

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АНС
д-р техн. наук, проф.
_____ Ларін В.Ю.
« ____ » _____ 2023р.

ДИПЛОМНА РОБОТА **(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»
за освітньо-професійною програмою
«СИСТЕМИ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ»

Тема:
Модель квазізенітної супутникової системи для
оцінки координат споживача

Виконавець:

Крисько Андрій Вячеславович

Керівник:

Конін Валерій Вікторович

Нормоконтролер:

Шмельова Тетяна Федорівна

Київ-2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікації

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ОПП «Системи аеронавігаційного обслуговування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ларін В. Ю.

«_____» ____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Крисько Андрій Вячеславович

1. Тема дипломної роботи «Модель квазізенітної супутникової системи для оцінки координат споживача» затверджена наказом ректора від_2023р. №__/од.
2. Термін виконання роботи: з 08.11.2023 по 15.12.2023.
3. Вихідні дані до роботи: Інтерфейсні контрольні документи на систему QZSS, загальна теорія глобальних навігаційних супутникових систем, методи моделювання в середовищі Matlab.
4. Зміст пояснювальної записки: Загальна характеристика квазі-зенитної супутникової системи (QZSS); Створення моделі і обробка даних в системі qzss; Отримання експериментальних даних QZSS для моделювання орбітальних характеристик; .
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: контурні

графіки результатів даних, таблиці, формули.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін Виконання	Відмітка про виконання
1.	Вибір напрямку дослідження.	08.11.23 р. – 09.11.23 р.	Виконав:
2.	Загальний огляд системи QZSS та інших допоміжних систем супутникової навігації.	09.11.23 р. – 15.11.23 р.	Виконав:
3.	Характеристика квазі-зенітної супутникової системи.	15.11.23 р. – 25.11.23 р.	Виконав:
4.	Створення моделі і обробка даних в системі QZSS.	25.10.23 р. – 03.12.23 р.	Виконав:
5.	Отримання експериментальних даних та моделювання орбітальних характеристик.	03.12.23 р. – 07.12.23 р.	Виконав:
6.	Написання загальних висновків, оформлення пояснювальної записки.	07.12.23 р. – 13.12.23 р.	Виконав:
7.	Підготовка документів та презентації	13.12.23р. – 15.12.23 р.	Виконав:

7. Дата видачі завдання: «08» листопада 2023 р.

Керівник дипломної роботи _____ Конін Валерій Вікторович
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Крисько Андрій
Вячеславович
(підпис студента) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Модель квазізенітної супутникової системи для оцінки координат споживача

Об'єкт розробки – оцінка точності координат споживача, який використовує систему.

Предмет розробки – методика оцінювання точності координат споживача, використовуючи модель квазізенітної супутникової системи.

Мета роботи – розробка методики оцінювання точності координат споживача використовуючи модель квазізенітної супутникової системи.

Методи дослідження – комп'ютерне моделювання з використанням реальних даних.

Наукова новизна - вперше, методом математичного моделювання показано принципову можливість визначення координат системи QZSS без використання GPS.

В першому розділі дипломної роботи було розглянуто склад системи QZSS, основний принцип її роботи, характеристика, описані типи повідомлень ефемерид супутників цієї системи та їх склад, наведені відповідні таблиці та графіки.

В другому розділі було розглянуто структуру повідомлень системи QZSS, а також сигнали, що вона надсилає, був описаний процес запису повідомлень та інтерфейс навігаційного приймача для отримання даних, а також розглянуто етапи декодування сигналу.

В третьому розділі було описано програмне забезпечення, за допомогою якого були отримувані та проаналізовані дані. Також була створена програма для моделювання орбіт супутників системи QZSS, і проведений аналіз роботи QZSS без підтримки GPS.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЗІ-ЗЕНИТНОЇ СПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ (QZSS).....	13
1.1 Склад системи QZSS	13
1.2 Принцип роботи системи QZSS	24
1.3 Характеристика системи QZSS	26
1.4 Вибір напрямку досліджень.....	28
РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ І ОБРОБКА ДАНИХ В СИСТЕМІ QZSS	29
2.1 Структура повідомлення QZSS	29
2.2 Опис процесу запису повідомлень QZSS	49
2.3 Інтерфейс навігаційного приймача для отримання даних в системі QZSS ..	51
2.4 Декодування повідомлень в системі QZSS.....	53
Висновок.....	55
РОЗДІЛ 3 ОТРИМАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ QZSS ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОРБІТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	55
3.2 Алгоритм перетворення експериментальних даних в формат YUMA.....	64
3.3. Отримання експериментальних даних та моделювання орбіт супутників системи QZSS.....	66
3.4 Аналіз роботи системи QZSS без підтримки GPS.....	72
Висновок.....	78
4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	79
5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	86
ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90
ДОДАТОК А	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ECEF - Earth-Centered, Earth-Fixed

EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service

GNSS - Global Navigation Satellite System

GPS - Global Positioning System

HEO - Highly Elliptical Orbit

ISF - Integrity Status Flag

ITRS - International Terrestrial Reference System

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency

KRNS - Korean Regional Navigation System

MCS - Master Control System

NAVIC - Navigation with Indian Constellation

NTE - Not-To-Exceed Tolerance

PDOP - Position Dilution of Precision

QZO - Quasi-Zenith Orbit

QZSS - Quasi-Zenith Satellite System

RIMS - Range and Integrity Monitoring Stations

SBAS - Satellite-Based Augmentation System

SDKM - System of Differential Correction and Monitoring

SIS - System Information Service

TAI - Temps Atomique International - International Atomic Time

TCS - Time Coordination Station

URA - User Range Accuracy

WAAS - Wide Area Augmentation System

ВСТУП

Система QZSS (Quazi-Zenith Satellite System) складається із чотирьох супутників, що розташовані на високоеліптичних орбітах (HEO), і є похилими та геосинхронними. Орбіти спроектовані таким чином, що супутники завжди будуть доступні під великими кутами місця, які майже безпосередньо над головою в Японії, Океанії та Східній Азії. Висота орбіти становить від ~32000 км до ~40000 км. і всі супутники мають асиметричну орбіту, що виглядає зі сторони як цифра 8. Якщо орбіта нахилена до екватора і має більший ексцентриситет, щоб мати своє апогейне положення над Японією, можна максимально збільшити тривалість перебування супутника над Японією. У такому випадку орбіта стає «фігурою асиметрії-8» або «формою розриву». Орбіта, прийнята для супутникової системи Quasi-Zenith, має перевагу: вона може легко переключати з'єднання з супутника на супутник, коли система використовується для послуг супутникового мовлення. Його перевага в тому, що супутник може перебувати над Японією довше в порівнянні з орбітою симетричної фігури-8. Крім того, QZSS має на меті покращити точність позиціонування від одного метра до сантиметрового рівня порівняно зі звичайною похибкою GPS у десятки метрів за допомогою передачі сигналів підтримки та іншими засобами. Щоб принаймні один квазі-зенітний супутник завжди літав поблизу Японії, знаходячись в зеніті, в системі повинно бути щонайменше три супутники.

Метою цієї системи є покращення супутникового позиціонування від метрового до сантиметрового рівня порівняно зі звичайною похибкою GPS, навігації та визначення часу в міських каньйонах та гірських районах регіону. Це досягається за допомогою передачі сигналів підтримки та іншими засобами. Система призначена для покращення позиціонування приймачів GPS і Galileo. Система передає 6 сигналів; L1-C/A, L1C, L2C, L5, L1-SAIF і LEX. Перші 4 у списку – це знайомі сигнали GPS. Інші є унікальними для QZSS. L1-SAIF (Аугментація субметрового класу з функцією цілісності) транслюється на частоті L1, 1575,42 МГц. Він сумісний з GPS і призначений для надання користувачам сигналу корекції субметра. Ще одним унікальним сигналом, який буде

транслювати QZSS, є LEX (L-band Experiment) на частоті 1278,75 МГц. LEX розробляється для забезпечення високої точності позиціонування, сумісного з Galileo E6.

Головна станція управління (MCS) розробляє ефемериди, час і навігаційні повідомлення, які завантажуються на супутникове сузір'я QZSS головною телеметрією, відстеженням і командуванням (TT&C). Наземний сегмент QZSS також включає лазерні станції керування дальністю та відстеженням (TCS) . Головна станція TCS знаходиться в космічному центрі Цукуба JAXA.

Довідковою системою для QZSS є японська супутникова навігаційна геодезична система (JSG), яка досить близька до Міжнародної наземної системи відліку (ITRS). Час відліку для QZSS відомий як час квазі-зенітної супутникової системи (QZSST). Система не використовує високосні секунди. Тривалість секунди в цій системі така ж, як і в TAI (міжнародний атомний час).

Використання QZSS під високими кутами місця в поєднанні з GPS покращує доступність супутникового позиціонування для районів, де не може бути отримана достатня кількість сигналів GPS, таких як міський каньйон та гірська місцевість. Щоб полегшити підвищення доступності GPS, навігаційні сигнали та повідомлення QZSS мають повну взаємодію з сигналами GPS. Користувачі можуть отримати розширений сервіс позиціонування, що поєднує GPS і QZSS, не підозрюючи про різницю між двома системами. Покращена продуктивність GPS сприяє підвищенню зручності користувачів завдяки досягненню високої точності та надійності позиціонування за рахунок передачі даних корекції помилок, доступності та іншої інформації про сигнал GPS, отриманої на еталонних станціях для квазі-зенітного супутника.

Для порівняння розглянемо декілька інших космічних навігаційних систем функціонального доповнення:

- EGNOS (Європейська служба геостаціонарної навігації). EGNOS працює, збираючи сигнали GPS через мережу наземних опорних станцій, відомих як станції моніторингу дальності та цілісності

(RIMS). Ці станції точно відстежують сигнали GPS і виявляють помилки в інформації про місцезнаходження, викликані такими факторами, як атмосферні збурення або помилки супутникового годинника. Зібрані дані проходять ретельний аналіз у головному центрі управління (МСС), де обчислюються помилки та генеруються виправлення. Потім поправки передаються на три геостаціонарні супутники, які служать корисним навантаженням EGNOS. Ці супутники передають виправлені сигнали GPS користувачам по всій Європі на частотах L1 і L5, підвищуючи точність і надійність сигналів GPS для різних застосувань.

- WAAS (система розширення широкого діапазону). WAAS, подібно до EGNOS, використовує мережу наземних опорних станцій, розкиданих по Північній Америці. Ці глобальні опорні станції (WRS) відстежують сигнали GPS і передають цю інформацію чотирьом глобальним головним станціям (WMS). WMS обробляє дані та генерує коригувальні повідомлення, які передаються на два геостаціонарні супутники, що діють як транспондери WAAS. Ці супутники транслюють виправлені сигнали GPS користувачам, що особливо корисно для авіації та інших точних програм. WAAS підвищує точність GPS, надаючи диференціальні поправки, моніторинг цілісності та покращену доступність, що сприяє безпечнішій і точнішій навігації.
- SDKM (Система диференціальної корекції та моніторингу). SDKM, частина російської системи ГЛОНАСС, використовує мережу опорних станцій для прийому сигналів ГЛОНАСС і аналізу їх точності. Ці станції збирають необроблені сигнали, які потім передаються в центр керування SDKM для виявлення помилок і генерації виправлень. Центр управління розраховує диференціальні поправки на основі отриманих сигналів і передає їх на супутники SDKM на геостаціонарних орбітах. Ці супутники ретранслюють

виправлені сигнали ГЛОНАСС користувачам, підвищуючи точність позиціонування в Росії та сусідніх регіонах. SDKM підвищує надійність і точність навігаційних служб на основі ГЛОНАСС.

- NAVIC (навігація з індійським сузір'ям). NAVIC, розроблений Індійською організацією космічних досліджень (ISRO), складається з угруповання супутників, розташованих на геостаціонарних і геосинхронних орбітах. Система працює на двох частотах, L5 і S-діапазоні, забезпечуючи точні послуги позиціонування в Індії та сусідніх областях. NAVIC використовує наземний сегмент, що складається зі станцій стеження та станцій визначення дальності для моніторингу супутникових сигналів, обчислення навігаційних повідомлень та надання диференціальних поправок. виправлені сигнали потім транслюються користувачам, підвищуючи точність позиціонування для різних застосувань, включаючи транспорт, сільське господарство та ліквідацію наслідків стихійних лих.
- KRNS (Корейська регіональна навігаційна супутникова система). KRNS, заснований південнокорейським Корейським інститутом аерокосмічних досліджень (KARI), спрямований на покращення навігаційних послуг на Корейському півострові. Система складається з групи супутників, які передають навігаційні сигнали користувачам по всій Південній Кореї. KRNS використовує наземні станції моніторингу для збору та аналізу супутникових сигналів, забезпечуючи точність і цілісність інформації про позиціонування. Потім ці виправлені сигнали транслюються користувачам, що приносить користь різним секторам, таким як транспорт, телекомунікації та екстрені служби в Південній Кореї.

У той час як наведені вище системи отримали значну увагу та значні дослідження через їхнє експлуатаційне значення та широке використання, квазі-зенітна супутникова система (QZSS), здається, відносно менш вивчена з точки зору поглиблених та комплексних досліджень, зокрема щодо орбітальних

характеристик його геостаціонарних і геосинхронних супутників. Дослідження орбітальної динаміки супутників QZSS і моделювання їхніх орбіт може бути цінним дослідницьким заходом. Розробляючи математичні моделі та використовуючи експериментальні дані системи QZSS, дослідники можуть отримати уявлення про поведінку, стабільність і оптимальні конфігурації супутників QZSS на геостаціонарних і геосинхронних орбітах. Такі дослідження могли б сприяти вдосконаленню систем супутникової навігації та подальшому покращенню розуміння та використання QZSS для різних застосувань.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЗІ-ЗЕНИТНОЇ СПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ (QZSS)

1.1 Склад системи QZSS

У сфері глобальної навігації та позиціонування супутникова система Quasi-Zenith (QZSS) виступає маяком технологічних інновацій і точності. Ця складна супутникова група, розроблена Японським агентством аерокосмічних досліджень (JAXA), спрямована на покращення можливостей глобального позиціонування, особливо в регіонах із складними місцевостями, такими як міські каньйони та гірські ландшафти. Розуміння складу системи QZSS відкриває її новаторську архітектуру та корисність.

За своєю суттю система QZSS складається з групи супутників, стратегічно розташованих на орбітах, які дозволяють їм охоплювати значну частину неба, головним чином зосереджуючись на регіоні Азії та Океанії. Варто зазначити, що QZSS працює в тандемі з Глобальною системою позиціонування (GPS) Сполучених Штатів, пропонуючи користувачам розширену та точнішу інформацію про позиціонування.

Угруповання QZSS складається з кількох супутників, однією з яких є унікальна особливість — розміщення супутників як на геостаціонарних (приблизно 36 000 кілометрів над Землею), так і на похилих орбітах. Ці орбіти дозволяють супутникам QZSS наближатися до поверхні Землі в певний час, забезпечуючи краще покриття, особливо в міських районах, де висотні будівлі можуть перешкоджати сигналам традиційних супутникових систем. В даний час система QZSS складається з чотирьох супутників, і планується подальше розширення сузір'я. Кожен супутник оснащений точними атомними годинниками, що дозволяє їм синхронізувати сигнали, що передаються до пристроїв на землі. Ці сигнали містять інформацію про положення супутника, надаючи приймачам точні дані про місцезнаходження. Також кожен супутник системи має свої власні ефемериди, які за своєю суттю є наборами даних, що детально описують параметри орбіти супутника в певний час. Вони включають

інформацію про положення супутника щодо земної поверхні, його швидкості, орієнтації орбіти та інші параметри, необхідні для точного визначення розташування супутника в просторі в певний момент часу.

Для глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), таких як GPS, GLONASS, Galileo та інші, ефемериди є важливою інформацією, яка необхідна приймачам для точного визначення розташування на поверхні Землі. Ця інформація дозволяє приймачеві обчислювати положення супутника в момент часу при отриманні його сигналу, що забезпечує більш точне позиціонування користувача. Оновлення ефемерид відбувається періодично, оскільки параметри орбіти супутників змінюються у часі через вплив гравітаційних сил та інших факторів.

Ефемериди супутників системи QZSS містять важливу інформацію, таку як положення супутника в космосі відносно поверхні Землі, його швидкість, нахил орбіти, ексцентриситет та інші параметри, необхідні для точних розрахунків позиціонування. Ці ефемериди життєво важливі для навігаційних приймачів для точного визначення положення супутника та обчислення положення користувача на Землі. Дані ефемерид для супутників QZSS постійно оновлюються та передаються самими супутниками. Вони приймаються наземними станціями і транслюються на приймачі користувачів. Ці оновлення відбуваються регулярно, щоб відобразити зміни в орбітальних траєкторіях супутників через сили тяжіння та інші фактори, забезпечуючи точність інформації про місцезнаходження супутника. Для прикладу розглянемо вміст деяких типів повідомлень ефемерид супутників системи QZSS.

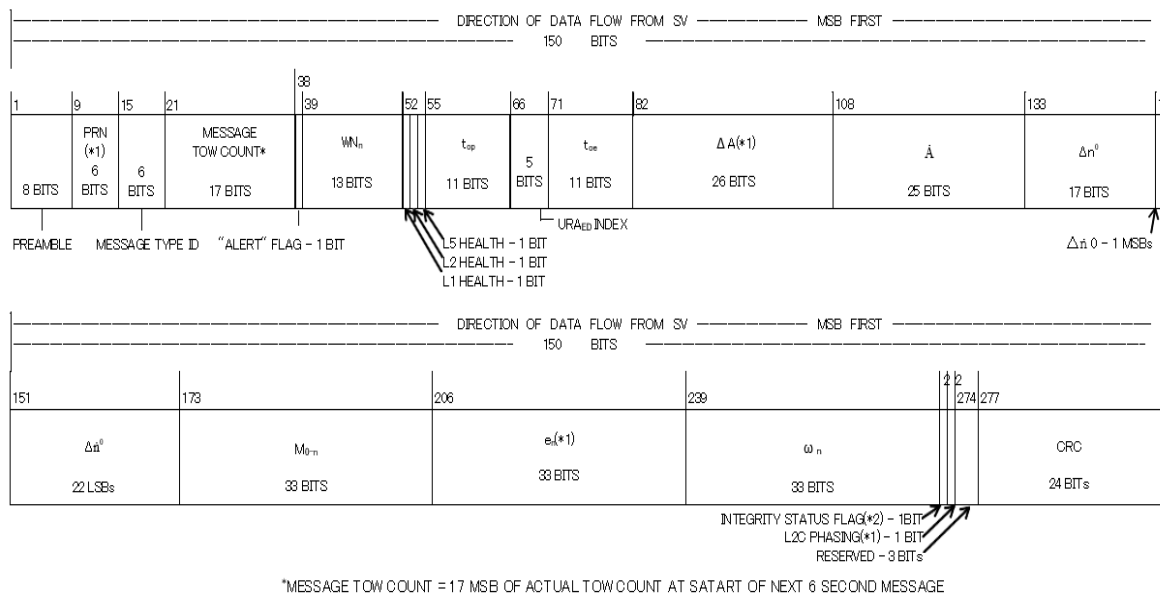


Рис. 1.1. Формат даних повідомлення типу 10

Таблиця 1.1- Визначення параметрів даних повідомлення типу 10

Параметр	Опис	Ефективна дальність **	Кількість бітів	LSB	Од. виміру
-	Загальний розділ CNAV(L2C,L5)		38	-	-
WN _n	Номер тижня	0-8191	13	1	Тижні
Стан сигналу (L1/L2/L5)	Стан L1/L2/L5	-	3	1	-
t _{op}	Дані часу тижня	0-604500	11	300	Секунди
Індекс URA _{ED}	Залежність від висоти індексу URA	-16-15	5*	-	-
ΔA	Ефемериди	Різниця великої напіввіси у базовий час **	26*	2 ⁻⁹	Метри

\dot{A}		Швидкість зміни на великій півосі	**	25*	2^{-21}	Метри/сек
Δn_0		Середня різниця руху від обчисленого значення в базовий час	**	17*	2^{-44}	Півкола/сек
$\Delta \dot{n}_0$		Швидкість різниці середнього руху від обчисленого значення	**	23*	2^{-57}	Півкола/сек ²
M_{0-n}		Середня аномалія в контрольний час	**	33	2^{-32}	Півкола
e_n		Ексцентриситет	**	33	2^{-34}	Безрозмірний
ω_n		Аргумент перигею	**	33*	2^{-32}	Півкола
ISF	Прапор цілісності	статусу	0-1	1	-	-
L2C фаза	Фаза L2C		0	1	-	-
(*) Вказує на числа, виражені у доповненні до двійки, де старший біт використовується як біт знака.						

(**) Вказує, що максимальний діапазон виражений кількістю бітів, а найменший значущий біт (LSB) є ефективним діапазоном цього елемента.

На рис. 1.1 показано формат даних повідомлення типу 10, а в таблиці 1.1 показано визначення його параметрів. Розглянемо їх більш детально:

- Номер тижня. У GPS час виражається у форматі номера тижня та часу тижня. Номер тижня відраховується з 6 січня 1980 року. Це 10-бітні двійкові дані (0-1024), які мають бути за модулем 1024 кожного номера тижня QZSS. Кількість тижнів QZSS збільшується на початку кожної тижневої епохи.
- Справність сигналу (L1/L2/L5) показує поточний стан сигналу.
- Дані, що передбачають час тижня. Це епоха часу тижня для оцінки стану, яка використовується для прогнозування параметрів квазікеплерівських ефемерид супутника.
- Індекс URA, що залежить від висоти. Це середньоквадратичне значення похибки діапазону SIS для найгіршого випадку розташування та в максимальний час у ефективному періоді часу ефемерид того самого набору.
- Ефемериди. Це траєкторія в координатах ECEF для кожного інтервалу відповідності.
- Прапор статусу цілісності (ISF) - це рівень гарантії цілісності сигналу.
- Фаза L2C не використовується, і, відповідно, позначена як 0.

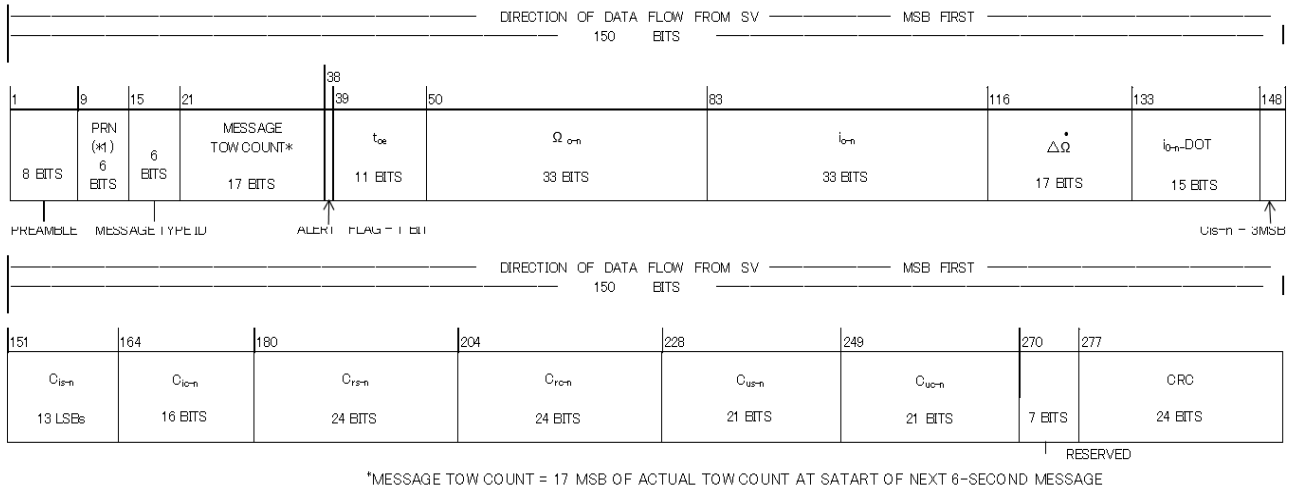


Рис. 1.2. Формат даних повідомлення типу 1

Таблиця 1.2 – Визначення параметрів даних повідомлення типу 11

Параметр	Опис	Ефективна дальність*	Кількість бітів	LSB	Од. виміру
-	Загальний розділ CNAV(L2C,L5)	-	28	-	-
t_{oe}	Ефемериди	Ефемеридний еталонний час тижня	0-604500	11	200 Секунди
Ω_{0-n}		Довгота висхідного вузла площини орбіти на щотижневому епоху	**	33*	2^{-32} Півкола
i_{0-n}		Кут нахилу в базовий момент часу	**	33*	2^{-32} Півкола
$\Delta\Omega$		Швидкість	**	17*	2^{-44} Півкола

		різниці прямого сходження				/ сек
i_{0-n} DOT		Норма кута нахилу	**	15*	2^{-44}	Півкола / сек
C_{is-n}		Амплітуда поправки синусоїдально ї гармоніки до кута нахилу	**	16*	2^{-30}	Радіани
C_{ic-n}		Амплітуда косинусної гармонічної поправки до кута нахилу	**	16*	2^{-30}	Радіани
C_{rs-n}		Амплітуда члена корекції синуса до радіуса орбіти	**	24*	2^{-8}	Метри
C_{rc-n}		Амплітуда поправки на косинус до радіуса орбіти	**	24*	2^{-8}	Метри
C_{us-n}		Амплітуда синусоїдально ї гармоніки поправковий член до аргументу	**	21*	2^{-30}	Радіани

		широти				
C_{uc-n}		Амплітуда косинусної гармонічної поправки до аргументу широти	**	21*	2^{-30}	Радіани

(*) Зазначення чисел в двійковому коді у вигляді доповнення до двійки зі знаковим бітом MSB.

(**) Вказує, що максимальний діапазон, виражений кількістю бітів і LSB, є ефективним діапазоном цього елемента.

Рис. 1.2 показує формат даних повідомлення типу 11, а Таблиця 1.2 показує визначення його параметрів. Ефемериди в таблиці 1.2 це траєкторія в координатах ECEF для кожного інтервалу відповідності.

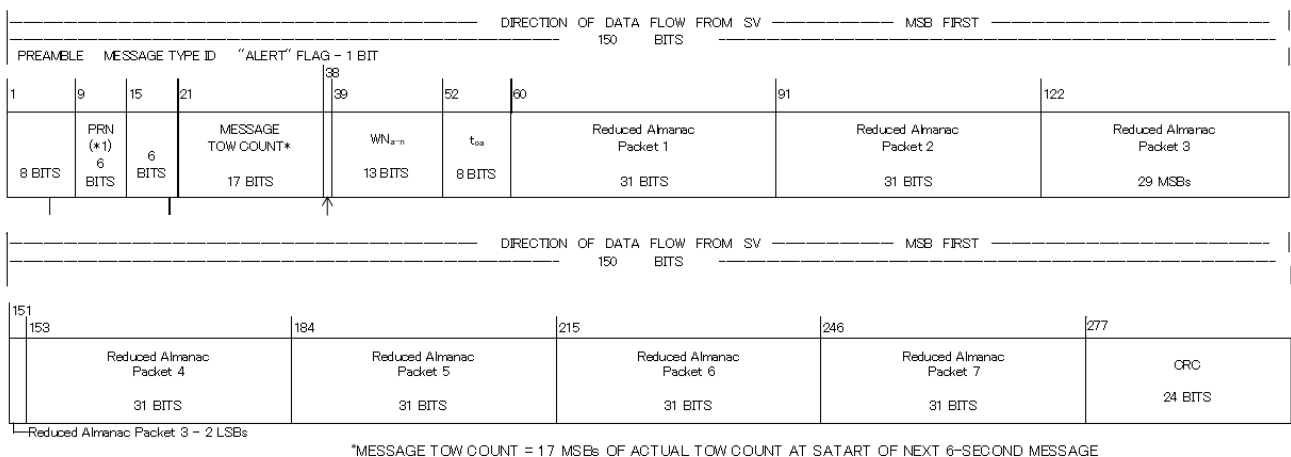


Рис. 1.3 - Формат даних повідомлення типу 12 (Скорочений альманах QZS)

Таблиця 1.3 – Визначення параметрів даних повідомлення типу 12

Параметр	Опис	Ефективна дальність**	Кількість бітів	LSB	Од. виміру
-	Загальний розділ CNAV(L2C,L5)	-	38	-	-

WN_{a-n}	Довідковий тиждень альманаху	0 - 8191	13	1	тижні
t_{oa}	Довідковий час тижня альманаху	0 - 602112	8	2^{12}	секунди
-	Скорочений пакет альманаху 1	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 2	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 3	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 4	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 5	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 6	-	31	-	-
-	Скорочений пакет альманаху 7	-	31	-	-

(**) Вказує на те, що максимальний діапазон виражений кількістю бітів, а найменший значущий біт (LSB) є ефективним діапазоном цього елемента.

На рис. 1.3 показано формат даних повідомлення типу 12, а в таблиці 1.3 показано його визначення параметрів. Довідковий тиждень альманаху згаданий в таблиці 1.3 це базовий номер тижня альманаху орбітальної інформації, а час тижня в альманаху це, відповідно, базовий час тижня в ньому. Пакети скорочених альманахів від 1 до 7 містять скорочені альманахи для QZS. На рис. 1.4 показано формат даних кожного скороченого пакета альманаху, а в таблиці 1.4 показано визначення його параметрів.

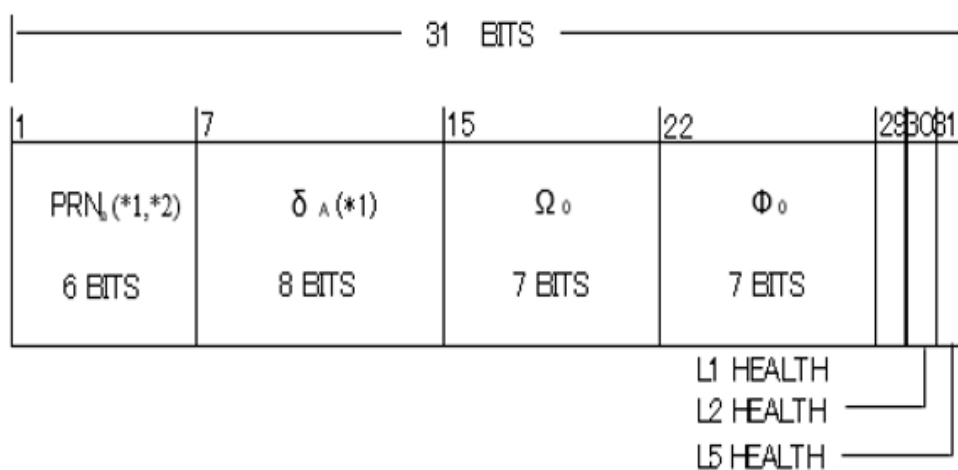


Рис. 1.4 - Формат даних скороченого пакету альманаху

Таблиця 1.4 - Визначення параметрів скороченого пакету альманаху

Параметр	Опис		Ефективна дальність**	Кількість бітів	LSB	Од. виміру
PRN_a	PRN ID		1-10	6	-	-
δ_A	Скорочені дані альманаху	Відмінність від номінальної великої півосі	**	8*	2^{+9}	метри
Ω_0		Довгота висхідного вузла площини	**	7*	2^{-6}	півкола

		орбіти при тижневій епосі				
Φ_0		Аргумент широти у час відліку	**	7*	2^{-6}	півкола
Стан сигналу (L1/L2/L5)	Стан L1/L2/L5	-	3	-	-	
<p>(*) Позначає числа, виражені у доповненні до двійки, де старший біт використовується як біт знаку.</p> <p>(**) Вказує, що максимальний діапазон виражений кількістю бітів, а найменший значущий біт (LSB) є ефективним діапазоном цього елемента.</p>						

У таблиці 1.4 PRN ID це номер 6 менш значущих біт номера PRN QZS. Якщо дані недійсні, необхідно встановити "0". Стан L1/L2/L5 це стан сигналів L1, L2 і L5 із супутника, який відповідає номеру PRN, а скорочені дані альманаху це малоточні параметри орбіти QZS.

Одним із відмінних елементів QZSS є використання «квазізенітної» орбіти, що дозволяє супутникам зависати поблизу зеніту (безпосередньо над головою) протягом тривалого часу. Таке розташування забезпечує сильніші сигнали, зводячи до мінімуму багатопроменеві помилки, спричинені відбиттям сигналу від будівель чи інших перешкод. Крім того, ця конструкція значно підвищує загальну точність системи, роблячи її особливо корисною для різних застосувань, що вимагають високої точності, таких як транспорт, сільське господарство, боротьба зі стихійними лихами та геодезія. Система QZSS являє собою систему доповнення, відому як супутникова система доповнення (SBAS). SBAS підвищує точність, цілісність і доступність інформації про позиціонування шляхом передачі коригувальних даних приймачам, додатково уточнюючи оцінки їхнього розташування.

На завершення: склад системи QZSS є дивом технологічної винахідливості. Його унікальне поєднання супутникових орбіт, точних механізмів синхронізації та систем доповнення є свідченням його мети — забезпечення неперевершеної точності позиціонування. Оскільки QZSS продовжує розширюватися та розвиватися, її вплив на рішення для глобальної навігації та позиціонування, безсумнівно, сприятиме прогресу в різних галузях, сприяючи інноваціям та надійності послуг на основі визначення місцезнаходження. Успіхи, досягнуті системою QZSS у вдосконаленні та розширенні глобальної навігації, є надзвичайними, зміцнюючи її позицію як наріжного каменя в галузі систем точного позиціонування.

1.2 Принцип роботи системи QZSS

Фундаментальні принципи роботи QZSS зосереджені навколо проектування супутникового угруповання, точного визначення часу, стратегічного орбітального позиціонування та спільної інтеграції з існуючими навігаційними системами. QZSS працює через групу супутників, стратегічно розташованих на орбітах, оптимізованих для забезпечення розширеного покриття Японії та регіону Азії та Океанії. Це сузір'я складається з кількох супутників, деякі з яких розташовані на квазізенітних орбітах (QZO), а інші обертаються по похилих траєкторіях. Унікальний QZO дозволяє супутникам затримуватися поблизу зеніту, забезпечуючи розширене покриття певних регіонів протягом тривалого часу. Крім того, нахилені орбіти дозволяють цим супутникам орієнтуватися ближче до поверхні Землі, забезпечуючи кращий прийом сигналу в складних місцевостях, таких як міста зі щільною забудовою або гірські райони.

Наріжним каменем роботи QZSS є наголос на точному визначенні часу. Кожен супутник у сузір'ї оснащений високоточними атомними годинниками. Синхронізовані сигнали, що передаються цими супутниками, містять точну інформацію про час і позиціонування, що дозволяє наземним приймачам визначати їхнє місцезнаходження з надзвичайною точністю. QZSS тісно

співпрацює з іншими глобальними навігаційними супутниковими системами, включаючи GPS. Ця співпраця підвищує загальну доступність і точність інформації про позиціонування. Супутники QZSS надають додаткові дані існуючим системам, уточнюючи дані позиціонування для користувачів, які покладаються на навігаційні послуги. QZSS пропонує послуги доповнення, такі як супутникова система доповнення (SBAS), яка покращує точність позиціонування, цілісність і доступність. SBAS передає дані корекції на наземні приймачі, компенсуючи помилки, спричинені атмосферними умовами чи іншими факторами. Це доповнення додатково покращує інформацію про позиціонування, отриману від супутників, забезпечуючи вищу точність.

Операційні принципи, що лежать в основі QZSS, мають широке застосування в різних секторах. Такі галузі, як транспорт, сільське господарство, боротьба зі стихійними лихами, геодезія та телекомунікації, отримують значну користь від високої точності та надійності системи. QZSS підтримує додатки, які вимагають точного позиціонування, сприяння згладжуванню транспортних систем, ефективних сільськогосподарських методів, реагування на стихійні лиха та точні геодезичні дії. Постійний прогрес у супутникових технологіях і алгоритмах обробки даних сприяє розвитку QZSS. Майбутні перспективи для QZSS можуть включати розширену групу супутників, інтеграцію з новими технологіями, такими як автономні транспортні засоби, і розширені послуги для різноманітних галузей. Постійний розвиток системи спрямований на подальше підвищення точності, надійності та охоплення, забезпечуючи її актуальність і вплив у технологічному ландшафті, що розвивається.

Отже, можна підбити підсумок, що супутникова система QZSS працює на основі ретельно розробленої супутникової групи, точних механізмів синхронізації, співпраці з існуючими навігаційними системами та службами доповнення. Його принципи роботи та технологічні інновації знаменують значний стрибок у супутниковій навігації, розширюючи можливості промисловості та користувачів у всьому світі за допомогою служб точного позиціонування, навігації та часу. Постійний прогрес і майбутні перспективи

QZSS обіцяють продовження внеску в технологічний прогрес і рішення глобального позиціонування.

1.3 Характеристика системи QZSS

Розуміння характеристик супутникової системи Quasi-Zenith (QZSS) передбачає вивчення її унікальних особливостей, технічних характеристик, зони покриття та переваг, які вона пропонує користувачам. Нижче наведено детальне дослідження характеристик системи QZSS.

Характеристики квазі-зенітної супутникової системи (QZSS):

- Сузір'я супутників: QZSS складається з кількох супутників, стратегічно розташованих на орбітах, оптимізованих для покриття Японії та регіону Азії та Океанії. Сузір'я включає супутники на квазі-зенітних (QZO) і похилих орбітах, щоб забезпечити розширене покриття над складними місцевостями, такими як міські каньйони та гірські регіони. В даний час система працює з кількома супутниками, з планами щодо подальшого розширення для підвищення покриття та точності.
- Точний час і синхронізація: супутники QZSS оснащені високоточними атомними годинниками, які забезпечують точний час для переданих сигналів. Синхронізовані сигнали передають точну інформацію про час і позиціонування на наземні приймачі, полегшуючи точні розрахунки позиціонування.
- Співпраця з глобальними навігаційними системами: QZSS співпрацює з існуючими глобальними навігаційними супутниковими системами, такими як GPS, підвищуючи загальну точність і доступність позиціонування. Система надає послуги доповнення, вносячи корекційні дані в існуючі системи, додатково уточнюючи інформацію про позиціонування.
- Послуги розширення та SBAS: QZSS містить систему доповнення, відому як супутникова система доповнення (SBAS). SBAS покращує

точність, цілісність і доступність глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), таких як GPS, ГЛОНАСС або Galileo.

- Унікальне покриття та потужність сигналу: QZSS пропонує унікальні переваги покриття, особливо в міських районах і регіонах зі складним рельєфом. Супутники на квазізенітних орбітах зависають поблизу зеніту, забезпечуючи сильніші сигнали та зменшені багатопроменеві помилки, спричинені відбиттям сигналу.
- Застосування та переваги: QZSS знаходить застосування в різних секторах, включаючи транспорт, сільське господарство, ліквідацію наслідків стихійних лих, геодезію та телекомунікації. Висока точність і надійність системи підтримують вимоги точного позиціонування в різних галузях промисловості, підвищуючи ефективність і точність операцій.
- Постійний розвиток і вдосконалення: QZSS підлягає постійному технологічному вдосконаленню, спрямованому на підвищення точності, покриття та надійності. Поточні розробки можуть передбачати розширення групи супутників, інтеграцію з новими технологіями та покращення послуг для користувачів.
- Вплив на послуги позиціонування: QZSS значно покращує послуги позиціонування, пропонуючи вищу точність і доступність у областях, де традиційні системи можуть стикатися з блокуванням або перериванням сигналу. Можливості розширення системи сприяють створенню більш надійних і надійних рішень позиціонування для користувачів.

Супутникова система (QZSS) може похвалитися декількома унікальними характеристиками, включаючи дизайн супутникової групи, точні механізми синхронізації, співпрацю з існуючими навігаційними системами, унікальні переваги покриття та різноманітні застосування в багатьох галузях. Його постійний розвиток і технологічний прогрес підкреслюють його важливість у пропонуванні високоточних послуг позиціонування та навігації користувачам в

регіоні Азії та Океанії. Оскільки QZSS розвивається та розширюється, він обіцяє подальшу революцію в супутниковій навігації, пропонуючи підвищену точність, надійність і охоплення для різноманітних додатків користувачів.

1.4 Вибір напрямку досліджень

Виходячи з вказаного вище, в даній дипломній роботі вирішуються науково-технічні питання щодо створення і обробки даних в системі QZSS, а саме розглядаються такі питання як структура повідомлень, їх компоненти, процес запису повідомлень, компоненти та функціонал навігаційного приймача, а також процес декодування повідомлень. Також в даній роботі показуються процес отримання і аналізу експериментальних даних QZSS а також моделювання орбітальних характеристик. Це дозволить зробити висновки про структурну схему для отримання даних, алгоритм їх отримання та перетворення в інші формати, зокрема в формат YUMA, а також змоделювати орбіти, положення, кути видимості та іншу інформацію щодо супутників системи QZSS. Окрім цього, в ході дослідження буде розглянута можливість самостійної роботи QZSS без підтримки системи GPS.

РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ І ОБРОБКА ДАНИХ В СИСТЕМІ QZSS

2.1 Структура повідомлення QZSS

Розуміння структури повідомлень у супутниковій системі Quasi-Zenith (QZSS) передбачає заглиблення в складний дизайн пакетів даних, що передаються супутниками QZSS. Ці пакети містять важливу інформацію, необхідну для точного позиціонування та навігації. Нижче наведено поглиблене дослідження структури повідомлень у системі QZSS.

Введення в структуру повідомлень QZSS

Система QZSS базується на передачі пакетів даних із супутників на наземні приймачі. Ці пакети ретельно структуровані, щоб забезпечити безперебійний потік інформації та полегшити точне позиціонування. Структура повідомлення розроблена для передачі різних типів даних, включаючи супутникові ефемериди, корекцію годинника, стан здоров'я та інформацію про доповнення.

Компоненти повідомлень QZSS:

- **Ефемеридні дані:** ефемеридні дані містять інформацію про положення та швидкість супутника в певний час. Ця інформація має вирішальне значення для точного визначення положення супутника. Супутники QZSS передають ефемеридні дані у формі навігаційних повідомлень із детальною інформацією про свої орбіти та положення відносно Землі.
- **Параметри корекції годинника:** Точний час є фундаментальним у супутниковій навігації. Повідомлення QZSS включають параметри корекції годинника, які допомагають приймачам компенсувати помилки синхронізації, спричинені бортовим годинником супутника. виправлення цих помилок забезпечує точну синхронізацію між сигналами, що передаються супутником, і внутрішнім годинником приймача.

- Інформація про працездатність і статус: повідомлення QZSS також містять інформацію про працездатність і стан самого супутника. Ці дані інформують наземні приймачі про робочий стан супутника, забезпечуючи використання лише надійних супутників для розрахунків позиціонування.
- Дані доповнення: системи доповнення, такі як система супутникового доповнення (SBAS), передають дані коригування через повідомлення QZSS. Ці поправки покращують точність інформації про позиціонування, отриманої наземними приймачами, компенсуючи помилки, викликані атмосферними умовами чи іншими факторами.

Повідомлення QZSS мають певну структуру для ефективної передачі необхідної інформації:

- Формат навігаційного повідомлення: навігаційне повідомлення містить важливі дані, такі як ефемериди і параметри корекції годинника. Він організований у фрейми, підфрейми та слова. Кожен кадр складається з субфреймів, і кожен субфрейм містить слова, які несуть певні типи інформації.
- Структура кадру. Структура кадру в повідомленнях QZSS включає телеметрію, передачу даних і кадри даних. Телеметричні кадри передають інформацію про працездатність і статус супутника, тоді як кадри передачі забезпечують плавний перехід між супутниками для безперервного покриття. Кадри даних містять ефемериди, корекцію годинника та дані доповнення.
- Субфрейм і структура слова: Субфрейми далі поділяються на слова, кожне з яких містить різні набори інформації. Слова в підкадрах організовані для передачі певних типів даних, забезпечуючи ефективне декодування приймачами.

Розглянемо більш детально стани сигналу, що можуть бути отримані від супутників системи QZSS. Взагалі, розрізняють два типи станів: стан альманаху

та стан ефемерид. Стан альманаху має низький цикл оновлення, а стан ефемерид навпаки, високий цикл оновлення, відповідно, у деяких випадках стан альманаху може не збігатися з поточним станом сигналу та ефемерид. Тому, коли є різниця між станом альманаху та станом ефемерид, краще використовувати останній. Прапорці працездатності вказують на стан кожного сигналу. Прапорці попередження вказують на справність сигналів передачі. Якщо будь-який із цих сигналів дорівнює «1», користувач не може використовувати такі сигнали. Таблиця 2.1 показує типи та визначення прапорів працездатності та сповіщень. Таблиця 2.2 показує, що повідомлення містять прапор справності та попередження.

Таблиця 2.1 - Типи та визначення позначок стану сигналу та сповіщень

Стан	Кількість бітів	Опис
Стан тривоги	1	Однобітовий прапор стану тривоги
Стан 3bit	3	Трибітний прапор стану працездатності L1C/A
Стан L1	1	L1 Health 1 Однобітовий прапор стану працездатності L1C/A
Стан L2	1	L2 Health 1 Однобітовий прапор стану працездатності L2C
Стан L5	1	L5 Health 1 Однобітовий прапор стану працездатності L5
Стан L1C	1	L1C Health 1 Однобітовий прапор стану працездатності L1C

Таблиця 2.2 – Повідомлення, що містять позначки працездатності та попередження

Стан	LNAV(L1C/A)	CNAV(L2C,L5)	CNAV2(L1C)
Стан тривоги	Всі підфрейми	Всі типи повідомлень	-
Стан 3bit	Альманах	-	-

	(субфрейм 4 чи 5, Data ID="3",SV ID =1 to 9)		
Стан L1	Ефемериди (субфрейм 1) Альманах (субфрейм 4 чи 5)	Ефемериди Середній альманах Скорочений альманах	Середній альманах Скорочений альманах
Стан L2	Ефемериди (субфрейм 1) Альманах (субфрейм 4 чи 5)	Ефемериди Середній альманах Скорочений альманах	Середній альманах Скорочений альманах
Стан L5	Ефемериди (субфрейм 1) Альманах (субфрейм 4 чи 5)	Ефемериди Середній альманах Скорочений альманах	Середній альманах Скорочений альманах
Стан L1C	Ефемериди (субфрейм 1) Альманах (субфрейм 4 чи 5)	-	Ефемериди

3-бітний показник працездатності, включений лише в альманах LNAV(L1C/A), є більш детальною умовою L1C/A, а визначення бітів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - 3-бітні визначення стану

1-й біт	2-й біт	3-й біт	Опис
0	0	0	Всі дані в нормі

0	0	1	Помилка парності
0	1	0	Помилка формату TLM/HOW (крім помилки TOW)
0	1	1	Помилка TOW
1	0	0	Субфрейм 1, 2 або 3 є помилковим. (крім помилок TLM і HOW)
1	0	1	Субфрейм 4 або 5 є помилковим. (крім помилок TLM і HOW)
1	1	0	Будь-які дані субфрейму є помилковими. (крім помилок TLM і HOW)
1	1	1	Будь-які дані субфрейму, включаючи TLM/HOW, є помилковими

Розглянемо більше детально Integrity Status Flag в повідомленнях супутників системи QZSS. Це прапорець, який вказує на статус цілісності (надійності) сигналу навігації. Цей показник вказує на те, чи можна довіряти інформації, отриманій від супутника, і чи можна використовувати ці дані для визначення точного місцезнаходження. Прапорець статусу цілісності (ISF) для LNAV (L1C/A), CNAV2 (L1C) та CNAV (L2C, L5) показує рівень забезпечення цілісності наступним чином:

[If ISF is ON ("1")]

- NTE (Not-To-Exceed Tolerance) = $5.73 \times \text{URA}$
- TTA = 5.2 sec
- НМІ ймовірність (*) = $1 \times 10^{-8}/\text{h}$ чи менше

[If ISF is OFF ("0")]

- NTE = $4.42 \times \text{URA}$
- TTA = 5.2 sec
- НМІ ймовірність (*) = $1 \times 10^{-5}/\text{h}$ чи менше

(*) - Імовірність того, що SIS-URE перевищує NTE без тривоги протягом

часу ТТА.

Не менш важливим є індекс URA (User Range Accuracy). Це параметр, який вказує на очікувану точність вимірювання дальності (розмір помилки вимірювання) для користувачів навігаційних супутникових систем. Цей показник допомагає користувачам оцінити точність отриманих супутникових сигналів та вимірювань відповідно до стандартів системи навігації. Чим менший індекс URA, тим більша очікувана точність вимірювань. Визначення параметра індексу URA відрізняється для LNAV(L1C/A), CNAV2(L1C) і CNAV(L2C,L5). Значення URA LNAV(L1C/A) вказує середньоквадратичне значення найгіршої та максимальної помилок діапазону SIS у ефективному періоді годинника та ефемерид того самого набору. Коли URA LNAV(L1C/A) оновлюється, IODE також збільшується. URA включає компонент SIS помилки діапазону користувачів таким чином. Однак, він не включає похибку моделі іоносфери для одного користувача частоти, а саме:

- Помилка супутникового годинника
- Ефемеридна помилка
- Помилка TGD/ISC

Таблиця 2.4 – Параметр URA LNAV (L1C/A)

Параметр	Опис	Од. вимірювання
URA INDEX	Індекс URA	-

Таблиця 2.5 – Індеси URA

Індекс URA	Значення URA (м)
0	$0.00 < URA \leq 2.40$
1	$2.40 < URA \leq 3.40$
2	$3.40 < URA \leq 4.85$
3	$4.85 < URA \leq 6.85$
4	$6.85 < URA \leq 9.65$

5	$9.65 < URA \leq 13.65$
6	$13.65 < URA \leq 24.00$
7	$24.00 < URA \leq 48.00$
8	$48.00 < URA \leq 96.00$
9	$96.00 < URA \leq 192.00$
10	$192.00 < URA \leq 384.00$
11	$384.00 < URA \leq 768.00$
12	$768.00 < URA \leq 1536.00$
13	$1536.00 < URA \leq 3072.00$
14	$3072.00 < URA \leq 6144.00$
15	$6144.00 < URA$ або недійсний

У таблиці 2.4 показаний параметр URA, а у таблиці 2.5 - Зв'язок між значенням URA та індексом URA.

Якщо кожен індекс URA є "U_i", номінальне значення URA X[m] обчислюється за такими рівняннями:

$$\text{Якщо } 0 \leq U_i \leq 6, \text{ то } X = 2^{(1+U_i/2)}$$

$$\text{Якщо } 6 \leq U_i \leq 15, \text{ то } X = 2^{(U_i-2)}$$

U_i = 15 вказує на відсутність передбачення точності та рекомендує користувачу стандартної послуги позиціонування використовувати ці дані на власний ризик. Крім того, якщо U_i = 1, 3 або 5, X округлюється до 2,8 м, 5,7 м або 11,3 м відповідно.

Значення URA для CNAV2(L1C) і CNAV (L2C, L5) складається з залежного від висоти URA "URA_{ED}" і незалежного від підйому URA "URA_{NED}", визначеного нижче. URA в момент часу "t" і кут місця "El" обчислюються за наступним рівнянням:

$$URA(t, El) = \sqrt{(URA_{ED} \times \sin(El + 90[deg]))^2 + (URA_{NED}(t))^2} \quad [M] \quad (2.1)$$

URA_{ED} для CNAV2(L1C) і CNAV(L2C,L5) є середньоквадратичним

значенням найгіршої та максимальної похибки діапазону SIS за ефективний період ефемерид того самого набору.

Таблиця 2.6 – Параметр URAED, що залежить від висоти

Параметр	Опис	Од. вимірювання
Індекс URAED	Індекс URAED, що залежить від висоти	-

Таблиця 2.7 – Залежні від висоти індекси URA

Індекс URA	Значення URA (m)
15	$6144.00 < URA$ або немає значення прогнозу
14	$3072.00 < URA \leq 6144.00$
13	$1536.00 < URA \leq 3072.00$
12	$768.00 < URA \leq 1536.00$
11	$384.00 < URA \leq 768.00$
10	$192.00 < URA \leq 384.00$
9	$96.00 < URA \leq 192.00$
8	$48.00 < URA \leq 96.00$
7	$24.00 < URA \leq 48.00$
6	$13.65 < URA \leq 24.00$
5	$9.65 < URA \leq 13.65$
4	$6.85 < URA \leq 9.65$
3	$4.85 < URA \leq 6.85$
2	$3.40 < URA \leq 4.85$
1	$2.40 < URA \leq 3.40$
0	$1.70 < URA \leq 2.40$
-1	$1.20 < URA \leq 1.70$
-2	$0.85 < URA \leq 1.20$
-3	$0.60 < URA \leq 0.85$

-4	$0.43 < URA \leq 0.60$
-5	$0.30 < URA \leq 0.43$
-6	$0.21 < URA \leq 0.30$
-7	$0.15 < URA \leq 0.21$
-8	$0.11 < URA \leq 0.15$
-9	$0.08 < URA \leq 0.11$
-10	$0.06 < URA \leq 0.08$
-11	$0.04 < URA \leq 0.06$
-12	$0.03 < URA \leq 0.04$
-13	$0.02 < URA \leq 0.03$
-14	$0.01 < URA \leq 0.02$
-15	$URA \leq 0.01$
-16	Немає значення прогнозу

Таблиця 2.6 показує параметри URA_{ED} , а таблиця 2.7 показує зв'язок між значенням URA та індексом URA . Якщо кожен індекс URA є " U_i ", отримане з нього номінальне значення URA $X(m)$ обчислюється за наступним рівнянням:

$$\text{Якщо } 0 \leq U_i \leq 6, \text{ то } X = 2^{(1+U_i/2)}$$

$$\text{Якщо } 6 \leq U_i \leq 15, \text{ то } X = 2^{(U_i-2)}$$

$U_i = -16$ або $U_i = 15$ має вказувати на відсутність передбачення точності та рекомендувати користувачу стандартної послуги позиціонування використовувати ці дані на власний ризик. Крім того, якщо $N = 1, 3$ або 5 , X округлюється до 2,8 м, 5,7 м або 11,3 м відповідно.

URA , що не залежить від висоти, тобто URA_{NED} для $CNAV2(L1C)$ і $CNAV(L2C, L5)$ є середньоквадратичним значенням найгіршої та максимальної помилок діапазону SIS за ефективний період часу годинника SV того самого набору. URA_{NED} включає наступні помилки діапазону користувача:

- Помилка супутникового годинника (одночастотні та двочастотні користувачі)

- Помилка TGD/ISC (одночастотні та двочастотні користувачі)

Таблиця 2.8 показує параметри UR_{NED}

Таблиця 2.8 - Параметри UR_A , що не залежать від висоти

Параметр	Опис	Од. вимірювання
WN_{op}	Дані передбачають номер тижня	секунди
t_{op}	Дані передбачають час тижня	секунди
Індекс UR_{NED0}	Індекс точності, що не залежить від висоти (NED)	-
Індекс UR_{NED1}	Індекс зміни точності NED	-
Індекс UR_{NED2}	Індекс зміни швидкості точності NED	-

UR_{NED} в момент часу "t" розраховується за наступним рівнянням:

Якщо $t - t_{op} + 604800 * (WN - WN_{op}) \leq 93600$ [s],

то, $UR_{NED}(t) = UR_{NED0} + UR_{NED1}(t - t_{OP} + 604800 * (WN - WN_{OP}))$ [м]

і

Якщо $t - t_{op} + 604800 * (WN - WN_{op}) > 93600$ [s],

то, $UR_{NED}(t) = UR_{NED0} + UR_{NED1}(t - t_{OP} + 604800 * (WN - WN_{OP})) + UR_{NED2}(t - t_{OP} + 604800 * (WN - WN_{OP}) - 93600)^2$ [м]

Вище було вказано співвідношення між індексом UR_{NED0} і значенням UR_{NED0} таке ж, як показано в Таблиці 2.7. А зв'язок між індексом UR_{NED1} і значенням UR_{NED1} показаний у наступному рівнянні:

$$UR_{NED1} = \frac{1}{2^N} \text{ [м/с]},$$

де $N = 14 + \text{індекс } URA_{\text{NED}1}$

Зв'язок між індексом $URA_{\text{NED}2}$ і значенням $URA_{\text{NED}2}$ показаний у наступному рівнянні:

$$URA_{\text{NED}2} = \frac{1}{2^N} [\text{м}/\text{с}^2],$$

Де $N = 28 + \text{індекс } URA_{\text{NED}1}$

Визначення положення супутника за допомогою ефемерид

Нижче показано обчислення різниці для LNAV(L1C/A), CNAV2(L1C) і CNAV (L2C, L5). Тут положення супутника означає фазовий центр антени супутника в псевдодіапазоні вільної від іоносфери лінійної комбінації частот L1 і L2, вираженої системою координат PNT, яка визначається наступним чином. Система координат PNT така ж, як Міжнародна наземна система відліку (ITRS), визначена IERS, і відповідає Міжнародній системі відліку від землі (ITRF):

- Початок: центр мас Землі.
- Вісь Z: опорний північний полюс IERS.
- Вісь X: перетин опорного меридіана IERS (IRM) і екваторіальної площини.
- Вісь Y: доповнює правосторонню ортогональну систему координат із центром Землі, нерухомою на Землі (ECEF).

Таблиця 2.9 - Параметри ефемерид LNAV(L1C/A)

Параметр	Опис	Од. вимірювання
toe	Ефемеридний еталонний час тижня	секунди
\sqrt{A}	Квадратний корінь із великої півосі	$\text{м}^{1/2}$
Δn	Середня різниця руху від обчисленого значення	півколо/сек
M_0	Середня аномалія в епоху	півколо
e	Ексцентриситет	-
ω	Аргумент перигею	півколо
Ω_0	Довгота висхідного вузла площини орбіти в тижневу епоху	півколо

Ω	Швидкість прямого сходження	півколо/сек
i_0	Кут нахилу в базовий момент часу	півколо
I	Швидкість зміни кута нахилу	півколо/сек
C_{is}	Амплітуда поправки синусоїдальної гармоніки до кута нахилу	радіан
C_{ic}	Амплітуда косинусної гармонічної поправки до кута нахилу	радіан
C_{rs}	Амплітуда синусоїдальної поправки до радіуса орбіти	м
C_{rc}	Амплітуда косинусної гармонічної поправки до радіуса орбіти	м
C_{us}	Амплітуда члена корекції синусоїдальної гармоніки до аргументу широти	радіан
C_{uc}	Амплітуда косинусної гармонічної поправки до аргументу широти	радіан

Таблиця 2.10 - Алгоритми розрахунку положення супутника

$A = (\sqrt{A})^2$	Велика напіввісь [м]
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A^3}}$	Середній рух [рад/с]
$t_k = t - t_{0e}$	Час, що минув від ефемеридної епохи [с]
$n = n_0 + \Delta n$	Корекція середнього руху [рад/с]
$M_k = M_0 + n t_k$	Середня аномалія [рад]
$M_k = E_k - e \sin E_k$	Розрахунок ексцентричної аномалії за рівнянням Кеплера [рад]
$\Phi_k = \nu_k + \omega$	Аргумент широти [рад]
$\delta u_k = c_u \sin 2\phi_k + c_{uc} \cos 2\phi_k$	Збурення другої гармоніки для

	аргументу корекції широти [рад]
$\delta r_k = cr_{ss} \sin^2 \phi_k + cr_{cc} \cos^2 \phi_k$	Збурення другої гармоніки для гармоніки корекції радіуса [м]
$\delta k = ci_{ss} \sin^2 \phi_k + ci_{cc} \cos^2 \phi_k$	Збурення другої гармоніки для корекції кута нахилу [рад]
$u_k = \Phi_k + \delta u_k$	Виправлення аргументу широти [рад]
$r_k = A(1 - e \cos E_k) + \delta r_k$	Корекція радіуса [м]
$i_k = i_0 + \delta i_k + (\dot{I})t_k$	Корекція кута нахилу [рад]
$x_k' = r_k \cos u_k$ $y_k' = r_k \sin u_k$	Положення в площині орбіти [м]
$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe}$	Корекція довготи висхідного вузла [рад]
$x_k = x_k' \cos \Omega_k - y_k' \cos i_k \sin \Omega_k$ $y_k = x_k' \sin \Omega_k + y_k' \cos i_k \cos \Omega_k$ $z_k = y_k' \sin i_k$	Положення супутника в системі координат Землі [м]

Таблиця 2.9 показує параметри ефемерид для LNAV(L1C/A), а таблиця 2.10 показує алгоритми розрахунку положення супутника.

Визначення параметрів для CNAV2(L1C) та CNAV(L2C,L5)

Таблиця 2.11 - Параметри ефемерид CNAV2(L1C) і CNAV(L2C,L5)

Параметр	Опис	Од. вимірювання
t_{oe}	Ефемеридний еталонний час тижня	сек
ΔA	Відмінність від опорної великої півосі	м
\dot{A}	Швидкість зміни опорної великої півосі	м/сек
Δn	Середня різниця руху від обчисленого значення	півколо/сек
$\Delta \dot{n}$	Швидкість зміни різниці середнього руху від обчисленого значення	півколо/сек ²

M_0-n	Середня аномалія в епоху	півколо
e_n	Ексцентриситет	-
ω_n	Аргумент перигею	півколо
Ω_0-n	Довгота висхідного вузла площини орбіти в тижневу епоху	півколо
$\Delta\dot{\Omega}$	Швидкість різниці прямого сходження	півколо/сек
i_0-n	Кут нахилу в базовий момент часу	півколо
\dot{I}_0-n	Швидкість зміни кута нахилу	півколо/сек
C_{is-n}	Амплітуда поправки синусоїдальної гармоніки до кута нахилу	рад
C_{ic-n}	Амплітуда члена косинусної гармонічної поправки до кута нахилу	рад
C_{rs-n}	Амплітуда поправки синуса на радіус орбіти	м
C_{rc-n}	Амплітуда поправки на косинус до радіуса орбіти	м
C_{us-n}	Амплітуда члена корекції синусоїдальної гармоніки до аргументу широти	рад
C_{uc-n}	Амплітуда косинусної гармонічної поправки до аргументу широти	рад

Таблиця 2.12 - Алгоритми розрахунку положення супутника для
CNAV2(L1C) та CNAV (L2C, L5)

$A_0 = A_{REF} + \Delta A$	Велика напіввісь у базовий час [м]
$A_k = A_0 + (\dot{A})t_k$	Велика напіввісь [м]
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A_0^3}}$	Середній рух [рад/с]
$t_k = t - t_{0e}$	Час, що минув від ефемеридної епохи [с]

$\Delta n_A = \Delta n_0 + 1/2 \Delta \dot{n}_0 t_k$	Коригуюче значення середнього руху [рад/с]
$n_A = n_0 + \Delta n_A$	Корекція середнього руху [рад/с]
$M_k = M_0 + n_A t_k$	Середня аномалія [рад]
$M_k = E_k - e_n \sin E_k$	Розрахунок ексцентричної аномалії за рівнянням Кеплера [рад]
$\Phi_k = \nu_k + \omega$	Аргумент широти [рад]
$\delta u_k = c_{us} - n \sin^2 \phi_k + c_{uc} - n \cos^2 \phi_k$	Збурення другої гармоніки для аргументу широти поправка [рад]
$\delta r_k = c_{rs} - n \sin^2 \phi_k + c_{rc} - n \cos^2 \phi_k$	Збурення другої гармоніки для корекції радіуса [м]
$\delta k = c_{is} - n \sin^2 \phi_k + c_{ic} - n \cos^2 \phi_k$	Збурення другої гармоніки для кута нахилу поправка [рад]
$u_k = \Phi_k + \delta u_k$	Виправлення аргументу широти [рад]
$r_k = A_k(1 - e_n \cos E_k) + \delta r_k$	Корекція великої півосі [м]
$i_k = i_0 - n + \delta i_k + \dot{I}_0 - n t_k$	Корекція кута нахилу [рад]
$x_k' = r_k \cos u_k$ $y_k' = r_k \sin u_k$	Положення в площині орбіти [м]
$\dot{\Omega} = \dot{\Omega}_{REF} + \Delta \dot{\Omega}$	Швидкість прямого сходження [рад/с]
$\Omega_k = \Omega_0 - n + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e) t_k - \dot{\Omega}_e t_0$	Корекція довготи висхідного вузла [рад]
$x_k = x_k' \cos \Omega_k - y_k' \sin \Omega_k$ $y_k = x_k' \sin \Omega_k + y_k' \cos \Omega_k$ $z_k = y_k' \sin i_k$	Положення супутника в системі координат Землі [м]

Таблиця 2.11 показує параметри ефемерид для CNAV2(L1C) і CNAV (L2C, L5), а таблиця 2.12 показує алгоритми розрахунку положення супутника.

Визначення положення супутника за допомогою альманаху

Визначення параметрів LNAV(L1C/A). Таблиця 2.13 показує параметри альманаху для LNAV(L1C/A)

Таблиця 2.13 – Параметри альманаху для LNAV(L1C/A)

Параметр	Опис	Од. вимірювання
WNa	Довідковий тиждень альманаху	тижні
toa	Довідковий час тижня альманаху	секунди
e	Відмінність від еталонного ексцентриситету*	-
δi	Відмінність від еталонного кута нахилу*	півколо
Ω	Швидкість прямого сходження	півколо/сек
\sqrt{A}	Квадратний корінь із великої півосі	$m^{1/2}$
Ω_0	Довгота висхідного вузла площини орбіти в тижневу епоху	півколо
ω	Аргумент перигею	півколо
M0	Середня аномалія в епоху	півколо
af0	Коефіцієнт поправки на зсув синхронізації SV	секунди
af1	Коефіцієнт корекції дрейфу годинника SV	сек/сек

(*) - Визначення наведено в таблиці 2.14

Таблиця 2.14 - Параметри альманаху для супутника

Параметр	Супутник QZO	Супутник GEO
e [-]	Різниця від eREF = 0.06	Різниця від eREF = 0
δi [півкола]	Різниця від iREF = 0.25	Різниця від iREF = 0

Таблиця 2.15 - Параметри для визначення положення супутника за допомогою альманаху

Параметр	Опис	Од. вимірювання
toe	Параметр з альманаху toa	секунди
\sqrt{A}	Параметр з альманаху	м ^{1/2}
Δn	0 (zero)	півколо/сек
M0	Параметр з альманаху	півколо
e	Параметр з альманаху (e = eREF + e)	-
ω	Параметр з альманаху	півколо
Ω_0	Параметр з альманаху	півколо
$\dot{\Omega}$	Параметр з альманаху	півколо/сек
i0	Параметр з альманаху (i0 = iREF + δi)	півколо
I	0 (zero)	півколо/сек
Cis	0 (zero)	радіан
Cic	0 (zero)	радіан
Crs	0 (zero)	м
Crc	0 (zero)	м
Cus	0 (zero)	радіан
Cuc	0 (zero)	радіан

Положення супутників розраховуються за допомогою алгоритмів, наведених у таблиці 2.10. Параметри для алгоритмів наведено в таблиці 2.14 і таблиці 2.15. Зміщення тактового сигналу SV повинні бути обчислені за допомогою алгоритмів, наведених у таблиці 2.16. Параметри для алгоритмів наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.16 - Алгоритми розрахунку зміщення годинника SV

$\Delta t_r = Fe A \sin E_k$	Термін корекції, необхідний через релятивістський ефект [s]. Отримано
------------------------------	---

	параметри орбіти від параметра ефемерид.
$\Delta t_{SV} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t$	Зсув годинника SV [с]

Таблиця 2.17 - Параметри SV Clock для альманаху

Параметр	Опис	Од. виміру
t_{oc}	Параметр t_{oa} з альманаху	сек
a_{f0-n}	Параметр з альманаху	сек
a_{f1-n}	Параметр з альманаху	сек/сек
a_{f2-n}	0 (zero)	сек/сек ²

Визначення параметрів CNAV2(L1C) та CNAV(L2C,L5) за допомогою середнього альманаху. Таблиця 2.18 показує параметри середнього альманаху для CNAV2(L1C) і CNAV(L2C, L5).

Таблиця 2.18 – Параметри середнього альманаху

Параметр	Опис	Од. вимірювання
WN_{a-n}	Посилання на тиждень альманаху	тижні
t_{oa}	Посилання на час тижня альманаху	секунди
e	Відмінність від еталонного ексцентриситету	-
δi	Відмінність від еталонного кута нахилу	півколо
$\dot{\Omega}$	Швидкість прямого сходження	півколо/сек
\sqrt{A}	Квадратний корінь із великої півосі	$m^{1/2}$
Ω_0	Довгота висхідного вузла площини орбіти в тижневу епоху	півколо
ω	Аргумент перигею	півколо
M_0	Середня аномалія в епоху	півколо
af_0	Коефіцієнт поправки на зсув синхронізації SV	секунди

af1	Коефіцієнт корекції дрейфу годинника SV	сек/сек
-----	---	---------

Визначення параметрів CNAV2(L1C) та CNAV (L2C, L5) за допомогою скороченого альманаху.

Таблиця 2.19 - Параметри скороченого альманаху

Параметр	Опис	Од. виміру
WN_{a-n}	Посилання на тиждень альманаху	тижні
t_{oa}	Посилання на час тижня альманаху	сек
δ_A	Відмінність від номінальної великої півосі	м
Ω_0	Довгота висхідного вузла площини орбіти у тижневий період	півколо
Φ_0	Аргумент широти в час відліку	півколо

Таблиця 2.20 - Константи

Параметр	Опис	Од. виміру
μ	Постійна гравітації Землі $\mu = 3.986005 \times 10^{14}$	$[m^3/c^2]$
$\dot{\Omega}_e$	Кутова швидкість обертання Землі $\dot{\Omega}_e = 7.2921151467 \times 10^{-5}$	[рад/сек]
$AREF$	Велика піввісь відліку $AREF = 42164200$	м

Таблиця 2.21 – Параметри скороченого альманаху для супутника

Параметр	Супутник QZO	Супутник GEO
$e [-]$	$e=0.075$	$e=0$

i [півкола]	$i=0.2389$ (= 43 [deg])	$i=0.0$ (= 0 [deg])
$\dot{\Omega}$ [півкола/сек]	$\dot{\Omega} = -8.7 \times 10^{-10}$	$\dot{\Omega} = 0$
ω_{REF} [півкола]	$\omega_{REF} = -0.5$ (= 270 [deg])	$\omega_{REF} = 0$ (= 0 [deg])

Таблиця 2.19 показує параметри скороченого альманаху для CNAV2(L1C) і CNAV(L2C,L5), а таблиці 2.20 та 2.21 показують константи, що необхідні для розрахунків. В свою чергу, в таблиці 2.22 наведені алгоритми розрахунку положення супутника, які базуються на скороченому альманаху.

Таблиця 2.22 - Алгоритми розрахунку положення супутника за допомогою скороченого альманаху

$A_0 = A_{REF} + \delta A$	Велика напіввісь [м]
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A_0^3}}$	Середній рух [рад/с]
$t_k = t - t_{0a}$	Час, що минув від епохи альманаху [с]
$M_0 = \Phi_0 - \omega_{REF}$	Середня аномалія в епосі альманаху [рад]
$M_k = M_0 + n_0 t_k$	Середня аномалія [рад]
$M_k = E_k - e \sin E_k$	Розрахунок ексцентричної аномалії за Рівняння Кеплера [рад]
$u_k = v_k + \omega_{REF}$	Аргумент широти [рад]
$r_k = A_0(1 - e \cos E_k)$	Корекція радіуса [м]
$x_k' = r_k \cos u_k$ $y_k' = r_k \sin u_k$	Положення в площині орбіти [м]
$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{0a}$	Корекція довготи висхідного вузла [рад]

$x_k = x_k' \cos \Omega_k - y_k' \cos i \sin \Omega_k$ $y_k = x_k' \sin \Omega_k + y_k' \cos i \cos \Omega_k$ $z_k = y_k' \sin i$	Положення супутника в системі координат Землі [м]
---	--

Система QZSS постійно розвивається, щоб включити вдосконалення та інновації у свою структуру повідомлень. Докладено багато зусиль для оптимізації передачі даних, вдосконалення методів виправлення помилок і впровадження нових типів даних для підвищення загальної точності та надійності. Складна структура повідомлень у системі QZSS відіграє ключову роль у забезпеченні точного позиціонування та навігації. Його організований формат, що містить ключові типи даних, сприяє безперебійній передачі інформації від супутників до наземних приймачів. У міру розвитку технологій QZSS продовжує вдосконалювати свою структуру повідомлень, зміцнюючи свою позицію як наріжного каменю в глобальних навігаційних системах.

2.2 Опис процесу запису повідомлень QZSS

Процес запису повідомлень QZSS у супутниковій системі Quasi-Zenith (QZSS) передбачає захоплення, декодування та зберігання даних, що передаються супутниками QZSS. Цей процес запису має вирішальне значення для аналізу та використання переданої інформації для різних програм, включаючи точне позиціонування та навігацію. Ось поглиблене дослідження процесу запису повідомлень QZSS.

Процес запису повідомлень QZSS складається з кількох етапів, починаючи від отримання сигналу до декодування та зберігання отриманих даних. Він включає спеціалізоване обладнання, здатне вловлювати супутникові сигнали та отримувати важливу інформацію, що міститься в цих сигналах. Процес запису починається з прийому сигналів, що передаються супутниками QZSS. Наземні приймачі, обладнані спеціалізованими антенами, вловлюють ці сигнали, які складаються з модульованих пакетів даних, що передаються супутниками. Після прийому записані сигнали проходять процеси демодуляції та декодування.

Демодуляція передбачає виділення переданих даних із прийнятого сигналу. Цей процес розділяє необроблений сигнал на пакети цифрових даних, які містять різні типи інформації, включаючи ефемериди, поправки годинника, стан працездатності та дані доповнення.

Декодування отриманих пакетів даних має вирішальне значення для отримання значущої інформації. Цей крок передбачає інтерпретацію структури пакетів даних відповідно до формату повідомлення QZSS, ідентифікацію конкретних типів даних у пакетах і аналіз інформації для подальшого аналізу та використання. Після того, як пакети даних декодуються, записана інформація піддається обробці та аналізу. Ця фаза передбачає перевірку цілісності отриманих даних, забезпечення точності таких параметрів, як положення супутника, поправка годинника та інша відповідна інформація. Аналіз записаних повідомлень може включати методи виправлення помилок, щоб зменшити неточності, внесені під час передачі, атмосферні збурення або інші перешкоди сигналу. Це також передбачає перевірку на наявність аномалій або невідповідностей в отриманих даних для забезпечення достовірності інформації.

Після обробки та аналізу розшифровані та підтвержені дані зберігаються та архівуються для подальшого використання та використання. Системи зберігання використовуються для збереження записаних повідомлень у структурованому та доступному форматі. Ці збережені дані служать цінним ресурсом для різних застосувань, таких як наукові дослідження, навігація, геодезія та розробка служб на основі визначення місцезнаходження.

Процес запису повідомлень QZSS також передбачає постійний моніторинг супутникових сигналів для забезпечення запису актуальної інформації. Оскільки супутники QZSS безперервно передають нові повідомлення, що містять оновлені ефемериди, корекцію годинника та дані доповнення, процес запису продовжується, щоб отримати останню інформацію для потреб користувачів у точному позиціонуванні.

Отже, процес запису повідомлень QZSS є систематичним і важливим аспектом використання переданих системою QZSS даних для точного

позиціонування та навігації. Від отримання сигналу до зберігання та безперервного моніторингу, цей процес забезпечує доступність точної та оновленої інформації, необхідної для різноманітних програм, що покладаються на супутникові навігаційні системи, такі як QZSS.

2.3 Інтерфейс навігаційного приймача для отримання даних в системі QZSS

Інтерфейс навігаційного приймача для отримання даних у супутниковій системі Quasi-Zenith (QZSS) є ключовим компонентом, що дозволяє отримувати та використовувати супутникові сигнали для точного позиціонування та навігації. Цей інтерфейс діє як посередник між супутниками QZSS і пристроями користувача, збираючи, обробляючи та інтерпретуючи передані дані. Ось обширне дослідження інтерфейсу навігаційного приймача в системі QZSS.

Вступ до інтерфейсу навігаційного приймача в QZSS

Інтерфейс навігаційного приймача служить шлюзом для користувальницьких пристроїв для взаємодії з супутниками QZSS і отримання важливих даних позиціонування. Він включає апаратні та програмні компоненти, які отримують, обробляють і декодують сигнали, що передаються супутниками QZSS, забезпечуючи точну навігацію та позиціонування.

Апаратні компоненти:

- **Антенa:** інтерфейс починається з прийому сигналів QZSS через спеціалізовані антени, призначені для ефективного захоплення супутникових сигналів. Антени налаштовані на діапазони частот, які використовуються супутниками QZSS, що забезпечує оптимальний прийом сигналу.
- **Модуль приймача:** модуль приймача є основним компонентом, відповідальним за обробку отриманих сигналів. Він містить апаратні компоненти, такі як сигнальні процесори, аналого-цифрові перетворювачі та підсилювачі сигналів. Ці компоненти працюють разом, щоб перетворити отримані аналогові сигнали в цифрові дані

для подальшої обробки.

- Пристрої хронометражу: пристрої точних хронометражів, включаючи атомний годинник або дисципліновані осцилятори, забезпечують точну синхронізацію між прийнятими супутниковими сигналами та внутрішнім годинником приймача. Ця синхронізація має вирішальне значення для точних розрахунків позиціонування.

Програмні компоненти:

- Алгоритми обробки сигналів: Інтерфейс навігаційного приймача використовує складні алгоритми обробки сигналів для демодуляції, декодування та вилучення даних із отриманих сигналів QZSS. Ці алгоритми інтерпретують передані пакети даних, відокремлюючи важливу інформацію, таку як ефемериди, поправки годинника та дані доповнення.
- Програмне забезпечення для декодування та аналізу: спеціалізоване програмне забезпечення в інтерфейсі приймача декодує структуру отриманих пакетів даних відповідно до формату повідомлення QZSS. Він визначає конкретні типи даних у пакетах і аналізує інформацію у форматі, які можна використовувати для навігації та розрахунків позиціонування.

Функціональність інтерфейсу навігаційного приймача:

- Отримання та відстеження сигналу – основна функція інтерфейсу приймача. Вона полягає в тому, щоб отримувати та відстежувати сигнали від кількох супутників QZSS одночасно. Приймач постійно контролює та відстежує супутникові сигнали, щоб забезпечити надійне з'єднання навіть у складних умовах із перешкодами або перешкодами сигналу.
- Декодування та обробка даних: після отримання сигналу інтерфейс декодує отримані пакети даних, вилучаючи важливу інформацію, пов'язану з положенням супутника, корекцією годинника та

доповненими даними. Він обробляє цю інформацію, щоб обчислити точне місцезнаходження, швидкість і час користувача.

- Підвищення точності: інтерфейс приймача реалізує методи виправлення помилок для підвищення точності даних позиціонування. Ці методи компенсують спотворення сигналу, викликані атмосферними умовами або іншими факторами навколишнього середовища, підвищуючи надійність отриманої інформації.
- Інтерфейс користувача та вихідні дані: інтерфейс представляє розраховану інформацію про позиціонування користувачам у різних форматах виводу, таких як географічні координати, карти або потоки необроблених даних. Це дозволяє користувачам використовувати точні дані позиціонування для навігації, геодезії, наукових досліджень і різноманітних програм.

Інтерфейс навігаційного приймача в системі QZSS відіграє ключову роль у полегшенні прийому, обробки та використання супутникових сигналів для точного позиціонування та навігації. Його апаратні та програмні компоненти працюють злагоджено, щоб отримати, декодувати та надати точну інформацію про місцезнаходження, надаючи користувачам надійні можливості навігації.

2.4 Декодування повідомлень в системі QZSS

Декодування повідомлень у супутниковій системі QZSS передбачає виділення та інтерпретацію важливих даних, що передаються супутниками цієї системи. Ці повідомлення містять важливу інформацію, таку як положення супутників, поправки годинника та додаткові дані, життєво важливі для точного позиціонування та навігації. Ось обширне дослідження процесу декодування в системі QZSS. Декодування повідомлень у системі QZSS передбачає систематичний процес інтерпретації структурованих пакетів даних, що передаються супутниками QZSS. Ці пакети даних містять різні типи інформації, критичної для визначення точного позиціонування та часу.

Типи інформації в повідомленнях QZSS:

- Ефемеридні дані: інформація про ефемеридні дані про точні орбіти, положення та швидкості супутників QZSS у певний час. Точні ефемеридні дані мають вирішальне значення для розрахунку позицій користувачів.
- Параметри корекції годинника: супутники QZSS передають параметри корекції годинника, які дозволяють приймачам компенсувати помилки синхронізації, викликані вбудованими годинниками супутників. Ця корекція забезпечує синхронізацію між сигналами, що передаються супутником, і синхронізацією приймача.
- Інформація про працездатність і статус: повідомлення також містять дані про працездатність і робочий стан супутників QZSS. Ця інформація допомагає приймачам переконатися, що вони використовують надійні супутники для розрахунків позиціонування.
- Дані доповнення: системи доповнення, такі як SBAS, передають дані корекції через повідомлення QZSS, уточнюючи точність інформації про позиціонування, отриманої наземними приймачами.

Процес декодування поділяється на наступні етапи:

- Прийом сигналу: процес декодування починається з прийому сигналів від супутників QZSS. Наземні приймачі, обладнані спеціалізованими антенами, вловлюють ці сигнали, які містять модульовані пакети даних.
- Демодуляція сигналу: Демодуляція - це процес вилучення переданих даних із отриманих сигналів. Цей крок розділяє необроблений сигнал на цифрові пакети даних, що містять різні типи інформації.
- Інтерпретація структури повідомлення: повідомлення QZSS дотримуються структурованого формату. Кожне повідомлення містить фрейми, субфрейми та слова. Фрейми містять субфрейми, а кожен субфрейм містить слова, які несуть певні типи інформації. Декодування передбачає інтерпретацію цієї структури для

вилучення значущих даних.

- Синтаксичний аналіз та інтерпретація даних: декодовані пакети даних аналізуються для вилучення відповідної інформації, такої як ефемериди, поправки годинника та інші параметри. Алгоритми інтерпретують вміст цих пакетів відповідно до формату повідомлення QZSS.
- Перевірка помилок і перевірка: процеси перевірки забезпечують цілісність і точність отриманих даних. Механізми перевірки помилок виявляють і виправляють будь-які аномалії або невідповідності в декодованій інформації, забезпечуючи надійність даних, які використовуються для розрахунків позиціонування.

Після завершення процесу декодування отримана та перевірена інформація використовується навігаційними приймальними системами. Ці дані допомагають у точному позиціонуванні, обчисленні швидкості та синхронізації часу, дозволяючи користувачам точно визначати своє місцезнаходження. Постійний прогрес у технології декодування спрямований на підвищення точності та ефективності процесу. Ці вдосконалення зосереджені на вдосконаленні методів виправлення помилок, оптимізації алгоритмів декодування та адаптації нових типів даних для підвищення загальної надійності та точності позиціонування.

Процес декодування в системі QZSS є вирішальним кроком у вилученні та інтерпретації даних, що передаються із супутників QZSS. Ця декодована інформація, що включає ефемериди, поправки годинника та інші параметри, формує основу точного позиціонування та навігації для користувачів, які покладаються на супутникові системи.

Висновок

Отже, в даному розділі було розглянуто структуру та компоненти повідомлень в системі QZSS, описаний інтерфейс навігаційного приймача і його складові, а також розглянуто процес декодування повідомлень в системі QZSS.

РОЗДІЛ 3. ОТРИМАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ QZSS ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОРБІТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Структурна схема для отримання експериментальних даних

Отримувати експериментальні дані, а також опрацьовувати їх будемо в програмі NovAtel Connect 2.0. Це програмне забезпечення слугує зручним інтерфейсом для взаємодії з приймачами GNSS. Воно дозволяє користувачам налаштовувати, контролювати, контролювати та виправляти неполадки цих приймачів за допомогою спрощеного та інтуїтивно зрозумілого графічного інтерфейсу.

Ключовими особливостями та функціями NovAtel Connect 2.0 є:

- Конфігурація та керування приймачем: користувачі можуть отримати доступ до комплексних засобів керування для налаштування різноманітних параметрів приймачів NovAtel GNSS. Це включає встановлення режимів позиціонування, налаштування швидкості виведення даних, налаштування параметрів реєстрації та керування функціями приймача.
- Керування даними: програмне забезпечення дозволяє користувачам ефективно керувати даними, зібраними приймачами GNSS. Це дозволяє отримувати, зберігати та аналізувати такі дані, як файли спостережень, ефемеридні дані, альманахи та журнали приймачів.
- Моніторинг у реальному часі: NovAtel Connect 2.0 надає можливості моніторингу в реальному часі, дозволяючи користувачам спостерігати за потоками даних приймача в реальному часі, статусом супутникового відстеження, якістю сигналу та іншою важливою інформацією. Цей моніторинг у реальному часі допомагає оцінити продуктивність приймача та цілісність сигналу.
- Інструменти діагностики: Програмне забезпечення пропонує інструменти та утиліти діагностики для усунення несправностей приймача та проведення діагностики системи. Це допомагає виявити та вирішити потенційні проблеми, які можуть вплинути на роботу приймача.
- Оновлення мікропрограми та керування: NovAtel Connect полегшує

оновлення мікропрограми та керування програмним забезпеченням приймача, гарантуючи, що приймачі GNSS працюють із останніми вдосконаленнями програмного забезпечення.

- Зручний інтерфейс: Завдяки інтуїтивно зрозумілому графічному інтерфейсу NovAtel Connect спрощує взаємодію з приймачами GNSS, роблячи його доступним для користувачів різного рівня досвіду.
- Сумісність і підтримка: програмне забезпечення сумісне з низкою GNSS-приймачів NovAtel забезпечує широкий спектр підтримуваних пристроїв. NovAtel також надає комплексну технічну підтримку та документацію, щоб допомогти користувачам ефективно використовувати програмне забезпечення.

Розглянемо алгоритм отримання експериментальних даних. Після встановлення програми, запускаємо її на нашому ПК. Коли програма буде запущена перед нами за замовчуванням з'явиться вікно підключення.

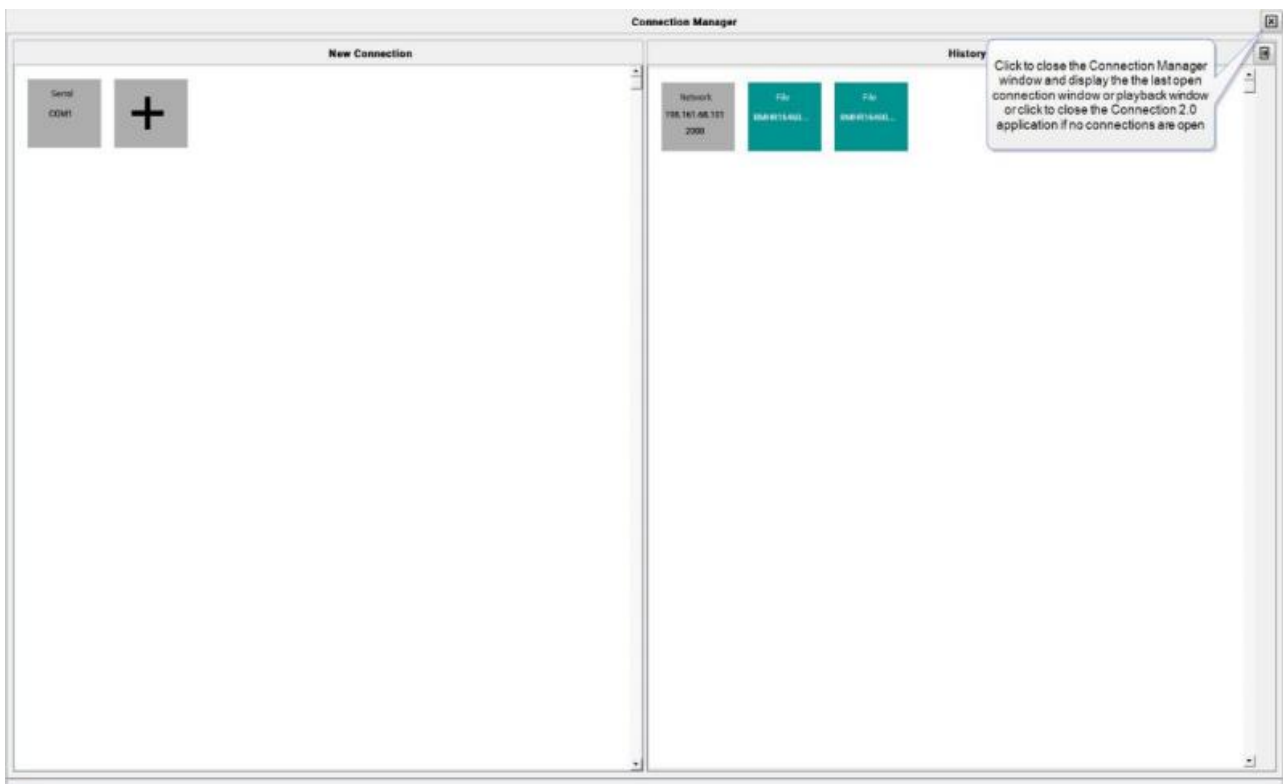


Рис.3.1. Вікно підключення

Воно використовується для того, щоб переглядати доступні/створені підключення у вигляді комірок як для нових підключень, так і для тих, що були створені у минулому; створювати мережу та комірки відтворення; змінювати

налаштування серійних, мережевих підключень; використовувати та видаляти попередні підключення, а також встановлювати підключення, щоб переглянути дані одержувача в графічному/текстовому форматі та конфігурувати як це необхідно.

Далі необхідно створити нове підключення. Для цього необхідно натиснути на комірку «+» для того, щоб відкрити «Менеджер нових підключень».



Рис.3.2. Менеджер нових підключень

Тиснемо enter і вводимо IP-адресу отримувача.



Рис.3.3. Вікно вводу IP-адреси отримувача

Тиснемо enter і вводимо порт отримувача для підключення.

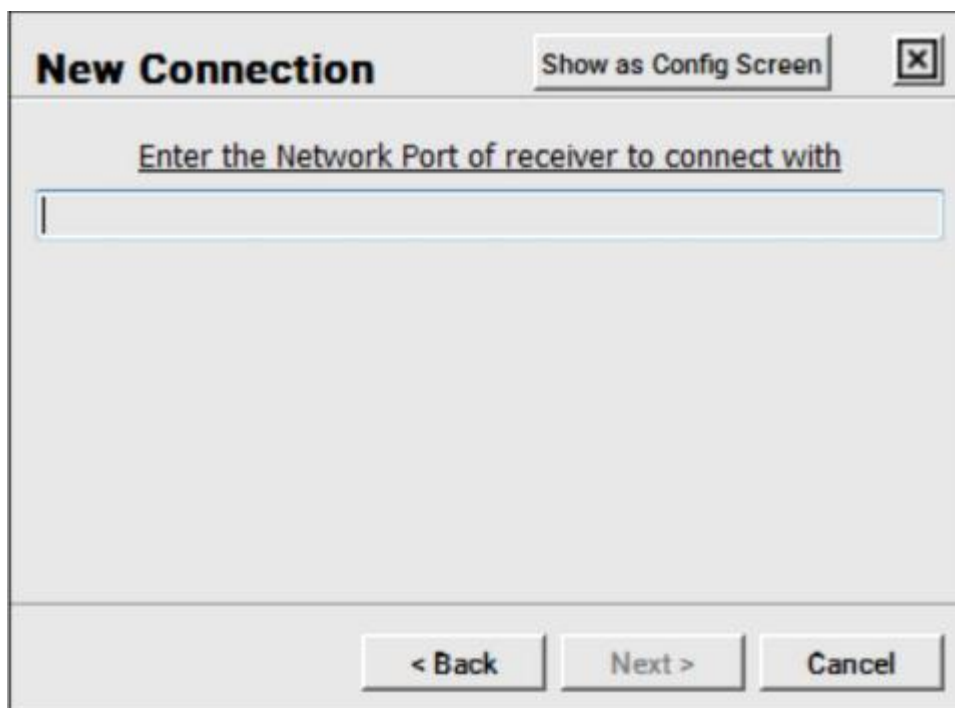


Рис.3.4. Вікно вводу порту отримувача

Після цього обираємо протокол мережі і натискаємо connect.

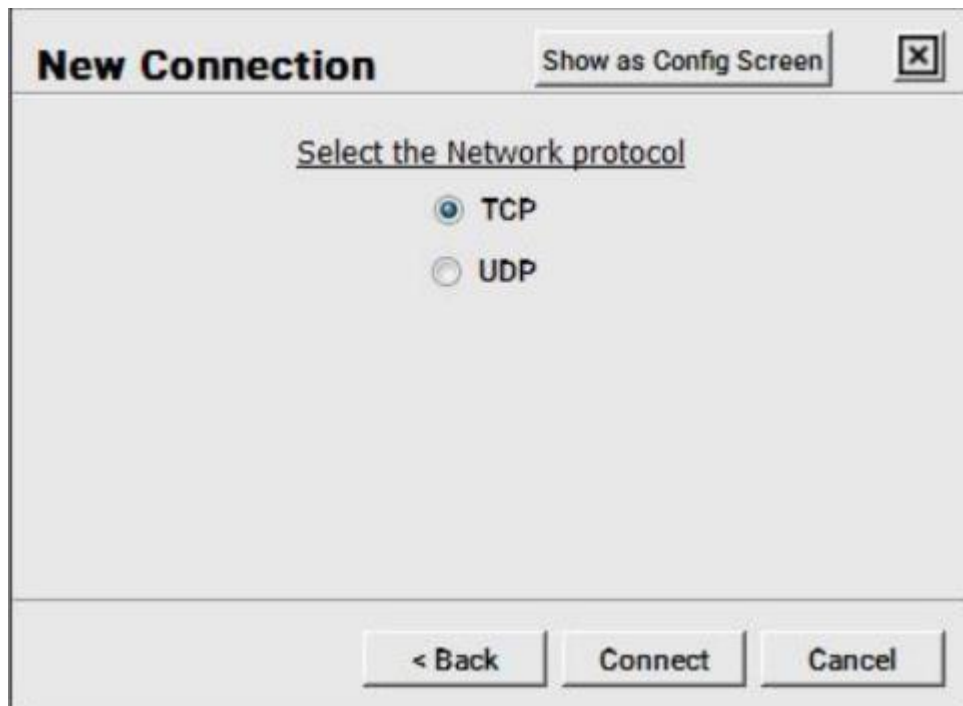


Рис.3.5. Вікно вибору протоколу мережі

Після того як параметри приймача, такі як режим позиціонування, швидкість виведення даних і типи даних (наприклад, дані спостережень, ефемериди), необхідні для дослідження були налаштовані, можна розпочинати безпосередньо збір даних. Необхідно запустити процес реєстрації або запису даних у NovAtel Connect, щоб зібрати експериментальні дані з приймача.

Наступним кроком необхідно передати файли даних із приймача на комп'ютер. Після завершення збору даних скористаємося функціоналом програми NovAtel Connect, щоб передати записані файли даних із приймача на ваш комп'ютер після чого необхідно перейти до відповідного місця зберігання даних на приймачі та завантажити файл.

Для відтворення даних використаємо майстер відтворення. Для цього необхідно натиснути на комірку «+» після чого відкриється «Менеджер нових підключень». За замовчуванням менеджер налаштований на «Мережа», натисніть кнопку «Відтворення».

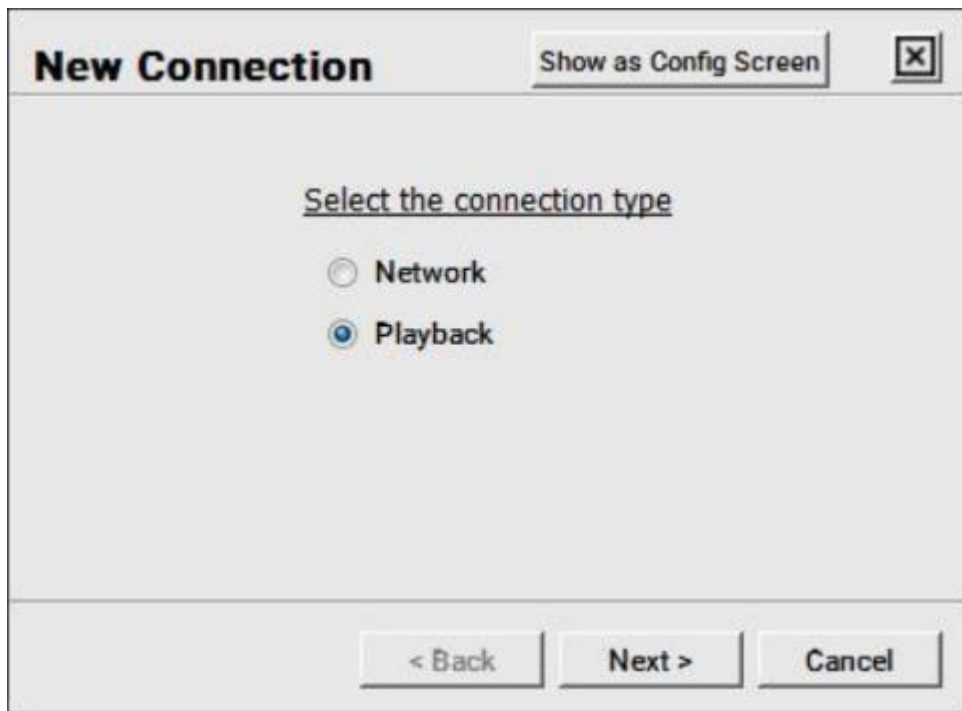


Рис.3.6. Майстер відтворення

Натисніть кнопку «Огляд», щоб знайти та вибрати файл для відтворення.

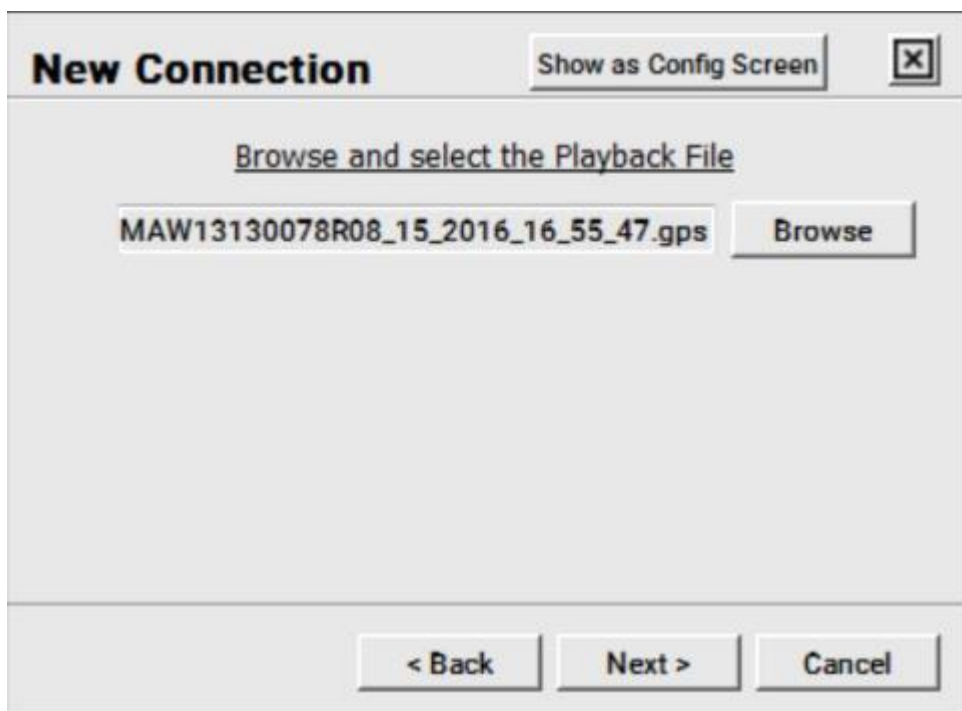


Рис.3.7. Вибір файлу для відтворення

Виберіть відсоток даних, щоб зчитати з файлу.

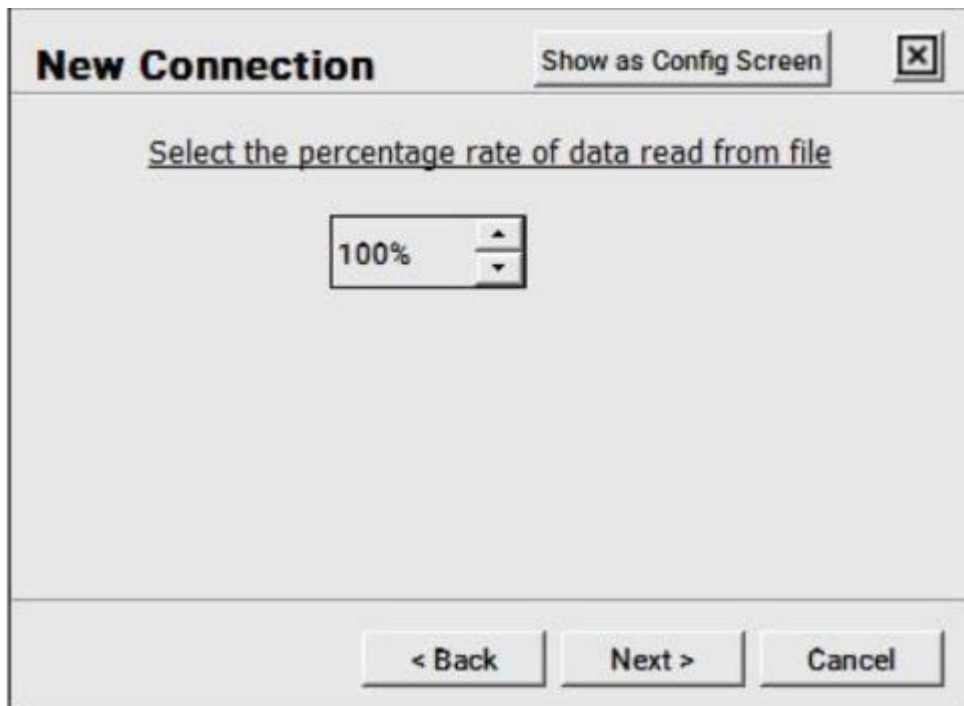


Рис.3.8. Вікно вибору відсотку даних

Натисніть кнопку «Так», щоб відтворення йшло по колу, і було безперервним.



Рис.3.9. Вікно вибору відтворення по колу

Після того, як всі налаштування встановлено, натисніть кнопку підключення.

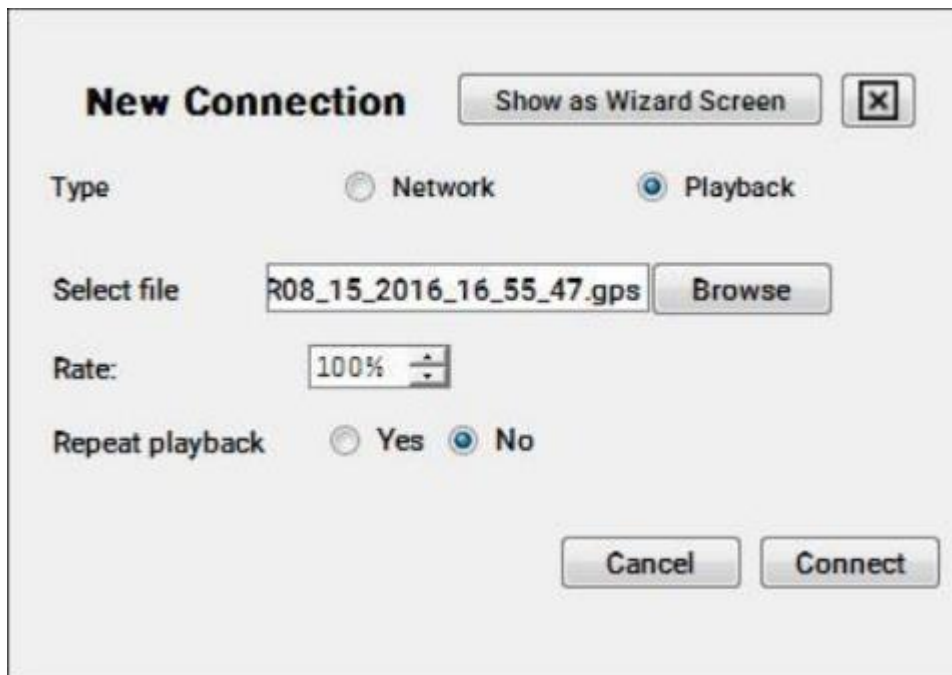


Рис.3.10. Вікно загальних налаштувань

Як тільки з'єднання відтворення встановлено, Connect відображає раніше записаний зміст файлу у вікнах. Елементи управління відтворенням / призупинення відтворення знаходиться в нижній частині екрана. Ім'я файлу відображається вгорі, у центрі вікна.

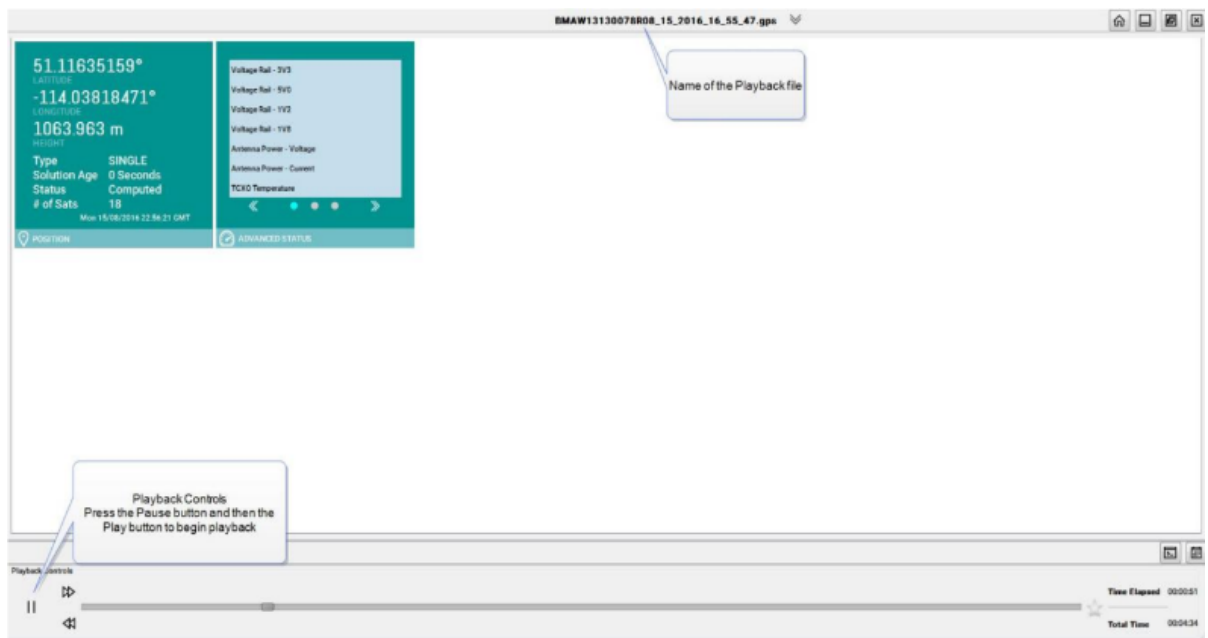


Рис.3.11. Секція «Connect» у вікні підключення

3.2 Алгоритм перетворення експериментальних даних в формат YUMA

YUMA (Формат альманаху YUMA) служить стандартизованим форматом файлу, який використовується в галузі супутникової навігації для зберігання даних альманаху, пов'язаних із супутниковими ефемеридами та іншої важливої інформації. Цей формат особливо поширений у таких системах, як та інші GNSS, такі як ГЛОНАСС, Galileo та QZSS. По суті, формат YUMA діє як сховище важливої супутникової інформації, забезпечуючи структуровані та організовані засоби для зберігання даних супутникового угруповання. Ці дані містять відомості про супутникові орбіти, положення, параметри корекції годинника, стан здоров'я та додаткову важливу інформацію, необхідну для точних розрахунків позиціонування.

Основною метою формату YUMA є полегшення обміну та зберігання даних альманаху між різними пристроями GNSS, програмними додатками та службами. Його стандартизована структура забезпечує безперебійну взаємодію між різними системами, забезпечуючи сумісність і точність у використанні супутникових даних для позиціонування та навігації.

Файли альманаху у форматі YUMA широко використовуються в GNSS-приймачах і програмних додатках для різних функцій, зокрема:

- Супутникове позиціонування: файли YUMA надають точну інформацію про положення та траєкторію супутників у сузір'ї. Ці дані допомагають приймачам визначити точне положення супутника відносно поверхні Землі, що є необхідним для розрахунку точних позицій користувача.
- Навігація та синхронізація: пристрої GNSS покладаються на дані альманаху у форматі YUMA для обчислення точної інформації про позиціонування, що дозволяє користувачам визначити своє місцезнаходження, швидкість і синхронізацію часу.
- Синхронізація системи: файли YUMA допомагають синхронізувати

роботу приймача GNSS із супутниковими сигналами, забезпечуючи правильний час і отримання сигналу для підвищення точності та продуктивності.

- Моніторинг стану супутника: ці файли містять важливу інформацію про стан супутника, що дозволяє приймачам оцінювати надійність і працездатність окремих супутників у групі.

Таким чином, формат YUMA служить стандартизованою структурою даних для зберігання інформації альманаху, критичної для супутникових навігаційних систем. Його використання сприяє ефективному обміну даними, сумісності та точності в операціях GNSS, підтримуючи точне позиціонування, навігацію та послуги синхронізації для різних застосувань у різних галузях, включаючи транспорт, геодезію, телекомунікації тощо.

Розглянемо детальніше процес перетворення експериментальних даних в формат YUMA, використовуючи програму NovAtel Connect. Після запуску програми необхідно отримати доступ до панелі керування приймача або розділу керування даними використовуючи інтерфейс програмного забезпечення. У цьому розділі доступні різноманітні функції та налаштування, пов'язані з підключеним приймачем GNSS.

Пошук функції перетворення альманаху

В інтерфейсі керування приймачем або керування даними знайдіть певну функцію, пов'язану з операціями з альманахом. Ця функція може бути позначена як «Керування альманахом», «Перетворення альманаху» або схожою термінологією, залежно від версії програмного забезпечення та моделі приймача. Конкретний макет і маркування параметрів у NovAtel Connect можуть дещо відрізнятися залежно від версій програмного забезпечення або конкретних моделей приймачів. Зверніться до посібника з програмного забезпечення або посібника користувача, щоб отримати точні вказівки, адаптовані до ваших налаштувань

Вибір файлу альманаху для перетворення

У розділі керування альманахом знайдіть і виберіть конкретний файл

альманаху, який ви збираєтеся перетворити у формат YUMA. Цей файл може зберігатися в пам'яті приймача або доступний з каталогу на вашому комп'ютері. Переконайтеся, що вибраний файл альманаху сумісний із приймачем QZSS і програмним забезпеченням NovAtel Connect. Переконайтеся, що структура файлу та вміст даних відповідають підтримуваним форматам для успішного перетворення. Після вибору файлу альманаху перейдіть до визначення бажаного вихідного формату для процесу перетворення. У цьому випадку виберіть формат YUMA як вихідний формат файлу альманаху.

Початок процесу перетворення

Після вибору вихідного формату YUMA попросіть програмне забезпечення розпочати процес перетворення, активувавши відповідну команду або функцію в NovAtel Connect. Ця дія ініціює програмне забезпечення для перетворення вибраного файлу альманаху у формат YUMA.

Моніторинг прогресу перетворення

По мірі розгортання процесу перетворення NovAtel Connect відображатиме індикатор прогресу або оновлення статусу, що вказуватиме на поточний процес перетворення. Слідкуйте за цим прогресом, щоб переконатися, що перетворення відбувається без будь-яких помилок.

Перевірка та збереження конвертованого файлу YUMA

Після завершення процесу перетворення переконайтеся, що файл альманаху успішно перетворено у формат YUMA. Переконайтеся, що перетворений файл YUMA точно представляє дані альманаху в призначеному форматі. Збережіть перетворений файл у форматі YUMA у визначеному місці на вашому комп'ютері або в пам'яті приймача. Упорядкуйте та позначте файл належним чином для легкої ідентифікації та доступу.

3.3. Отримання експериментальних даних та моделювання орбіт супутників системи QZSS

З точки території України зона спостереження квазізенітної супутникової системи (QZSS) обмежена лише одним супутником. За допомогою приймача ми

записали дані доступного нам супутника. Примітно, що супутники QZSS мають можливість передавати дані про один одного, що в свою чергу дозволяє нам отримувати дані з усіх чотирьох супутників, незважаючи на те, що наше спостереження обмежене лише одним.

Щоб отримати ці дані, ми ініціалізували приймач у зашифрованому режимі та налаштували його для запису альманаху системи QZSS у бінарному форматі. Згодом, за допомогою програми NovAtel 2.0 ми розкодували цю інформацію, трансформували її у формат YUMA для подальшого аналізу та використання.

Для моделювання орбіт, положення, кутів видимості та іншої інформації, ми використали середовище Matlab. За допомогою цієї платформи ми виконали програму для генерації наступних графіків:

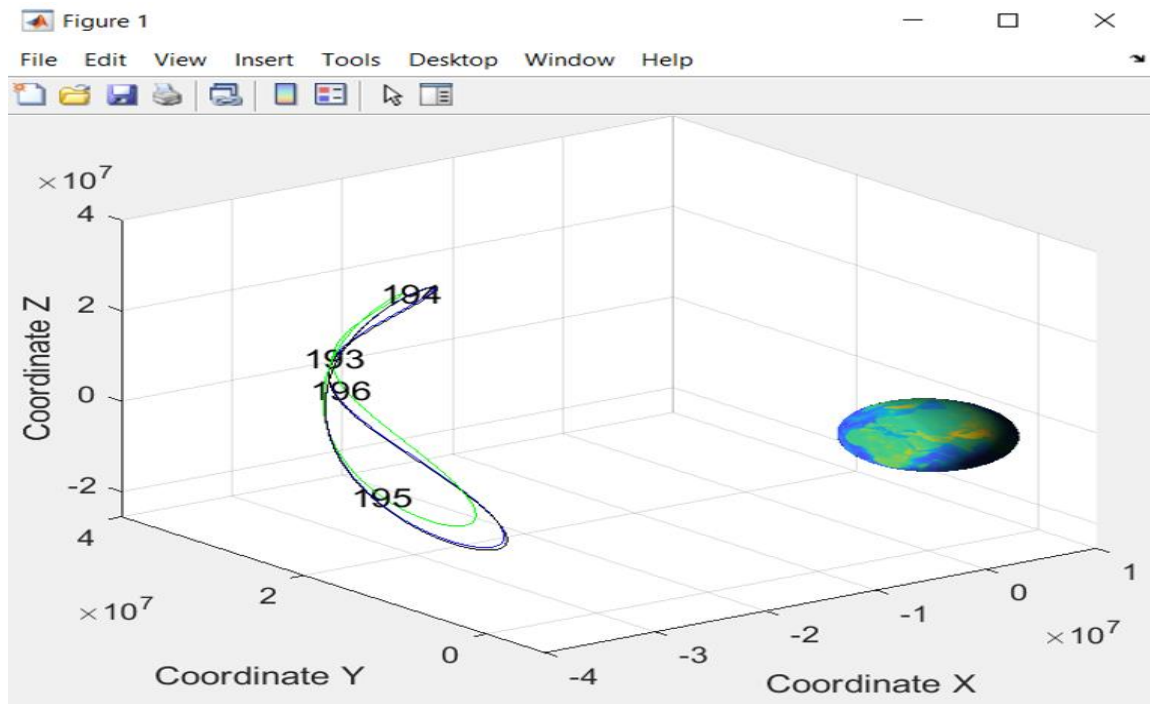


Рис.3.12. Орбіти супутників системи QZSS

На рис 3.12 зображені всі орбіти всіх чотирьох супутників системи. Ці супутники вважаються геосинхронними, тобто це супутники які знаходяться на геостаніонарній орбіті, а також поступово повторюють свою орбіту над певними конкретними точками Земної поверхні. Для отримання графіку, де будуть показані орбіти всіх чотирьох супутників ми використали координати міста Токіо, адже саме з цього регіону можна безперешкодно спостерігати усі чотири супутники.

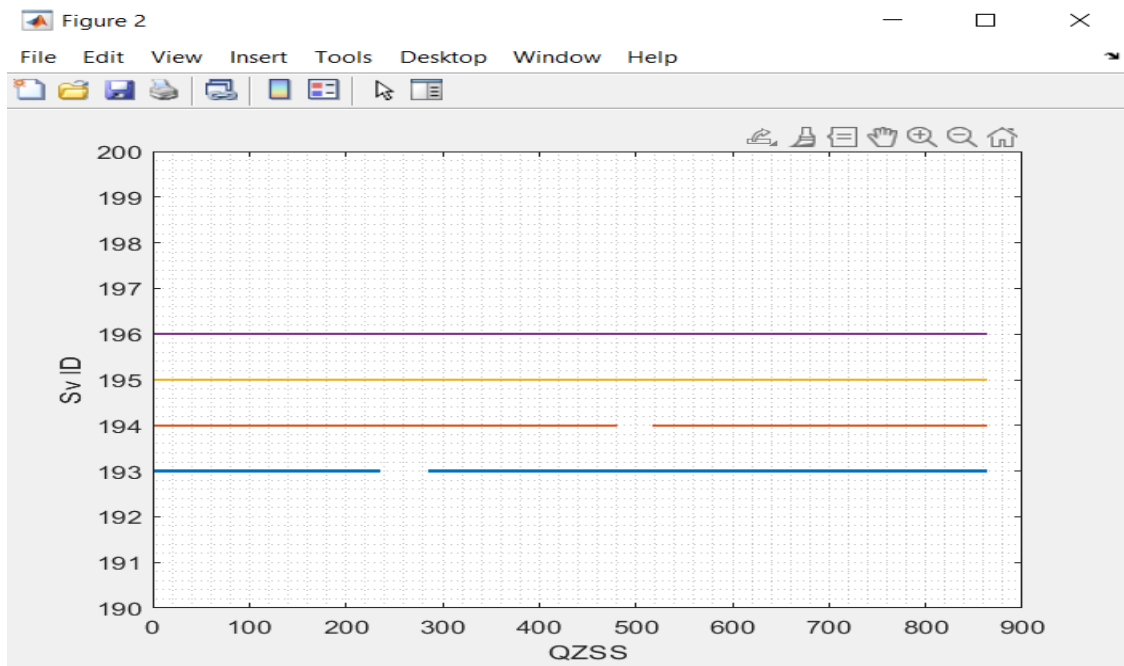


Рис.3.13. Графік запису даних від супутників системи QZSS

На рис 3.13 ми бачимо графіки запису даних від усіх чотирьох супутників на протязі 900 секунд. Горизонтальна вісь дає інформацію про кількість відліків, протягом яких ми записували дані, тобто в результаті ми маємо 900 відліків. Вертикальна вісь показує номери супутників.

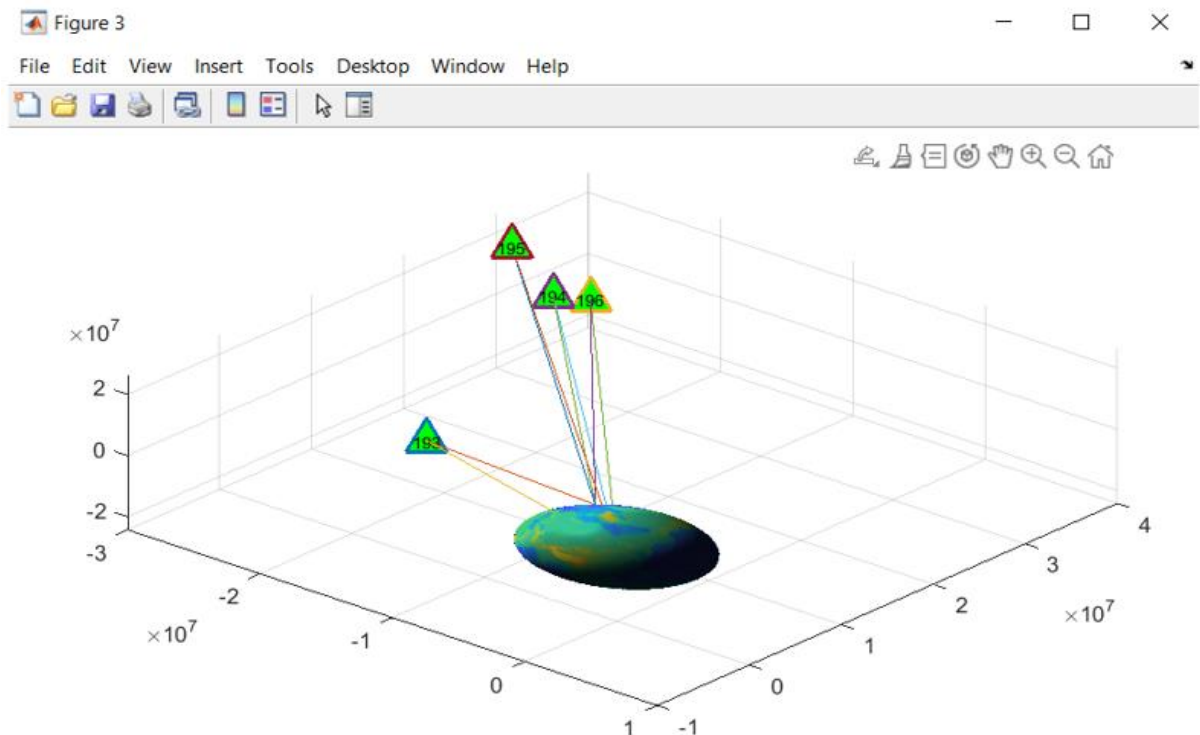


Рис.3.14. Положення супутників QZSS у просторі

На рис 3.14 зображені чотири супутники які бачить спостерігач з міста

Токію. На рис 3 можна побачити, що з кожного супутника виходять дві умовні лінії. Одна з ліній вказує безпосередньо на положення спостерігача, тобто, його координати а інша лінія вказує на центр мас землі.

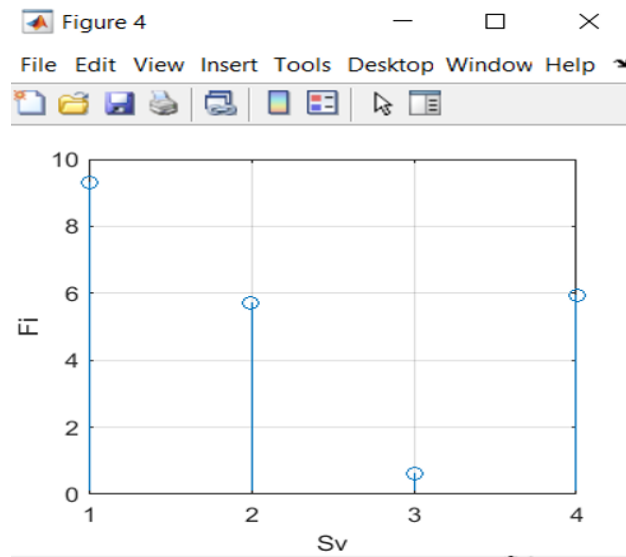


Рис 3.15. Кути видимості супутників QZSS

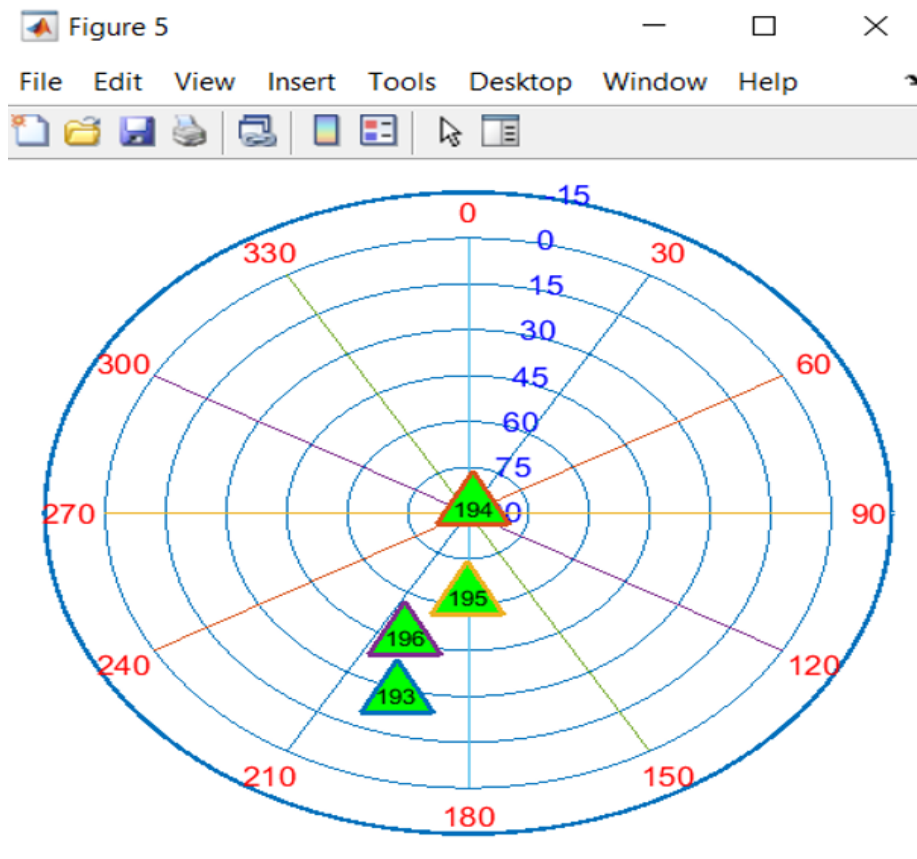


Рис 3.16. Діаграма положення супутників QZSS відносно спостерігача

На рис. 3.15 показано під якими кутами кожен з чотирьох супутників знаходиться відносно міста Токію. Відповідно, рис 3.16 являє собою діаграму, яка

показує положення 4х супутників системи QZSS відносно Токіо. В центрі діаграми знаходиться місцеположення спостерігача. Зовнішня лінія – це площина горизонту. Згідно діаграми ми можемо зробити висновок, що супутник під номером 194 знаходиться під кутом 90 градусів відносно спостерігача, супутник 195 під кутом 60 градусів, супутник 196 під кутом 45градсів, а супутник 193 під кутом 30 градусів.

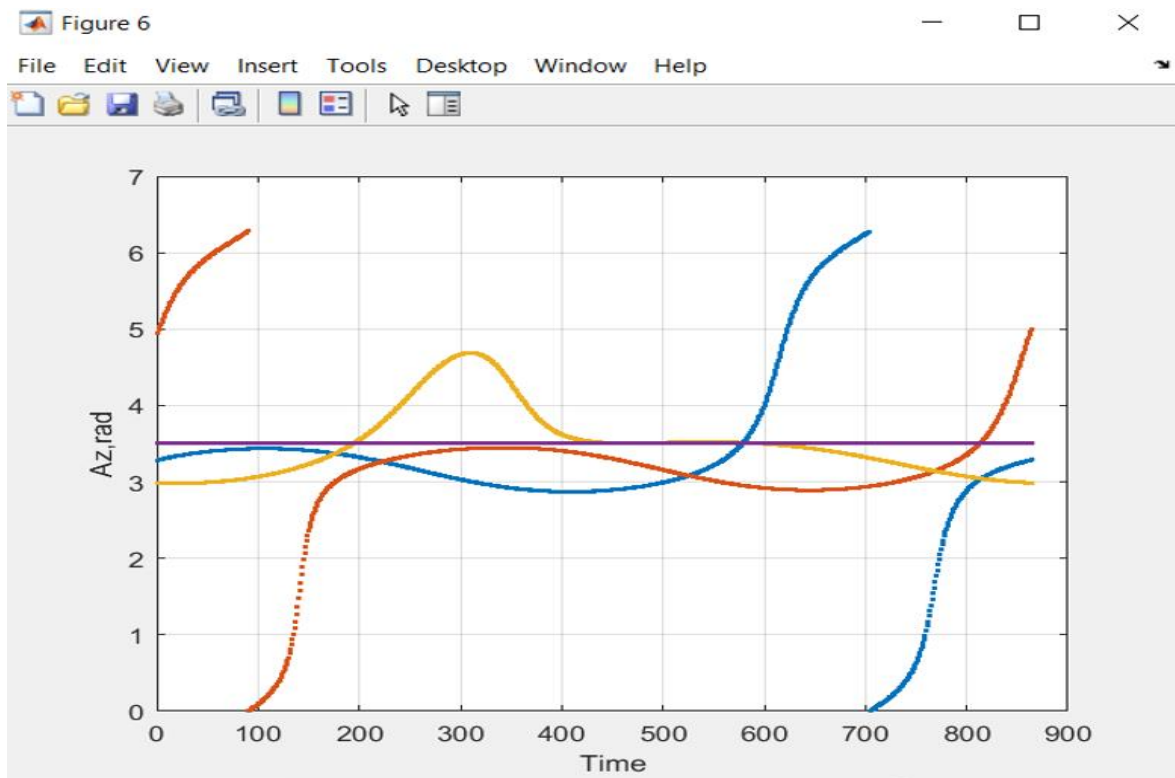


Рис 3.17. Графік видимості супутників QZSS

Вертикальна вісь графіка, що зображена на рис. 3.17 відображує азимут, вимірний в радіанах, а вертикальна вісь відображує час протягом якого ми записували дані від супутників системи QZSS. Самі супутники на графіку показані лініями чотирьох різних кольорів.

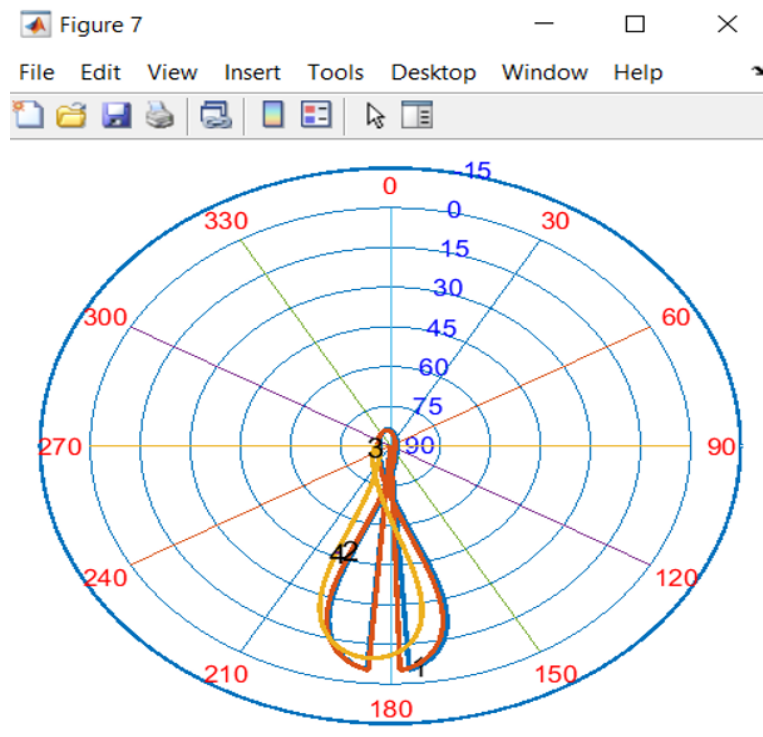


Рис 3.18. Моделювання обрiт супутникiв QZSS вiдносно спостерiгача
 На рис 3.18 показано графiки моделювання обрiт супутникiв системи QZSS на протязi 900 секунд. Можна зробити висновок, що орбiти супутникiв мають форму вiсiмки.

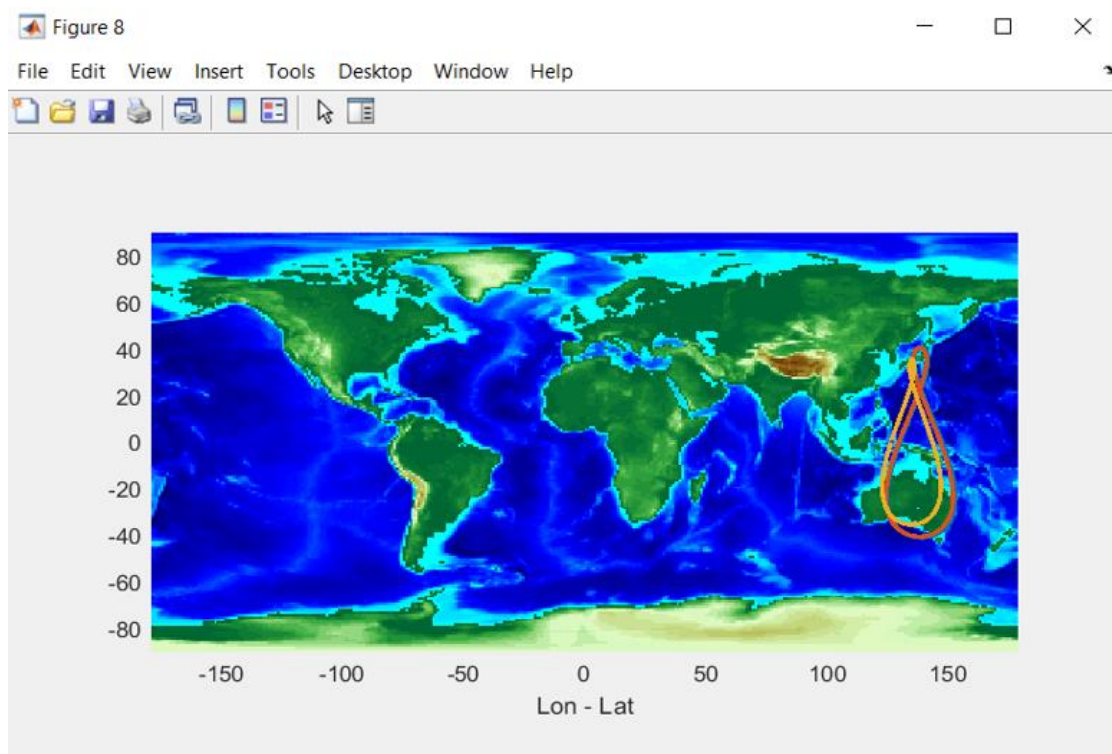


Рис. 3.19. Моделювання орбiт супутникiв QZSS вiдносно земної поверхнi
 На рис.3.19 показано орбiти супутникiв на фонi карти Землi. Згiдно цього

рисунку можна зробити висновок, що супутники системи QZSS покривають регіон Азії та Океанії, а також підтвердити попередній висновок, що вони мають орбіти у формі вісімки.

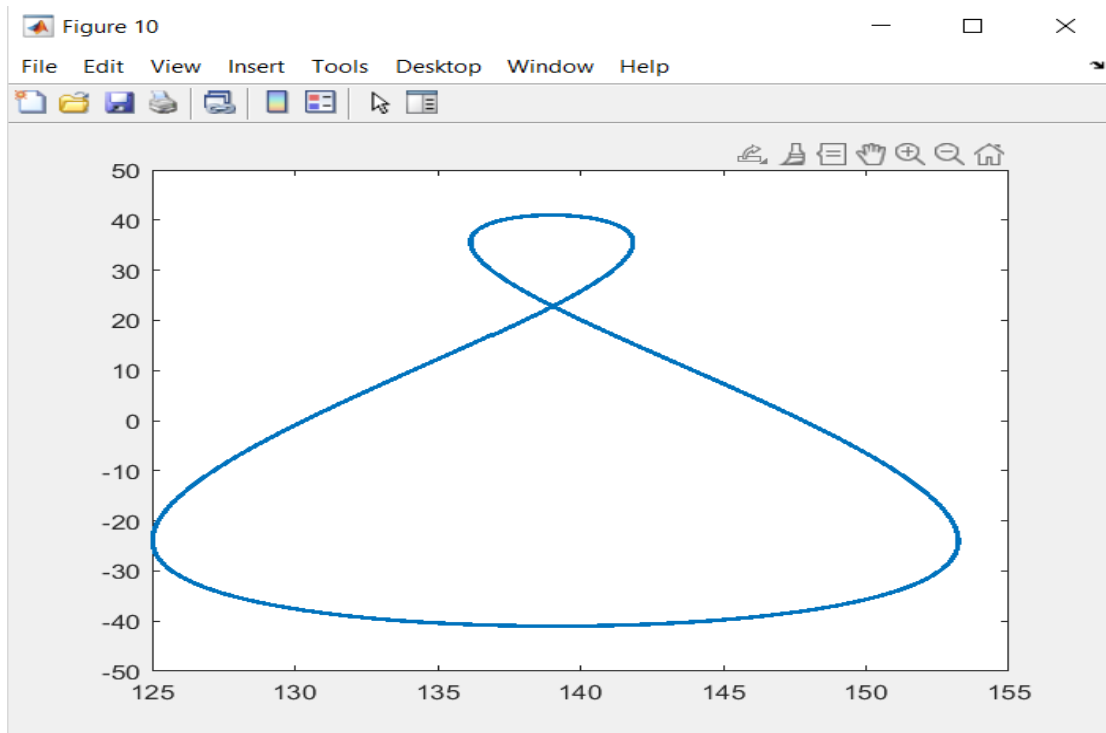


Рис. 3.20. Орбіта супутника системи QZSS

На рис. 3.20 зображена збільшена орбіта одного із супутників системи QZSS. По вертикальній осі позначена широта, а по горизонтальній довгота. Саме такі координати описує один із супутників цієї системи.

3.4 Аналіз роботи системи QZSS без підтримки GPS

Вище було показано, що QZSS відноситься до регіональних супутникових навігаційних систем класу SBAS та повноцінно функціонує спільно з GPS. В Україні можна періодично спостерігати геосинхронні супутники цієї системи, як правило, один супутник за 36 годин. Однак, в попередньому підрозділі ми отримали та опрацювали дані альманаху всіх чотирьох японських супутників QZSS. У цьому підрозділі є можливість отримання координат використовуючи тільки геосинхронні супутники QZSS. Для оцінки координат позиції споживача необхідно знати координати супутників, псевдодальності до супутників та прийнятний геометричний фактор. Як було показано вище, одночасне спостереження чотирьох супутників QZSS може бути отримано в Японії. Ми

обрали Токіо.

Для оцінки координат досліджуємо експериментальні фазові та кодові псевдодальності, їх статистичні характеристики, відношення сигнал/шум, доплерівську частоту доступного в Україні супутника QZSS та припустимося, що сигнали інших супутників мають близькі параметри.

Прогнозування точності позиції виконаємо через геометричний фактор та статистичні параметри псевдодальності з використанням виразу

$$\begin{aligned}\sqrt{\sigma_{Lat}^2 + \sigma_{Lon}^2 + \sigma_h^2 + \sigma_t^2} &= \sigma_{PR}GDOP, \\ \sqrt{\sigma_{Lat}^2 + \sigma_{Lon}^2 + \sigma_h^2} &= \sigma_{PR}PDOP, \\ \sqrt{\sigma_{Lat}^2 + \sigma_{Lon}^2} &= \sigma_{PR}HDOP, \\ \sqrt{\sigma_h^2} &= \sigma_{PR}VDOP, \\ \sqrt{\sigma_t^2} &= \sigma_{PR}TDOP,\end{aligned}$$

де $\sigma_{Lat}^2, \sigma_{Lon}^2, \sigma_h^2, \sigma_t^2$ - дисперсії по широті, довготі, висоті, часу,

σ_{PR} - середньоквадратичне відхилення псевдодальності,

$GDOP$ - просторово-часовий геометричний фактор,

$PDOP$ - просторовий геометричний фактор,

$HDOP$ - горизонтальний геометричний фактор,

$VDOP$ - вертикальний геометричний фактор,

$TDOP$ - часовий геометричний фактор.

Для дослідження псевдодальності до геосинхронного супутника QZSS за допомогою навігаційного приймача OEM 719 запишемо повідомлення Message ID: 43. Формат повідомлення складається з заголовка (поле 1 RANGE, header), змісту повідомлення (поля 2, 3, ..., 13), коду перевірки (поле variable, 32-bit CRC).

Заголовок повідомлення наведено в розділі 1. 3 Binari (Table 4) посібника OEM7 Commands and Logs Reference Manual v18A.

Компоненти заголовка, на які слід звернути увагу при декодуванні: номер повідомлення (поле 5, Message ID, після розшифровки має бути цифра 43), номер GPS тижня (поле 12, Week), час GPS (поле 13, ms, час розшифровки за секунди.

Розглянемо основні компоненти повідомлення 43. У полі 2 (#obs від слова обсервація) записується загальна кількість спостережень з інформацією для аналізу, поле 3 (PRN/slot) номери супутників (зчитувати номери QZSS), в полі 4 (glfreq) записуються частоти (слоти) ГЛОНАСС, в полі 5 (psr) - псевдодальність кодова, в полі 6 (psr σ) - середньоквадратичне відхилення кодової псевдодальності, в полі 7 (adr) - фазова псевдодальність, в полі 8 (adr σ) - середньоквадратичне відхилення фазової псевдода у полі 9 (dopp) – доплерівська частота, у полі 10 (C_N) – відношення сигнал/шум, поле 12 (ch-tr-status) – статус відстеження каналу. Докладні відомості про цей параметр див. у посібнику OEM7 Commands and Logs Reference Manual v18A, July 2021, стор.

Дослідження проводиться програмою 2022_RangeGPS.

Для проведення дослідження необхідно записати в бінарному вигляді повідомлення Message ID: 43 та помістити його до папки In_dat.

У програмі 2022_RangeGPS відкрити та виконати стартовий файл StartRangeGPSFin0, записати та декодувати повідомлення. Декодування записаного файлу починається з рядка

```
31 Syn_c = fread(fid,3, 'uchar');
```

у рядку 35 Message_ID = fread(fid,1,'uint16'); має прочитатись ідентифікаційний номер повідомлення 43;

```
у рядку 48 Receiver_Version = fread(fid,1,'uint16');
```

```
у рядку 50 kol_sv = kol_sv = free (fid, 1, 'uint');
```

читається загальна кількість супутників, що знаходяться в зоні видимості в даний час;

наступні рядки зчитуються відповідно до протоколу, наведеного у посібнику OEM7 Commands and Logs Reference Manual v18A.

Зчитується та записується код статусу відстеження каналу (рядки 63-72)

```
Ch_tr_st = fread (fid, 1, 'uint32');
```

```
Ch_tr_st16 = dec2hex(Ch_tr_st);
```

```
Sis = bitshift(Ch_tr_st,12, 'uint32');
```

```
Sis = bitshift(Sis,-28, 'uint32');
```

```

SigType = bitshift(Ch_tr_st,6, 'uint32');
SigType = bitshift(SigType, -27,'uint32');
SigTypeGPS = [0 5 9 14 16 17];
if SigType == SigTypeGPS(1)
if Sis == 0

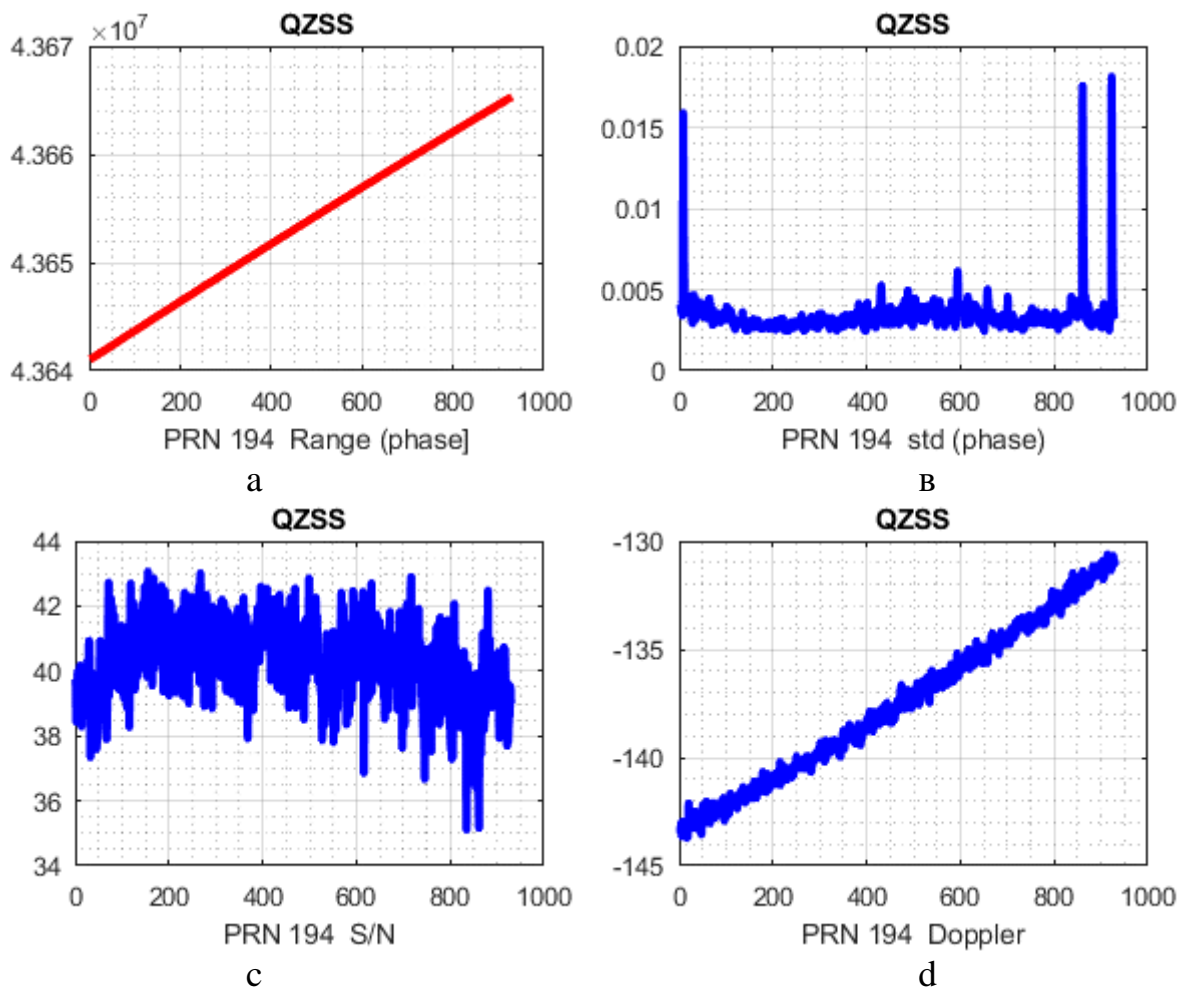
```

Дані записуються в масиви у рядках 73-82.

Масиви кожного компонента зберігаються в mat файлах в папці In_dat2, рядки 93, 98, 103, 108.

Дані для аналізу та дослідження подаються і у графічному вигляді. За кожним супутником формується 7 графіків.

Результати дослідження псевдодальності для супутника QZSS наведено на рис. 3. 21.



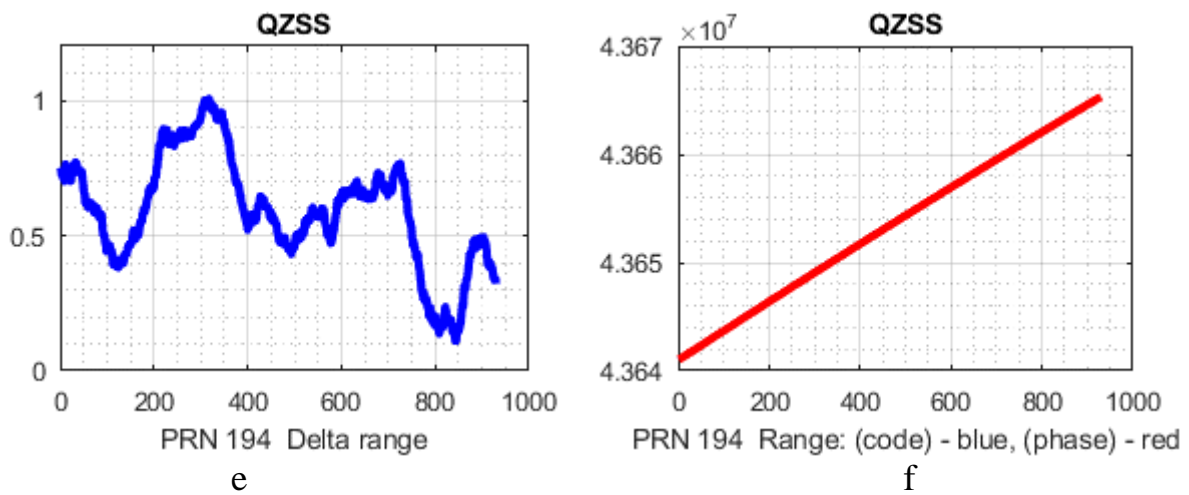


Рис. 3.21. Параметри повідомлення Range супутника 194 системи QZSS: а – фазова псевдодальність, в- std фазової псевдодальності, с-відношення сигнал/шум, d-доплерівська частота, е – різницю кодової і фазової псевдодальності, f – роздільне зображення псевдодальності;

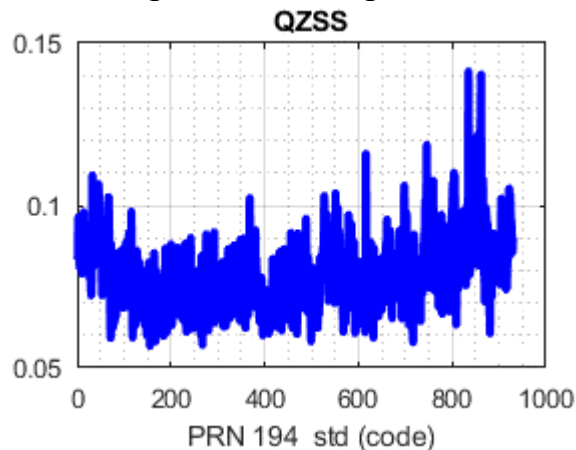


Рис. 3.22. Std кодової псевдодальності

На рис. 3.21 та рис. 3.22 по горизонтальних осях відкладені тимчасові відліки (секунди), псевдодальності та std мають розмірність у метрах, відношення сигнал/шум (розмірність дБ), доплерівська частота (розмірність Гц).

Вище зазначалося, що з оцінки координат потрібно мати середньоквадратичне відхилення псевдодальности. З рис. 3.21, std не перевищує 0.02 м, з рис. 3.22 std менше 0.15 м. Ці дані не враховують похибки ефемерид, спотворень в атмосфері, спотворень у приймачі. Відсутні дані можна взяти зі стандарту OEM7 Commands and Logs Reference Manual (Таблиця А.4-1. DF L1 C/A - L2C UERE Бюджет):

- іоносфера - 4.5 (95%) м,
- тропосфера - 3.9 (95%) м,

шум приймача - 2.9 (95%) м,
багатопроменевість - 2.4 (95%) м,
інші помилки – 1 м (95%).

З урахуванням наведених даних визначимо

$$\sigma_{PR} = \sqrt{\sum_1^6 \sigma_i^2} = 3.56 (67%).$$

Розрахуємо геометричний фактор для Токіо.

Координати Токіо:

lat = 0.622899283390516; % 35.6895 degree

lon = 2.438085338695919; % 139.692 degree

hr = 200; % metr.

Координати супутників розраховуються через дані альманаху.

Результати моделювання PDOP на інтервалі часу 24 години з дискретністю 5 хвилин наведено на рис. 3.23.

Час старту: 13.11.23, 0:00 UTC.

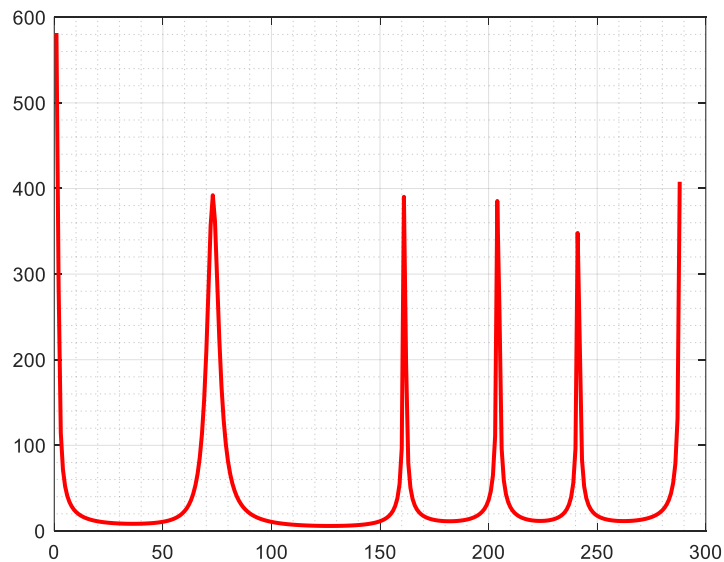


Рис. 3.23. Геометричний фактор (PDOP)

З рис. 3.23 видно, що на 24-годинному інтервалі є тимчасові відрізки, на яких PDOP може мати допустимі для навігації значення (менше 6). Це інтервал часу з 10 години до 11 (рис. 3.24).



Рис. 3.24. Геометричний фактор (PDOP) на інтервалі часу 1 година

Таким чином, результати моделювання показали, що система QZSS навіть без підтримки системою GPS, принаймні 1 годину на добу може забезпечити доступну навігацію.

Висновок

Отже, в даному розділі були описані особливості та алгоритм отримання експериментальних даних за допомогою програми NovAtel Connect, а також розглянутий алгоритм перетворення альманаху в формат YUMA. Виконавши програму Start_QZSS.m. за допомогою середовища Matlab, було отримано дев'ять графіків, що дають уявлення про те як виглядають орбіти, положення, кути видимості супутників. Після цього був проведений аналіз щодо здатності системи QZSS працювати окремо від GPS, і зроблений висновок, що це можливо лише 1 годину на протязі доби.

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

У будь-яких дослідженнях, пов'язаних із отриманням та збегіранням великої кількості даних, необхідно зосередитися на ключових заходах безпеки для підтримки безпечного дослідницького середовища. Такі дослідження зазвичай передбачають обробку великих об'ємів даних, використання складних програмних інструментів і роботу складного обладнання. Все перераховане вище вимагає пильної уваги до безпеки для підтримки безпечного та ефективного дослідницького середовища.

Організація робочого місця

Стандарти розміщення лабораторій з комп'ютерами охоплюють кілька ключових факторів. Це передбачає дотримання вимог до простору, які гарантують достатній простір для кожного працівника для забезпечення комфортного та безпечного робочого середовища. Стандарти зазвичай диктують, що лабораторії з комп'ютерами повинні бути спроектовані з достатнім простором, що забезпечує плавне переміщення та роботу обладнання та запобігає переповненості, яка може перешкоджати продуктивності або створювати ризики для безпеки. Що стосується розташування комп'ютерів у лабораторії, дуже важливо враховувати ергономічні рекомендації. Комп'ютери слід розташовувати таким чином, щоб полегшити доступ і комфортне використання, забезпечивши належну вентиляцію та достатнє освітлення, щоб зменшити напругу або втому очей. Правильне прокладення кабелів і розташування робочих станцій мають важливе значення для запобігання таким небезпекам, як спіткнутися об дроти або захарашені робочі місця. Крім того, важливе значення має дотримання правил пожежної безпеки щодо розміщення комп'ютера.

Мінімально допустима площа лабораторії на одного працівника часто змінюється залежно від місцевих правил або галузевих стандартів. Зазвичай він враховує такі фактори, як характер виконуваної роботи, використовуване обладнання та потреба в комфортній маневреності в робочому просторі. Створення сприятливого та безпечного робочого середовища передбачає

ретельне планування та дотримання встановлених стандартів, забезпечення оптимального розташування та використання ресурсів для сприяння продуктивному та безпечному робочому середовищу в лабораторіях з комп'ютерними системами для дослідження супутникових систем.

Підтримка оптимального мікроклімату у виробничих приміщеннях має вирішальне значення для комфорту, продуктивності та добробуту працівників, які займаються дослідженням супутникових систем. Мікроклімат включає такі фактори навколишнього середовища, як температура, вологість і якість повітря, які істотно впливають на умови праці.

Регулювання температури

Забезпечення відповідного діапазону температур у виробничих приміщеннях має основне значення. Як правило, прийнятна температура для комфортних умов роботи в дослідницьких середовищах супутникових систем коливається від 20 до 26 градусів за Цельсієм. Дотримання цього діапазону підтримує сприятливе робоче середовище, яке сприяє продуктивності та комфорту працівників. Однак конкретні вимоги до температури можуть відрізнятися залежно від регіональних стандартів, галузевих інструкцій та індивідуальних уподобань. Регулювання систем опалення або охолодження має враховувати сезонні зміни, підтримуючи оптимальну температуру протягом року.

Освітлення

Адекватне освітлення має важливе значення для підтримки безпечного та продуктивного середовища в дослідницьких установах супутникових систем. Погане освітлення може призвести до різних наслідків, що впливають як на фізичне здоров'я, так і на ефективність роботи.

Наслідки поганого освітлення до таких проблем як: напруга очей, втома, головні болі та зниження концентрації. Тривале перебування в умовах недостатнього освітлення може сприяти виникненню проблемам із зором, дискомфорту в очах, розмитість зору або навіть тривале погіршення зору, а також може сприяти таким проблемам зі здоров'ям, як напруга очей, що може

призвести до таких станів, як короткозорість (міопія) або астенопія (напруга очей), і вплинути на цикл сон-неспанья, потенційно призводячи до збоїв у циркадних ритмах і розладів сну. Крім того, погане освітлення може викликати, погіршувати настрій і загальне самопочуття, що негативно позначиться на ефективності досліджень.

Прийняті норми промислового освітлення вимірюються в люменах, які вказують на яскравість або світловий вихід. Для дослідницьких робочих місць супутникових систем рівні освітлення зазвичай відповідають певним стандартам, заснованим на галузевих рекомендаціях. Рекомендований рівень освітлення становить від 300 до 500 люкс для звичайних робочих приміщень. У місцях, де виконуються точні роботи або виконуються детальні завдання, можуть знадобитися більш високі рівні освітленості в діапазоні від 500 до 1000 люкс або більше.

Рівень шуму

Контроль рівня шуму в лабораторних умовах має вирішальне значення для забезпечення сприятливого робочого середовища для дослідження супутникової системи. Дотримання певних вимог щодо рівня шуму допомагає підтримувати продуктивне та комфортне робоче місце для працівників.

Прийнятний рівень шуму в лабораторних умовах, має відповідати галузевим стандартам. Як правило, допустимі рівні шуму в таких робочих приміщеннях регулюються та підтримуються нижче 70 децибел (дБ). Однак у місцях, де потрібна більша концентрація чи зосередженість, наприклад у відділах аналізу даних або дослідницьких областях, можна рекомендувати нижчі рівні шуму, ближчі до 50-55 дБ.

Життєво важливо впровадити заходи щодо зменшення шумового забруднення в лабораторії. Це включає використання звукопоглинальних матеріалів, встановлення шумозахисних бар'єрів і застосування технологій зменшення шуму для машин або обладнання, яке створює значний шум.

Підтримуючи рівень шуму в прийнятних межах, можна створити сприятливе робоче середовище, яке сприяє зосередженості співробітників,

продуктивності та покращити загальне самопочуття під час дослідницької діяльності.

Шкідливі фактори комп'ютерних моніторів

Використання комп'ютерних моніторів у дослідницьких умовах супутникової системи піддає працівників потенційним шкідливим факторам, пов'язаним із промисловим випромінюванням. Розуміння цих факторів і дотримання інструкцій з безпеки є важливими для підтримки безпечного робочого середовища.

Комп'ютерні монітори випромінюють електромагнітне випромінювання, головним чином у вигляді низькочастотних електромагнітних полів (ЕМП) і мерехтливих екранів. Постійний вплив електромагнітних полів протягом тривалого часу, які випромінюють монітори, може призвести до проблем зі здоров'ям. Мерехтіння екранів може призвести до різноманітних негативних наслідків, таких як напруга очей, головний біль, втома та дискомфорт. Цей ефект мерехтіння може бути наслідком несумісної частоти оновлення або неправильних налаштувань дисплея. Тривале перебування на екрані, що мерехтить, може призвести до проблем із зором або погіршити існуючі захворювання очей.

Допустимі значення для частоти оновлення та роздільної здатності комп'ютерних моніторів мають важливе значення для мінімізації потенційних ризиків для здоров'я. Рекомендована частота оновлення для моніторів зазвичай становить 60 Гц або вище, щоб зменшити мерехтіння, напругу очей і пов'язаний з цим дискомфорт. Крім того, дисплей з вищою роздільною здатністю може забезпечити кращу чіткість і зменшити навантаження на очі. Тому важливо налаштувати параметри монітора, щоб забезпечити частоту оновлення принаймні 60 Гц і роздільну здатність, яка відповідає робочим вимогам, зберігаючи комфорт для співробітників. Регулярні перерви та належні ергономічні налаштування можуть ще більше пом'якшити вплив промислового випромінювання від моніторів комп'ютерів у дослідницьких середовищах, сприяючи більш безпечному та комфортному робочому простору.

Небезпека ураження електричним струмом

Небезпека ураження електричним струмом в тій чи іншій мірі існує на будь-якому робочому місці, де працюють з електронним обладнанням. Розуміння ризиків і впровадження профілактичних заходів має дуже важливе значення для забезпечення безпечного робочого середовища.

Потенційні ризики: ураження електричним струмом становить серйозну небезпеку для осіб, які працюють з електричними системами. Вплив електричних компонентів, що знаходяться під напругою, або несправного обладнання може призвести до ураження електричним струмом різного ступеня, спричиняючи травми від легкого дискомфорту до сильних опіків, зупинки серця або навіть летального результату.

Щоб зменшити ризик ураження електричним струмом, важливо дотримуватися суворих протоколів безпеки. Це включає забезпечення того, щоб усі електричні системи були встановлені належним чином, регулярно перевірялися та обслуговувалися сертифікованими фахівцями. Важливими запобіжними заходами є встановлення вимикачів замикання на землю (GFCI), використання ізольованих інструментів, забезпечення відповідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і проведення регулярного навчання працівників протоколам електробезпеки.

Статична електрика

Статична електрика є ще однією проблемою в середовищах, пов'язаних із використанням електронного обладнання. Хоча загалом статична електрика менш небезпечна, ніж ураження електричним струмом, вона може спричинити збої та пошкодження чутливих електронних компонентів.

Потенційні ризики: накопичення та розряд статичної електрики можуть заважати належному функціонуванню електронних пристроїв. Це може призвести до збоїв у роботі обладнання, втрати даних або навіть остаточного пошкодження делікатних компонентів.

Для того щоб мінімізувати ризики статичної електрики, можна застосувати кілька профілактичних заходів. До них належать встановлення підлоги, що

розсіює статичку, використання антистатичних браслетів або взуття, використання антистатичних робочих станцій або килимків і підтримка належного рівня вологості в робочому приміщенні. Крім того, зберігання та транспортування електронних компонентів у відповідній антистатичній упаковці допомагає запобігти статичному розряду.

Крім згаданого вище, одним із завдань є забезпечення конфіденційності та безпеки даних. Захист конфіденційних даних має велике значення. Це передбачає впровадження суворих заходів, таких як протоколи шифрування та обмеження доступу, щоб гарантувати, що лише авторизований персонал може працювати з даними та мати доступ до них. Крім того, суворе дотримання вказівок щодо конфіденційності даних є особливо важливим під час роботи з інформацією, пов'язаною зі споживачами, де в гру вступають етичні міркування. Дотримання етичних стандартів у зборі та аналізі даних є наріжним каменем відповідального дослідження. Дотримання етичних принципів і правил не підлягає обговоренню, і не менш важливо забезпечити дотримання належних процедур отримання згоди під час використання даних споживачів. У таких випадках повага до прав на конфіденційність і етичних норм є обов'язковою.

Вибір і використання програмного забезпечення та інструментів значно впливають на безпеку та цілісність результатів дослідження. Використання законного ліцензованого програмного забезпечення, наприклад MATLAB, для аналізу даних має вирішальне значення. Не менш важливо, щоб ці програмні засоби були оновлені. Регулярне оновлення версій програмного забезпечення допомагає використовувати виправлення безпеки, запобігаючи вразливості, які можуть поставити під загрозу цілісність і конфіденційність даних.

Ще одним ключовим аспектом є забезпечення безпеки обладнання, особливо супутникових приймачів. Дотримання вказівок виробника під час поводження з цими приймачами та відповідним обладнанням є неймовірно важливим. Регулярне калібрування та технічне обслуговування супутникових приймачів необхідні для забезпечення точності та надійності даних, отриманих від них.

Резервне копіювання та планування резервування неможливо переоцінити. До заходів безпеки також можна віднести регулярне резервне копіювання даних, досліджень і результатів аналізу. Це допомагає запобігти втратам через технічні збої, випадкове видалення або пошкодження даних. Розробка планів резервування та стратегій відновлення даних є дуже важливою для зменшення ризиків і забезпечення безперервності досліджень у разі виникнення непередбачених інцидентів.

Навчання дослідників, які беруть участь у зборі та аналізі даних, також має вирішальне значення для запобігання помилкам. Забезпечення комплексного навчання допомагає дослідникам зрозуміти протоколи безпеки та мінімізує помилки. Крім того, необхідним є ведення детальної документації дослідницьких методологій, процедур і протоколів безпеки, яких дотримуються протягом усього процесу дослідження.

Нарешті, ключову роль відіграє готовність до надзвичайних ситуацій. Розробка протоколів для обробки несподіваних ситуацій або надзвичайних ситуацій під час збору чи аналізу даних є важливою. Ведення списку екстрених контактів для технічної підтримки або допомоги під час критичних інцидентів забезпечує оперативні дії та підтримку.

Неухильно дотримуючись цих значних заходів безпеки, дослідники можуть створити відповідальне та безпечне середовище для проведення аналізу даних. Такий підхід забезпечує підтримку цілісності, конфіденційності та надійності даних протягом усього дослідницького процесу, тим самим підвищуючи довіру та ефективність результатів дослідження.

5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У сфері досліджень, зокрема пов'язаних з супутниковими системами, підтримання твердої прихильності до захисту навколишнього середовища є невід'ємною частиною. Це прагнення передбачає узгодження дослідницької практики з принципами охорони довкілля, щоб пом'якшити будь-який потенційний негативний вплив на навколишнє середовище.

Сталі дослідницькі практики є основою. Реалізація заходів щодо мінімізації утворення відходів і збереження ресурсів у лабораторних умовах має доволі велике значення. Обов'язковим є суворе дотримання правил утилізації та переробки відходів. Пріоритет енергоефективних технологій відіграє ключову роль у зменшенні екологічного сліду. Вибір енергоефективних обчислювальних систем і оптимізація роботи програмного забезпечення допомагає зменшити загальне споживання енергії під час аналізу даних і роботи супутників.

Комп'ютерні системи є інструментом виробництва в сучасному житті, але разом з цим вони можуть бути певними забрудненнями для оточуючого джерела середовища. Основні компоненти ПК включають монітор, системний блок, клавіатуру, мишу та інші периферійні пристрої. Ергономічні параметри монітора, такі як його розташування, розмір, роздільна здатність і яскравість, можуть вплинути на здоров'я користувача. Щодо випромінювальних характеристик, монітори випромінюють електромагнітне випромінювання. Довготривала робота перед екраном може впливати на зорову систему людини та виявляти втомленість очей, сухість та подразнення. Важливо відпочивати, створюючи регулярні перерви, рухатися та фокусувати погляд на інших предметах для зменшення стресу на очах. Щодо електромагнітних полів, тривала робота за комп'ютером може впливати на центральну нервову систему, викликаючи стрес, розлади сну та загальне зниження самопочуття. Рекомендується робити перерви протягом робочого дня, регулярно робити розминку та сприяти розслабленню м'язів шиї та спини.

Відповідальний збір і обробка даних також є важливими. Прагніть обмежити втручання в природні екосистеми під час збору даних. Це включає в

себе розгортання супутникових приймачів таким чином, щоб звести до мінімуму порушення середовища існування або екосистем дикої природи. Застосування ефективних методів обробки даних додатково зменшує використання обчислювальних ресурсів і пов'язане з цим споживання енергії.

Мінімізація вуглецевого сліду під час польових операцій є ключовим моментом. Слід докласти зусиль для оптимізації маршрутів подорожей, щоб зменшити споживання палива, використовувати спільні варіанти транспорту та розглядати екологічні способи подорожі, коли це можливо. Проведення оцінки впливу на навколишнє середовище перед початком дослідницької діяльності є розумним кроком. Ця оцінка спрямована на виявлення потенційних екологічних ризиків і розробку стратегій пом'якшення, щоб запобігти або мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Освітні ініціативи та інформаційні кампанії відіграють вирішальну роль. Підвищення обізнаності дослідників, зацікавлених сторін і спільноти про важливість інтеграції збереження навколишнього середовища в практику наукових досліджень сприяє розвитку культури екологічної відповідальності. Заохочення постійного вдосконалення та інновацій у дослідницьких методологіях і технологіях є життєво важливим. Прагнення до розробки та використання передових методів, які є науково надійними та екологічно стійкими, є важливим. Співпраця між дослідницькими установами, державними органами та екологічними організаціями є важливою. Така співпраця може сприяти розробці політики та керівних принципів, спрямованих на інтеграцію охорони навколишнього середовища в практику наукових досліджень.

Впроваджуючи заходи захисту довкілля під час проведення будь-яких наукових досліджень ми підтримуємо баланс між технологічним прогресом і захистом навколишнього середовища, що в свою чергу є ключовим фактором для сталого співіснування наукового прогресу та збереження навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Отже, в ході виконання дипломної роботи спочатку був проведений аналіз квазі-зенітної супутникової системи (QZSS). Був розглянутий її склад, а саме кількість супутників в системі, їх розташування, а також сфери у яких можуть бути використані дані, що вони надають. Також був розглянутий принцип їх роботи, і визначений регіон, який вони покривають. Було з'ясовано, що сузір'я супутників розташоване так, що хоча б один з них завжди перебуває в зеніті над територією Японії на протязі доволі тривалого проміжку часу, що в свою чергу забезпечує кращий прийом сигналу в містах зі щільною забудовою та гірських районах. Крім цього, були проаналізовані її характеристики. В результаті цього аналізу виявилось, що система QZSS складається із чотирьох геосинхронних супутників, що знаходяться на квазі-зенітних орбітах, оснащені атомними годинниками та відмінно синхронізовані між собою, а також забезпечує покращення послуг позиціонування, пропонуючи вищу точність і доступність у областях, де традиційні системи можуть стикатися з блокуванням або перериванням сигналу.

У другому розділі було розглянуто процес обробки даних в системі QZSS. Спочатку була з'ясована структура повідомлень, а саме їх основні компоненти: ефемеридні дані, параметри корекції годинника, інформація про працездатність і статус, дані доповнення. Також було описано процес запису повідомлень QZSS, яке обладнання для цього потрібно, і які етапи при цьому відбуваються. Далі було розглянуто програмні та апаратні компоненти навігаційного приймача для отримання даних в системі QZSS, а також їх роль у полегшенні прийому, обробки та використання супутникових сигналів для точного позиціонування та навігації. Після цього було проаналізовано які типи інформації можуть містити повідомлення, і процес декодування повідомлень. Після завершення процесу декодування отримана та перевірена інформація використовується навігаційними приймальними системами для визначення місцеположення користувача.

Визначившись з програмним забезпеченням, яке буде використовуватись

під час роботи з даними, було проведено його аналіз. Спочатку було розглянуто ключові особливості та алгоритм отримання експериментальних даних в програмі NovAtel Connect 2.0. Після чого був описаний алгоритм перетворення отриманих даних в формат YUMA. Для подальшого моделювання було використано середовище Matlab. Саме в ньому були побудовані графіки, що відображають орбіти супутників системи QZSS, їх положення у просторі, кути видимості, діаграму положення, графік видимості, графік що відображає орбіти супутників відносно спостерігача та відносно земної поверхні. Після цього було проведення дослідження щодо можливості системи QZSS функціонувати самостійно, без підтримки GPS, і визначено, що це можливо лише на короткий проміжок часу, що складає близько однієї години на добу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mohinder S. Grewal. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. John Wiley & Sons, Inc., 2008 – 291-294 pp.
2. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов – К.: НАУ, 2012 – 225с. – ISBN 978-966-598-783-3
3. Y.T. Jade Morton, Frank van Diggelen, James J. Spilker Jr., Bradford W. Parkinson, Sherman Lo, Grace Gao. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, Volume 1. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2020 – 255с.
4. Fabrizio Tappero. Remote Synchronization Method for the Quasi-Zenith Satellite System: study of a novel satellite timekeeping system which does not require on-board atomic clocks. VDM Verlag, Inc., 2009 – 200 - 210с.
5. *ISPRS International Journal of Geo-Information [Електронний ресурс]* / Qiuzhao Zhang, Wei Yang, Shubi Zhang, Lihui Yao // Performance Evaluation of QZSS Augmenting GPS and BDS Single-Frequency Single-Epoch Positioning with Actual Data in Asia-Pacific Region. - *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 2018. – Режим доступу: \www/ URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/5/186/htm>. – Доступ: 11.03.2018
6. Qisheng Wang, Shuanggen Jin, Youjian Hu. Estimation of QZSS differential code biases using QZSS/GPS combined observations from MGEX [Текст] / Pascal Willis // *Advances in space research.* – 2021. – с. 1049-1057
7. XuanPing Li, Lin Pan, Wenkun Yu. A comprehensive assessment of four-satellite QZSS constellation: navigation signals, broadcast ephemeris, availability, SPP, interoperability with GPS, and ISB against GPS [Текст] / *Survey Review.* – 2020. – с. 17-33
8. Tadashi Sasakawa, Takashi Ikeda. [Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development](#). Springer Singapore, Inc., 2020. – с.21
9. Kazuhiro Asai, Tetsuro Motohashi. Quasi-Zenith Satellite System: Innovation,

- Challenges, and Applications. Springer. – 2018. – с. 25
10. Hitomi Inada. Quasi-Zenith Satellite System: Signal, Frequency, and System Control. CRC Press. – 2020. – с. 49-51
 11. Yoshiaki Kubo. QZSS and Augmentation Systems. Institution of Engineering and Technology (IET). – 2019. – с. 30
 12. Kenzo Fujimoto, Satoshi Kogure. Advanced Applications of the Quasi-Zenith Satellite System. IGI Global. – 2021. – с. 68
 13. Jinling Wang, Masaki Tsujii. Quasi-Zenith Satellite System: Positioning, Navigation, and Timing Applications. Wiley. – 2017. – с. 18
 14. Ryuichi Iwata, Hidenori Kawamura. QZSS and GNSS Technologies. Artech House. – 2019. – с.87-90
 15. Tatsuaki Hashimoto, Ryosuke Shibasaki. Quasi-Zenith Satellite System: Receiver Design and Performance. McGraw-Hill Education. – 2016. – с. 25-29
 16. Masayuki Akiba, Toshinori Sakai. Engineering Aspects of the Quasi-Zenith Satellite System. Academic Press. – 2018. – с. 88
 17. Hiroaki Hattori, Keiichiro Ito. Fundamentals of Quasi-Zenith Satellite System Technology. Cambridge University Press. – 2020. – с. 19
 18. Takashi Iwata, Toshimichi Otsubo. QZSS: System Architecture and Operation. Nova Science Publishers. – 2019. – с. 91
 19. Makoto Koyama, Hironori Kobayashi. QZSS for Terrestrial Communication Networks. Springer Nature. – 2018. – с. 54-58
 20. Hiroshi Nishiguchi, Naoki Kubo. Quasi-Zenith Satellite System Applications in Geodesy and Cartography. Elsevier. – 2021. – с. 87-89
 21. Tsutomu Sasao, Satoshi Kawanishi. QZSS and its Role in Global Navigation Satellite Systems. Oxford University Press. – 2020. – с. 16-23
 22. Шмельова Т.Ф, Крисько А.В., Михник О.Ю. Оцінювання надійності систем посадки повітряних суден (ILS, MLS, VOR/DME, GLS, ПРЛ) Проблеми аеронавігації, електроніки та телекомунікацій: збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції, 26-27 листопада 2020, с.95

ДОДАТОК А

UDC 621.396.96

*V.V. Konin, PhD, O.M. Ishchenko, A.V. Krisko, N.V. Maksymenko
(National Aviation University, Ukraine)*

Experimental research and modeling of the parameters of the Quasi-Zenith Satellite System in Ukraine

The results of experimental studies and modeling of the orbital motion of QZSS geosynchronous satellites are presented. The possibility of forecasting the availability of satellites using almanac data obtained from the QZSS system and so on is shown.

The satellite navigation system QZSS is operated by Japan. Geostationary and geosynchronous satellites QZSS operates in conjunction with GPS. In Ukraine, QZSS satellites are available in a limited time interval and at the greatest distance. Nevertheless, the characteristics of Quasi-Zenith Satellites are of scientific and practical interest. For a preliminary assessment of the characteristics of satellites using the OEM 719 navigation receiver from Novatel, one of them received data of the signal characteristics at two frequencies, quasi-range, and ephemeris. To process the data obtained, mathematical models were developed to assess the availability of satellites and distortion of pseudo-range.

Consider experimental information. Fig. 1 shows the monitor in the signal-receiving mode. The investigated satellite has an identifier 195 placed in a triangle. Total of 32 satellites take part in solving the navigation problem. Their numbers and belonging to systems are indicated in Fig. 1. The signal-to-noise ratio at the current time is shown in Fig. 2. The satellite transmits a signal at two frequencies. The magnitude of the signal is admissible for participation in solving the navigation problem. The pseudo-ranges for the two frequencies are shown in Fig. 3 and are more than 43,000 km. The data presented above for

subsequent processing were recorded at a time interval of about 4000 sec.

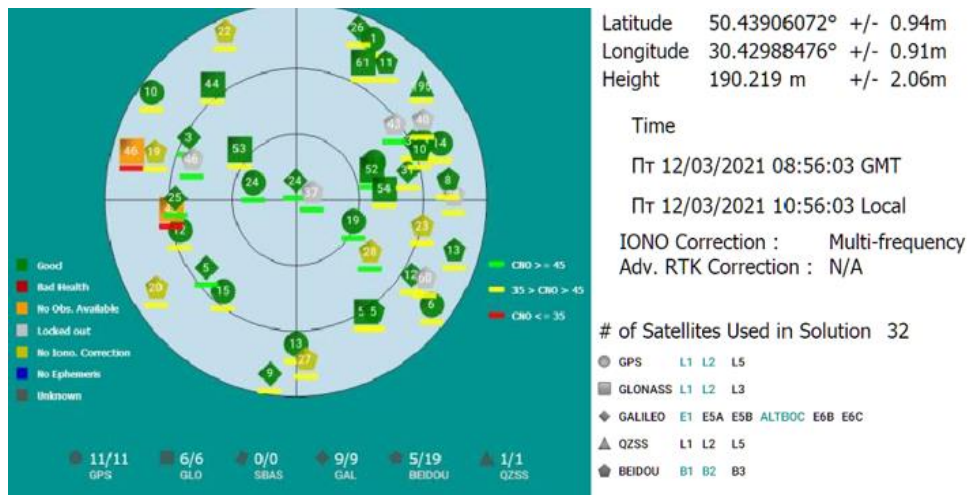


Fig. 1

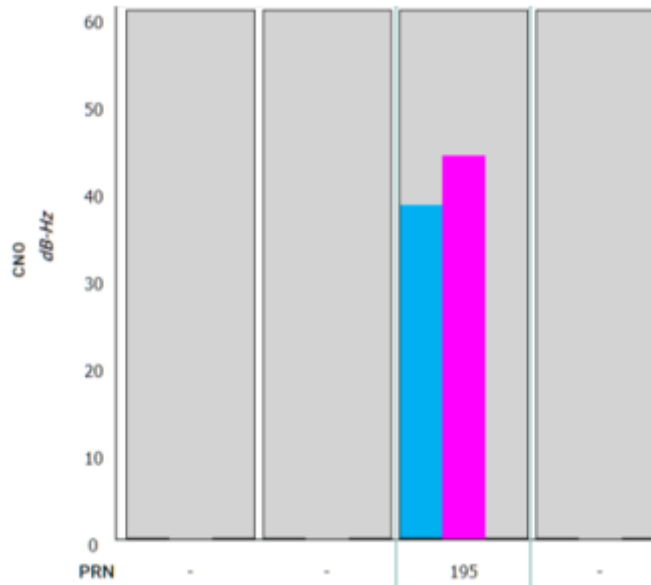


Fig. 2

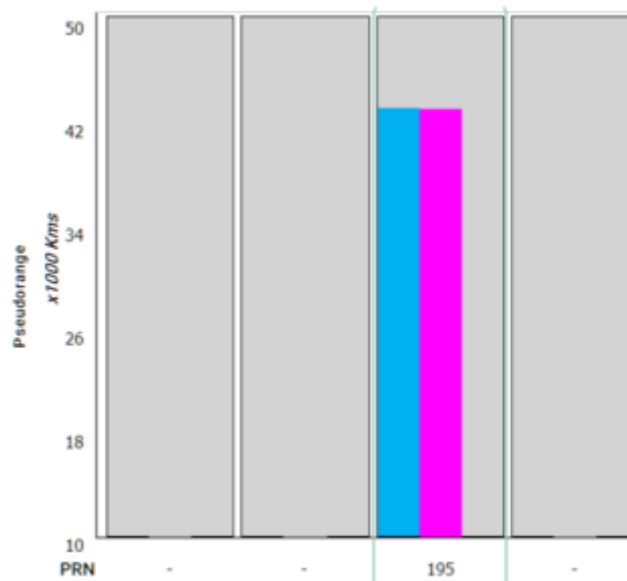


Fig. 3

The QZSS satellite, marked as 195, transmits ephemeris related only to it. The same satellite transmits almanac data for all four spacecraft of the Quasi-Zenith group. These data were recorded in binary form, converted into YUMA format and used by us in the model of the satellite's orbital motion. Satellite almanac 195 data are given in Table 1. Fig. 4 shows a diagram of the visibility of satellite 195 obtained by modeling from almanac data. The simulation results are consistent with the data in Fig. 1. The position of satellite 195 in space and the orbits of four QZSS satellites are shown in Fig. 5 and Fig. 6 respectively.

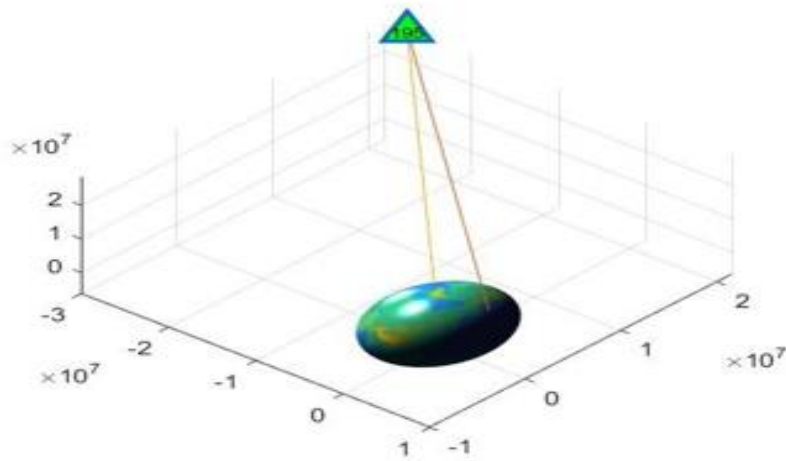


Fig. 5

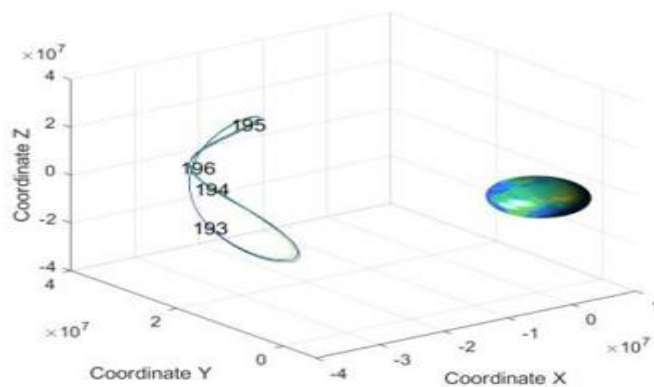


Fig. 6

As follows from Fig. 6 orbits of all four satellites are geosynchronous. The data obtained makes it possible to predict the availability of QZSS satellites.

The study recorded a message containing the ephemeris of satellite 195,

ionospheric, tropospheric and temporal corrections. These messages were decoded and processed by specially designed programs. Some results are presented below in graphical form.

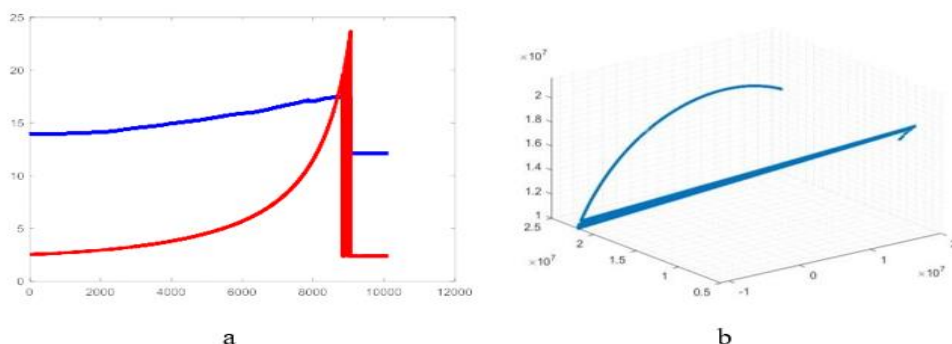


Fig. 7

The nature of the change in ionospheric and tropospheric corrections (Fig. 7, a) is typical for satellite systems, despite the fact that the distance to the satellite is more than 40,000 km. Temporary corrections are not given, as they were absent in this measurement session. Fig. 7, b shows a fragment of the trajectory of the satellite.

The "gap" of the trajectory is due to the peculiarities of the calculation program. This can be taken into account in a software way.

The next step in our work was to study the pseudoranges to navigation satellites. Pseudorange is one of the main parameters for solving the navigation task. The smoothing operation is performed on raw measurements using filters with a final pulse response.

This report provides a method for smoothing the pseudorange to the QZSS navigation satellite. The method is based on the approximation of the measured pseudorange by a polynomial and the subsequent replacement of the measured approximate pseudorange. Processed data at intervals of more than 10,000 s. shown in Fig. 8 and Fig. 9. Fig. 10 shows the differences between the pseudoranges approximated by the polynomial (ADRP / PSRP) and the measured pseudoranges (ADR / PSR). ADR - phase, PSR - code pseudorange. We also note that in Fig. 9, 10 on the vertical axis meters are set aside, seconds marked on the horizontal axis.

The degree of the approximating polynomial is 6, larger values did not lead to improvement.

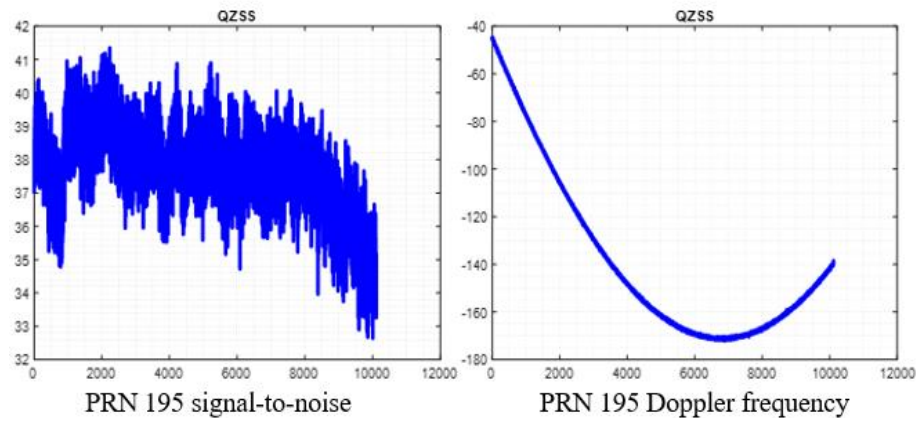


Fig. 8

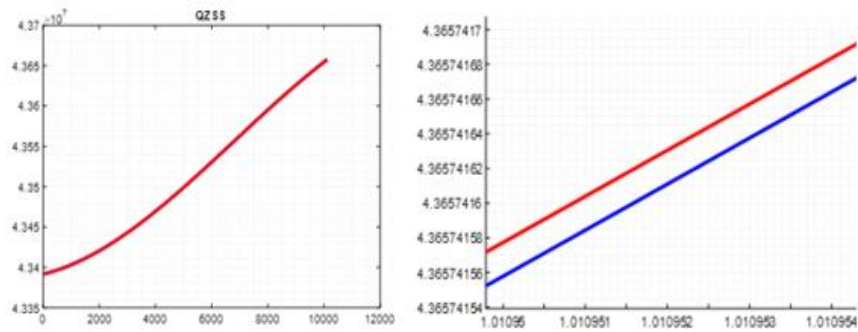


Fig. 9 PRN 195 Range: red-code, blue-phase

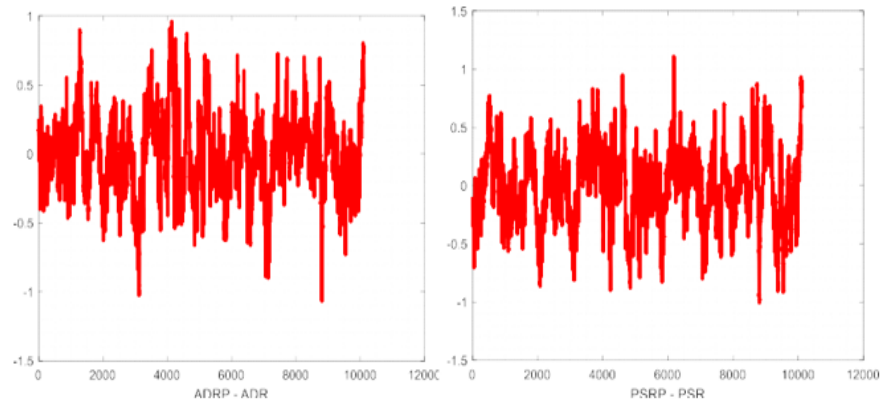


Fig. 10

Conclusion

During our research, we investigated Quasi-Zenith satellite system. In particular, satellite 195. The signals characteristics were obtained at two frequencies, quasi-distance, and ephemeris. To process the results, mathematical models were produced to test satellite availability and pseudo-range distortion.

The origin of changes in ionospheric and tropospheric corrections was investigated in this work. We explored the method of smoothing the pseudorange to the navigation satellite QZSS, which is based on the approximation of the measured pseudorange by a polynom. The project was performed in the satellite navigation laboratory of NAU within the discipline "Global Navigation Satellite Systems".

References

1. Системи супутникової радіонавігації / В.В. Конін, В.П. Харченко; Національний авіаційний університет. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.