцезнаходження приймача на площині. Оскільки система супутникової навігації працює у просторі, а не на площині, то необхідна наявність четвертого супутника, котрий дозволяє однозначно визначити координати точки в тривимірному просторі. У порівнянні з рішенням теоретичного геометричного завдання, практичне визначення відрізняється ще й тим, що існують похибки визначення відстані до супутників, котрі призводять до того, що результатом визначення виявиться не певна точка, а область деякого радіуса, в якій знаходиться пристрій. Проте, збільшення кількості видимих супутників призведе до зменшення цього радіусу, а точність визначення місцезнаходження зростає. На практиці, глобальна супутникова система навігації в цивільному виконанні забезпечує точність з радіусом близько 30 метрів. [10]

Основним принципом використання системи є визначення місцезнаходження шляхом вимірювання моментів часу прийому синхронізованого сигналу від навігаційних супутників антеною споживача. Для визначення тривимірних координат GPS-приймача потрібно мати чотири рівняння: «відстань дорівнює добутку швидкості світла на різницю моментів прийому сигналу споживачем і моменту його синхронного випромінювання від супутників»:

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau) \quad (1),$$

де  $a_j$  – місцезнаходження  $j$ -го супутника,  $t_j$  – момент часу прийому сигналу від  $j$ -го супутника по годиннику споживача,  $\tau$  – невідомий момент часу синхронного випромінювання сигналу усіма супутниками по годинах споживача,  $c$  – швидкість світла,  $x$  – невідоме тривимірне положення споживача.

Для точного визначення місцезнаходження необхідно отримати дані з чотирьох супутників. Припустимо, що нам відома величина відстані від одного супутника до приймача. Візуалізуючи коло навколо супутника, видно положення приймача на поверхні сфери (Малюнок 1.2 А) [4].

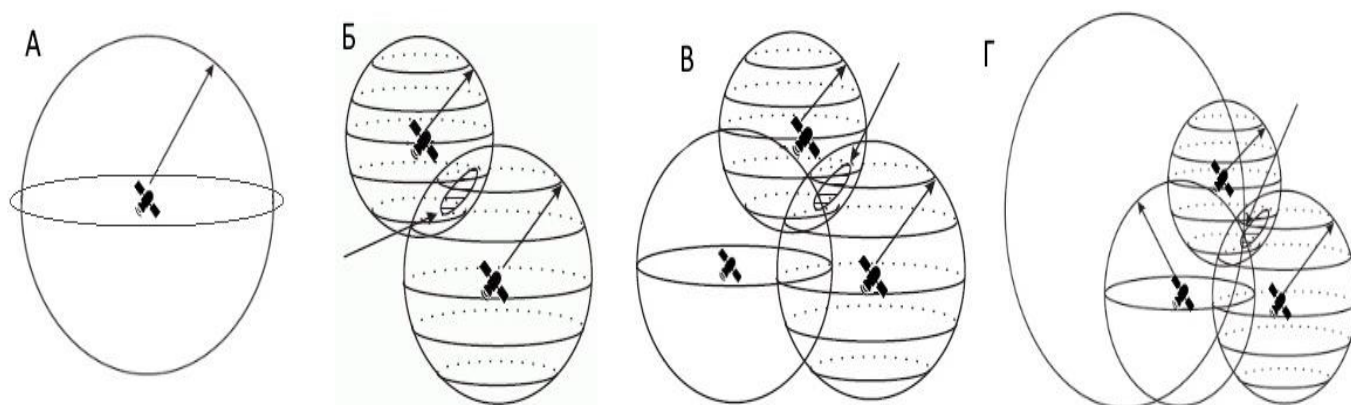


Рисунок 1.2 Візуалізація накладання даних з сателітів

Накладаючи дані, котрі отримуються зі ще одного супутника, утворюється геозона на перетині двох сфер, в якій знаходиться приймач (Малюнок 1.2 Б).

Таким чином, звужується сектор пошуку до перетину двох кіл. Наступною ітерацією накладається інформація з третього космічного апарату. Третій вимір дає дві точки, в одній з яких знаходиться приймач (Малюнок 1.2 В).

Заключним етапом є накладення четвертого виміру поверх інших. На малюнку 1.2 Г відображена точка координат, отримана при перетині чотирьох сфер.

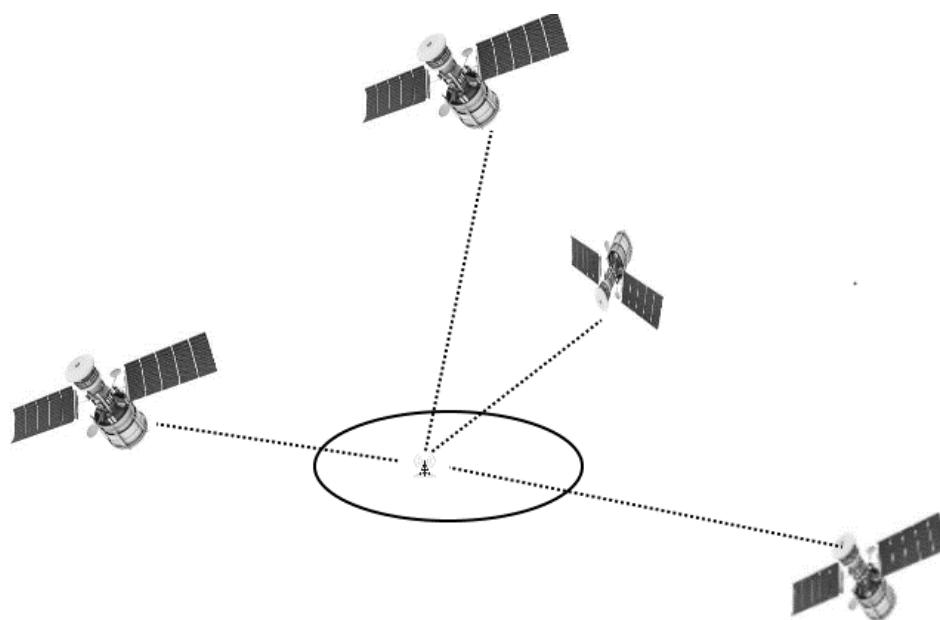


Рисунок 1.3 – Візуалізація вдалого розташування супутників

На рисунку 1.3 зображено «вдале» розташування сателітів, котре дозволить стовідсотково визначити місцезнаходження об'єкта.

Для тестування і знаходження мінімальної кількості супутників для точного визначення місцезнаходження (3D FIX) було використано додаток «GPS Test».

У практичній реалізації Android програми «GPS Test» (Chartcross Limited) (Малюнок 1.3) візуалізовані дані про кількість видимих і використовуваних супутників і їх положення в небі, рівні сигналу – відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму і поточні координати приймача. У реальних умовах для зменшення коефіцієнта геометричного зниження точності необхідно, як мінімум, 6 супутників. [11]



Рисунок 1.4 Візуалізація даних, одержуваних приймачем

## 1.4 Недоліки GPS

Самим явним недоліком використання будь-якої інерціальної системи навігації є те, що до приймача може не доходити сигнал, котрий він отримує від супутника або ж отримуватися в спотвореному вигляді. Все це відбувається за певних умов. Так, у будівлі, що знаходиться в залізобетонному каркасі, тунелі або підвалі, безпосередня можливість визначення точного місцезнаходження прагне до 0. [12]

Велика хмарність в небі і щільне листя дерев також погіршують прийом сигналу з супутників. Сигнали GPS можуть також спотворити перешкоди, що виникають в результаті магнітних бурь, або перешкоди від наземних джерел радіосигналу. У приполярних районах Землі точність погіршує невисокий нахил орбіт, по яких рухаються супутники. Також особливість GPS в тому, що ця система знаходиться в повній залежності від умов надання сигналу Міністерством оборони Сполучених Штатів. Навіть не враховуючи той факт, що навмисне погіршення сигналу в даний момент часу відсутнє.

Зараз вдалося реалізувати повне оновлення GPS-системи, хоча в планах цей проект був досить давно.[7] Застарілі супутники в процесі оновлення планується замінити на нові, розроблені компаніями Boeing і Lockheed Martin. Можливості сучасних навігаційних апаратів значно перевершують старші моделі. Виходячи з наданих технічних даних, супутники дають можливість точного визначення місцезнаходження клієнтів з похибкою лише 0,5 метра.

Міністерство оборони США посилається на те, що повне завершення поновлення даної системи можливо тільки через 10 років. При цьому кількість супутників залишиться сталою – 30, з яких 3 резервних і 27 працюючих.

Природно, не варто забувати про аспекти, які виникають при обчисленні координат: супутникова система може отримувати розташування з похибками і природа цих помилок різна. Основними джерелами помилок, що вносять похибки в обчислення точності навігаційних повідомлень у системі GPS, є[24]:

- іоносферні затримки сигналу – затримки розповсюдження сигналів котрі призводять до помилок порядку 10-20 м вдень і 2-5 м вночі;
- похибка відходу шкали часу супутника – викликана розбіжністю шкал часу різних супутників. Усувається за допомогою наземних станцій стеження;
- тропосферні затримки сигналу – величина похибки безпосередньо залежить від метеорологічних параметрів (тиск, вологість, температура,), а також від висоти супутника над горизонтом. Компенсація тропосферних затримок проводиться шляхом розрахунку математичної моделі цього шару атмосфери. Значення похибок не перевищують 30 м;
- похибка визначення відстані до супутника – помилка не корельована з іншими видами похибок. Її величина не перевищує 10 м;
- ефемеридна похибка – помилки обумовлені розбіжністю між фактичним положенням супутника і його розрахунковим положенням. Значення похибки зазвичай не більше 3 м.;
- помилки обчислення орбіт – з'являються внаслідок неточностей прогнозу і розрахунку ефемерид супутників, виконуваних в апаратурі приймача. Похибка призводить до помилки вимірювання координат близько 1-2 м;
- похибка неточного визначення часу – призводить до виникнення систематичної помилки визначення координат близько 0.6 м. Усувається за допомогою встановлення сервера точного часу на приймачі;
- інструментальна помилка приймача – зумовлена наявністю шумів в електронному тракці приймача. Відношення сигнал/шум приймача визначає точність процедури порівняння, прийнятого від супутника і опорного сигналу, тобто похибка обчислення псевдодальності. Призводить до виникнення координатної помилки порядку 1.2 м;
- багатопроменевий прийом – з'являється в результаті вторинних відображень сигналу супутника від великих перешкод, розташованих в безпосередній близькості від приймача. Виникає явище інтерференції і вимірювана відстань виявляється більше дійсної. Найкращим способом

боротьби вважається раціональне розміщення антени приймача щодо перешкод;

- геометричне розташування супутників – при обчисленні сумарної помилки необхідно врахувати взаємне положення приймача і супутників. Для цього вводиться спеціальний коефіцієнт геометричного зниження точності GDOP (Geometric Dilution Of Precision) [14], на який необхідно помножити всі перераховані вище помилки, щоб отримати результуючу помилку. Вона обернено пропорційна обсягу фігури, яка буде утворена, якщо провести поодинокі вектори від приймача до супутників. Велике значення GDOP свідчить про невдале розташування сателіта і велике значення помилки.

### 1.5 Типи старту GPS-приймача

Всі помилки впливають на швидкість старту приймача. Існує три типи стартів (процес ініціалізації приймача): [16]

- «холодний старт»;
- «теплий старт»;
- «гарячий старт».

Під час «холодного» старту приймач отримує альманах, який містить у собі параметри орбіт супутників. Кожен супутник передає альманах для всіх супутників. Дані альманаху є приблизними і дійсні впродовж декількох місяців. Приймач, який запускається через місяць після простою, виконає тільки холодний старт. Цю процедуру можна також запустити, якщо вимкнений GPS-приймач був переміщений на значну відстань – наприклад, при перельоті на інший континент. В даний час тривалість холодного старту на GPS-приймачах становить близько 3-5 хвилин і залежить від умов прийому інформаційних повідомлень з сателітів. Особливістю холодного старту є вимога до відсутності руху GPS-приймача під час процедури запуску, інакше час завантаження збільшиться.

«Теплий» старт відбувається, за умови, що альманах не застарів, але

застаріли ефемериди (більш точні дані про стан супутника, що передаються кожним апаратом тільки для самого себе). В ході даної процедури відбувається процес оновлення тільки ефемерид. Період оновлення ефемерид – від 30 хв до 6 год (час залежить від супутника). Тривалість «теплого старту» – близько 1 хв. Проблеми з теплим стартом можуть виникнути якщо рухом GPS-приймача поєднується з поганими умовами прийому, викликані рельєфом місцевості або погодними умовами.

«Гарячий старт» буде проводитися після короткочасного відключення GPS-приймача. Дані альманаху і ефемерид не є застарілими, тому приймач відразу може використовувати сигнал всіх раніше знайдених супутників.

Ефемериди супутника – прогнозовані координати і параметри руху супутника на фіксований момент часу.

Альманах – набір наближених супутникових даних, який використовується для обчислення приблизного місцезнаходження супутника, часу появи його над горизонтом, піднесення і азимута. Альманах використовується приймачем для захоплення супутників, а також в процесі планування сеансів спостережень. Альманах містить наступні основні дані: дані про стан всіх супутників системи (альманах стану), зрушення шкали часу кожного супутника щодо шкали часу системи (альманах фаз), наближені параметри орбіт всіх супутників системи (альманах орбіт) і інші.

На малюнку 1.5 візуалізовані заміри часу, який витрачається на ініціалізацію приймача, проведені за допомогою вбудованого GPS-модуля BCM47521.

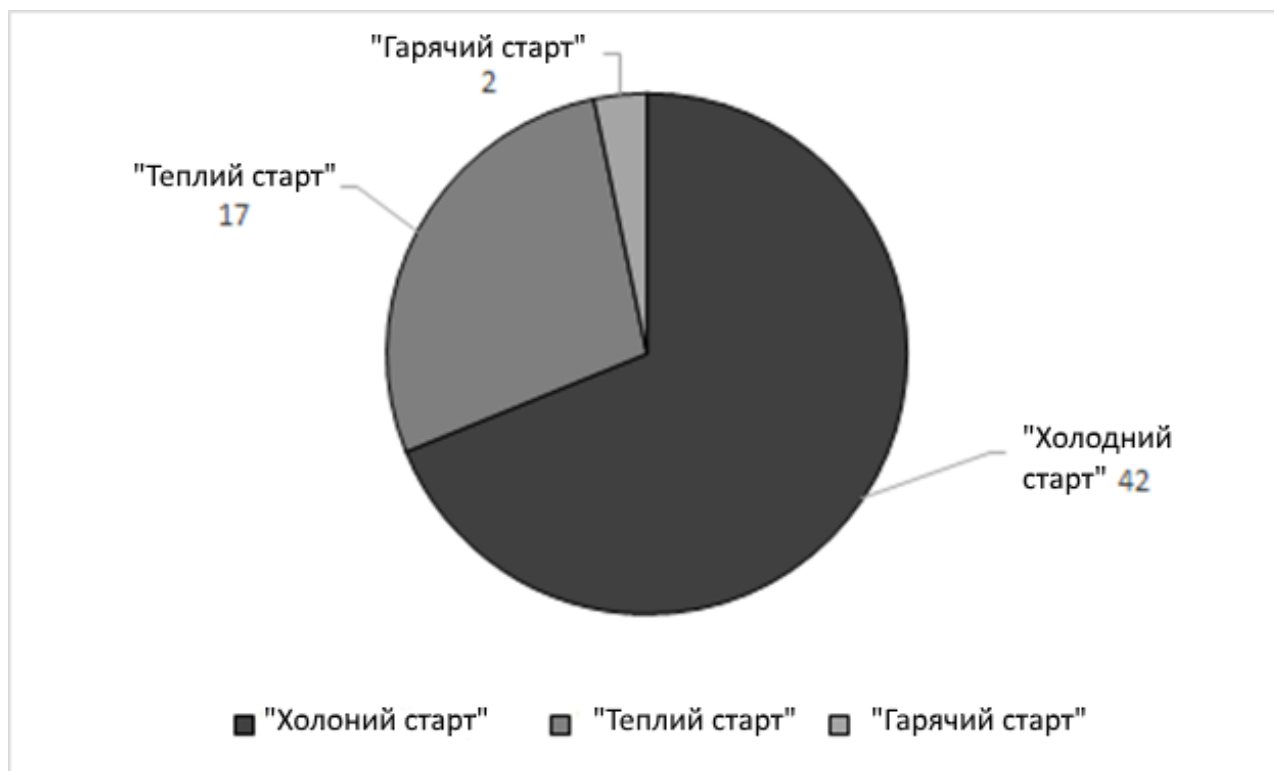


Рисунок 1.5 Час, витрачений для отримання 3D Fix

### 1.6 Прискорення запуску приймача

На мобільних пристроях на платформі ОС Android існує можливість зменшити час, що витрачається на старт приймача шляхом внесення змін до файлу конфігурації «gps.conf» GPS модуля та підбору оптимальних параметрів.

Зменшення часу відбувається за рахунок використання технології A-GPS, яка прискорює «холодний» старт GPS-приймача, для цього використовуються базові станції і сервер підтримки (SUPL-сервер), вибору регіонального пулу, та використання NTP-протоколу для синхронізації точного часу.

Файл «gps.conf» знаходиться в директорії «.../system/etc». Варто зазначити, що для даної операції на смартфоні повинен бути розблокований доступ до кореневого розділу шляхом отримання прав суперкористувача. Використання наступної конфігурації направлене для жителів України.

```

1 NTP_SERVER=ua.pool.ntp.org
2 NTP_SERVER=0.ua.pool.ntp.org
3 NTP_SERVER=1.ua.pool.ntp.org
4 NTP_SERVER=2.ua.pool.ntp.org
5 NTP_SERVER=3.ua.pool.ntp.org
6 NTP_SERVER=europe.pool.ntp.org
7 NTP_SERVER=0.europe.pool.ntp.org
8 NTP_SERVER=1.europe.pool.ntp.org
9 NTP_SERVER=2.europe.pool.ntp.org
10 NTP_SERVER=3.europe.pool.ntp.org
11 XTRA_SERVER_1=/data/xtra.bin
12 AGPS=/data/xtra.bin
13 AGPS=http://xtra1.gpsoneextra.net/xtra.bin
14 XTRA_SERVER_1=http://xtra1.gpsoneextra.net/xtra.bin
15 XTRA_SERVER_2=http://xtra2.gpsoneextra.net/xtra.bin
16 XTRA_SERVER_3=http://xtra3.gpsoneextra.net/xtra.bin
17 DEFAULT_AGPS_ENABLE=TRUE
18 DEFAULT_USER_PLANE=TRUE
19 REPORT_POSITION_USE_SUPL_REFLOC=1
20 QOS_ACCURACY=50
21 QOS_TIME_OUT_STANDALONE=60
22 QOS_TIME_OUT_agps=89
23 QosHorizontalThreshold=1000
24 QosVerticalThreshold=500
25 AssistMethodType=1
26 AgpsUse=1
27 AgpsMtConf=0
28 AgpsMtResponseType=1
29 AgpsServerType=1
30 AgpsServerIp=3232235555
31 INTERMEDIATE_POS=1
32 C2K_HOST=c2k.pde.com
33 C2K_PORT=1234
34 SUPL_HOST=FQDN
35 SUPL_HOST=lbs.geo.t-mobile.com
36 SUPL_HOST=supl.google.com
37 SUPL_PORT=7276
38 SUPL_SECURE_PORT=7275
39 SUPL_NO_SECURE_PORT=3425
40 SUPL_TLS_HOST=FQDN
41 SUPL_TLS_CERT=/etc/SuplRootCert
42 ACCURACY_THRES=5000
43 CURRENT_CARRIER=common

```

Рисунок 1.6 Вміст файлу конфігурації «gps.conf»

## 1.7 Наземні станції контролю

З метою постійної підтримки цілого космічного сегмента, а також для інформаційного оновлення, що передається споживачам, котре потребує періодичних коригування, в сучасних глобальних супутникових системах

позиціонування передбачається спеціальний, постійно діючий сектор, який отримав назву наземного комплексу управління. [17]



Рисунок 1.7 Розташування наземних компонентів геонавігаційної системи GPS

Функції, які покладено на станції контролю:

- стеження за орбітами супутників,
- контроль безперервної передачі інформації до клієнта;
- аналіз отриманої інформації для коригування і подальшої обробки операційних даних;
- передбачення ефемерид сателітів, що спостерігаються та передача точного часу;
- виявлення неполадок в роботі супутників і вжиття заходів щодо їх усунення;
- коригування орбіт супутників здійснюється не лише за рахунок введення відповідних поправок, але і шляхом дистанційного керування реактивними двигунами, які знаходяться на борту космічних апаратів,

- оновлення супутникових навігаційних повідомлень,
- формування оновлених навігаційних повідомлень для подальшої передачі їх іншим супутникам за допомогою радіоканалу;
- відстеження та підтримка робочого стану супутників;
- формування системного часу GPS time,
- здійснення невеликих маневрів супутників для підтримки орбіт.

Також, з вищезазначених функціональних аспектів, даним сектором контролюються і постійно коригуються поправки, які великою мірою залежать від атмосферних впливів. Реалізація перерахованого функціоналу даного сектора базується на чіткій взаємодії компонентів, що входять в цей сектор станцій спостереження, провідної станції і завантажуючої станції. Робочий сектор управління і контролю GPS-системи складається з однієї головної станції управління, п'ятих станцій спостереження і трьох станцій завантаження. П'ять станцій спостереження, які досить часто називають станціями моніторингу, здійснюють цілодобові відстеження супутників. Вони рознесені по всій земній кулі досить рівномірно. Відстеження сигналів супутника здійснюється за допомогою дводіапазонних спеціалізованих приймачів, котрі обладнані атомними годинниками. Режим роботи станцій стеження – повністю автоматичний, а керування ними можливе лише з головної станції.

За допомогою отриманих даних від станцій, виконують вимірювання відстаней до сателітів, які знаходяться у полі зору та отримують навігаційні повідомлення на частотах L1 і L2, в результаті чого мають можливість визначити поточні поправки, що зумовлені впливом іоносфери. Крім того, завдяки цьому реєструється точність ходу супутникових годинників. Також, у місцях базування станції проводиться збір та передача метеорологічних параметрів, котрі характеризують певну місцевість. До таких даних належать температура, тиск і вологість повітря, так що тропосферні затримки переданих із супутників сигналів можуть бути визначені і відкориговані заздалегідь.

Розрахунок відстані до супутника реалізований на основі використання кодових сигналів. При цьому псевдодальності на станціях спостереження

вимірюються з точністю близько 2,5 м кожні 1.5 с. На основі таких точних вимірювань уточнюються поточні значення ефемерид супутників і здійснюють їх передбачення на найближче майбутнє.

У процесі спостережень за супутниками за допомогою станцій спостереження, реєструються радіосигнали від всіх, хто знаходиться в полі зору супутників, кут піднесення яких над горизонтом перевищує  $5^\circ$ . Однак в обробку приймаються тільки ті вимірювання, які відповідають кутам піднесення більше  $15^\circ$ , так як при малих значеннях цих кутів суттєво зростають тропосферні затримки, що може привести до небажаного зниження точності визначення місцезнаходження.

Ведуча станція управління і є тим самим робочим центром всієї супутникової навігаційної системи GPS. Операції управління закріплені за даною станцією. Вона неперервно збирає інформацію від усіх вищеперерахованих станцій спостереження.

Згадана інформація використовується для обчислення майбутніх орбіт як функцій часу, а також для визначення поправок до показань атомних годинників супутників. Поряд із цим здійснюється формування навігаційного повідомлення з параметрами орбіти для кожного супутника індивідуально і з поправками до показань його годинника, а також з даними альманаху, який включає в себе коротку інформацію про всі супутники. Три рази за 24 години навігаційне повідомлення передається на супутники за допомогою завантажуючих станцій.

Провідна станція безперервно оперує з великою кількістю параметрів всієї системи, найважливішими з яких є поточні координати всіх супутників та сигнали точного часу, котрі включаються до складу провідної станції, високоточні годинники виконують роль опорних годинників для всієї системи супутникової навігації GPS. Дані годинники встановлюють часовий масштаб системи супутникової навігації і безпосередньо пов'язані з національним часовим стандартом США.

Всі інші годинники оцінюються за допомогою порівняння з опорними годинниками, в результаті чого здійснюється синхронізація всіх годинників в

системі GPS. Через станції завантаження ведуча станція може коригувати орбіти супутників, як за рахунок внесення відповідних поправок, так і за допомогою управління реактивним двигуном, котрий знаходиться на борту сателіта. Крім того, поточна станція має можливість керування режимом роботи активних резервних супутників, переводячи їх у необхідних випадках в робочий режим.

Антени, що входять до складу коригувальних пристроїв, являють собою великі параболічні дзеркальні тарілки діаметром близько 10 м. Вони використовуються для передачі навігаційних повідомлень, а також команд управління на супутники. Передача здійснюється на частоті 1783,74 МГц. Для прийому цих сигналів на супутнику в складі супутникового апаратного комплексу передбачено відповідний приймальний пристрій, інформація з виходу якого надходить в модуль пам'яті. Для забезпечення безперервності роботи всього сектору, всі основні складові частини системи продубльовано.

Прийнята інформація від розташованих у космічному просторі супутників п'ятьома станціями спостереження доповнюється місцевою інформацією, а потім передається в режимі «онлайн» по спеціально передбаченому для цих цілей каналу зв'язку на провідну станцію, яка у свою чергу є досить потужним обчислювальним центром.

Отримана після відповідної обробки інформація у вигляді оновленого навігаційного повідомлення та інших службових команд надходить по каналу зв'язку на завантажуючі станції, які передають згадану раніше інформацію конкретно на той супутник, для якого призначена ця інформація. Поряд з описаною вище постійною циркуляцією потоку інформації, що дозволяє оновлювати зміст надходжуваних споживачеві відомостей, на головну (провідну) станцію формується банк даних, що містить обчислювані значення ефемерид, точність яких істотно вище точності передбачаних ефемерид, які надсилаються до споживача з супутника в складі навігаційного повідомлення. За запитом такі уточнені значення ефемерид поставляються споживачам, зацікавленим в отриманні результатів супутникових геодезичних вимірювань підвищеної точності.

Крім офіційної мережі спостереження існують і інші мережі, що визначають ефемериди супутників за фактом в момент спостереження і які не беруть участі в управлінні системою. Найбільшою з таких мереж є Об'єднана міжнародна мережа GPS (CIGNET), контрольована Національної геодезичної службою США (NGS). До початку 1991 року існувало 20 станцій цієї мережі. CIGNET щодня передають дані спостереження в головний обчислювальний центр NGS. Дані від інших станцій приймаються з затримкою від 2 до 7 діб. Всі дані, що надійшли від станцій спостереження, оброблюються і протягом доби надходять до використання по модемному зв'язку. Іншою великою мережею стеження є мережа Міжнародної служби GPS для геодинаміки (IGS).

Серцем Контрольного сегмента є Головна станція управління, що знаходиться на військово-повітряній базі Шрівер. Головна станція управляє системою і забезпечує командні і контрольні функції.

Навігаційне повідомлення, котре транслюється супутниками завантажуються один раз на добу. Можливість вимірювання дальності між супутниками Блоків IIR і IIF дозволить супутникам автоматично оновлювати їх навігаційні повідомлення і працювати тривалий час без контакту з Контрольним сегментом (супутники Блоку IIA можуть працювати без контакту з Контрольним сегментом до 180 діб, уточнюючи свої орбіти на основі вимірів супутник-супутник) . Коли діє функція Autonav, Контрольний сегмент продовжує відстежувати сигнали, виявляючи неприпустимі умови для параметрів навігаційного повідомлення і складаючи розклад для нових завантажень, якщо вони будуть потрібні.

Важливою функцією Контрольного сегмента є підтримка системи відліку WGS-84. Ця система відліку доступна користувачам GPS через супутникові ефемериди, обчислені за даними, зібраними на станціях моніторингу. Якщо будь-яка організація забажає обчислити свої супутникові орбіти (наприклад, з пост-обробкою даних спостережень GPS, зібраних зі своєю власною наземною мережею приймачів), то отримана система відліку буде визначатися системою

координат (або фіксуватися) станцій спостереження в цій системі. Система WGS-84 може і не використовуватись.

## 1.8 A-GPS

A-GPS (Assisted GPS) система застосовується для прискорення старту GPS приймача в пристрої або безпосередньо визначення координат мобільного пристрою без отримання даних безпосередньо від супутників. Інформація про поточний стан навігаційних супутників в даному випадку надходить від мережі оператора стільникового зв'язку. З метою використання даної системи у мобільному терміналі, смартфоні або комунікаторі має бути наявним постійне інтернет з'єднання. [18]

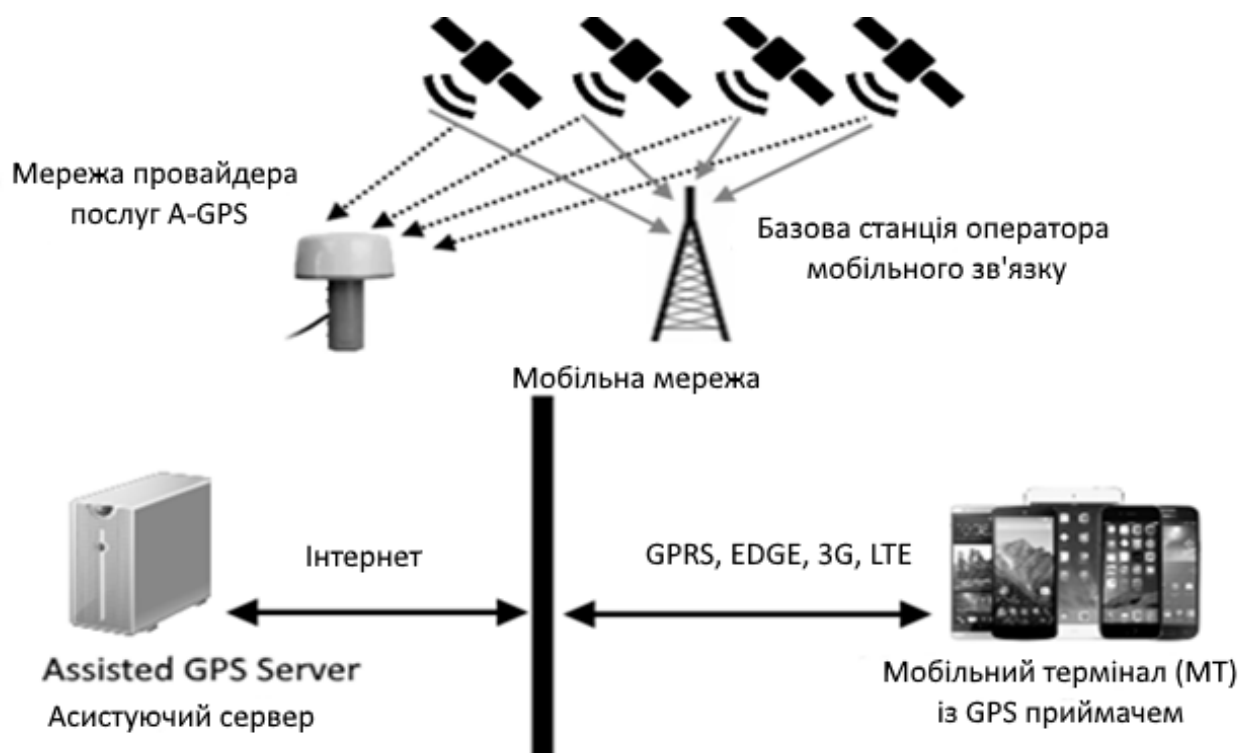


Рисунок 1.8 Структурна схема A-GPS

Тяжінням для розробки і впровадження технології A-GPS став великий час затримки, котрий виникає при першому пошуку власного місцезнаходження навігаційним пристроєм супутникового сигналу і даних з координатами від

супутників. Затримка може складати від десятка секунд і до кількох хвилин в місцевості з великою кількістю висотних споруд. Використання A-GPS в мобільних пристроях не вимагає значних витрат часу на проектування пристроїв, у порівнянні з часом, витраченим на розробку чіпів та антен GPS.

Необхідно відзначити, що для роботи приймача A-GPS в мережі мобільного оператора, потрібна навігаційна інфраструктура, яка розгорнута на його базових станціях, що дозволяє ретранслювати сигнали GPS від віддаленого сервера до приймача клієнта. Оператори мобільного зв'язку можуть надавати дану послугу за додаткову плату в зв'язку з власними витратами на розгортання навігаційного обладнання в своїй інфраструктурі.

### 1.9 Функції A-GPS

Для використання A-GPS потрібен канал зв'язку з віддаленим сервером, який і представляє нам інформацію для приймача. Зазвичай для мобільних пристроїв таким каналом є стільниковий зв'язок. Відповідно, що для здійснення обміну інформацією пристрій має бути розташованим у зоні покриття базової станції оператора мобільного зв'язку і мати стабільне підключення до мережі Інтернет.

A-GPS має 2 режими роботи [19]:

- базовий режим «Online», при якому приймач отримує інформацію про орбіти супутників через інфраструктуру мобільного оператора і обчислює розташування за отриманими від користувачів даними. Даний режим вимагає від оператора стільникового зв'язку високої щільності покриття зони пересування базовими станціями.
- режим Offline є допоміжним і служить тільки для прискорення часу холодного та гарячого старту приймача GPS, який в свою чергу оновлює альманахи, ефемериди і перелік всіх доступних супутників. Прийом сигналів з супутників і визначення власного місцезнаходження GPS-

приймач виконує самостійно. Варто зазначити, що не всі A-GPS приймачі можуть працювати, використовуючи даний режим роботи.

### 1.10 Переваги A-GPS

Серед переваг A-GPS варто відзначити:

- майже моментальне визначення місцезнаходження після включення приймача;
- підвищена чутливість прийому слабких сигналів в проблемних зонах (западинах, низинах, у будівлях та приміщеннях, на вузьких міських вулицях, тунелях, у густому листяному лісі).

### 1.11 Недоліки A-GPS

Функціональне доповнення A-GPS не має можливості працювати без мережі стільникового оператора. Також на ринку існують приймачі GPS з модулем A-GPS, об'єднаним спільно з радіомодулем GSM, у яких немає можливості стартувати при відключеному радіомодулі. Наявність мережі GSM для старту самого модуля A-GPS не є обов'язковим критерієм. A-GPS при запуску споживає невеликий трафік <10 кБ, але при втраті сигналу необхідно провести повторну синхронізацію, що може збільшити витрати користувача на мобільний зв'язок, що не є надто вагомим у сьогодення.

### 1.12 Область застосування супутникових систем навігації

Незважаючи на те, що спочатку проект GPS був розроблений лише для військових цілей, сьогодні GPS навігація повсюдно використовується в цивільних цілях. GPS-приймачі продають в багатьох магазинах, що торгують електронікою, їх вбудовують в мобільні телефони, смартфони, наручний електронний годинник, КПК, планшети і онбордери. Споживачам також

пропонуються різні пристрої і програмні продукти, геоінформаційні сервіси, що дозволяють візуалізувати власне місцезнаходження на електронній мапі; мають можливість прокладати маршрути з урахуванням дорожніх знаків, дозволених поворотів з метою зменшення ймовірності порушення правил ПДД, поточного стану дорожнього трафіку; шукати на карті конкретні будинки та вулиці, пам'ятки, кафе, лікарні, автозаправки та інші об'єкти інфраструктури. [12]

Навігація GPS в наш час знайшла найширше застосування. Зокрема, в навігаторах, де вона об'єднана і прив'язана до електронних карт. Така технологія дозволяє не тільки визначати координати місцезнаходження абонента, але і планувати маршрут пересування відповідно до способу переміщення та іншими вхідними вимогами. Зараз більшість моделей мобільних телефонів оснащуються GPS-навігаторами.

### 1.13 Основні галузі використання

Основними галузями застосування є [22]:

- картографія: GPS використовується в цивільних і військових картографічних сервісах.
- геодезія: за допомогою GPS визначаються точні координати точок і межі земельних ділянок.
- навігація: із застосуванням супутникової системи навігації GPS здійснюється як в морі, так і на дорогах.
- супутниковий моніторинг транспорту: за допомогою GPS ведеться моніторинг за швидкістю автомобілів, їх рухом і місцем розташування.
- тектоніка, тектоніка плит: за допомогою навігаційних систем ведуться спостереження рухів і коливань плит.
- стільниковий зв'язок: у деяких країнах, наприклад, США, використовується для оперативного визначення місцезнаходження людини, котра звернулася за допомогою до екстреної служби.

- геотегінг: лінування інформації, наприклад, координати «прив'язуються» до фотографії завдяки вбудованим або зовнішнім GPS-приймачам.
- Ігрова сфера: наявність на ринку величезної кількості геолокаційних ігор.

#### 1.14 Конструкція навігаційного приймача

Типову конструкцію GPS приймача зображено на малюнку [20]. Сигнал, що передається від супутника отримується антеною приймача, посилюючись через радіочастотний ланцюг, а частота перетворюється в бажану вихідну. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) використовується для оцифрування вихідного сигналу із аналогового в цифровий. Антена, ланцюг РЧ і АЦП – це апаратне забезпечення, яке використовується в приймачі. Після оцифровки сигналу він обробляється програмним забезпеченням. Отримання- означає пошук сигналу певного супутника. Кожен супутник має свій код C/A (clear access), варіацію доплеровської частоти та відповідно зміну несучої частоти у відповідності з її рухом відносно користувача. Таким чином, отримання схоже на двомірне сканування в розмірах фази коду і несучої частоти для оцінки прийнятого коду і несучої частоти з певною точністю. Порівняти це можливо з пошуком загубленої людини в океані, з використанням двомірного сканування до моменту визначення.

Програма відстеження використовується для пошуку і постійного прямування фазовому переходу сигналу, виявленого при отриманні. У звичайному приймачі прийом і відстеження виконуються на апаратному рівні. З фазового переходу навігаційних даних можна отримати навігаційні дані, які можуть також допомогти знайти місцезнаходження рухомого об'єкта. [21]

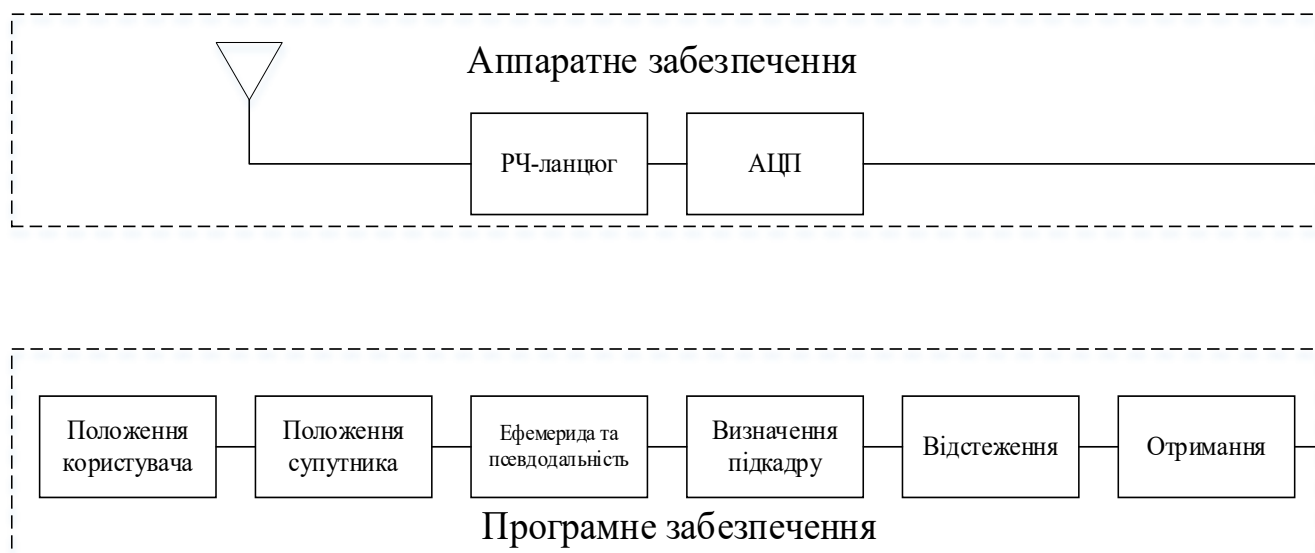


Рисунок 1.9 – Структура програмного приймача

### 1.15 Переваги використання програмного приймача

Важливим аспектом використання програмного підходу для побудови GPS-приймача є те, що даний підхід може різко відхилятися від звичайного апаратного підходу. Наприклад, користувач може зробити знімок даних і обробити їх на свій розсуд, з метою визначення свого місцезнаходження, а не просто безперервно відстежувати сигнал. Теоретично, потоку даних тривалістю 30 секунд достатньо, щоб знайти місцезнаходження рухомого об'єкта. Такий підхід особливо корисний, коли дані не можуть збиратися безперервним чином, а також відсутня необхідність постійного визначення місцезнаходження рухомого об'єкта.

Програмний підхід дуже гнучкий: він може обробляти дані, зібрані з різних типів обладнання. Наприклад, одна система може збирати комплексні дані, так звані фазові і квадратурні (I і Q). Інша система може збирати реальні дані лише з одного каналу. Дані можуть бути перетворені з однієї форми в іншу.

Програмний додаток може використовуватися для обробки сигналів, оцифрованих з використанням різних частот дискретизації. Тому програмний підхід можна розглядати як незалежний від підходу до розробки апаратного забезпечення.

Розробка нових алгоритмів можлива без зміни технічного дизайну апаратного забезпечення. Такий підхід особливо корисний з метою вирішення існуючих та нових проблем. Наприклад, для вивчення проблеми захисту від перешкод є можливість зібрати набір оцифрованих сигналів з присутніми перешкодами і використовувати різні алгоритми для його аналізу. Крім того, як і в поточному випадку, можливо розробити нові та вдосконалити існуючі алгоритми відстеження для подолання існуючих обмежень. Такий підхід до реалізації є простішим за апаратний, коли необхідно розробляти цільові платформи спочатку.

### 1.16 Структура GPS сигналу

Система GPS – це цифрова лінія зв'язку з кодовим розділенням, множинним доступом (CDMA). Супутникові сигнали складаються з синусоїдальної несучої, цифрового навігаційного повідомлення і послідовності псевдовипадкового шуму (PRN) з широкою смугою частот. Навігаційне повідомлення і послідовність PRN (код) кодуються в фазі несучого сигналу з використанням методу модуляції з двійковою фазовою маніпуляцією (BPSK) [13].

Сигнал GPS містить дві частотні компоненти: канал 1 (L1) і канал 2 (L2). Центральна частота L1 становить 1575,42 МГц, а L2 – 1227,6 МГц. Ці частоти когерентні з частотою 10,23 МГц. Ці дві частоти можуть бути пов'язані з тактовою частотою

$$\begin{aligned} L1 \ 1575.42 \text{ MHz} &= 154 \times 10.23 \text{ MHz} \\ L2 \ 1227.60 \text{ MHz} &= 120 \times 10.23 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (2)$$

У структурі сигналу супутника GPS в даний час частота L1 містить сигнали C/A і P(Y), тоді як частота L2 містить тільки сигнал P(Y). Сигнали C/A і P (Y) на частоті L1 знаходяться в квадратурі по фазі один від одного, і вони можуть бути записані як:

$$SL1 = A_p * P(t) * D(t) * \cos(2 * \pi * f_1 * t + \varphi) + A_c * C(t) * D(t) * \sin(2 * \pi * f_1 * t + \varphi), \quad (3)$$

де  $SL1$  – сигнал на частоті  $L1$ ,  $A_p$  – амплітуда Р-коду,  $P(t)$  являє собою фазу Р-коду,  $D(t)$  – код даних,  $f_1$  – частота  $L1$ ,  $\varphi$  – початкова фаза,  $A_c$  – амплітуда коду C/A,  $C(t)$  являє собою фазу коду C/A.

Синфазний компонент модулюється кодом Coarse/Acquisition (C/A) Голда  $C(t)$  і даними  $D(t)$  супутника. Квадратурна складова сигналу  $L1$  модулюється кодом точності Р (P) Голда  $P(t)$  і тим же повідомленням даних, що і синфазних компонент. Код C/A, Р-код і повідомлення даних є специфічними для кожного супутника. Сигнал  $L2$  модулюється тим же повідомленням даних, що і сигнал  $L1$ , як показано в рівнянні.

$$SL2 = A_p * P(t) * D(t) * \cos(2 * \pi * f_2 * t + \varphi) \quad (4)$$

Сигнал  $L2$  модулюється або Р, або C/A кодом. В даний час канал  $L2$  модулюється Р-кодом. Доступ до Р-коду є пропрієтарним, і він недоступний у даний момент.

Р(Y), C/A і несучі частоти повністю заблоковані фазою. Навіть коли сигнал посилюється до розумного рівня потужності, спектр коду C/A не може бути розташований, тому що шум сильніше сигналу.



Рисунок 1.10 – Процес генерації сигналу

Коли приймач GPS отримує сигнали, вони знаходяться на бажаних частотах. Однак рух супутника і приймача може викликати ефект Доплера.

Доплерівське зрушення частоти, створюване супутниковим рухом на частоті L1, становить приблизно 5 кГц. Іонізаційні сцинтиляції також є основним джерелом змін зміщення фази і зміщення частоти, а також загасання амплітуди в сигналі, отриманому на приймачі. На рисунку 1.11 показано процес генерації сигналу. [30]

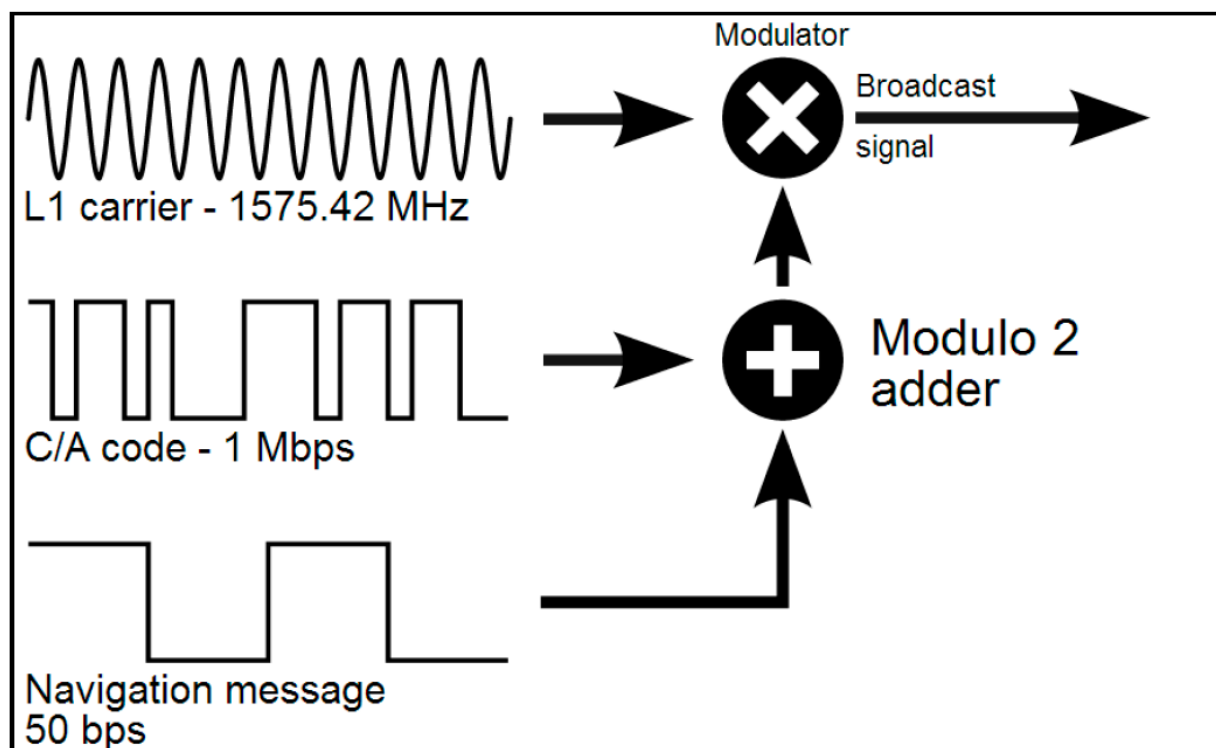


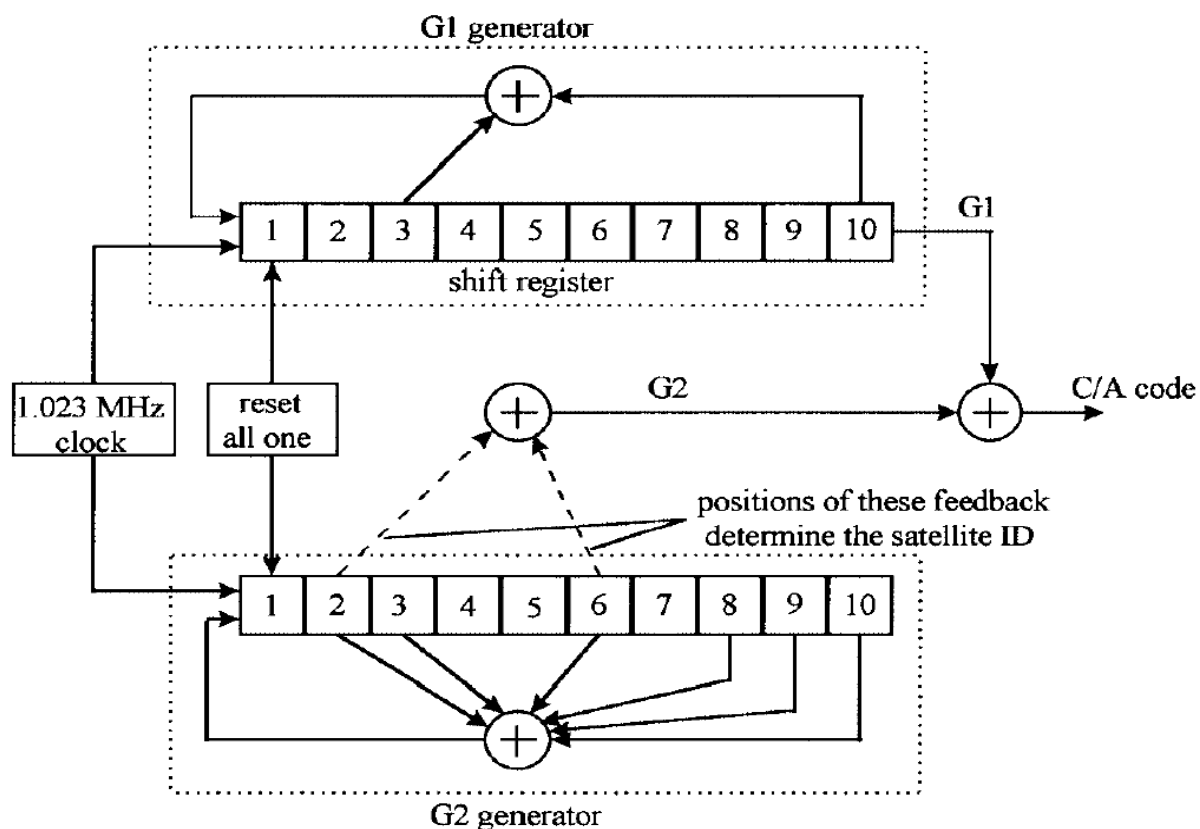
Рисунок 1.11 – Процес генерації сигналу

### 1.17 Коди Голда

Послідовності PRN,  $C(t)$  і  $P(t)$ , що використовуються супутниками, називаються кодами Голда. Коди Голда мають високу пропускну здатність і використовуються для поширення спектра повідомлення даних на ширшій смузі частот. У приймачі ефект розширення послідовностей PRN видаляється за допомогою локально генеруючихся кодів Голда. Кожен супутник передає свій власний унікальний код, і користувач отримує всі супутникові сигнали з майже тією ж частотою. Користувач може відстежувати отримані індивідуальні коди, оскільки коди Голда для різних супутників майже ортогональні один одному. Це

означає, що для приймача, що використовує один код Голда для відстеження конкретного супутника в одному каналі приймача, сигнали, отримані від інших супутників, фактично обнуляються в цьому каналі.

Коди Голда формуються шляхом додавання по модулю 2 двох послідовностей максимальної довжини. Послідовності максимальної довжини формуються генераторами зсувних регістрів (SRG) і повторюються після кожних  $2N - 1$  біт, де  $N$  – кількість етапів SRG (для GPS  $N = 10$ ). Коди C/A Голда, використовувані супутниками, формуються шляхом додавання тих же двох послідовностей максимальної довжини, позначених як G1 і G2. Однак коди Голда, що транслуються кожним супутником, різні. Різниця полягає в тому, що коди Голда формуються шляхом зміщення послідовностей G1 і G2 відносно один одного у часі перед їх додаванням. Кожен код має певний часовий зсув, пов'язаний з ним. Все, що необхідно для створення послідовності PRN конкретного супутника, являє собою час затримки, визначений для цього супутника і послідовностей G1 і G2 [30].



## Рисунок 1.12 – Блок генератора C/A

Коди C/A Голда передаються зі швидкістю відсікання 1.023 Мбіт/с. Код  $g(t)$  спочатку генерується як двійкова послідовність і використовується для модуляції фази несучого сигналу, як показано нижче в рівнянні.

$$S(t) = \cos(\omega_1 t + \pi g(t)) \quad (5)$$

Оскільки фаза сигналу зсувається на 180, код Голда може бути еквівалентно виражений, як показано у наступному рівнянні.

$$S(t) = G(t) \cos(\omega_1 t) \quad (6)$$

У наведеному вище рівнянні вихідна двійкова послідовність  $g(t)$  була відображена в послідовності  $\pm 1$ ,  $G(t)$ . Форма, показана в наведеному вище рівнянні, є типовим методом уявлення модуляції кодів Голда.

Автокореляційні властивості коду Голда використовуються для відстеження супутникового сигналу і проведення вимірювань псевдодальності.

Крос-кореляційні властивості коду Голда дозволяють супутникам передавати все на одній і тій же частоті. Різні коди Голда майже ортогональні один одному, як можна бачити на малюнку 2.6 (що є взаємною кореляцією між кодами C/A супутника 19 і супутником 31). Коли приймач збирає радіочастотні дані, кілька супутникових сигналів записуються в одному і тому ж діапазоні частот. Приймач «вибирає» конкретний супутник шляхом множення даних на синфазну копію коду Голда для супутника. Це множення ефективно скасовує всі інші супутникові сигнали при видаленні модуляції PRN з сигналу, отриманого від обраного супутника.

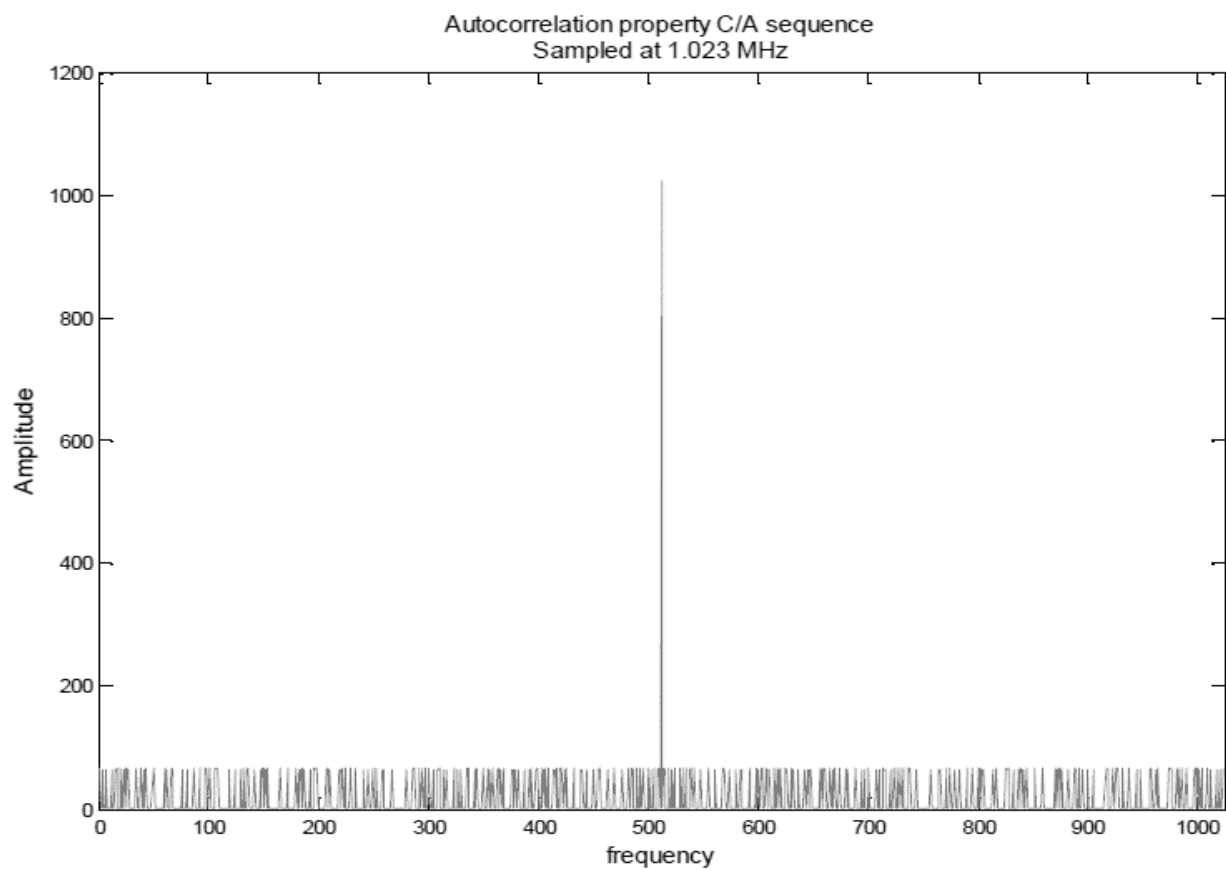


Рисунок 1.13 – Автокореляційна властивість С/А кодів

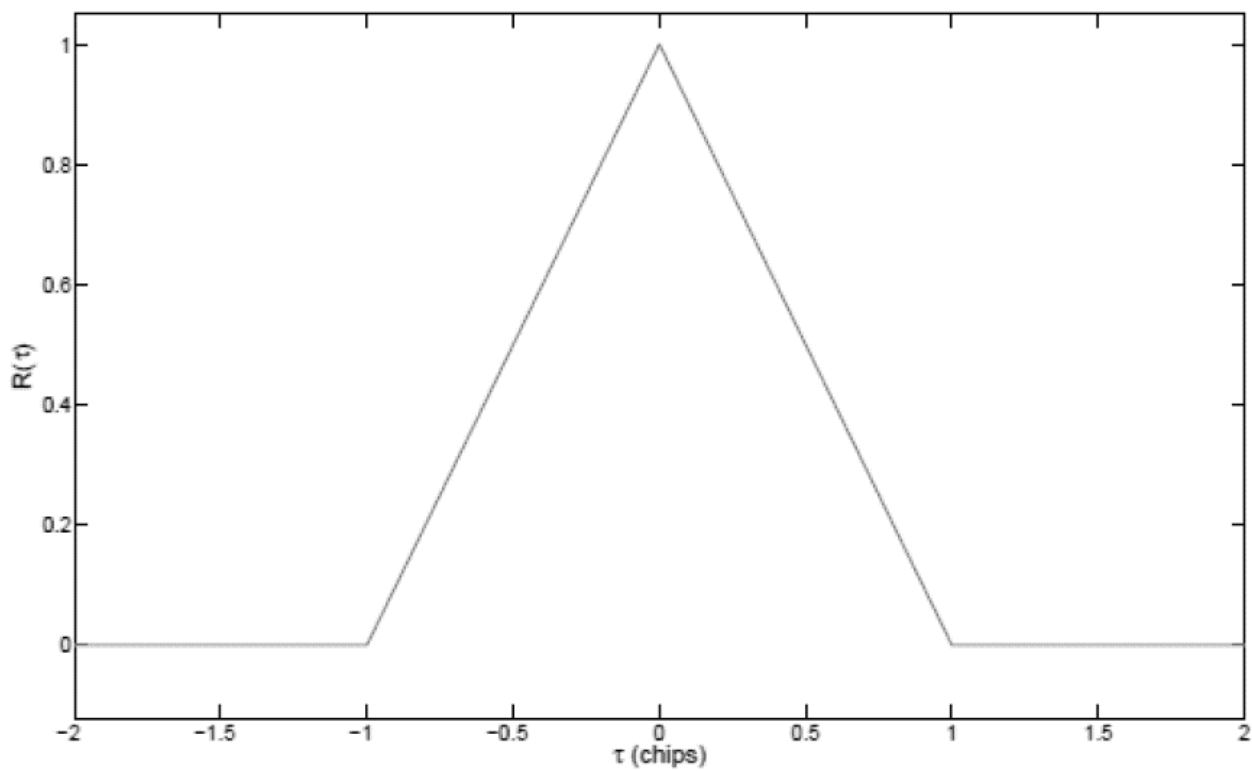


Рисунок 1.14 – Ідеальна автокореляційна функція кодів Голда

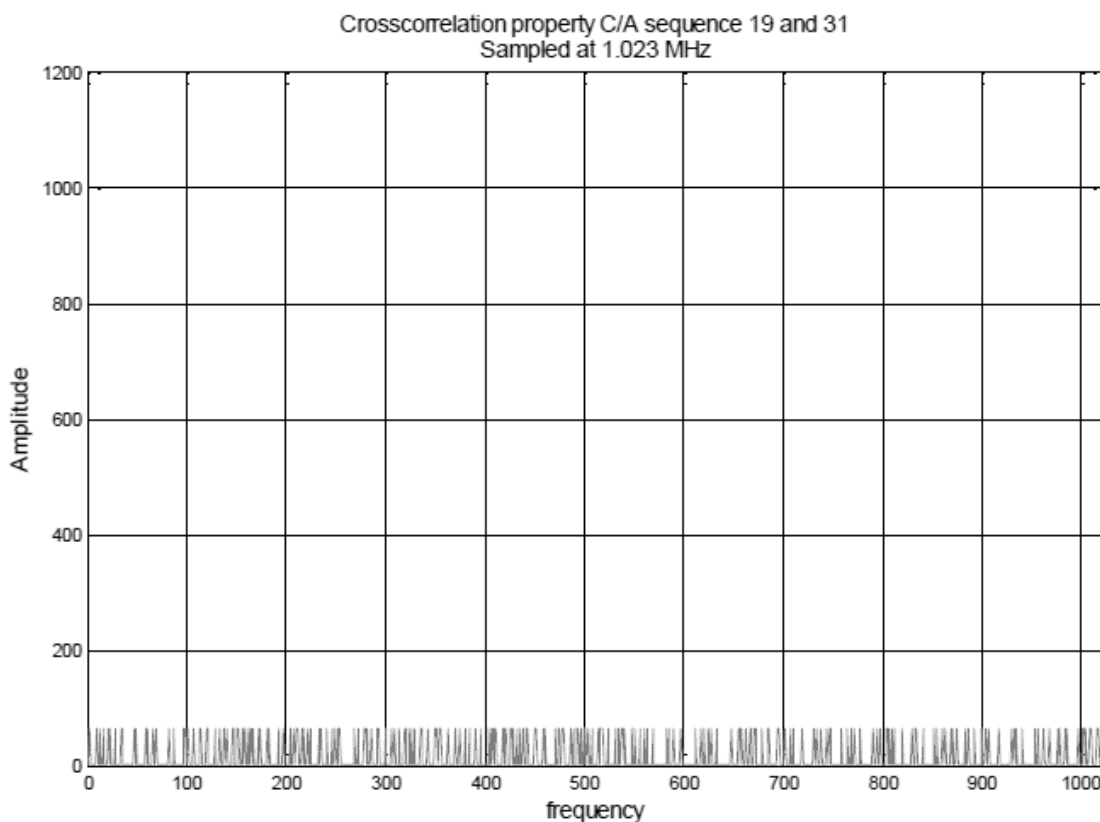


Рисунок 1.15 — Крос-кореляційні властивості різних кодів Голда

### 1.18 Повідомлення даних

Повідомлення даних, передане кожним супутником, містить інформацію про орбіти супутника, його стан, час системи GPS і дані альманаху для інших супутників в сузір'ї. Повідомлення даних містить необхідну інформацію для користувачів, щоб синхронізувати їх годинник з системним часом і визначати їх положення. Повідомлення даних транслюється зі швидкістю 50 біт в секунду (біт/с). Повідомлення упорядковано в тридцять бітових слів.

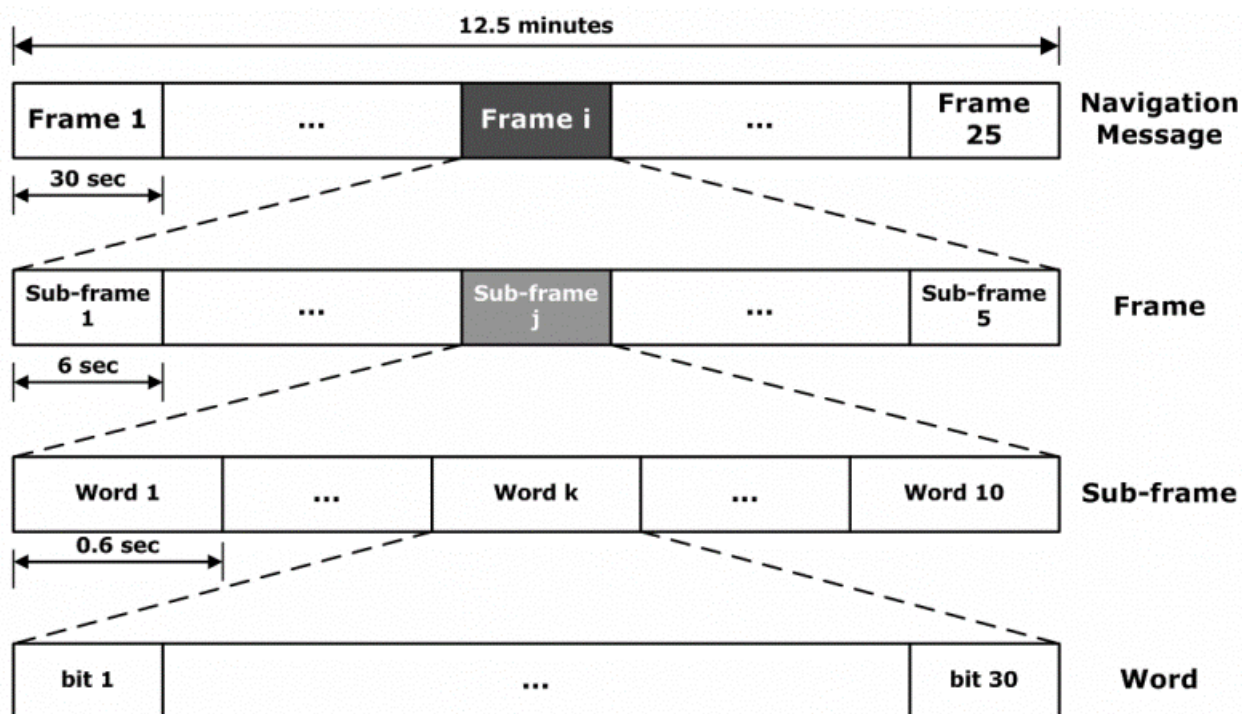


Рисунок 1.16 – Структура навігаційного повідомлення

### 1.19 Обробка сигналів GPS-приймачем та визначення доступності супутникового сигналу

Першим завданням частини програмного забезпечення в приймачу є визначення того, які супутники знаходяться в полі зору (під час отримання). Після визначення того, що даний супутниковий сигнал доступний, приймач намагається відстежувати компоненти несучої і PRN сигналу. GPS-приймач використовує слідкування для відстеження несучої і циклу затримки для відстеження послідовності PRN. Навігаційне повідомлення надає користувачеві достатню інформацію для визначення розташування супутників. Нарешті, користувач може обчислити свою позицію, використовуючи вимірювання псевдо від контурів відстеження.

Перш ніж приймач зможе почати відстежувати супутники, він повинен визначити, які супутники знаходяться в полі зору. Крім того, приймач повинен визначити доплерівські зрушення, викликані відносним рухом супутника і користувача. Процес визначення цієї змінної називається придбанням. Оцінка

доплерівського зсуву повинна бути точною з точністю до декількох десятків герц для петель відстеження для втягування і фіксації на носії. Фаза послідовності PRN повинна бути точною з точністю до половини фішок через автокореляційної функції кодів Голда.

Кількість супутників, що підлягають пошуку, може бути значно зменшено за рахунок приблизної оцінки місцезонашування одержувача. Існує безліч різних алгоритмів для пошуку можливих доплерівських зрушень і фаз коду. Однак принцип функціонування алгоритмів все в основному має подібні особливості. Спочатку збираються дані і вибирається конкретний супутник для пошуку. Між 1 і 20 мілісекундами довжини даних зазвичай використовується для отримання, тому що код C/A має період 1 мілісекунду, а ймовірність виникнення біта даних зростає після 20 мілісекунд (50 біт/с  $\Rightarrow$  20 мс кордонів біт даних).

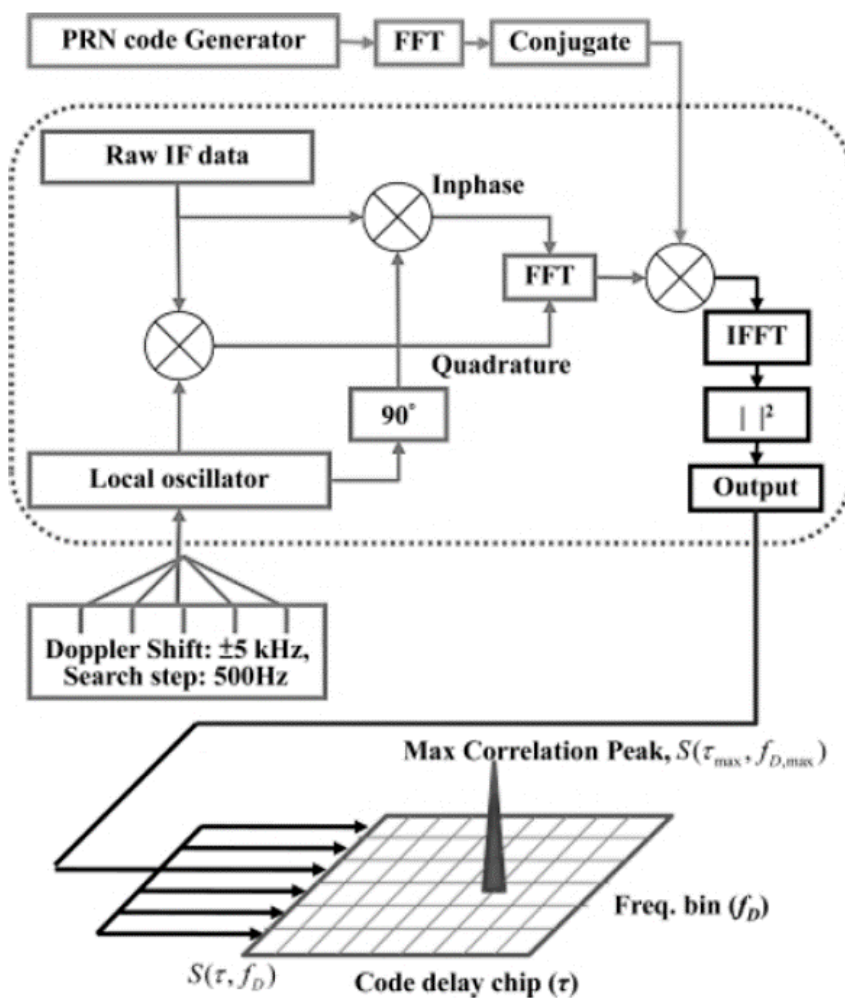


Рисунок 1.17 – Процес отримання

### 1.20 Пошук несучої частоти

Алгоритм виконує пошук за діапазоном доплерівських зрушень, починаючи з найнижчої частоти і потім збільшуючи діапазон в кроках частоти. Для стаціонарного спостерігача діапазон доплерівського зсуву може бути від -5 кГц до +5 кГц [1]. Загальний розмір кроку для алгоритму збору обирається близько 500 Гц. Кожна оцінка частоти використовується для перетворення прийнятого сигналу в основний діапазон. Припускаючи, що оцінка несучої частоти досить близька до фактичної несучої та доплерівської частоти, прийнятий сигнал буде зміщений в базову смугу, і залишиться тільки код супутника.

### 1.21 Відстеження фази коду

Далі копія версії кодів Голда супутника згортається до прийнятої послідовності PRN. Коли прийняті і локально згенеровані коди вирівнюються в межах половини чіпа, у виході функції згортки з'явиться пік. Якщо пік перевищує деяке порогове значення, програма збору зазвичай розглядає поточну оцінку частоти і затримку функції згортки як правильне доплерівське зрушення і фазу коду відповідно. Властивість крос-кореляції кодів Голда запобігає помилковості послідовності PRN від одного супутника для іншого. Алгоритм збору використовує властивість кругової згортки дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). У данному дослідженні було зроблено припущення про доступність даних для збору, що враховує тільки певне зміщення між вхідною частотою і початковою оцінкою на приймачі. Однак в рамках задачі автокореляція і кореляційні властивості коду C/A перевірені за допомогою FFT.

Доплерівська оцінка спочатку використовується для зсуву прийнятих даних в базову смугу. Потім локально створений код Голда звернуть з прийнятим кодом Голда з використанням DFT. Такий підхід дозволяє значно розширити обсяг робіт, спрямованих на те, щоб зробити DFT більш чисельно ефективним.

Зокрема, може застосовуватися алгоритм швидкого перетворення Фур'є. У міру збільшення довжини послідовностей даних стає все швидше використовувати БПФ замість згортки в тимчасовій області [1].

Перехресна кореляція двох дискретних послідовностей визначається в рівнянні (3.1).

$$c(n) = \sum_{m=0}^{n-1} x(m)y(n+m) \quad (7)$$

Визначення ДПФ приведено в рівнянні (3.2).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N} \quad (8)$$

Крос-кореляція  $c(n)$  двох послідовностей  $x(m)$  і  $y(m)$  може виконуватися в частотній області з використанням ДПФ, як показано в рівнянні (3.3).

$$C(k) = X^*(k)Y(k) \quad (9)$$

Цей підхід з використанням частотної області до взаємної кореляції може використовуватися для пошуку по всіх можливих фазах коду PRN [10]. На малюнку нижче графічно показані результати алгоритму пошуку. Результати алгоритму пошуку побудовані для використаних оцінок доплерівського зсуву і можливих фаз коду. Координати піку в центрі графіка є правильний доплерівський зсув і фазу коду прийнятого сигналу.

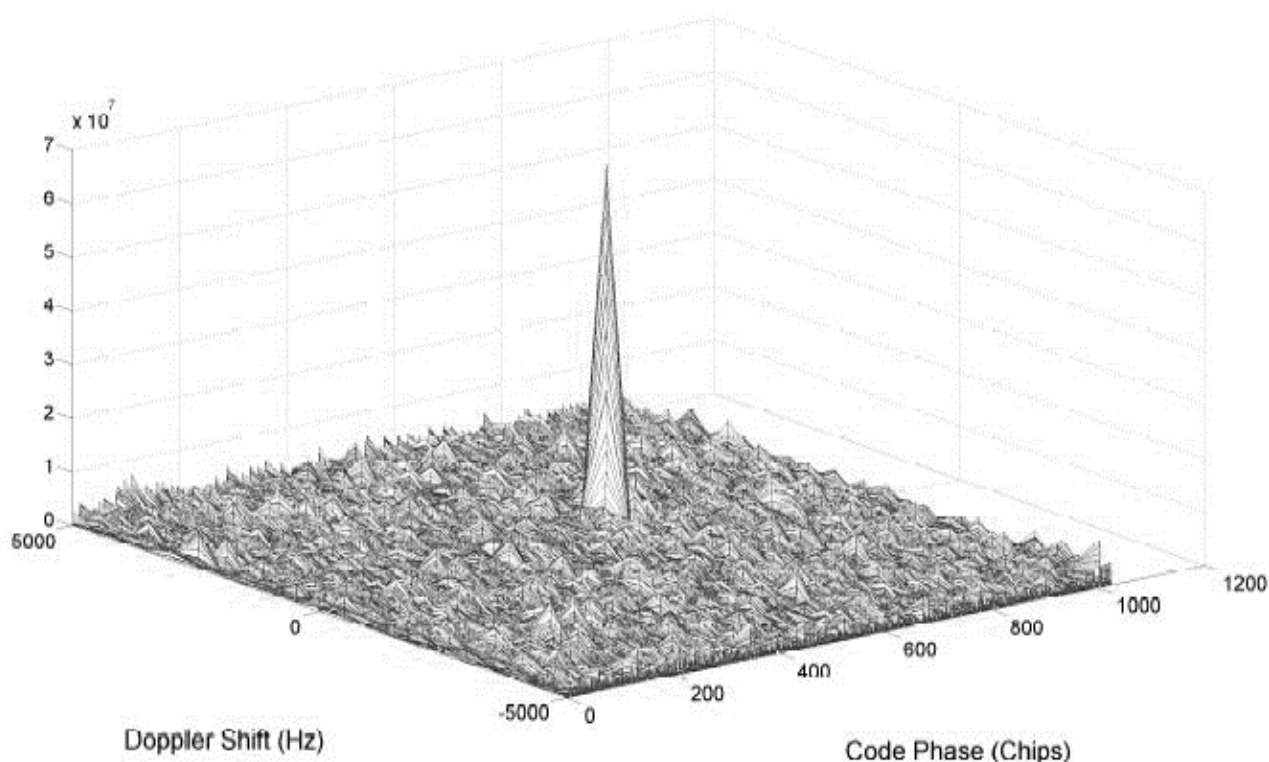


Рисунок 1.18 – Пошук сигналу і пошук фази коду

Коди GPS дозволяють визначити автономні координати у реальному масштабі часу. Точність вимірювань можливо підвищити шляхом застосування диференційних поправок, що вираховуються по вимірам на станції з відомими координатами. Також крім використання у реальному масштабі часу, можливе використання у постобробці. Після застосування диференціальної корекції визначення координат за допомогою кодових приймачів надає точність від 0,5м до 5 м, у залежності від типу приладу.

Області користування кодової апаратури:

- маломасштабна топографія;
- геологія;
- гідрографія;
- точна навігація;
- геофізична розробка;
- управлінська частина лісового та сільського господарства;
- застосування у будь-яких задачах, де необхідна висока точність.

## 1.22 Висновки до розділу

Загальні операції, що виконуються GPS-приймачем, були викладені в цьому розділі. При запуску приймач спочатку встановлює, які супутники знаходяться в полі зору. Наступним кроком є визначення фази доплерівського зсуву і PRN-коду, пов'язаного з кожним супутником. Використовуючи ці дані, приймач ініціалізує контури відстеження. Петля Костаса використовується для відстеження несучої, а DLL використовується для відстеження коду PRN. Цикли відстеження надають користувачеві повідомлення даних навігації, яке використовується для розрахунку положень супутника і, в кінцевому рахунку, положення користувача.

## 2 РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ФІЛЬТРАЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ

В даний час широкого застосування набули сервіси з використанням GPS-трекінгу, завданням яких є відстеження маршрутів спостережуваних об'єктів з метою їх збереження та подальшого відтворення і аналізу. Однак через похибки GPS-датчика, обумовлених певними причинами [1], такими як: втрата сигналу від супутника, зміна геометрії розташування супутників, відбиття сигналів, обчислювальні помилки і помилки округлення – підсумковий результат не відповідає дійсності.

Спостерігаються як незначні відхилення (в межах 50 м), що не надто ускладнюють сприйняття візуальної інформації про маршрут і його аналіз, так і вельми значні (до 0,5 км, в разі втрати сигналу супутників і використання базових станцій – до декількох км). Для демонстрації результату роботи наведеного методу використовується маршрут, який містить відхилення від дійсного місцезнаходження, перевищують кількості метрів. З метою корекції таких похибок розробляється алгоритм, що виконує перетворення послідовності координат.

Вхідними даними для алгоритму служить послідовність GPS-координат. В кожній координаті міститься наступна інформація, отримана від датчика:

- широта;
- довгота;
- азимут в градусах;
- миттєва швидкість об'єкта в конкретній точці в м/с;
- можливе відхилення координат об'єкту від істинного значення в метрах;
- час отримання координати датчиком.

Підвищення точності позиціонування можна досягти шляхом застосування різних алгоритмів обробки прийнятих навігаційних даних. Одним з рішень що дозволяє підвищити достовірність, зменшити обсяг навігаційної інформації, переданої користувачеві, є фільтрація помилкових і надлишкових даних отриманих від GPS модуля, що входить до складу мобільного терміналу.

Фільтрація даних полягає у виключенні надлишкових даних, що не приносять ніякої корисної інформації про місцезнаходження рухомого об'єкта, а також у відсіві викидів, котрі призводять до спотворень даних і перешкод у визначенні місцезнаходження.



Рисунок 2.1 – Трек руху об'єкта зі стоянкою у точці

Під викидами розуміються помилкові покази, що не відображують реальну ситуацію, які були отримані в результаті технічної помилки апаратури, що входить до складу мобільного терміналу (MT) або алгоритмічної помилки GPS/ГЛОНАСС модуля.

Можливо виділити наступні типи викидів:

- хаотичний – викиди такого типу спостерігаються при русі на малих швидкостях або при стоянці на одному місці протягом нетривалого часу. Їх поява пов'язана з перешкодами відбитих сигналів супутників від висотних будівель або інших об'єктів. На карті помилки такого роду відображаються як дрейф (нерівномірний розкид) передбачуваного місцезнаходження.
- грубий – виникають в разі тривалої стоянки автотранспортного засобу на одному місці. Являє собою рух в деякому напрямку з постійним прискоренням протягом тривалого інтервалу часу. Розпізнати такі викиди на карті можна по характерному миттєвому (різкому) стрибку з останньої передбачуваної точки місцезнаходження об'єкта на його реальне місцезнаходження, при цьому стрибок супроводжується прискоренням руху, що виходить за межі розумного.
- систематичний – даний тип викидів обумовлений зміною умов прийому сигналів з супутників. Систематичні викиди характеризуються невеликим відхиленням по одному або декільком параметрам, в тому числі координат місцезнаходження. На відміну від хаотичних викидів, помилка у визначенні координат супроводжується зниженням вбудованих показників точності в одержуваних навігаційних даних.

Поява будь-якого типу викиду в отриманих навігаційних даних знижує точність географічного позиціонування і збільшує затримку відображення реального місцезнаходження рухомого об'єкта на карті, а також негативно позначається на підрахунку контрольних показників руху об'єкта (пройденої відстані, середньої швидкості руху, тривалості зупинок, розрахунку витрат паливних матеріалів і т.д.)

Наприклад: навігаційне обладнання нерухомого об'єкту повідомляє координати місцезнаходження, безладно розкидані в радіусі 20 – 100 метрів. При цьому система розглядає їх як рух, у зв'язку з чим збільшується пройдена відстань об'єктом, що не відповідає дійсності. В результаті складається ситуація,

що довжина пройденого маршруту за декілька годин стоянки збільшується на 0,1 – 1,5 кілометри.

## 2.1 Механізми отримання даних

У мобільних пристроях під управлінням операційної системи Android існують наступні механізми отримання геолокаційних даних: використання NMEA (National Marine Electronics Association) даних безпосередньо з GPS приймача [10] та використання системних API геолокації. У першому випадку можливе отримання необроблених геолокаційних даних в форматі символьних повідомлень різного типу. Проте, не кожен GPS приймач підтримує всі існуючі типи повідомлень. Найрозповсюдженішими типами є:

- \$GP(GL)GGA – дані геопозиціонування, котрі містять поточну широту, довготу, час, кількість супутників;
- \$GP(GL)RMC – рекомендовані мінімальні дані геопозиціонування, крім часу, широти і довготи включають швидкість, магнітне схилення;
- API геолокації. API геолокації у свою чергу може надавати оброблені дані високої точності від GPS приймача, Wi-Fi точок доступу – геолокаційні дані середньої точності, засновані на місцезнаходженні Wi-Fi точок доступу, стільникових станцій – геолокаційні дані низької точності, що базуються на триангуляції місцезнаходження пристрою з базових станцій стільникового зв'язку, пасивні джерела – найчастіше неактуальні геолокаційні дані, отримані на основі запитів геолокації інших додатків.

Для подальшої фільтрації будемо використовувати дані від всіх доступних джерел.

Під час своєї роботи приймачі GPS/ГЛОНАСС постійно обчислюють ряд навігаційних параметрів: широту, довготу, час, висоту над рівнем моря і т.д., причому частина цих даних може бути або надлишковою, або помилковою. Одним із прикладів помилкової навігаційної інформації є зміщення координат нерухомого об'єкта, схематично зображене на малюнку 1. Точка відображає

реальне місцезнаходження об'єкта, окружність – точність визначення місцезнаходження. Стрілками зображено зміщення координат під дією факторів, що впливають на зниження точності. Найважливішим завданням роботи систем фільтрації даних є зменшення кількості даних в наборі геолокації без втрати якості позиціонування та підвищення достовірності прийнятої інформації. [1].

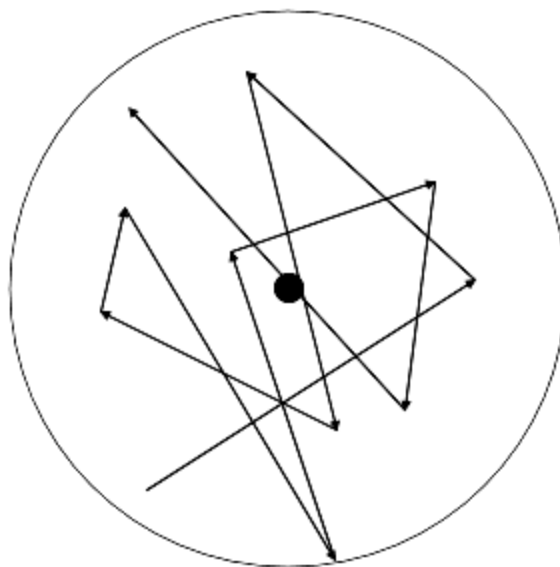


Рисунок 2.2 – Зміщення координат нерухомого об'єкта

## 2.2 Огляд існуючих методів

### 2.2.1 Метод швидкої фільтрації потоку даних

Метод швидкої фільтрації потоку даних, що містять глобальну позицію спостережуваного об'єкта. Даний метод є двоступінчатим і включає в себе алгоритми попередньої і остаточної фільтрації геолокаційних даних. Алгоритм попередньої фільтрації, застосовуваний в даному методі, вимагає мінімум обчислень і тому може бути виконаний на більшості мікроконтролерів. Процедура остаточної фільтрації здійснюється шляхом виконання математичних розрахунків з використанням чисел з плаваючою комою подвійної точності, що є вкрай складним завданням для більшості недорогих мікроконтролерів. [1]

Першим етапом роботи алгоритму попередньої фільтрації є перевірка GPS-вибірок, що надходять від приймача. GPS-вибіркою називається набір даних, одержуваних від навігаційного приймача. До цих даних відносяться дата і час визначення місцезнаходження, широта і довгота в градусах, висота над рівнем моря, фактори втрати точності DOP (Dilution of precision [2,15].

Під час роботи алгоритму кожна наступна вибірка порівнюється з попередньою і, якщо вона виявляється або помилковою, або має недостатню кількість інформації, або не відповідає режиму визначення місцезнаходження, то вона відкидається як невідповідна. В іншому випадку GPS-вибірка може бути використана в наступному алгоритмі даного методу фільтрації. Для підвищення точності попередньої фільтрації можна відсівати вибірки, у яких фактор втрати точності перевищує деякі допустимі значення, які визначаються індивідуально для різних типів приймачів емпіричним шляхом. Крім GPS-вибірки, для наступного етапу фільтрації необхідно обчислити позиційну (РАСС), вертикальну (ВАСС) і горизонтальну (НАСС) точності позиціонування. Так як точність позиціонування прямо пропорційна фактору втрати точності, то обчислити її можна множенням факторів втрати точності на відповідні їм коефіцієнти, через непостійного якості сигналу з супутників і особливостей приймачів визначаються експериментальним шляхом (коефіцієнт для HDOP і PDOP – від 3 до 5 метрів, для VDOP – від 3 до 6 метрів) [2, 15].

Другий етап методу швидкої фільтрації – фільтрація надлишкових даних. У ньому використовуються вибірки, що не відфільтровані на етапі попередньої фільтрації, а також значення точності позиціонування, відповідні кожній вибірці. Основним критерієм даного алгоритму є відстань між двома координатами GPS-вибірок, відстань між якими має бути більше або дорівнює сумі точностей позиціонування для кожної вибірки. Графічно це зображено на малюнку 2.3. Всередині кіл (для тривимірного режиму позиціонування – сфер), які представляють собою точності позиціонування, знаходяться координати GPS-вибірок. Кожна нова вибірка порівнюється з попередньою, в разі перетинання кіл вона відкидається.

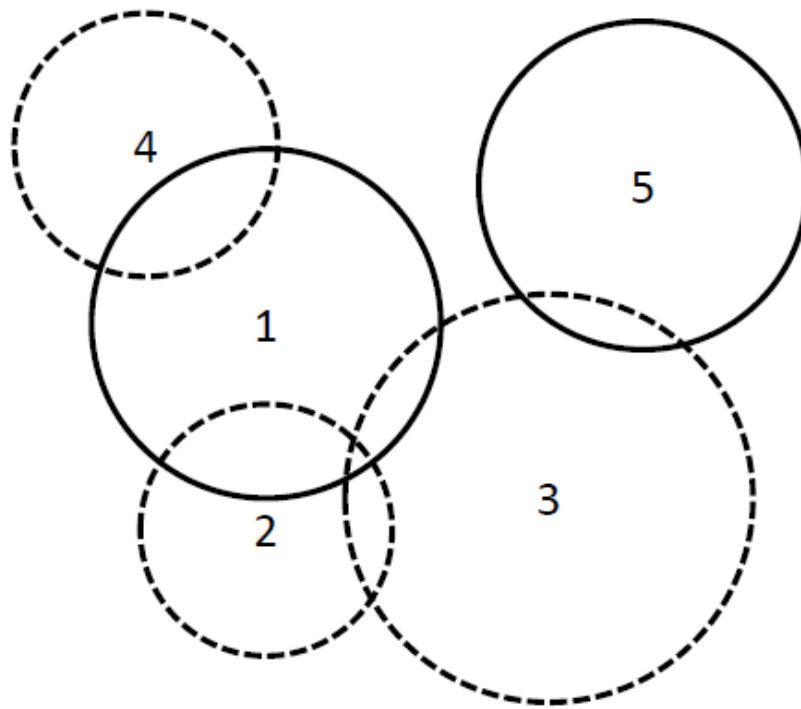


Рисунок 2.3 – Метод швидкої фільтрації потоку даних

Наступним етапом даного методу є процес обчислення відстані між точками, які пройшли процедуру фільтрації. В GPS використовується світова геодезична система відліку WGS-84, в основі якої лежить тривимірна система геоцентричних координат, в якій форма Землі вважається еліпсоїдом з розмірами великої і малої півосі 6378137 метрів і 6356752,31 метрів відповідно. Тому для розрахунку відстаней між двома точками потрібно використовувати формули переведення еліпсоїдних координат в декартові, для цього необхідно виконувати складні обчислення з плаваючою комою, які є трудомістким завданням для більшості мікроконтролерів. Щоб спростити обчислення, можна відмовитися від складних обчислень і проводити фільтрацію без перекладу координат в декартову систему. В результаті цього при фільтрації буде помилково відкинутий приблизно 21% корисних вибірок при русі на площині і 48% при русі в просторі. При спостереженні за транспортом такий відсоток втрати інформації є прийнятним.

До переваг даного методу можна віднести підвищення точності обчислення навігаційних параметрів, зменшення кількості переданих даних і можливість реалізації цілком на мікроконтролері.

2.2.2 Адаптивний алгоритм обробки потоку навігаційних даних на основі методу діагностичної фільтрації.

Відповідно до даного методу, процедуру фільтрації необхідно виконувати в 3 етапи: попередній відсів, діагностична фільтрація і згладжування даних.

На етапі попереднього відсіву пропонується фільтрувати дані, з огляду на кількість видимих супутників GPS/ГЛОНАСС, значення чинників точності навігаційних приймачів, а також значення швидкості і прискорення для об'єктів, які не можуть бути вище певних значень [12].

Етап діагностичної фільтрації схожий з етапом попередньої фільтрації з попереднього методу. В якості критерію для відсіювання навігаційних даних використовується відстань між двома координатами GPS/ГЛОНАСС-вибірок, які повинні бути більше або дорівнювати граничному значенню. Значення факторів втрати точності рекомендується брати з діапазону від 5 до 15 метрів для горизонтального DOP, і від 10 до 29 для вертикального DOP. В результаті діагностичної фільтрації вдається відсіяти від 30% до 70% GPS/ГЛОНАСС-вибірок, що несуть помилкову або надлишкову інформацію. Частка відфільтрованих вибірок залежить від типу транспортного засобу і характеру його руху.

На етапі згладжування даних необхідно провести остаточну оптимізацію GPS/ГЛОНАСС-треку з метою отримання більш точних значень швидкості і маршруту руху об'єкта [3].

Даний метод фільтрації простий в реалізації, не містить складних обчислень, і розроблений для виконання в режимі реального часу на встановлюваних в транспортних засобах терміналах, що мають низьку обчислювальну потужність.

### 2.2.3 Блоково-часовий алгоритм фільтрації геолокаційних даних

Даний підхід заснований на поширеному алгоритмі Рамер-Дугласа-Пекера, також званому алгоритмом ітеративної найближчої точки і алгоритмом розбиття і злиття, використовуваному для спрощення ламаних ліній. Цей алгоритм видаляє з ламаної лінії, зокрема, з GPS/ГЛОНАСС-треку, точки, віддалені від неї на певній відстані. Графічно результат роботи цього алгоритму представлений на малюнку 2. У верхній частині малюнка чорним кольором зображено вихідна ламана лінія, її вузли – чорними точками. В результаті виконання алгоритму Рамер-Дугласа-Пекера дана ламана лінія набуває вигляду, зображена в нижній частині малюнка. На ній чорним кольором зображені вузли вихідної ламаної, які не були видалені в результаті обробки, сірими точками – віддалені вузли ламаної, сірими лініями – новий вигляд, якого набуває ламана після обробки. [3]

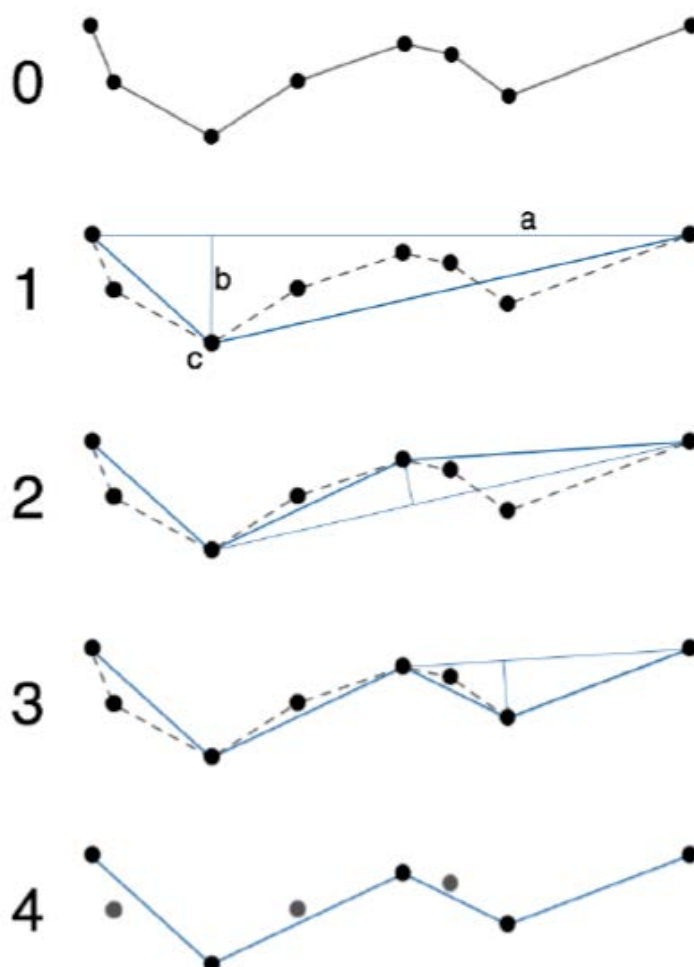


Рисунок 2.4 – Результат роботи алгоритму Рамер-Дугласа-Пекера

Його основні переваги – простота реалізації, висока ефективність і низька обчислювальна складність. Однак, так як в число геолокаційні параметрів входить не тільки позиція в просторі, але і час, то застосування тільки цього алгоритму тягне за собою втрату інформації про точки простою об'єкта, а також про швидкість його руху. Отже, самостійне використання даного алгоритму є неприйнятним для фільтрації геолокаційних даних. Однак, даний алгоритм може ефективно використовуватися спільно з іншими, виконуючи фільтрацію прийнятної якості.

#### 2.2.4 Фільтр Калмана

Фільтр Калмана – послідовний рекурсивний алгоритм, який використовує прийняту модель динамічної системи для отримання оцінки, що може бути істотно скоригована в результаті аналізу кожної нової вибірки вимірювань у часовій послідовності [9]. Цей алгоритм застосовується в процесі управління багатьма складними динамічними системами, так як це математичний апарат, який дозволяє згладжувати дані на льоту, не накопичуючи їх для аналізу. При управлінні динамічною системою, перш за все, необхідно повністю знати її фазовий стан в кожен момент часу. Але виміряти всі змінні, якими необхідно управляти, не завжди можливо, і в цих випадках фільтр Калмана є тим засобом, який дозволяє відновити відсутню інформацію за допомогою наявних неточних (зашумлених) вимірювань. [26]

Також даний метод фільтрації використовується для обробки даних від датчиків і будь-яких пристроїв. Як правило, такі показники схильні до шумів і відхилень, їх потрібно відсікати. Фільтр Калмана дозволяє відкидати піки(викиди) [1] і бачити усереднену, найімовірнішу картину процесу.

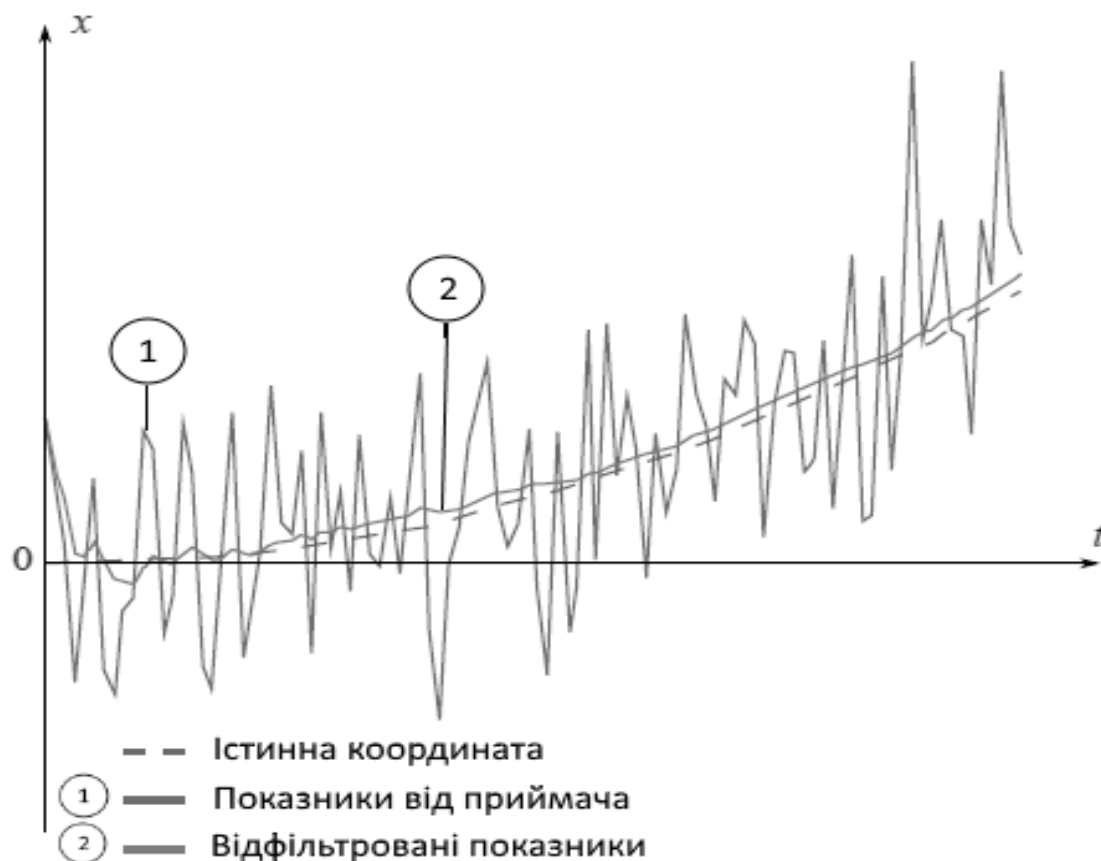


Рисунок 2.5 – Дані, отримані з імітаційного GPS приймача

На рисунку 2.5 зображено дані, отримані з імітаційного GPS приймача. Використання фільтра Калмана дає можливість задати апріорну інформацію про характер системи, зв'язку змінних і на підставі цього будувати більш точну оцінку, завдяки тому що він дозволяє окремо враховувати похибки вимірювань і похибки випадкового процесу.

Однак для оцінки місцезнаходження на пристроях Android загальна теорія зводиться до іншої форми. Провайдери розташування Android надають місцезнаходження у вигляді широти і довготи разом з точністю, яка визначається як єдине число, виміряне в метрах. Реалізація рішення передбачає, що найкраща оцінка поточного місцезнаходження є останнім відомим місцем розташування, і якщо об'єкт перебуває у русі, то можливо використовувати приймачі Android пристрою для отримання більш точної оцінки.

По-перше, фільтр Калмана є алгоритмом оптимальної рекурсивної обробки даних. Існує безліч способів визначення оптимальних засобів, що

залежать від критеріїв, обраних для оцінки ефективності. Одним з аспектів оптимальності є те, що фільтр Калмана включає всю інформацію, яка може бути надана йому. Він обробляє всі дані доступні для виміру, незалежно від їх точності, для оцінки поточного значення змінних, що представляють інтерес, з використанням:

- знання динаміки системи і вимірювального пристрою;
- статистичний опис системних шумів, помилок вимірювань і невизначеності в моделях динаміки і будь-яку доступну інформацію про вихідних умовах цікавлять змінних.

Наприклад, для визначення швидкості літального апарату можна використовувати доплерівський радар або показчики швидкості інерціальної навігаційної системи, а також дані про висоту при статичному тиску і відносному вітрі в системі даних при повітряному потоці. Замість того, щоб ігнорувати будь-який з цих виходів, фільтр Калмана може бути побудований для об'єднання всіх цих даних і знань про динаміку різних систем для отримання найкращої оцінки швидкості.

Слово, рекурсивне в попередньому описі, означає, що на відміну від деяких концепцій обробки даних фільтр Калмана не вимагає, щоб всі попередні дані зберігалися в пам'яті і оброблялися кожен раз при новій ітерації. Це буде мати життєво важливе значення для практичності під час реалізації фільтра.

Сам «фільтр» насправді є алгоритмом обробки даних. Незважаючи на типову ідею фільтра як «чорного ящика», що містить електричні мережі, факт полягає в тому, що в більшості практичних застосувань «фільтр» являє собою комп'ютерний застосунок, виконуючись в центральному процесорі. Таким чином, він по своїй суті включає в себе дискретні вимірювання, а не безперервні тимчасові входи. На рисунку 2.6 зображена типова ситуація, при якій фільтр Калмана може бути використаний безпосередньо. Деяка система управляється деякими відомими елементами управління, а вимірювальні пристрої забезпечують цінність певних відповідних величин. Знання цих системних входів і виходів – це все, що явно є з фізичної системи для цілей оцінки.

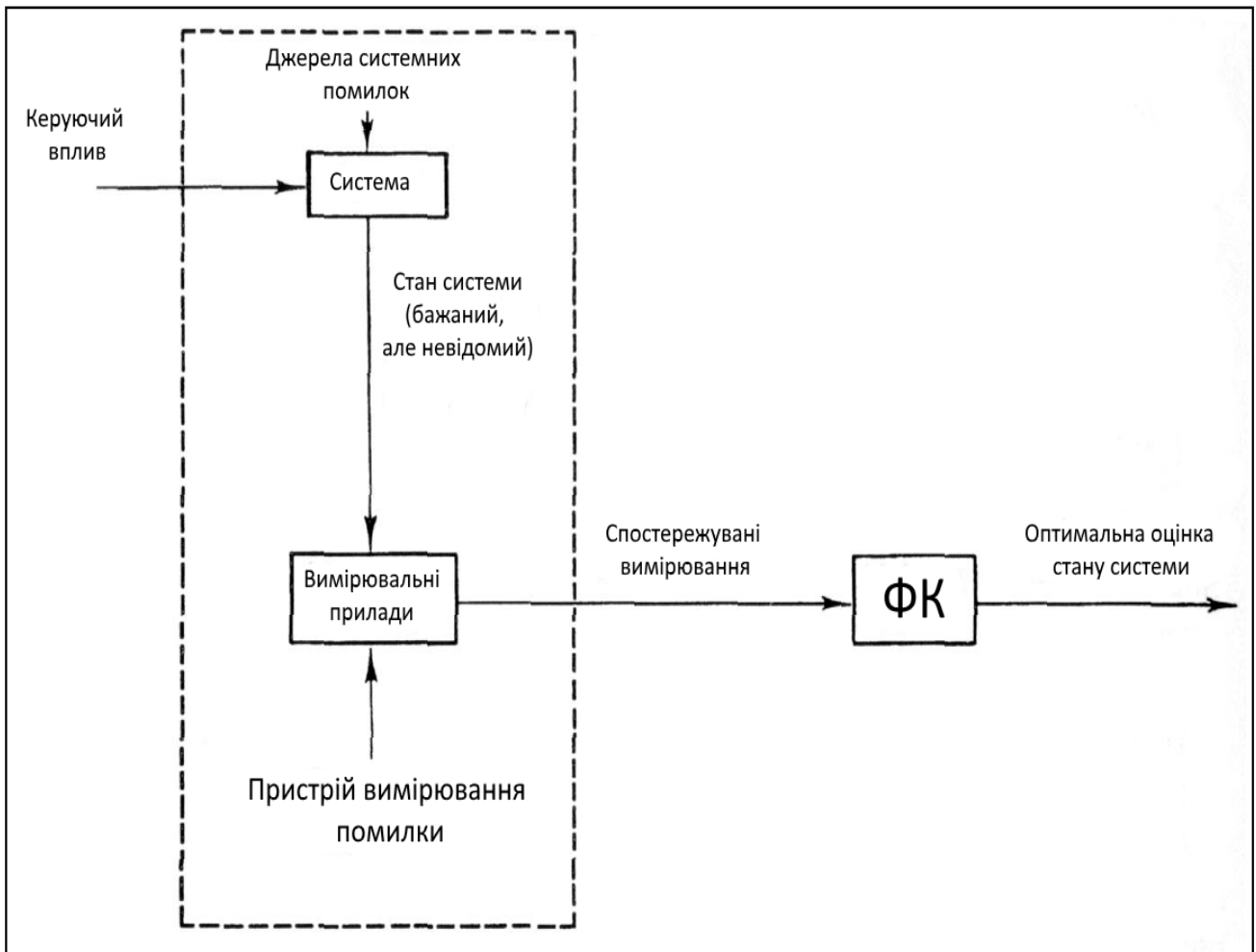


Рисунок – 2.6 Типове застосування фільтра Калмана

### 2.3 Передумови до застосування

Часто змінні, що представляють інтерес в системі, деякий кінцеве число величин для опису «стану» системи, не можуть бути виміряні безпосередньо, і необхідно визначити деякі способи виведення цих значень із доступних даних. Наприклад, система повітряних даних безпосередньо забезпечує статичний і динамічний тиск, з якого повинна бути виведена швидкість. Цей висновок ускладнюється тим, що система зазвичай керується входами, відмінними від наших власних відомих елементів управління, і тим фактом, що відносини між різними керуючими змінними і вимірюваними виходами відомі тільки з деяким ступенем невизначеності.

Крім того, будь-яке вимірювання буде в якійсь мірі спотворено шумом, спотвореннями і неточностями пристроїв, тому також необхідно надати засіб для добування цінної інформації з зашумленого сигналу. У загальному аспекті, може бути безліч різних вимірювальних пристроїв, кожен зі своїми характеристиками і характеристиками помилок, які надають деяку інформацію про конкретну змінну, і бажано об'єднати свої результати на систематичній і оптимальній основі. Фільтр Калмана об'єднує всі доступні дані вимірювань і попередні знання про систему і вимірювальних пристроях для отримання оцінки бажаних змінних таким чином, щоб помилка була статистично мінімізована.

Іншими словами, якби неодноразово запускалося кілька фільтрів-кандидатів для одного і того ж додатка, то середні результати фільтра Калмана були б краще, ніж середні результати будь-якого іншого. Концептуально ідеєю є те, що необхідність намагатися зробити будь-який тип фільтра – це отримати «оптимальну» оцінку бажаних величин з даних, наданих зашумленим середовищем («оптимальна» – означає, що в деякому відношенні вона мінімізує помилки).

Фільтр Калмана виконує завдання, в яких система може бути описана за допомогою лінійної моделі і в якій система і вимірювальні шуми є білими і гаусовими. У цих умовах середній, режим, медіанний і практично будь-який розумний вибір для «оптимальної» оцінки збігаються, тому насправді існує унікальна «найкраща» оцінка значення.

Лінійна модель системи виправдана по ряду причин. Часто така модель є адекватною для цієї мети, і коли існують нелінійності, типовим інженерним підходом є лінеаризація щодо деякої номінальної точки або траєкторії, досягнення моделі збурення або моделі помилки. Лінійні системи мають пріоритет заснований на тому, що ними легше маніпулювати за допомогою інженерних інструментів, а теорія лінійних систем (диференціального рівняння) набагато більш повна і практична, ніж нелінійних.

«Білизна» має на увазі, що значення шуму не корелюється в часі. Іншими словами, якщо відомо, яка зараз величина шуму, то це знання не допоможе

передбачити, якою буде його значення в будь-який інший час. Під «білизою» також має на увазі, що шум має рівну потужність на всіх частотах. Можна стверджувати, що є випадки, коли рівень потужності шуму не є постійним по всіх частотах в смузі пропускання системи або в яких шум фактично корелюється в часі. Для таких випадків білий шум, поміщений через невелику лінійну систему, може дублювати практично будь-яку форму, що корелюється з часом. На малюнку зображено цю концепцію білизни.

У той час як «білизна» відноситься до тимчасових або частотних відносин шуму, гаусова – пов'язана з її амплітудою. Таким чином, в будь-який момент часу щільність ймовірності гаусовської амплітуди шуму приймає форму нормальної дзвіноподібної кривої. Це припущення фізично може бути зумовлено тим фактом, що системний або вимірювальний шум зазвичай викликаний низкою зашумленістю невеликих джерел. Математично можна показати, що при об'єднанні ряду незалежних випадкових величин підсумований ефект може бути описаний дуже близько по гаусовській щільності ймовірності, незалежно від форми окремих щільностей.



Рисунок 2.7 – Пропускна здатність спектральної щільності

Таким чином, фільтр Калмана включає в себе всю інформацію, що міститься в умовній щільності ймовірності, а не тільки деякі з них, як у випадку з іншою формою щільності. Конкретні припущення, які зроблені, продиктовані певними цілями і лежать в основі мотивації розроблюваної моделі. Якби мета

полягала в тому, щоб будувати хороші описові моделі, то були б відсутні аспекти, обмежувані лінійними системними моделями, керованими білим гауссовим шумом.

Швидше за все, можливо було б шукати модель, будь-якої форми, яка найкраще відповідає даним, що генерується «реальним світом». У загальному випадку, існує необхідність створення оціночних критеріїв та контролерів на основі певної моделі системи, яка спонукає до цих припущень: інші припущення зазвичай не піддаються оцінці або контрольним проблемним формулюванням. На щастя, клас моделей, які дають прийнятну математику, також забезпечує адекватні уявлення для багатьох цікавих сфер застосування.

## 2.4 Математична модель



Рисунок 2.8 – Цикл корекції прогнозу

Для використання фільтра Калмана необхідно, щоб досліджуваний процес описувався наступним чином

$$s_k = A_k s_{k-1} + B_k u_{k-1} + w_k \quad (10)$$

$$z_k = H_k s_k + v_k \quad (11)$$

У формулі 1  $s_k \in \mathbb{R}^n$  – вектор стану процесу,  $A$  – матриця розмірністю  $n \times n$ , котра описує перехід спостережуваного процесу із стану  $s_{k-1}$  у стан  $s_k$ . Вектор  $u_k \in \mathbb{R}^l$  описує керуючий вплив на процес. Матриця  $B$  розмірністю  $n \times l$  відображає вектор керуючих впливів  $u$  у зміні стану  $s$ .  $w_k \in \mathbb{R}^n$  є випадковою величиною, що описує похибку досліджуваного процесу, причому  $p(w) \sim N(0, Q)$ , де  $Q$  – коваріаційна матриця похибок процесу.

Формула 2 описує зміни випадкового процесу.  $z_k \in \mathbb{R}^m$  – вектор вимірюваного стану процесу, матриця  $H$  розмірністю  $m \times n$  відображає стан процесу  $s_k$  у зміні процесу  $z_k$ .  $v_k \in \mathbb{R}^m$  – випадкова величина, що характеризує похибки вимірювання, причому  $p(v) \sim N(0, P)$ , де  $P$  – коваріаційна матриця похибок процесу.

Так як досліджується процес руху об'єкта, рівняння стану складається, виходячи із рівняння руху тіла  $\bar{r}_k = \bar{r}_{k-1} + \bar{v}_{k-1} dt_k + \bar{a}_{k-1} \frac{dt_k^2}{2}$ . Крім того, відсутня додаткова інформація про процес руху, тому рахується, що керуючий вплив  $u_k$  дорівнює 0. За стан процесу прийнятий вектор  $S_k = [x_k \ y_k \ v_k^x \ v_k^y]^T$ , де  $x, y$  – координати об'єкта,  $v_k^x, v_k^y$  – проекція швидкості об'єкта. Таким чином, для розглядаемого процесу рівняння 1 приймає наступний вигляд:

$$s_k = A_k s_{k-1} + G_k a_k, \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 A_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt_k & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt_k \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
 a_k &= \begin{bmatrix} a_k^x \\ a_k^y \end{bmatrix}, \\
 G_k &= \begin{bmatrix} \frac{dt_k^2}{2} & 0 \\ 0 & \frac{dt_k^2}{2} \\ dt_k & 0 \\ 0 & dt_k \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{13}$$

В даній моделі прискорення об'єкта розглядається як випадкова похибка процесу. Ймовірно зробити наступні припущення:

- Прискорення по різних осях є незалежними випадковими величинами.
- $p(a_k^{x,y}) \sim N(0, \sigma_a)$ , - прискорення розподілені нормально з нульовим математичним очікуванням і деяким середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_a$ , яке вважається відомим.

Дані припущення прийняті з таких міркувань:

- Немає підстав вважати, що за значенням однієї компоненти вектора прискорення можна зробити висновок про значення інших компонентів.
- Більшу частину часу об'єкт рухається рівномірно. В якості можливих джерел координат розглядаються пішоходи і автомобілі. Ненульове прискорення зазвичай пов'язано або зі зміною напрямку руху, що відбувається за невеликий проміжок часу (від 5 до 15 секунд), або з зупинкою чи початком руху, причому розгін або гальмування до необхідної швидкості також відбуваються порівняно швидко (в разі пішоходів практично миттєво, автомобілів – в межах 10-15 секунд). Прискорення, що виникає в інших ситуаціях (наприклад, обгін або

уповільнення для оцінки навколишнього оточення), також відрізняється від нуля протягом невеликих проміжків часу.

Таким чином, у формулі (3) член  $G_k a_k$  виконує роль члена  $w_k$  із формули (1).

Для подальших обрахунків необхідно отримати значення матриці  $Q$ .

$$\begin{aligned} Q_k &= cov(w_k) = \mathbb{E}(w_k w_k^T) - \mathbb{E}(w_k) \mathbb{E}(w_k^T) = \mathbb{E}(G_k a_k a_k^T G_k^T) \\ &= G_k \mathbb{E}(a_k a_k^T) G_k^T \end{aligned} \quad (14)$$

Так як компоненти вектора  $a_k$  є незалежними випадковими величинами,

то 
$$\mathbb{E}(a_k a_k^T) = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & 0 \\ 0 & \sigma_a^2 \end{bmatrix}$$

Відповідно, формула (15) має наступний вигляд

$$Q_k = G_k G_k^T \sigma_a^2 \quad (15)$$

Вектор вимірювань  $z_k$  для даної задачі представляється наступним чином:

$$z_k = \begin{bmatrix} \chi_k \\ \gamma_k \\ \vartheta_k^x \\ \vartheta_k^y \end{bmatrix},$$

Де,  $\chi_k, \gamma_k$  - координати об'єкта, отримані від датчика,  $\vartheta_k^x, \vartheta_k^y$  - швидкість об'єкта, отримана від датчика. Матриця  $H$  у формулі (2) приймається рівною одиничною матриці розмірністю  $4 \times 4$ , так як в рамках даної задачі вважається, що вимір є лінійною комбінацією вектора стану і деяких випадкових похибок. Коваріаційна матриця похибки вимірювань  $R$  вважається заданою. Один з можливих варіантів її обчислення – використання даних про передбачувану точність вимірювання, одержуваних від датчика.

Проте, загальна теорія фільтра Калмана стосується оцінок для векторів з точністю оцінок, представлених коваріаційними матрицями. Однак для оцінки місцезрештування на пристроях Android загальна теорія зводиться до іншого випадку. Провайдери-постачальних навігаційних даних ОС Android надають

місцезнаходження у вигляді широти і довготи разом з точністю, яка визначається як єдине число, виміряне в метрах. Це означає, що замість коваріаційної матриці точність фільтра Калмана може бути виміряна одним числом, хоча місцезнаходження в калманівському фільтрі вимірюється двома числами. Також можливо проігнорувати той факт, що широта, довгота і метри фактично всі різні одиниці, тому що якщо помістити коефіцієнти масштабування в фільтр Калмана, щоб перетворити їх все в одні і ті ж одиниці, то ці коефіцієнти масштабування в кінцевому підсумку будуть скасовані при перетворенні результатів назад в вихідні одиниці.

#### 2.4.1 Рівняння ФК

Таблиця 2.1 Рівняння фільтра

|                                                                          |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Прогнозування стану (Прогноз подальшого місцезнаходження )               | $X_{\text{прогноз}} = A x_{n-1} + B u_n$ |
| Коваріаційне прогнозування (Прогнозування кількості помилок )            | $P_{\text{прогноз}} = A P_{n-1} A^T + Q$ |
| Іновація<br>(Порівняння реальності з прогнозуванням)                     | $y^{\sim} = z_n - H x_{\text{прогноз}}$  |
| Коваріаційна інновація<br>(порівняння реальних помилок із прогнозованим) | $S = H P_{\text{прогноз}}$               |
| Підсилювач Калмана<br>(помірне прогнозування)                            | $K = P_{\text{прогноз}} + H^T S^{-1}$    |
| Оновлення стану<br>(нова оцінка місця знаходження об'єкту)               | $X_n = X_{\text{прогноз}} + K y^{\sim}$  |
| Коваріаційне оновлення<br>(нова оцінка похибки)                          | $P_n = (I - K H) P_{\text{прогноз}}$     |

Пояснення до таблиці 2:

- $U_n$  = керуючий вектор. Це вказує на величину будь-якого контролю системи або користувача на ситуацію.

- $Z_n$  = вектор виміру. Це містить вимір реального світу, яке ми отримали на цьому часовому кроці.
- Виходи:
- $X_n$  = Найновіша оцінка поточного «істинного» стану.
- $P_n$  = Найновіша оцінка середньої помилки для кожної частини стану.
- константи:
- $A$  = матриця переходу станів. В принципі, помножте це стан і додайте контрольні чинники, і ви отримаєте передбачення стану для наступного кроку часу.
- $B$  = керуюча матриця. Це використовується для визначення лінійних рівнянь для будь-яких керівників факторів.
- $H$  = матриця спостереження. Помножте вектор стану на  $H$ , щоб перетворити його в вектор виміру.
- $Q$  = Оціночна коваріація помилок процесу.
- $R$  = Оціночна коваріація помилок вимірювань.

## 2.5 Висновки до розділу

В результаті огляду сучасних методів фільтрації геолокаційних даних можливо зробити висновок, що фільтрацію доцільно проводити спочатку на джерелі даних, а потім на споживачі інформації. Попередня фільтрація дозволяє позбутися від надлишкових і помилкових даних, тим самим знизивши навантаження на канал передачі даних. Остаточну фільтрацію необхідно виконувати на високопродуктивних системах з метою отримання максимально ефективної фільтрації.

### 3 РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНОГО РІШЕННЯ

#### 3.1 Збір даних

Для оцінки області застосування та ефективності запропонованого методу фільтрації навігаційних даних було зібрано близько 1000 точок, котрі являють собою треки із різними типами пересування (піший, автомобільний), стоянок, що зібрані за допомогою приймача.

У якості приймача використовується смартфон на базі ОС Android із чіпом GNS7560[11]. Збір даних для обробки здійснюється застосунком, який записує у лог інформацію про об'єкт (провайдер визначення місцезонашування, часовий відбиток, точність, тип координати, широта та довгота.). Експорт відбувається у .grx формат[12]. На рисунку. 3.1 зображено загальний вигляд логу .grx файлу, у який записується зібрана інформація.

```
"provider":"network","time_long":"1511980613519","accuracy":"39.099","altitude":"133.1999969482422"},"geometry":{"type":"Point","coordin
"provider":"network","time_long":"1511980641592","accuracy":"24.236"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.650007,50.4222989]}}
"provider":"network","time_long":"1511980641592","accuracy":"24.236"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.650007,50.4222989]}}
"provider":"network","time_long":"1511980683839","accuracy":"22.255"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.6495256,50.4221878]}}
"provider":"network","time_long":"1511980683839","accuracy":"22.255"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.6495256,50.4221878]}}
"provider":"network","time_long":"1511980726053","accuracy":"26.51"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.6485341,50.4220477]}}
"provider":"network","time_long":"1511980726053","accuracy":"26.51"},"geometry":{"type":"Point","coordinates":[30.6485341,50.4220477]}}
"provider":"gps","time_long":"1511980765372","accuracy":"24.0","altitude":"101.10067514817692","bearing":"193.57536","speed":"1.3263716"
```

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд логу

Для збору вхідних даних для подальшої обробки мобільним об'єктом був виконаний рух за маршрутом, що зображений на рисунку. Рух об'єкта не є рівноприскореним та виконаний у реальному часі.

Трек, зображений на рисунку 3.2 є оригінальним, та не спотворений.



Рисунок 3.2 – Оригінальний маршрут рухомого об'єкта

Оптимальні параметри для збору даних були підібрані експериментальним шляхом з метою відповідності наступним критеріям:

- мобільний термінал не повинен витрачати ресурс акумулятора більше за середні значення. (під середніми розуміється звичайний режим роботи);
- відсутність завантаження ЦП мобільного терміналу більше, ніж під час звичайної роботи.

Оптимальний таймаут між точками під час збору – 15 сек.

Кількість точок на тестовому маршруті – 85.

Після збору вхідного набору, дані завантажуються до візуалізатора, до якого імпортується лог.



Рисунок 3.3 – Візуалізація треку досліджуваного об'єкта

На рисунку 3.3 візуалізовано трек із зібраних, необроблених даних із зупинкою біля висотної будівлі. Якість треку є дуже низькою, оскільки наявні значні викиди координат.

Наявна загальна інформація про пересування мобільного об'єкта та його приблизну траєкторію руху. Проте викиди хаотичного та систематичного характеру знижують якість.

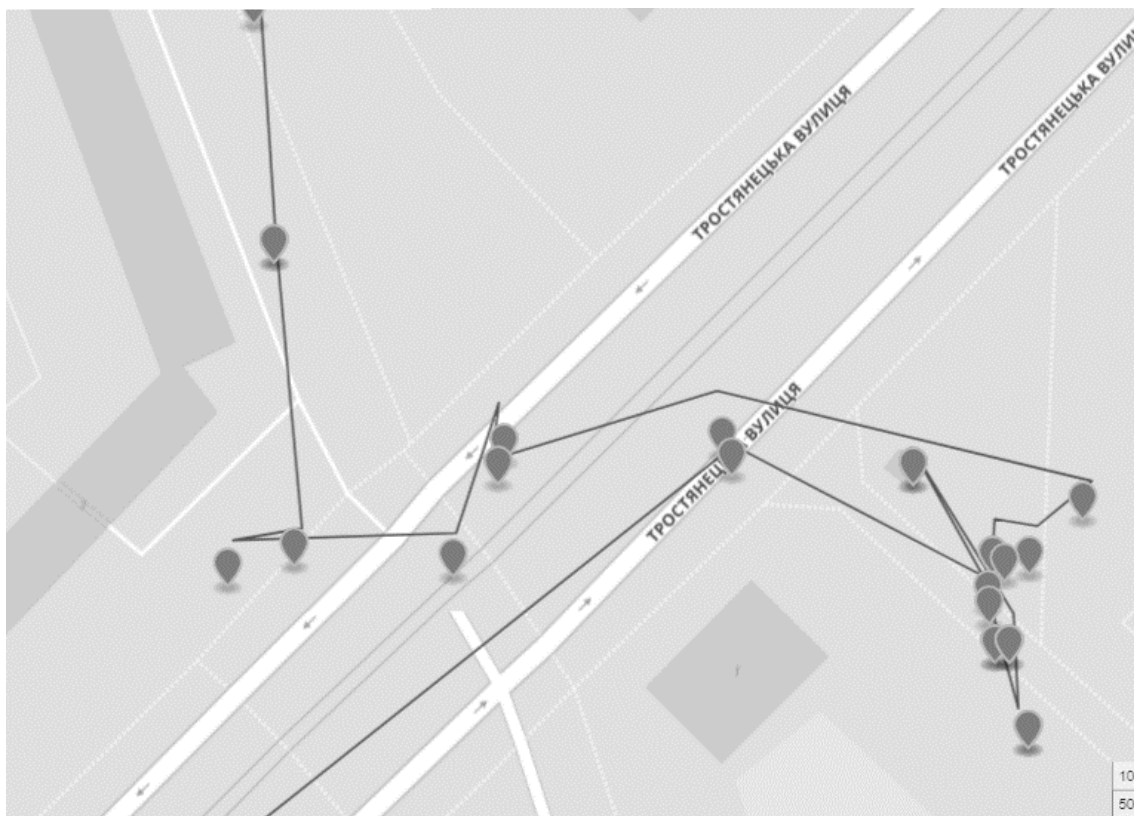


Рисунок 3.4 –Візуалізація викидів

На рисунках 3.3 та 3.4 наведено загальний вигляд треку до обробки.



Рисунок 3.5 – Відфільтрований трек

Застосування фільтра дає можливість позбавитися від «викидів» та згладити трек. У результаті ми маємо майже повну відсутність «піків», за винятком найбільшого, проте котрий був зменшений.

Результатом роботи фільтру є послідовність координат зі скоригованою широтою і довготою. На графіках представлено порівняльну характеристику значень точності у кожній точці.

### 3.2 Оцінка результатів

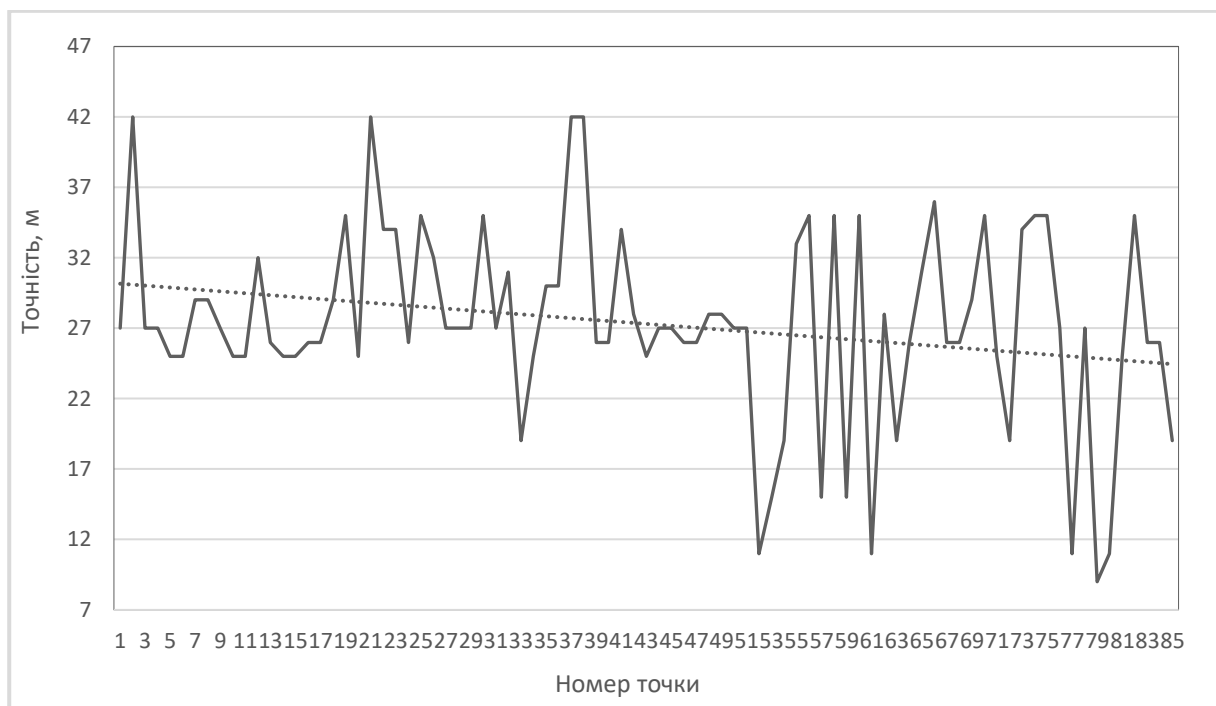


Рисунок 3.6 – Графік точності у кожній точці до обробки

На рисунку 3.6 зображено графік з показниками точності зібраних невідфільтрованих даних у кожній точці. Середнє значення точності – 27,2 м.

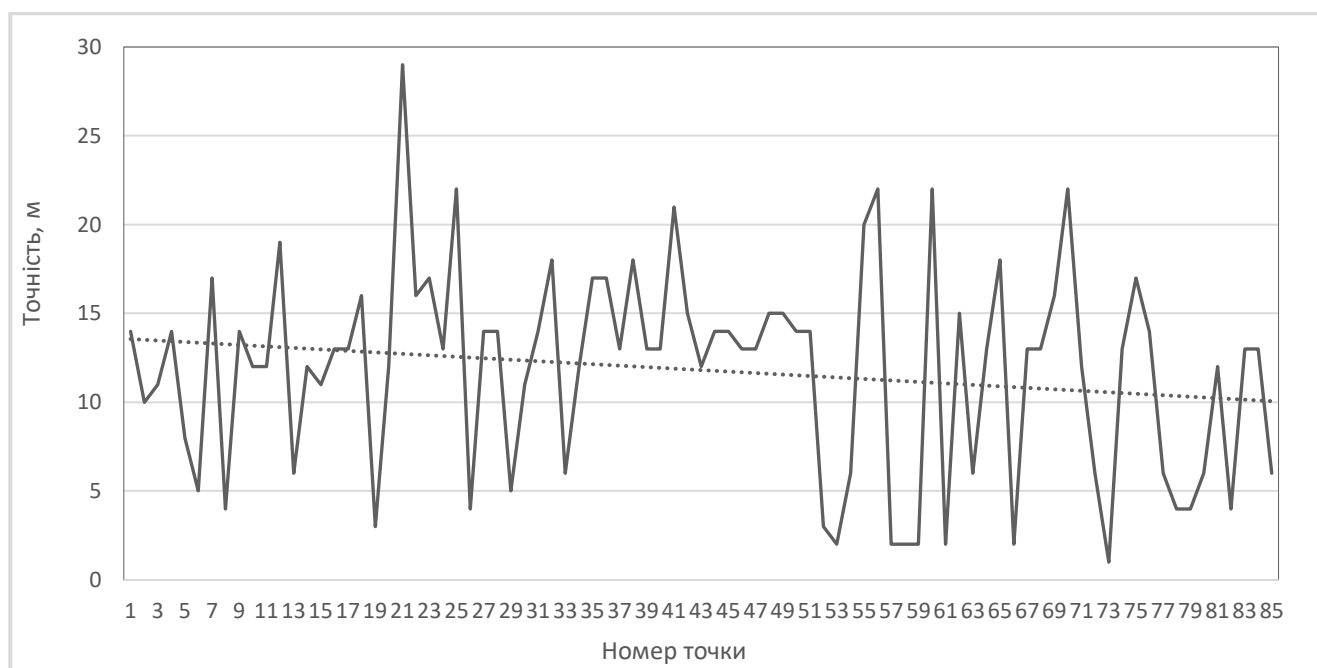


Рисунок 3.7 – Графік точності у кожній точці

На рисунку 3.7 зображено графік з показниками точності зібраних даних, до яких було застосовано фільтр Калмана. Середнє значення точності – 11.8 м.

### 3.3 Висновки до розділу

В данному розділі було розглянуто підхід до корекції навігаційних координат за допомогою фільтра Калмана. За допомогою даного методу вдалося усунути найбільш помітні спотворення маршруту, що демонструє можливість застосування даного методу до задачі згладжування маршруту і усунення викидів. Однак для подальшого підвищення якості необхідна додаткова обробка послідовності координат з метою усунення надлишкових точок, що виникають при відсутності руху об'єкта, що спостерігається.

## 4 РОЗДІЛ 4ПРОЕКТ ЯК СТАРТАП

### 4.1 Опис ідеї проекту

Результати даного дослідження можливо використати для створення навігаційного застосунку із підвищеною достовірністю отримуваних навігаційних даних.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї                                                                         | Напрямки застосування            | Вигоди для користувача                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Навігаційний застосунок із підвищеною достовірністю отримуваних навігаційних даних | 1. Відслідковування членів сім'ї | 1. Постійний догляд за власними дітьми.<br>2. Неможливість втрати з поля зору.<br>3. Забезпечення безпеки членів родини.                                               |
|                                                                                    | 2. Туристичний навігатор         | 1. Зменшення витрат на мобільний зв'язок шляхом зменшення кількості передаваних надлишкових даних.<br>2. Отримання більш точних треків з власним маршрутом пересування |
|                                                                                    | 3. Геокешинг                     | 1. Можливість весело проводити час із користувачами\друзями\<br>2. Можливість користувачам контролювати кількість сегментів                                            |
|                                                                                    | 4. Швидкість і достовірність     | 1. Зменшення часу до отримання 3D Fix                                                                                                                                  |

Висновок: в таблиці наведені основні напрвми застосування геонавігаційних систем. Споживачами є користувачі мобільних пристроїв.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| №<br>п/п | Техніко-<br>економічні<br>характерист<br>ики ідеї   | (потенційні) товари/концепції конкурентів |                                 |                      |                    | W<br>(слаб<br>ка<br>стор<br>она) | N<br>(нейт<br>раль<br>на<br>стор<br>она) | S<br>(сил<br>ьна<br>стор<br>она) |
|----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
|          |                                                     | Мій проект                                | bestmyfami<br>ly "Моя<br>семья" | «Life360»            | «Tourist<br>GPS»   |                                  |                                          |                                  |
| 1.       | Вартість<br>експлуатації                            | 1000<br>грн/місяць                        | 5000<br>грн/місяць              | 800000<br>грн/місяць | 7500<br>грн/місяць | -                                | -                                        | +                                |
| 2.       | Вартість<br>обслуговува<br>ння                      | 900 грн/місяць                            | 2000<br>грн/місяць              | 15000<br>грн/місяць  | 850<br>грн/місяць  | -                                | -                                        | +                                |
| 3.       | Наявність<br>декстопної<br>версії<br>програми       | Присутня                                  | Відсутня                        | Присутня             | Відсутня           | -                                | +                                        | -                                |
| 4.       | Наявність<br>веб-версії                             | Присутня                                  | Відсутня                        | Присутня             | Відсутня           | -                                | -                                        | +                                |
| 5.       | Робота в<br>мережі                                  | Присутня                                  | Присутня                        | Присутня             | Присутня           | -                                | -                                        | +                                |
| 6.       | Можливість<br>додавання<br>користувачі<br>в до груп | Присутня                                  | Відсутня                        | Присутня             | Присутня           | -                                | -                                        | +                                |

Продовження таблиці 4.2

|     |                                                    |             |             |           |            |   |   |   |
|-----|----------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|---|---|---|
| 7.  | Керування підлеглими підгрупам и (адміністрування) | Присутня    | Відсутня    | Відсутня  | Відсутня   | - | + | - |
| 8.  | Знижка при купівлі абонплати на календарний рік    | Присутня    | Відсутня    | Присутня  | Присутня   | - | + | - |
| 9.  | Завадостійкість                                    | Середня     | Середня     | Середня   | Середня    | - | + | - |
| 10. | Стійкість до відмов                                | Середня     | Середня     | Середня   | Середня    | - | + | - |
| 11. | Наявність системи резервного копіювання            | Присутня    | Присутня    | Присутня  | Відсутня   | - | + | - |
| 12. | Відновлюваність                                    | Висока      | Висока      | Висока    | Середня    | - | + | - |
| 13. | Технологічна собівартість                          | 200 тис грн | 500 тис грн | 5 млн грн | 350тис грн | - | - | + |
| 14. | Легкість освоєння                                  | Середня     | Середня     | Середня   | Середня    | - | + | - |

Продовження таблиці 4.2

|     |                                                              |          |          |          |          |   |   |   |
|-----|--------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---|---|---|
| 15. | Наявність<br>методичних<br>вказівок для<br>використан<br>ня  | Присутня | Присутня | Присутня | Відсутня | - | + | - |
| 16. | Наявність<br>служби<br>технічної<br>підтримки                | Присутня | Відсутня | Присутня | Відсутня | - | + | - |
| 17. | Прив'язка<br>до<br>автоматичн<br>ої<br>білінгової<br>системи | Присутня | Присутня | Присутня | Присутня | - | + | - |
| 18. | Наявність<br>тарифної<br>сітки                               | Присутня | Відсутня | Присутнє | Відсутнє | - | - | + |
| 19. | Технічна<br>документаці<br>я                                 | Присутня | Присутня | Присутня | Відсутня | - | + | - |
| 20. | Надання<br>API                                               | Відсутнє | Відсутнє | Присутня | Відсутнє | + | - | - |

У порівнянні з головними конкурентами товар має ряд переваг –вартість експлуатації, вартість обслуговування, наявність десктопної версії програми, наявність веб-версії, робота в мережі, можливість додавання користувачів до груп, знижки при купівлі сімейних тарифних планів.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п                                                                         | Ідея проекту                                     | Технології її реалізації           | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------|
| 1                                                                             | Навігаційна система визначення місцерозташування | GPS                                | Наявні               | Доступні               |
| 2                                                                             |                                                  | GLONASS                            | Наявні               | Доступні               |
| 3                                                                             |                                                  | BEIDOU                             | Наявні               | Доступні               |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: GPS (Global Positioning System)    |                                                  |                                    |                      |                        |
| 4                                                                             | Підвищення достовірності отримуваних даних       | Фільтрація (обробка) вхідних даних | Наявні               | Доступні               |
| 5                                                                             |                                                  | LBS                                | Наявні               | Доступні               |
| 6                                                                             |                                                  | WiFi                               | Наявні               | Доступні               |
| 7                                                                             |                                                  | Bluetooth                          | Наявні               | Доступні               |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Фільтрація (обробка) вхідних даних |                                                  |                                    |                      |                        |
| 8                                                                             | Реалізація клієнтського застосунку               | WEB                                | Наявні               | Доступні               |
| 9                                                                             |                                                  | DESKTOP                            | Наявні               | Доступні               |
| 10                                                                            |                                                  | MOBILE                             | Наявні               | Доступні               |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: MOBILE                             |                                                  |                                    |                      |                        |
|                                                                               |                                                  |                                    |                      |                        |

За результатами аналізу таблиці робимо висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| №<br>п/п | Показники стану ринку (найменування)                     | Характеристика |
|----------|----------------------------------------------------------|----------------|
| 1        | Кількість головних гравців, од                           | 3              |
| 2        | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од                        | 30 грн/ум.од   |
| 3        | Динаміка ринку (якісна оцінка)                           | Зростає        |
| 4        | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | відсутні       |
| 5        | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації      | Відсутні       |
| 6        | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %  | 75 %           |

За результатами аналізу ринкових можливостей запуску стартап-проекту можна зробити висновок про привабливість ринку для входження за попереднім оцінюванням. Мала кількість гравців свідчить про високий поріг входу та малу конкуренцію при виборі правильного вектору розвитку

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок                                                        | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів                                                       | Вимоги споживачів до товару                                                                                                                                                                                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Можливість отримувати інформацію про місцезнаходження членів родини\друзів\тощо | 1. Користувачі                             | 1. Зберігання власних даних з доступом через інтернет<br>2. Надання можливості передачі даних про своє місцезнаходження | 1. Доступ у будь-який момент<br>2. Захищеність даних<br>3. Простий та зрозумілий інтерфейс користувача<br>4. Можливість кастомізації – зміни налаштувань за власними потребами.<br>5. Адекватна тарифна сітка. |
| 2     | GPS маяк                                                                        | 1. Користувачі                             | Можливість стеження за будь-яким рухомим об'єктом                                                                       | 1. Зміна часових параметрів для відправки навігаційного повідомлення.<br>2. Можливість керувати дистанційно                                                                                                    |

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

| № п/п | Фактор                                    | Зміст загрози                                                                    | Можлива реакція компанії                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Відмова обладнання                        | Обладнання вийшло із ладу                                                        | Заміна обладнання                                                                                        |
| 2     | Видалення застосунку користувачем         | Користувач може випадково\умисне видалити застосунок                             | Розподілення ролей на адміністратор\користувач                                                           |
| 3     | Недостача стартових капіталовкладень      | Недостача початкових інвестицій для реалізації мінімально життєздатного продукту | Пошук нових джерел інвестицій                                                                            |
| 4     | Конкуренти пропонують більш вигідні умови | Користувачі перейдуть до конкурентів за рахунок більш вигідних умов і цін        | Маркетингова кампанія, що висвітлить переваги запропонованої системи                                     |
| 5     | Недовіра користувачів                     | Користувачі не довіряють застосункам, котрі стежать за ними                      | Надання гарантій про неспівпрацю із силовими структурами. Перенесення серверної частини до іншої країни. |

Висновки: головними факторами загроз є конкуренція та якість інтеграції. Вже існуючі товари на ринку мають певну репутацію та контракти на постачання оновлень і підтримку у споживачів. Конкуренти здатні демпінгувати ціни для отримання нових клієнтів свого товару. Нові клієнти власного продукту можуть здійснити інтеграцію рушія з низьким рівнем якості в силу внутрішніх факторів компанії-замовника.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

| №<br>п/п | Фактор                                 | Зміст можливості                                                                           | Можлива реакція компанії                                                                                                                                                                                   |
|----------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Отримання необхідних інвестицій        | Формування початковий капітал, необхідний для реалізації мінімально життєздатного продукту | Розробка мінімально життєздатного продукту                                                                                                                                                                 |
| 2        | Проведення геокешингових івентів       | Можливі колаборації із відомими сервісами системи                                          | Підтримка стабільної роботи системи та проведення масштабування системи                                                                                                                                    |
| 3        | Зацікавленість користувачів у продукті | Зростання клієнтської кількості                                                            | Підтримка стабільної роботи системи та проведення масштабування системи<br>Збільшення цін на використання сервісу                                                                                          |
| 4        | Успішна маркетингова політика          | В результаті проведеної маркетингової політики отримана висока зацікавленість користувачів | Підтримка стабільної роботи системи та проведення масштабування системи<br>Збільшення цін на використання сервісу<br>Використання подібної маркетингової стратегії надалі для залучення нових користувачів |

## Продовження таблиці 4.7

|   |                       |                                                                                         |                                                           |
|---|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 5 | Ліквідація конкурента | Конкурент ліквідував свою компанію у результаті власного бажання або зовнішніх чинників | Проведення маркетингової кампанії для монополізації ринку |
|---|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика                                                       | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)            |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Олігополія                           | Незначна кількість конкурентів<br>Велика ринкова сила<br>Схожість використовуваних технологій | Інформування ринку щодо появи нової системи<br>Співпраця із провідними конкурентами               |
| Галузевий                            | Загроза появи нових конкурентів<br>Ринкова влада споживачів<br>Висока потреба у товарі        | Інформування ринку щодо якості використовуваної новаторської технології<br>Пропозиція гнучких цін |
| Внутрішньогалузева                   | Діяльність в одній галузі економіки<br>Надання сервісів одного типу                           | Зменшення вартості сервісу<br>Примноження каналів розподілу                                       |
| Товарно-видова                       | Надання різних сервісів одного виду                                                           | Маркетингова політика                                                                             |
| Цінова                               | Використання цін для покращення економічних умов збуту                                        | Зменшення вартості сервісу<br>Використання нових каналів розподілу                                |

## Продовження таблиці 4.8

|         |                                                         |                                                                                                          |
|---------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Марочна | Пропозиція схожого сервісу<br>Спільна цільова аудиторія | Інформування ринку щодо якості використовуваної новаторської технології<br>Примноження каналів розподілу |
|---------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі             | Потенційні конкуренти                                                                                | Постачальники | Клієнти                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Товари-замінники                                                      |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                  | «bestmyfamily "Моя семья"», «Life360» | Розмір капіталовкладень, Забезпечення гнучких цін, Доступ до каналів розподілу, Витрати на масштабах | Відсутні      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Змінні витрати: Виробничі непрямі дегресивні</li> <li>- Системи інформації: пропаганда, реклама та директ-маркетинг,</li> <li>- Рівень чутливості до цін: споживачі орієнтовані на цінність продукту</li> <li>- Продуктова диференціація: якість, спосіб отримання сервісу, швидкість обслуговування</li> <li>Методи контролю якості: тестування та профілювання, прототипування, інспектування коду, аналіз архітектури програмного забезпечення</li> </ul> | Копіювання функціоналу, Монополізація дистриб'юторів, Мінімізація цін |

Продовження таблиці 4.9

|          |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                                                                                                                                                        |                                                                                                                       |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Висновки | CR4 = 75%<br>Індекс Херфіндаля-Хіршмана (ННІ) = 6392<br><br>Значення показників вказує на високу концентрацію (монополізацію) даного ринку | Можливо сті входу на ринок забезпечити мінімізація цін, швидкість та простота надавання послуги споживачам і співпраця із головними гравцями ринку. В результаті аналізу проектів на народно-громадських інтернет-платформах потенційних конкурентів знайдено не було | Відсутні | Клієнти диктують умови гнучкості цінової політики, високої і довгострокової якості послуг та наявність кооперації із сервісами, що вони використовують | Пропонування вигідних умов дистриб'юторам, забезпечення захисту інтелектуальної власності, гнучкість цінової політики |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Висновки: за результатами аналізу конкуренції можна зробити висновок щодо принципової можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності   | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)                                                                                         |
|-------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Достовірність отримуваних даних | З використанням фільтрації навігаційних даних зменшується кількість викидів                                                                                                                 |
| 2     | Модель бізнес для бізнесу       | Бізнес модель ґрунтується на співпраці із сервісами, що надають послуги зберігання даних користувачів                                                                                       |
| 3     | Цінова політика                 | Отримання прибутку здійснюється за рахунок користувачів або отримання процентів з прибутку сторонніх сервісів. Даний підхід дозволить обійти цінову конкуренцію на ринку цільової аудиторії |
| 4     | Додаткові послуги               | Відсутні                                                                                                                                                                                    |

Висновки: оцінено основні фактори конкурентної спроможності. Система забезпечує високу достовірність визначення місцезнаходження рухомого об'єкта. Простота інтеграції, гнучкість реалізації та цінова політика робить продукт більш привабливим для клієнта.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Life360 |    |    |   |    |    |    |
|-------|-------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|----|----|---|----|----|----|
|       |                               |           | -3                                                 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1     | Унікальність сервісу          | 10        |                                                    |    |    |   | +  |    |    |
| 2     | Модель бізнес для бізнесу     | 10        |                                                    |    |    |   | +  |    | +  |

## Продовження таблиці 4.11

|   |                   |    |  |  |  |   |   |  |  |
|---|-------------------|----|--|--|--|---|---|--|--|
| 3 | Цінова політика   | 20 |  |  |  |   | + |  |  |
| 4 | Додаткові послуги | 10 |  |  |  | + |   |  |  |

Висновки: спираючись на фактори конкурентоспроможності та підсумовуючи рейтинг товару відносно головного конкурента, запропонований продукт має більший рейтинг відносно прямих конкурентів.

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

|                                                                                                                    |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сильні сторони:<br>Якість та довготривалість послуги<br>Низькі ціни<br>Можливість колаборації з масовими сервісами | Слабкі сторони:<br>Недостача капіталовкладень на старті<br>Необхідність стрімкого входу на ринок |
| Можливості:<br>Інвестиції<br>Будова бажаної бізнес-моделі<br>Висока зацікавленість цільової аудиторії              | Загрози:<br>Крадіжка пристрою<br>Відмова у співпраці<br>Недовіра користувачів                    |

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| № п/п | Альтернатива<br>(орієнтовний комплекс заходів)<br>ринкової поведінки | Ймовірність<br>отримання ресурсів | Строки реалізації |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1     | Створення охоронного комплексу                                       | Ймовірне                          | 6 місяців         |

## Продовження таблиці

|                                                              |                                             |               |            |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|------------|
| 2                                                            | Пропонування безкоштовних додаткових послуг | Ймовірне      | 12 місяців |
| 3                                                            | Продаж додаткових пристроїв                 | Ймовірне      | 24 місяці  |
| 4                                                            | Можливість входу на ринок у іншу галузь     | Дуже ймовірне | 4 місяців  |
| Обрана альтернатива: Можливість входу на ринок у іншу галузь |                                             |               |            |

## 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент       |
|-------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1     | Батьки, діти, сім'ї                              | Висока                                  | 75%                                                 | Середня                              | Низький бар'єр входу у сегмент |
| 2     | Користувачі бізнес сектору                       | Середня                                 | 30%                                                 | Висока                               | Високі бар'єри входу           |

|                                               |                                |        |    |        |                                |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|--------|----|--------|--------------------------------|
| 3                                             | Власники розважальних сервісів | Низька | 5% | Низька | Низький бар'єр входу у сегмент |
| Які цільові групи обрано: Батьки, діти, сім'ї |                                |        |    |        |                                |

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

| № п/п | Обрана альтернатива розвитку проекту             | Стратегія охоплення ринку | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи                                                                     | Базова стратегія розвитку* |
|-------|--------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1     | Надання системи геонавігації для будь-яких цілей | Вибірковий розподіл       | Здатність протистояти прямим конкурентам<br>Низькі витрати<br>Ефективна співпраця із можливими користувачами\посередниками\дистриб'юторами | Стратегія диференціації    |

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| № п/п | Чи є проект «першопрохідцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які? | Стратегія конкурентної поведінки*              |
|-------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1     | Ні                                     | Забирати та залучати нових                                                   | Надання групового розподілу                                                 | Стратегія лідера. Розширення первинного попиту |

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

| №<br>п/п | Вимоги до<br>товару<br>цільової<br>аудиторії                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Базова<br>стратегія<br>розвитку | Ключові<br>конкурентоспроможні<br>позиції власного<br>стартап-проекту                                                                                                         | Вибір асоціацій, які мають<br>сформувати комплексну позицію<br>власного проекту (три ключових) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <p>1. Доступ у будь-який момент</p> <p>2. Захищеність даних</p> <p>3. Простий та зрозумілий інтерфейс користувача</p> <p>4. Можливість кастомізації – зміни налаштувань за власними потребами.</p> <p>5. Адекватна тарифна сітка.</p> <p>1. Зміна часових параметрів для відправки навігаційного повідомлення.</p> <p>2. Можливість керувати дистанційно</p> | Стратегія диференціації         | <p>Формування регулярного попиту</p> <p>Збільшення разового використання послуги</p> <p>Виявлення нових груп споживачів</p> <p>Нові напрями застосування існуючої послуги</p> | Захист даних, безпека, особиста безпека                                                        |

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба                                                                                                           | Вигода, яку пропонує товар                                                                 | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)                              |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Визначення місцерозташування певного рухомого об'єкта                                                             | Гарантоване визначення місцерозташування, при наявності справного та працюючого обладнання | Якість послуги<br>Інноваційність підходу<br>Цінова перевага                                               |
| 2     | Безпека даних                                                                                                     | Передача даних лише на власні сервери                                                      | Інноваційність підходу<br>Простота реалізації                                                             |
| 3     | Простий та зрозумілий інтерфейс користувача<br>Можливість кастомізації – зміни налаштувань за власними потребами. | Простота інтерфейсу,                                                                       | Інноваційність підходу<br>Простота реалізації<br>Глобальність застосування завдяки кількості користувачів |
| 4     | Адекватна тарифна сітка.                                                                                          | Розумний підхід до побудови тарифних планів                                                | Цінова перевага                                                                                           |

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

|                                                                |                                                                                                    |      |                |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|
| Рівні товару                                                   | Сутність та складові                                                                               |      |                |
| I. Товар за задумом                                            | Споживачам необхідний застосунок із функціональною приналежнстю до навігаторів супутникових систем |      |                |
| II. Товар у реальному виконанні                                | Властивості/характеристики                                                                         | М/Нм | Вр/Тх /Тл/Е/Ор |
|                                                                | 1. Навігація<br>2. Збереження                                                                      |      |                |
|                                                                | Якість: стандарти                                                                                  |      |                |
|                                                                | Пакування                                                                                          |      |                |
|                                                                | Марка: NoNo                                                                                        |      |                |
| III. Товар із підкріпленням                                    | До продажу                                                                                         |      |                |
|                                                                | Після продажу                                                                                      |      |                |
| За рахунок програмного коду товар буде захищени від копіювання |                                                                                                    |      |                |

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1     | 50-100 грн                     | 26-49 грн                    | 10000 грн                                | 500– 25 грн                                             |

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

| №<br>п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару     | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту                              |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|
| 1        | Закупівля здійснюється через довірені джерела       | Інформування користувачів<br>Доступ користування сервісом | Канал одного рівня   | Селективна з використанням комбінованого каналу збуту |

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

| №<br>п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|

|  |                                                             |                  |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                   |
|--|-------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  | Ведення бізнесу в інтернеті<br>Робота з цифровою продукцією | Прямі неофіційні | Послідовність в реалізації обраної позиції<br>Доступність та об'єктивність інформації про фірму і товар<br>Унікальність послуги | Формування у цільовій аудиторії обізнаності про появу нового сервісу<br>Інформування користувачів про властивості та переваги новоствореного сервісу.<br>Інформування користувачів про нові способи використання відомого сервісу.<br>Зацікавлення нових користувачів та запевнення перейти від користування продуктами-замінниками.<br>Пояснення цільовій аудиторії принципу дії послуги<br>Виправити у користувачів неправильні представлення про продукт.<br>Розширити набір знань про користувацькі аспекти продукту. | Раціоналістична стратегія реклами |
|--|-------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|

Результатом пункту 4.5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції послуг, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки: існує можливість ринкової комерціалізації проекту. Присутній попит на послуги, незважаючи на наявність продуктів-аналогів. Розроблений проект має свої переваги над конкурентами у вигляді співвідношення ціни/якість. З огляду на потенційні групи клієнтів є перспективи для входження на ринок. Отже конкурентоспроможність послуг висока.

## ВИСНОВКИ

В рамках даного дослідження були розглянуті засоби обробки навігаційних даних. Детально розглянуто підхід до корекції GPS-координат за допомогою фільтра Калмана. Даний фільтр працює у реальному часі, що звільняє МТ від накопичення даних, згладжує «викиди», що покращує візуальне сприйняття треку; проаналізовано існуючі методи боротьби із факторами, що вносять похибку до отримуваних геонавігаційних даних, зменшуючи точність визначення місцезнаходження. Запропоновано метод фільтрації навігаційних даних на основі фільтра Калмана з метою підвищення точності та достовірності отримуваних даних, що перевірений експериментально.

У ході дослідження експериментальним шляхом було доведено ефективність методу фільтрації навігаційних даних із застосуванням Калманівської фільтрації. Запропонований метод дозволяє у кожний момент часу мати актуальну оцінку, з можливістю враховувати усі попередні виміри.

За допомогою наведеного методу вдалося усунути найбільш помітні спотворення маршруту, що демонструє можливість застосування даного методу до задачі обробки навігаційних координат.

Результати дослідження мають діюче комерційне застосування та є актуальними і перспективними в області геонавігаційних систем.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гришин М.Л., Данилкин Ф.А. Метод быстрой фильтрации потока данных о глобальной позиции наблюдаемого объекта на примере GPS-телеметрии // Геоинформатика, 2008. № 3. С. 21–28.
2. Richard B. Langley (May 1999) (May 1999). "Dilution of Precision" // 1999. GPS World. С. 52-59.
3. Бейлина Н.В. Блочно-временной алгоритм фильтрации геолокационных данных // Вестн. СамГУ. Естественнонаучн. сер., 2013. № 9/1(110). С. 212–215.
4. Спутниковая система навигации [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Спутниковая\\_система\\_навигации](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Спутниковая_система_навигации) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
5. Спутниковая система GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.satlines.info/shop/firms/GPS.html>=Спутниковая\_система\_навигации (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
6. GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS> (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
7. История создания системы GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.itrack.com.ua/support/docs/historyofgps> (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
8. GPS :: Хронология [Электронный ресурс] – Режим доступа: [transport.kaketoustroeno.ru/a\\_transport&gps&6.htm](http://transport.kaketoustroeno.ru/a_transport&gps&6.htm) (дата звернення: 20.05.2018) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
9. Как работает GPS, принципы работы GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.tracker.co.ua/gps\\_work.html](http://www.tracker.co.ua/gps_work.html) (дата звернення: 20.05.2018) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.
10. GPS: принципы работы системы и точность определения [Электронный ресурс] – Режим доступа: [sts-51.ru/index.php/navigatsiya/materials-](http://sts-51.ru/index.php/navigatsiya/materials-)

about/73-fort-news3 (дата звернення: 20.05.2018)(дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

11. Приложения на Google Play – GPS Test [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chartcross.gpstest> (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

12. GPS – История, применение, преимущества и недостатки [Електронний ресурс] – Режим доступу: [ru.navires.com](http://ru.navires.com) > F.A.Q (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

13.BPSK – Режим доступу: <http://www.dsplib.ru/content/bpsk/bpsk.html> [Електронний ресурс] (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

14. Причины погрешностей в GPS мониторинге [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://gps-tracker.com.ua/prichiny-pogreshnostej-v-gps-monitoringe.html> (дата звернення: 20.05.2018)(дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

15. DOP — Википедия [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DOP> (дата звернення: 20.05.2018) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

16. Что такое «холодный», «теплый» и «горячий» старт GPS-приемника [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.nix.ru/computer\\_hardware\\_news/hardware\\_news\\_viewer.html](http://www.nix.ru/computer_hardware_news/hardware_news_viewer.html) (дата звернення: 20.05.2018) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

17. Сегмент контроля и управления — Студопедия [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://studopedia.ru/4\\_165002\\_segment-kontrolya-i-upravleniya.html](http://studopedia.ru/4_165002_segment-kontrolya-i-upravleniya.html) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

18. A-GPS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/A-GPS> (дата звернення: 20.05.2018) (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

19. Режимы работы A-GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.stariy.com/2007/12/22/a-gps-assisted-gps/](http://www.stariy.com/2007/12/22/a-gps-assisted-gps/) (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.
20. Сферы применения технологий GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: [ru.navirec.com](http://ru.navirec.com) › F.A.Q (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.
21. Real Time Positioning; Construction and implementation of a GPS-Communicator. Master's thesis in Control and Communication By Christian Darnell Christian Wilczoch – [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:18805/FULLTEXT01.pdf> Christian – (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.
22. Области применения GPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.gpsgrad.com/transport/application](http://www.gpsgrad.com/transport/application) (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.
23. Android [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Android> (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.
24. Yadav J., Giri R., Meena L. Error handling in GPS data processing // Mausam. 2011. Vol. 62. No. 1. P. 97–102.
25. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. No. Series D. PP.35–45.\
26. Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter: Tech. Rep. TR-95-041. [Электронный ресурс] – Режим доступа [https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman\\_intro.pdf](https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf),
27. Vincenty T. Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations // Survey Review. 1975. apr. Vol. 23. No. 176. PP. 88–93.
28. NMEA data // Gpsinformation.org: website. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>. . (дата звернения: 20.05.2018) – Назва з екрану.

29. Gong L., Morikawa T., Yamamoto T., Sato H. Deriving Personal Trip Data from GPS Data: A Literature Review on the Existing Methodologies // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 138. P. 557-565. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.07.239
30. Agarwal N., Basch J., Beckmann P., Bharti P., Bloebaum S., Casadei S., Chou A., Enge P., Fong W., Hathi N., Mann W., Sahai A., Stone J., Tsitsiklis J., Van Roy B. Algorithms for GPS operation indoors and downtown // *GPS Solutions*. 2002. Vol. 6, no. 3. P. 149-160. DOI: 10.1007/s10291-002-0028-0
31. Zhou C., Bhatnagar N., Shekhar S., Terveen L. Mining Personally Important Places from GPS Tracks // 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop
32. Stuffin space [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://stuffin.space/> (дата звернення: 20.05.2018) – Назва з екрану.

## ДОДАТОК А

Стаття «Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга»  
– SIMULATION» – Збірник праць конференції С.237-241.

УДК 004.94

М74

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, НИИ многопроцессорных вычислительных систем им А.В. Каляева Южного Федерального Университета (Россия), Национальный технический университет «Львовская политехника», Институт кибернетики им.В.М. Глушкова НАН Украины, Национальный авиационный университет Украины, Донецкий национальный технический университет, Институт электродинамики НАН Украины, Институт проблем регистрации информации НАН Украины, Щецинский технический университет (Польша), Институт специальной связи и защиты информации НТУУ «КПИ», Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан), Компания «Юстар» (Украина), Энергосервисная компания «ПАТРИОТ-НРГ» проводят Пятую международную конференцию МОДЕЛИРОВАНИЕ-2016.

Конференция проходит в Институте проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев, 25-27 мая 2016 г.

**ISBN 978-966-02-7928-5**

Все материалы поданы в авторской редакции. Прошли рецензирование.

40. *А.А. Кузнецов, И.Н. Белозерцев, А.В. Андрушкевич* Нелинейные узлы замен блочных симметричных шифров 183
41. *О. Г. Додонов, А. И. Кузьмичов* Моделювання ризиків у проектно-орієнтованому організаційному управлінні засобами стохастичної оптимізації середовища ASP 187
42. *Н. А. Куликовская, Р. К. Кудерметов* Модель распределенной компьютерной системы с семантическими веб-сервисами 191
43. *В. В. Кучанський* Імітаційна модель електропередачі надвисокої напруги для дослідження резонансних перенапруг 194
44. *Д. В. Ландэ, В. А. Додонов, Т.В. Коваленко* Информационные операции в компьютерных сетях: моделирование, выявление, анализ 197
45. *А.В.Латышев* О моделировании механизмов сознания 201
46. *Н. А. Литвинов* Компонент генерации шаблонов и библиотек JNI 205
47. *В.В.Максимова, С.И.Мазухина, Т.А.Черепанова, Т.Т.Горбачева* Применение физико-химического моделирования в экологических исследованиях 209
48. *Т.Т.Горбачева, С.И.Мазухина, Т.А.Черепанова, В.В.Максимова* Физико-химическое моделирование состава вод наземных экосистем Мурманской области РФ 213
49. *Ю. Л. Меньшиков* Лучшее для прогноза адекватное математическое описание динамических систем 217
50. *В. І. Ночвай, В. В. Циганок* Модель прийняття рішень з розподілу ресурсів між проектами в соціоекологічній системі 221
51. *А. Г. Додонов, В. Г. Пуятин, С. А. Куценко, А.А. Юрасов* Управление процессом моделирования при решении функциональных задач на АРМ компьютерной модели СОУ АК 225
52. *Д. В. Самсоненко* Моделювання варки утфелю у вакуум-апаратах 229
53. *В. М. Седенков* Домен-независимое проектирование: теория, технология, система 233
54. *А. С. Соколенко* Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга 237

**А. С. Соколенко<sup>1)</sup>**, бакалавр, системная инженерия  
<sup>1)</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ»  
 (Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,  
 тел. (097) 4052830, e-mail: alex.sklink@gmail.com)

## Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга

The aim of research is to classify the problems of errors occurrence during implementation of geolocation software, which requires high precision positioning. Also produced the comparative analysis of the receiver initialization process.

*Ключевые слова:* GPS, мониторинг, система спутниковой навигации.

**Введение.** Спутниковая навигационная система – система космического базирования, которая позволяет в глобальных масштабах определять текущие местоположения подвижных объектов и их скорость, а как же осуществлять точную координацию времени.

Спутниковую навигационную систему можно рассматривать как высокотехнологичную информационную систему, состоящую из пяти основных сегментов (Рис. 1).

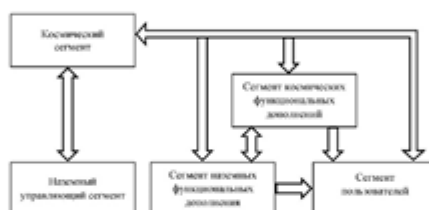


Рис. 1. Организация спутниковой навигационной системы

Наземный управляющий сегмент включает в себя центр управления космическим сегментом, станции контроля за навигационными спутниками. Управляющий сегмент решает задачи определения, прогнозирования и уточнения параметров движения навигационных спутников. Космический сегмент представляет собой систему навигационных спутников, вращающихся по эллиптическим орбитам вокруг Земли. Сегмент пользователей состоит из пользовательских приемников. Сегменты наземных и космических функциональных дополнений представляют собой аппаратно-программные комплексы предназначенные для обеспечения точности навигационных определений, целостности, непрерывности, доступности и эксплуатационной готовности системы<sup>1)</sup>.

GPS (англ. Global Positioning System – система глобального позиционирования) – спутниковая система навигации, которая обеспечивает измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат WGS 84. Функциональное назначение такой системы: определять местоположение и скорость объектов в любом месте Земли (исключая приполярные области)<sup>2)</sup>.

GPS-приёмник – радиоприёмное устройство для определения географических координат текущего местоположения. Все спутники передают данные на приемник посредством радиосигнала, транслирующегося на две частоты. Одна из них – гражданская и имеет индекс L1 (1575.42 МГц), вторая же используется военными

и геодезистами и маркируется как L2 (1227.60 МГц).

**Цель исследования.** Задачей исследования является классификация проблем возникновения погрешностей при реализации геолокационного программного обеспечения, в котором необходима высокая точность определения местоположения.

Основными источниками ошибок, влияющими на точность навигационных вычислений в GPS-системе, являются:

1. Ионосферные задержки сигнала. Задержки распространения сигналов приводят к ошибкам порядка 20-30 м днем и 3-6 м ночью.
2. Тропосферные задержки сигнала. Величина погрешности напрямую зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Значения погрешностей этого вида не превышают 30 м.
3. Эфемеридная погрешность. Ошибки обусловлены расхождением между фактическим положением спутника и его расчетным положением. Значение погрешности обычно не больше 3 м.
4. Погрешность ухода шкалы времени спутника вызвана расхождением шкал времени различных спутников. Устраняется с помощью наземных станций слежения.
5. Погрешность определения расстояния до спутника. Ошибка не коррелирована с другими видами погрешностей. Ее величина не превышает 10 м.
6. Неточное определение времени. Приводит к возникновению систематической ошибки определения координат около 0.6 м. Устраняется при помощи установки сервера точного времени на приемнике.
7. Ошибки вычисления орбит. Появляются вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников, выполняемых в аппаратуре приемника. Погрешность приводит к ошибке измерения координат около 0.6 м.
8. Инструментальная ошибка приемника. Обусловлена наличием шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения, принятого от спутника и опорного сигналов, т.е. погрешность вычисления псевдодалности. Приводит к возникновению координатной ошибки порядка 1.2 м.
9. Многолучевой прием. Появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. Возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Наилучшим способом борьбы считается рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий.
10. Геометрическое расположение спутников. При вычислении суммарной ошибки необходимо учесть взаимное положение приемника и спутников. Для этого вводится специальный коэффициент геометрического снижения точности GDOP (Geometric Dilution Of Precision), на который необходимо умножить все перечисленные выше ошибки, чтобы получить результирующую ошибку. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Большое значение GDOP говорит о неудачном расположении спутника и большой величине ошибки<sup>4)</sup>.

Все ошибки влияют на скорость старта приемника. Существует три типа стартов (процесс инициализации приемника): «Холодный старт» – альманах и

эфемериды неизвестны, в современных устройствах занимает несколько минут, «теплый старт» – альманах известен, а эфемериды нет, длится менее минуты и «горячий старт» – известны и альманах, и эфемериды, занимает несколько секунд. На Рис. 2А визуализированы замеры времени, которое затрачивается на инициализацию приемника, произведенные при помощи встроенного GPS-модуля в Samsung Galaxy S4.

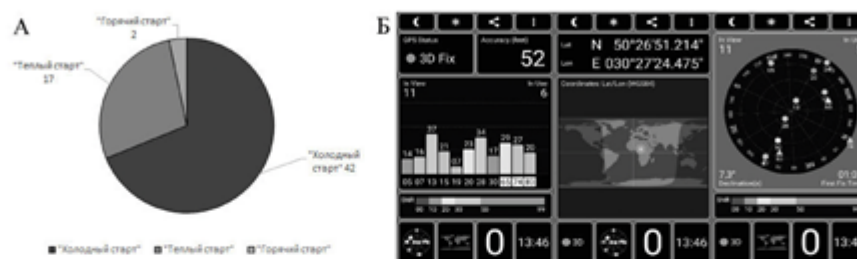


Рис. 2. Визуализация данных, получаемых приемником

Основной принцип использования системы заключается в определении местоположения путём измерения моментов времени приёма синхронизированного сигнала от навигационных спутников антенной потребителя. Для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно иметь четыре уравнения: «расстояние равно произведению скорости света на разность моментов приёма сигнала потребителем и момента его синхронного излучения от спутников»:

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau) \quad (1)$$

Здесь:  $a_j$  – местоположение  $j$ -го спутника,  $t_j$  – момент времени приёма сигнала от  $j$ -го спутника по часам потребителя,  $\tau$  – неизвестный момент времени синхронного излучения сигнала всеми спутниками по часам потребителя,  $c$  – скорость света,  $x$  – неизвестное трёхмерное положение потребителя.

Для точного определения местоположения необходимо получить данные с четырех спутников. Допустим, известна величина расстояния от одного спутника до приемника. Визуализируя окружность вокруг спутника, видно положение приемника на поверхности сферы (Рис. 3А).

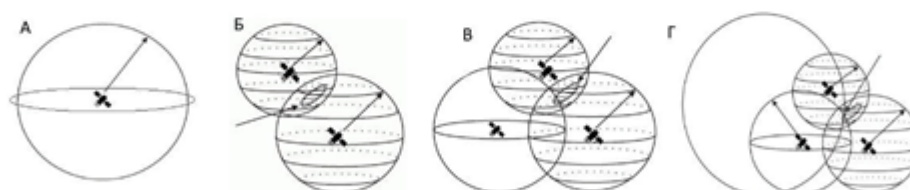


Рис. 3. Визуализация наложения данных с спутников

Наложив данные ещё одного спутника образовывается геофона на пересечении двух сфер, в которой находится приемник (Рис. 3Б).

Таким образом, сузился сектор поиска до пересечения двух окружностей. Следующей итерацией накладывается информация с третьего космического аппарата. Третье измерение дает две точки, в одной из которых находится

приемник (Рис. 3В).

Заключительным этапом является наложение четвёртого измерения поверх остальных. На рисунке 4Г отображена точка координат, полученная при пересечении четырёх сфер.

В практической реализации Android приложения «GPS Test» (Chartcross Limited)<sup>3)</sup> (Рис. 2Б) визуализированы данные о количестве видимых и используемых спутников и их положение в небе, уровне сигнала – отношение мощности полезного сигнала к мощности шума и текущие координаты приемника. В реальных условиях для уменьшения коэффициента геометрического снижения точности необходимо, как минимум, 5 спутников.

Помимо орбитальных спутников, в состав системы GPS входят наземные станции слежения, которые принимают навигационные сигналы со всех спутников, затем посылают данные на главную управляющую станцию, где производится анализ и обработка полученной информации. На ее основе проводятся необходимые корректировки в орбитах спутников и их встроенных часах один раз в 24 часа для каждого спутника. При помощи дополнительной модуляции несущей частоты со скоростью всего в 50 бит/сек передаются так называемые навигационные сообщения, которые содержат точные координаты орбиты спутника («эфемериды»), точное системное время и данные альманаха – эфемериды остальных спутников системы. Эти данные разбиты на 25 фрагментов по 1500 бит, поэтому полное навигационное сообщение передаётся 12 минут 30 секунд.

**Заключение.** Рассмотрены и классифицированы проблемы реализации системы мониторинга и возможные пути их решения. Результатом проведенного исследования является разделение задач, которые планируются реализовать техническим и программным способом для системы спутникового позиционирования повышенной точности, а также выделен класс задач, которые решаются только при помощи вторичных организационных мероприятий. Мероприятия такого типа планируются с помощью дополнительных инструкций, которые необходимо выполнить пользователю системы в строго определенном случае.

Подводя итоги, главным шагом по увеличению точности для планируемой к разработке системы будет уменьшение времени инициализация приемника путём программной имплементации фонового обновления альманаха<sup>5)</sup>.

1. Общая характеристика спутниковых радионавигационных систем [Электронный ресурс]//Режим доступа: <http://www.techsectors.ru/teseps-68-1.html>

2. GPS [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>

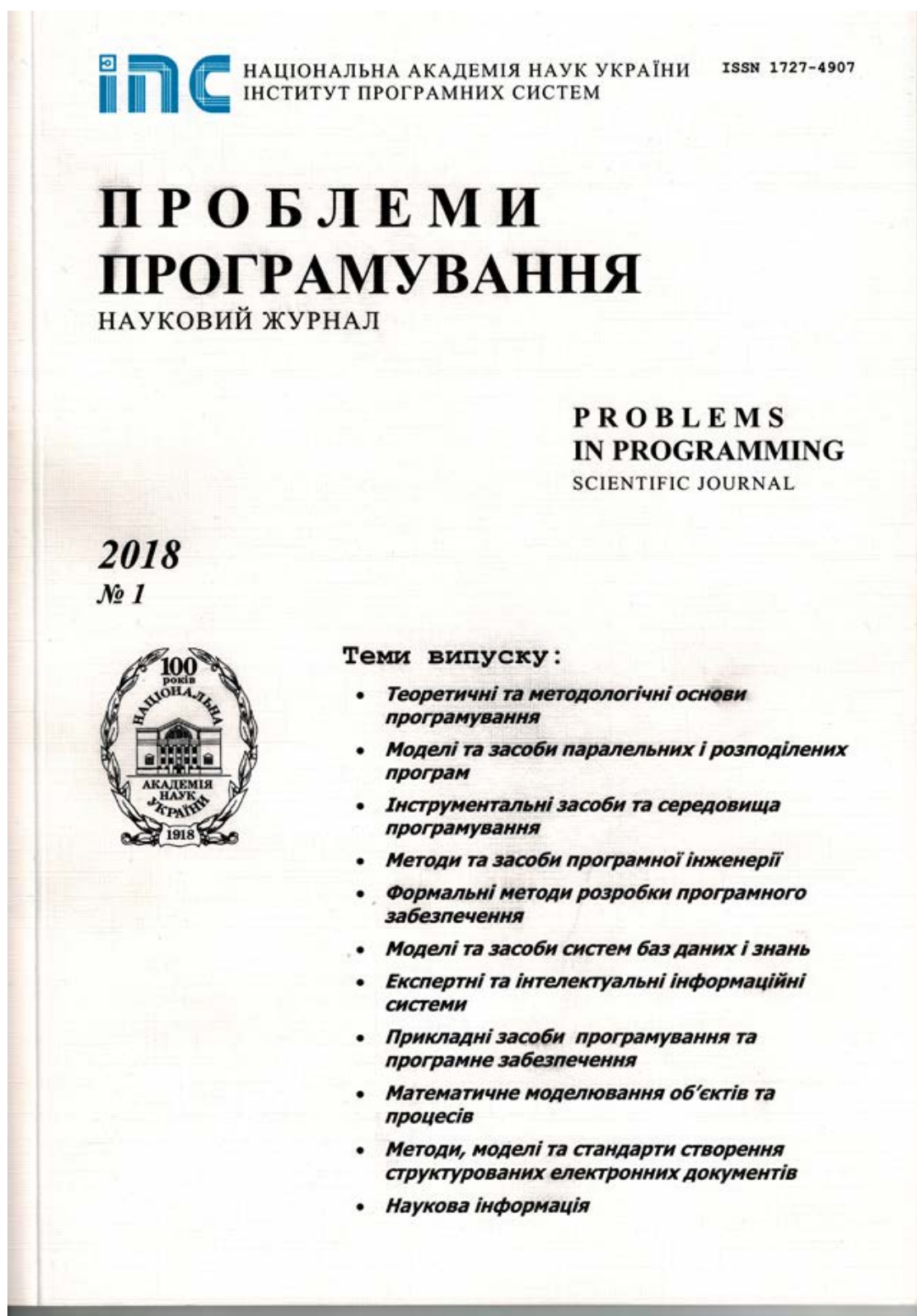
3. GPS Test [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chartcross.gptest>

4. DOP [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DOP>

5. GPS Updater [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.bars.qagps>

## ДОДАТОК Б

Стаття «Обробка GPS координат з використанням Калманівської фільтрації» – Науковий журнал «Проблеми програмування» – 2018 – №1 – С. 105-111.



**Прикладні засоби програмування та програмне забезпечення**

- Соколенко О.С., Дорошенко А.Ю. Обробка GPS координат з використанням калманівської фільтрації 105

**Математичне моделювання об'єктів та процесів**

- Яловець А.Л. До постановки задачі розпізнавання невідомого оточуючого середовища, навігації та планування шляхів агентом в ньому 113

**Методи, моделі та стандарти створення структурованих електронних документів**

- Шарипанов А.В., Щетинін І.Є., Іванов С.М. Аналіз формальних моделей та стандартів опису структурованого електронного документа в корпоративній інформаційній системі 128

**Наукова інформація**

- Інформаційне повідомлення 157

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 7490 від 01.07.2003

Науковий журнал "Проблеми програмування" занесений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт.

ISSN 1727-4907

© Інститут програмних систем  
НАН України, 2018

УДК 681.3

О.С. Соколенко, А.Ю. Дорошенко

## ОБРОБКА GPS КООРДИНАТ З ВИКОРИСТАННЯМ КАЛМАНІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Проведено аналіз джерел і форматів геоданих про місцезнаходження сучасних мобільних комунікаційних пристроїв. Виявлено причини похибки визначення місцезнаходження, отримуваних від різних джерел, і запропоновано метод фільтрації даних для виключення завідомо неточних координат, що дозволяє збільшити точність побудови треку руху об'єкта. Адекватність та ефективність представленого методу підтверджені результатами аналізу експериментальних даних.

Ключові слова: фільтрація навігаційних даних, фільтр Калмана, GPS, Android, навігаційна система.

### Вступ

Системи глобального супутникового позиціонування все частіше використовуються для визначення місцезнаходження в системах моніторингу рухомих об'єктів. Розвиток і поширення сучасних систем супутникового моніторингу тісно пов'язані з підвищенням точності та достовірності прийнятих навігаційних даних. Однак через похибки, що обумовлені рядом причин, підсумковий результат не відповідає у точності оригінальному треку (маршруту) відстежуваного об'єкта. Спостерігаються як незначні відхилення (~до 50 м), що не надто ускладнюють сприйняття візуальної інформації про маршрут об'єкта і його аналіз, так і вельми значні (до 1 км), в разі втрати сигналу від супутників і використанні базових станцій оператора стільникового зв'язку.

### 1. Система глобального супутникового позиціонування

Супутникова навігаційна система – система космічного базування, яка дозволяє у глобальних масштабах визначати поточне місцезнаходження рухомих об'єктів і їх швидкість та здійснювати точну координату часу [1]. Супутникову навігаційну систему можна розглядати як високотехнологічну інформаційну систему, що складається з п'яти основних сегментів (рис. 1) [2].

Наземний керуючий сегмент включає у себе центр керування космічним сегментом, станції контролю за навігаційни-



Рис. 1. Організація супутникової навігаційної системи

ми супутниками. Керуючий сегмент вирішує завдання визначення, прогнозування та уточнення параметрів руху навігаційних супутників. Космічний сегмент – це система навігаційних супутників, що обертаються по еліптичних орбітах навколо Землі. Сегмент користувачів складається з користувацьких приймачів. Сегменти наземних і космічних функціональних доповнень представляють собою апаратно-програмні комплекси призначені для забезпечення точності навігаційних визначень, цілісності, безперервності, доступності та експлуатаційної готовності системи.

Поточна конфігурація GPS складається з 31 супутника (2017) [3], що обертаються навколо Землі на високих орбітах. Кожен супутник, що входить до сузір'я GPS обертається на висоті близько 20000 кілометрів над землею. Орбітальна швидкість становить близько 14000 кілометрів на годину (орбітальний період дорівнює ~12 годин, супутники GPS не знаходяться на геостационарній або геосинхронній ор-

бітах). Параметри розташування угруповання космічних апаратів вибрані не випадково: у будь-який момент часу в будь-якій точці земної кулі необхідно отримати сигнали як мінімум від 3-х супутників, що є необхідною умовою визначення координат приймача. Для більш точного визначення місцезнаходження необхідний сигнал від четвертого супутника. GPS-приймач визначає своє поточне розташування і напрямок шляхом порівняння сигналів часу, отримуваних з різних GPS-супутників (зазвичай від 4 до 12) і трилатерації за поточним станом кожного з супутників. Таким чином досягається висока точність: найпростіший кишеньковий GPS-приймач може визначити абсолютну позицію відносно поверхні Землі за декілька секунд з точністю до кількох метрів чи менше (за допомогою різницевих технік, які порівнюють два прилеглих приймача; а точності порядку сантиметрів у відносному положенні часто досягаються протягом години або близько того). Сателіти GPS обладнані точним атомним годинником, котрий періодично синхронізується з наземними станціями. Дані станції використовуються для уточнення параметрів орбіти супутників.

### 1.1 Необхідні набори даних та типи запуску приймача

Перш ніж навігаційний приймач зможе видавати інформацію про місцезнаходження, він має володіти наступними наборами даних [4]: сигнали від супутника; альманах – інформація про приблизні параметри орбіт всіх супутників, а також дані для калібрування годин і характеристики іоносфери; ефемериди – точні параметрів орбіт і годин кожного супутника.

Щодо початку роботи приймача, існують наступні типи початку роботи [5]: холодний старт – описує ситуацію, коли приймачу необхідне отримання всієї інформації для визначення місцезнаходження (тривалість: до 5 хв); теплий старт (нормальний) – описує ситуацію, коли у приймача є майже вся необхідна інформація в пам'яті і він визначить місце протягом хвилини; гарячий (режим очікування) – приймач має дійсні дані про час, позицію, аль-

манах і ефемериди, що дозволяє швидко отримувати супутникові сигнали. Час, необхідний приймачу в цьому стані для обчислення фіксації позиції, може також називатися "Час до наступного виправлення" (TTSF) – 1–5 с.

## 2. Точність визначення місцезнаходження

Точність позиціонування залежить від ряду факторів, у тому числі помилки обладнання навігаційних супутників, помилки GPS приймача і помилки поширення супутникового сигналу. У загальному випадку, середня точність позиціонування для побутового GPS приймача становить у середньому 25 м.

Основними джерелами помилок, що впливають на точність навігаційних обчислень у GPS-системі, є: [6].

- Іоносферні затримки сигналу. Затримки поширення сигналів призводять до помилок близько 20–30 м вдень і 3–6 м вночі.

- Тропосферні затримки сигналу. Величина похибки безпосередньо залежить від метеорологічних параметрів (температури, тиску, вологості) та висоти супутника над горизонтом. Тропосферні затримки компенсуються шляхом проведення розрахунку математичної моделі шару атмосфери. Значення похибок даного типу не перевищують 30 м.

- Ефемеридна похибка. Помилки, що обумовлюються розбіжністю між фактичним положенням супутника та його розрахунковим положенням. Значення похибки до 3 м.

- Багатопроміньовий прийом. З'являється в результаті вторинних відбиттів сигналу супутника від великих перешкод, розташованих у безпосередній близькості від приймача. Виникає явище інтерференції, у зв'язку з чим, вимірювана відстань виявляється більше дійсної.

- Похибка відходу шкали часу супутника викликана розбіжністю шкал часу різних супутників. Усувається дана похибка за допомогою наземних станцій спостереження.

- Похибка визначення відстані до супутника. Не корелюється з іншими видами похибок. Її величина не перевищує 10 м.

- Неточне визначення часу. Приводить до виникнення систематичної помилки визначення координат близько 0.6 м. Усувається за допомогою встановлення сервера точного часу на стороні приймача.

- Помилки обчислення орбіт. З'являються внаслідок неточностей прогнозу і розрахунку ефемерид супутників, виконуваних в апаратурі приймача. Похибка призводить до помилки вимірювання координат близько 0.6 м.

- Інструментальна помилка приймача. Зумовлена наявністю шумів в електронному тракті приймача. Відношення сигнал/шум приймача визначає точність процедури порівняння, прийнятого від супутника і опорного сигналів, тобто похибка обчислення псевдодальності. Приводить до виникнення координатної помилки порядку 1.2 м.

- Геометричне розташування супутників. При обчисленні сумарної помилки необхідно врахувати взаємне положення приймача і супутників. Для цього вводиться спеціальний коефіцієнт геометричного зниження точності GDOP (Geometric Dilution Of Precision) [7], на який необхідно помножити всі вищепераховані помилки, щоб отримати результуючу помилку. Вона обернено пропорційна об'єму фігури, яка буде утворена, якщо провести поодинокі вектори від приймача до супутників. Велике значення GDOP говорить про невдале розташування супутника і велике значення помилки.

### 3. Задача фільтрації GPS координат

Підвищення точності позиціонування можна досягти шляхом застосування різних алгоритмів обробки прийнятих навігаційних даних. Одним з рішень що дозволяє підвищити достовірність, зменшити обсяг навігаційної інформації, переданої користувачеві, є фільтрація помилкових і надлишкових даних отриманих від GPS

модуля, що входить до складу мобільного терміналу. Фільтрація даних полягає у виключенні надлишкових даних, що не приносять ніякої корисної інформації про місцезнаходження об'єкта, а також у відсіві викидів, які призводять до спотворень даних і перешкод у визначенні місцезнаходження.

У мобільних пристроях під керуванням операційної системи Android існують наступні механізми отримання геолокаційних даних: використання NMEA (National Marine Electronics Association) даних безпосередньо з GPS приймача [8] та використання системних API геолокації. У першому випадку можливе отримання необроблених геолокаційних даних у форматі символьних повідомлень різного типу. Проте, не кожен GPS приймач підтримує всі існуючі типи повідомлень. Найрозповсюдженішими типами є: \$GP(GL)GGA – дані геопозиціонування, котрі містять поточну широту, довготу, час, кількість супутників; \$GP(GL)RMC – рекомендовані мінімальні дані геопозиціонування, крім часу, широти і довготи включають швидкість, магнітне схилення; API геолокації. API геолокації у свою чергу може надавати оброблені дані високої точності від GPS приймача, Wi-Fi точок доступу – геолокаційні дані середньої точності, засновані на місцезнаходженні Wi-Fi точок доступу, стільникових станцій – геолокаційні дані низької точності, що базуються на триангуляції місцезнаходження пристрою з базових станцій стільникового зв'язку, пасивні джерела – найчастіше неактуальні геолокаційні дані, отримані на основі запитів геолокації інших додатків.

Для подальшої фільтрації будемо використовувати дані від всіх доступних джерел.

#### 3.1. Вихідні дані

Вихідні дані, отримувані від доступних пристрою джерел, включають у себе моментальні характеристики розташування: широта (lat, град) – широта поточної точки, довгота (lon, град) – довгота поточної точки, швидкість (spd, м/с) – моментальна швидкість в поточній точці, точність (ass, м) – радіус кола, в якому знаходяться

поточні координати, час ( $t$ , мс) – час фіксації місцезнаходження.

#### 4. Фільтр Калмана

Фільтр Калмана – послідовний рекурсивний алгоритм, який використовує прийнятну модель динамічної системи для отримання оцінки, що може бути істотно скоригована в результаті аналізу кожної нової вибірки вимірювань у часовій послідовності [9]. Цей алгоритм застосовується в процесі керування багатьма складними динамічними системами, так як це математичний апарат, який дозволяє згладжувати дані на льоту, не накопичуючи їх для аналізу. При керуванні динамічною системою, перш за все, необхідно повністю знати її фазовий стан в кожен момент часу. Але виміряти всі змінні, якими необхідно управляти, не завжди можливо, і в цих випадках фільтр Калмана є тим засобом, який дозволяє відновити відсутню інформацію за допомогою наявних неточних (зашумлених) вимірювань.

Також він використовується для обробки даних від датчиків і будь-яких пристроїв. Як правило, такі показники схильні до шумів і відхилень, їх потрібно відсікати. Фільтр Калмана дозволяє відкидати піки (викиди) [10] і бачити усереднену, найімовірнішу картину процесу.

Можна виділити наступні типи «викидів»: хаотичний, грубий, систематичний. Хаотичний – викиди такого типу спостерігаються при русі на малих швидкостях або при стоянці на одному місці протягом не тривалого часу. Їх поява пов'язана з перешкодами відбитих сигналів супутників від висотних будівель або інших об'єктів. На карті такого роду помилки відображається як дрейф (нерівномірний розкид) передбачуваного місцезнаходження. Грубий – виникає в разі тривалої стоянки об'єкта на одному місці. Являє собою рух в деякому напрямку з постійним прискоренням протягом тривалого інтервалу часу. Розпізнати такі викиди на карті можна по характерному миттєвому (різкому) стрибку з останньої передбачуваної точки місцезнаходження об'єкта на його реальне місце розташування, при цьому стрибок супроводжується прискоренням руху, що вихо-

дить за межі розумного. Систематичний – даний тип викидів обумовлений зміною умов прийому сигналів з супутників. Систематичні викиди характеризуються невеликим відхиленням по одному або декільком параметрам, у тому числі координат місцезнаходження. На відміну від хаотичних викидів, помилка у визначенні координат супроводжується зниженням вбудованих показників точності в отримуваних навігаційних даних.

На рис. 2 показано відфільтровані дані з імітаційного GPS приймача. Використання фільтра Калмана дає можливість задати апіорну інформацію про характер системи, зв'язку змінних і на підставі цього будувати більш точну оцінку, тому що він дозволяє окремо враховувати похибки вимірювань і похибки випадкового процесу.

Однак для оцінки місцезнаходження на пристроях Android загальна теорія зводиться до іншої форми. Провайдери розташування Android надають місцезнаходження у вигляді широти і довготи разом з точністю, яка визначається як єдине число, виміряне в метрах. Реалізація рішення передбачає, що найкраща оцінка поточного місцезнаходження є останнім відомим місцезнаходженням, і якщо об'єкт перебуває у русі, то можливо використовувати датчики Android пристрою для отримання більш точної оцінки.



Рис. 2. Відфільтровані дані з імітаційного GPS приймача

### 5. Експериментальне дослідження

Як приймач використовується смартфон на базі ОС Android із чіпом GNS7560 [11]. Збір даних для обробки здійснюється застосунком, який записує у лог інформацію про об'єкт (широта, довгота, швидкість, тип провайдера, час, точність). Експорт відбувається у .grx формат [12]. Таймаут між точками під час збору – 15 с. Кількість точок, зібраних на маршруті – 68. Результатом роботи фільтру є послідовність координат із скоригованою широтою і довготою. Після збору даних у лог, вони завантажуються до візу-

алізатора, до якого імпортується grx-лог (рис. 3).

На рис. 3 та 4 показано загальний вигляд треку до обробки. На рис. 4 видно, що у даному прикладі присутні координати з високим ступенем похибки, що виражаються у наявності «викидів» – координат значно віддалених від основного маршруту.

Застосування фільтра дає можливість позбавитися від «викидів» та згладити трек. У результаті ми маємо майже повну відсутність «шків», за винятком найбільшого, котрий в свою чергу був зменшений (рис. 5).

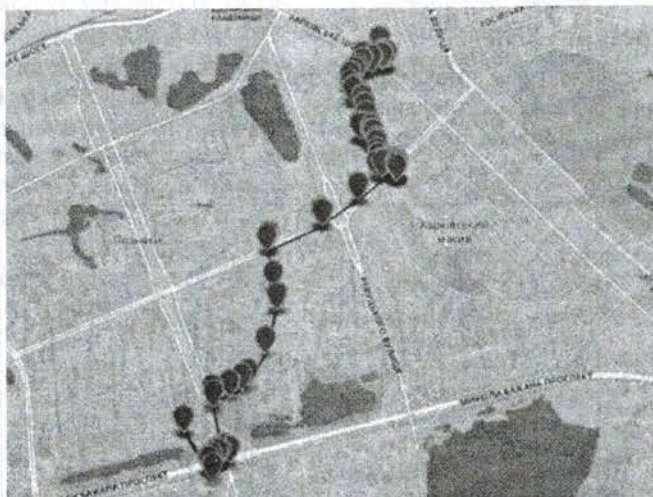


Рис. 3. Загальний маршрут досліджуваного об'єкта

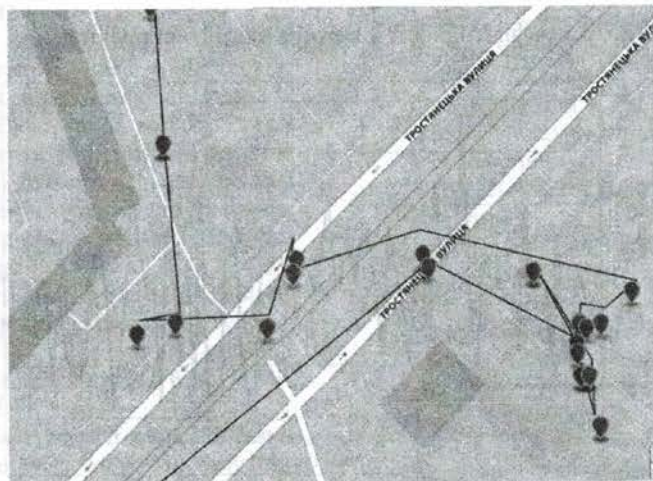


Рис. 4. Візуалізація «викидів»

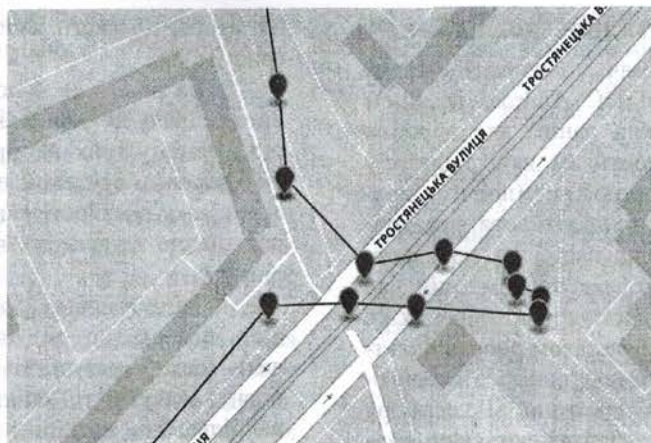


Рис. 5. Відфільтрований трек

### 6. Оцінка результатів

На рис. 6 показано графік з показниками точності зібраних невідфільтрованих даних у кожній точці. Середнє значення точності – 25,2 м.

На рис. 7 показано графік з показниками точності зібраних даних, до яких було застосовано фільтр Калмана. Середнє значення точності зменшилося до 11 м.

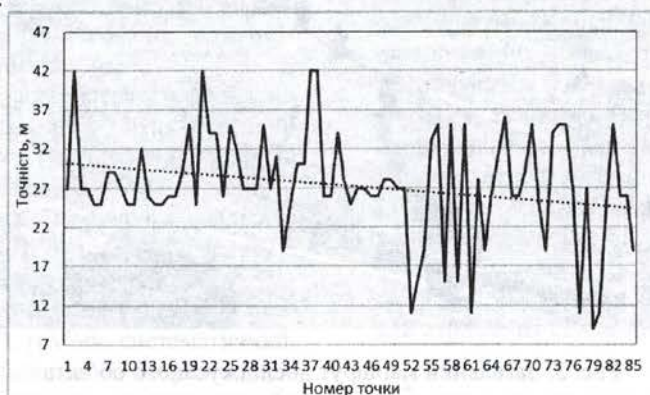


Рис. 6. Графік точності у кожній точці до обробки даних

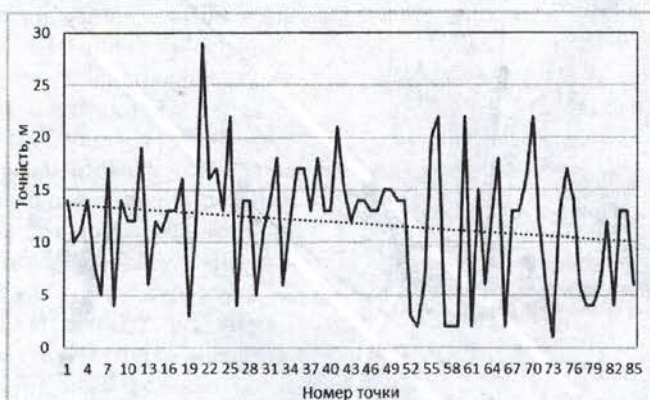


Рис. 7. Графік точності у кожній точці після обробки даних

### Висновки

У даній роботі розглянуто підхід до обробки потоку GPS-координат за допомогою фільтра Калмана. Фільтр Калмана працює у реальному часі, що звільняє від необхідності накопичення даних та їх подальшої обробки, згладжує «викиди», що покращує візуальне сприйняття треку та привносить адекватність у відомості про маршрут відслідковуваного об'єкта. Із недоліків можна виділити, що він не згладжує повороти на маршруті. За допомогою наведеної реалізації вдалося позбавитися від найбільш помітних спотворень маршруту відслідковуваного об'єкта, що демонструє можливість застосування даного методу до задачі згладжування маршруту і усунення «викидів». Однак для подальшого підвищення якості роботи фільтра, необхідна додаткова обробка послідовності координат з метою усунення надлишкових точок, що виникають при відсутності руху спостережуваного об'єкта.

Середній показник точності визначення місцезнаходження покращено у 2, 3 рази.

### Література

1. Спутниковые системы навигации [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: [http://www.fcp-pbdd.ru/special\\_equipment/](http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/) 20042
2. GPS Overview [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.gps.gov/systems/gps/>
3. Stuff in space [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://stuffin.space/>
4. GPS\_Navigation\_Message [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: [http://www.navipedia.net/index.php/GPS\\_Navigation\\_Message](http://www.navipedia.net/index.php/GPS_Navigation_Message)
5. TTFF (Hot start / Warm start / Cold start). [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: [http://faq.holux.com/images/f/fd/What\\_is\\_GPS\\_cold\\_start.pdf](http://faq.holux.com/images/f/fd/What_is_GPS_cold_start.pdf)
6. GPS | Wiki [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://wikipedia.org/wiki/GPS>

7. GPS Accuracy [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath>
8. NMEA data [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
9. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/Kalman1960.pdf>
10. Повышение точности позиционирования подвижных объектов на основе оригинальных методов фильтрации навигационных данных [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-tochnosti-pozitsionirovaniya-podvizhnyh-obektov-na-osnove-originalnyh-metodov-filtratsii-navigatsionnyh-dannyh>
11. GNS7560 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www1.futureelectronics.com/doc/ST-ERICSSON/GNS7560ET2UM.pdf>
12. GPX: the GPS Exchange Format [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.topografix.com/gpx.asp>

### References

1. Satellites navigation system - Retrieved from [http://www.fcp-pbdd.ru/special\\_equipment/20042](http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/20042)
2. GPS Overview - Retrieved from <https://www.gps.gov/systems/gps/>
3. Stuff in space - Retrieved from <http://stuffin.space/>
4. GPS\_Navigation\_ - Retrieved from [http://www.navipedia.net/index.php/GPS\\_Navigation\\_Message](http://www.navipedia.net/index.php/GPS_Navigation_Message)
5. TTFF (Hot start / Warm start / Cold start) - Retrieved from [http://faq.holux.com/images/f/fd/What\\_is\\_GPS\\_cold\\_start.pdf](http://faq.holux.com/images/f/fd/What_is_GPS_cold_start.pdf)
6. GPS | Wiki - Retrieved from <https://wikipedia.org/wiki/GPS>
7. GPS Accuracy - Retrieved from <http://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath>
8. NMEA data - Retrieved from <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>

# Прикладні засоби програмування та програмне забезпечення

9. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems - Retrieved from <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/Kalman1960.pdf>
10. Increase of positioning accuracy of mobile objects on the basis of original methods of filtering navigational data - Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-tochnosti-pozitsionirovaniya-podvizhnyh-obektov-na-osnove-originalnyh-metodov-filtratsii-navigatsionnyh-dannyh>
11. GNS7560 - Retrieved from <http://www1.futureelectronics.com/doc/ST-ERICSSON/GNS7560ET2UM>
12. GPX: the GPS Exchange Format - Retrieved from <http://www.topografix.com/gpx.asp>

Одержано 07.12.2017

## Про авторів:

**Соколенко Олександр Сергійович**,  
магістрант,  
Національний технічний  
університет України  
"КПІ імені Ігоря Сікорського".  
Кількість наукових публікацій в  
українських виданнях – 1.  
<https://orcid.org/0000-0001-6943-0533/>

**Дорошенко Анатолій Юхимович**,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу теорії  
комп'ютерних обчислень  
Інституту програмних систем  
НАН України,  
професор кафедри автоматизації  
і управління в технічних системах НТУУ  
"КПІ імені Ігоря Сікорського".  
Кількість наукових публікацій в  
українських виданнях – понад 150.  
Кількість наукових публікацій в  
зарубіжних виданнях – понад 50.  
Індекс Хірша – 5.  
<http://orcid.org/0000-0002-8435-1451>.

## Місце роботи авторів:

Національний технічний  
університет України  
"КПІ імені Ігоря Сікорського".  
03056, Київ, проспект Перемоги, 37.  
E-mail: [doroshenkoanatoliy2@gmail.com](mailto:doroshenkoanatoliy2@gmail.com),  
[alex.sklnk@gmail.com](mailto:alex.sklnk@gmail.com)

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

## ПРОБЛЕМИ ПРОГРАМУВАННЯ

науковий журнал

### Головний редактор

*Андон Пилип Іларіонович*

академік НАН України,  
директор Інституту програмних систем  
НАН України

✉ Інститут програмних систем

НАН України

проспект Академіка Глушкова, 40, корп. 5  
03187, Київ-187

☎ Тел.+380 (44) 526 5507

✉ E-mail: andon@isofts.kiev.ua

<http://www.pp.isofts.kiev.ua>

### Редакційна колегія

Головний редактор

П.І. Андон (Україна)

Заступник

головного редактора

А.Л. Яловець (Україна)

Члени редколегії:

|                   |              |                |              |
|-------------------|--------------|----------------|--------------|
| А.В. Анісімов     | (Україна)    | О.І. Провотар  | (Україна)    |
| О.С. Балабанов    | (Україна)    | В.Н. Редько    | (Україна)    |
| М.М. Глибовець    | (Україна)    | І.В. Сергієнко | (Україна)    |
| Ш. Гудак          | (Словаччина) | М.О. Сидоров   | (Україна)    |
| Л.Ф. Гуляницький  | (Україна)    | І.П. Сініцин   | (Україна)    |
| А.Ю. Дорошенко    | (Україна)    | С.Ф. Теленик   | (Україна)    |
| Н.М. Куцуль       | (Україна)    | Е.Х. Тиугу     | (Естонія)    |
| О.А. Летичевський | (Україна)    | Л. Хлухі       | (Словаччина) |
| М.С. Нікітченко   | (Україна)    | Л. Чая         | (Польща)     |
| В.В. Пасічник     | (Україна)    |                |              |

### Адреса для кореспонденції

✉ Інститут програмних систем  
НАН України  
Проспект Академіка Глушкова, 40  
03187, Київ-187

☎ Тел.: +380 (44) 526 5065

Факс: +380 (44) 526 6263

✉ E-mail: iss@isofts.kiev.ua

Редактор В.П. Замула

Комп'ютерна верстка В.П. Замула

Підписано до друку 20.11.2017. Формат 60x84/8. Папір офс. Ум. друк. арк. 15,11.  
Обл.-вид. арк. 12,41. Тираж 120 прим. Ціна договірна. Замовл. 5084

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України  
вул. Терещенківська, 4, м. Київ, 01004

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001