

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

д. ф. – м. н., професор

_____ Железняк О.О.

" ____ " _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА ОПП «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Моніторинг якості передавання диференційних поправок з NTRIP-кастора ГАО НАН України»

Виконавець: студент групи ГС-208М Васильняк Дмитро Іванович

Керівник: канд.фіз.мат. наук, с.н.с. ГАО НАН України Іщенко Марина Вікторівна

Нормоконтролер: _____ к. ф. – м. н., доцент Великодський Ю. І.

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки інженерії та технології

Кафедра аерокосмічної геодезії

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. ф.-м. н., професор

Железняк. О. О.

“ _____ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Васильняка Дмитра Івановича

1. Тема дипломної роботи: Моніторинг якості передавання диференційних поправок з NTRIP-кастора ГАО НАН України, затверджена наказом ректора від 25.10.2019р. №2499/ст.
2. Термін виконання роботи : з 25.10.2019 по 06.02.2020
3. Вихідні дані до роботи : дані спостережень зі ГНСС-станцій GLSV та SMLA, літературні дані.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел з тематики диплому. Проведення спостережень за ГНСС-станціями GLSV та SMLA. Моніторинг якості передавання диференційних поправок с NTRIP-кастора ГАО НАН України.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Опрацювання спеціальної літератури за тематикою роботи.	01-15.12 2019	Виконано
2.	Підготовка матеріалів першого розділу дипломної роботи	16-28.12 2019	Виконано
3.	Підготовка матеріалів другого розділу дипломної роботи	02-10.01 2020	Виконано
4.	Підготовка матеріалів третього розділу дипломної роботи	10.01.-22.01 2020	Виконано
5.	Оформлення висновків дипломної роботи	23-25.01 2020	Виконано
6.	Підготовка до захисту дипломної роботи	26-30.01 2020	Виконано
7.	Захист дипломної роботи	06.02.2020	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

Керівник дипломної роботи - канд.фіз.мат. наук, с.н.с. ГАО НАН України

_____ Іщенко М. В.

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____ Васильняк Д. І.

(підпис випускника)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

AAIM - Airborne Autonomous Integrity Monitoring;

ABAS - Aircraft Based Augmentations Systems;

DGPS (ДГНСС) - диференціальні глобальні супутникові системи;

GBAS - Ground Based Augmentation System;

GRAS - Ground-Based Regional Augmentation System;

RIMS - Базові станції моніторингу системи;

RTG - Real Time Gipsy;

SBAS - Satellite Based Augmentation System;

WADGPS - Wide Area Differential GPS;

АДПС - авіаційна диференціальна підсистема;

ККС - контрольна-корегуюча станції ;

КП - контрольний пункт;

ЛДПС - локальна диференціальна підсистема;

ЛПД - лінії передачі даних;

МДПС - морська диференціальна підсистема;

МОК - модуль обробки і контролю;

МСНП - модуль супутникових навігаційних приймачів;

СПИ - сервер послідовних інтерфейсів;

ССДК - супутникова системи диференціальної корекції;

ССІ - станція збору інформації;

ШСЗ - штучні супутники землі.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Моніторинг якості передавання диференційних поправок з NTRIP-кастора ГАО НАН України»: 79 сторінки, 39 рисунків, 30 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – ГНСС-станції (GLSV та SMLA).

Предмет дослідження – поправки в форматі RTCM, отримані з перманентних станцій - GLSV та SMLA.

Мета дипломної роботи – проведення аналізу якості поправок у форматі RTCM за допомогою програмного продукту BKG NTRIP Client (BNC).

Актуальність теми дипломної роботи: на сьогоднішній день, все більшу популярність набирає точне землевпорядкування (точність до 2 см) за допомогою інтернет підключення до ГНСС-станцій, які дають поправки на ГНСС-приймачі (великої популярності набирає в агросфері, геодезії, кадастру, безпілотні літальні апарати, тощо), тому необхідний моніторинг поправок, які надходять до споживачів, задля правильності надходження даних.

ЗМІСТ

Вступ	8
Розділ 1. Диференціальні підсистеми супутникової навігації та їх види	9
1.1. Широкозональні диференціальні підсистеми	9
1.1.1. WAAS - глобальна система диференціальних поправок.....	23
1.1.2. EGNOS - глобальна система диференціальних поправок.....	27
1.2. Кінематика реального часу (RTK).....	34
Розділ 2. Протокол NTRIP та його призначення	43
2.1. Використання протоколу NTRIP.....	43
2.2. Версія формату RTCM протоколу NTRIP	52
2.3. Програмний комплекс BNC для роботи з NTRIP протоколом.....	57
2.4. Принцип роботи з RTCM-поправками.....	58
Розділ 3. Моніторинг якості RTCM-поправок кастеру ГАО НАН України	64
3.1. Призначення та принцип роботи кастера з передавання поправок...	64
3.2. Відомості про Кастер ГАО НАН України.....	67
3.3 Моніторинг якості RTCM поправок з кастору ГАО НАН України...	71
Висновки	76
Список бібліографічних посилань використаних джерел	77

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день, все більшу популярність набирає точне землевпорядкування (точність до 2 см) за допомогою інтернет підключення до ГНСС-станцій, які дають поправки на ГНСС-приймачі (великої популярності набирає в агросфері, геодезії, кадастру, безпілотні літальні апарати, тощо), тому необхідний моніторинг поправок, які надходять до споживачів, задля правильності надходження даних. GPS і GLONASS системи забезпечують точність визначення координат споживача, яка становить близько 10 м. Однак для багатьох напрямків, таких як навігація автомобілів, судів на вузьких фарватерах, геодезії, навігації літальних апаратів, подібна точність недостатня. Для збільшення точності визначення місцезнаходження був запропонований метод диференціальної навігації, який забезпечує точність до декількох десятків сантиметрів.

Диференціальний режим реалізується за допомогою контрольного навігаційного приймача, званого базовою станцією. Базова станція встановлюється в точці з відомими географічними координатами. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної геодезичної зйомки) з виміряними координатами, базовий навігаційний приймач формує поправки, які передаються споживачам по каналах зв'язку.

Мета роботи. Проведення аналізу якості поправок у форматі RTCM за допомогою програмного продукту BKG NTRIP Client (BNC).

Об'єкт дослідження – ГНСС-станції (GLSV та SMLA).

Предмет дослідження – поправки в форматі RTCM, отримані з перманентних станцій - GLSV та SMLA.

Методологія та методи дослідження. Для розв'язання поставлених у магістерській роботі задач використовувався: метод порівняльного аналізу отриманих результатів.

РОЗДІЛ 1

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ ПІДСИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ТА ЇХ ВИДИ

1.1. Широкозональні диференціальні підсистеми

GPS і GLONASS системи забезпечують точність визначення координат споживача, яка становить близько 10 м. Однак для багатьох напрямків, таких як навігація автомобілів, геодезії, навігації літальних апаратів, подібна точність недостатня. Для збільшення точності визначення місцезнаходження був запропонований метод диференціальної навігації, який забезпечує точність до декількох десятків сантиметрів.

Диференціальний режим реалізується за допомогою контрольного навігаційного приймача, званого базовою станцією. Базова станція встановлюється в точці з відомими географічними координатами. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної геодезичної зйомки) з вимірними координатами, базовий навігаційний приймач формує поправки, які передаються споживачам по каналах зв'язку.



Рис. 1.1. Спрощена схема функціонування GPS



Рис. 1.2. Метод диференційованої корекції DGPS

Приймач споживача враховує прийняті від базової станції поправки при вирішенні навігаційної задачі. Це дозволяє визначити його координати з точністю до одного метра.

Розрізняють два методи обчислення поправок:

- метод корекції координат, коли в якості диференціальних поправок з базової станції передають добавки до вимірювань в обумовленому пункті координатами. Недоліком цього методу є те, що приймачі базового і визначається пунктів повинні працювати по одному сузір'ю. Це незручно, оскільки всі споживачі, що використовують диференціальні поправки, повинні працювати за одними і тими ж ШСЗ;

- метод корекції навігаційних параметрів, при використанні якого на базовій станції визначаються поправки до вимірюється параметрами (наприклад, псевдо) для всіх супутників, які потенційно можуть бути використані споживачами. Ці поправки передаються споживачам і враховуються при вирішенні навігаційної задачі. Недоліком цього методу є підвищення складності апаратури споживачів.

Результати, отримані за допомогою диференціального методу, в значній мірі залежать від відстані між споживачем і базовою станцією. Застосування цього методу найбільш ефективно, коли переважаючими є систематичні помилки, обумовлені зовнішніми (по відношенню до приймача) причинами. Ці помилки в значній мірі компенсуються при близькому розташуванні базової станції і приймача споживача. Тому зона обслуговування базової станції становить не більше 500 км.

Передача диференціальних поправок від базової станції до споживача може здійснюватися за допомогою телефонного або радіозв'язку, по системам супутникового зв'язку (наприклад, INMARSAT), а також з використанням технології передачі цифрових даних RDS (Radio Data System) на частотах FM-радіостанцій. В даний час в багатьох країнах вже діє розвинена мережа базових (диференціальних) станцій, постійно транслюють поправки на визначену територію.

Наприклад, в США диференціальні поправки передаються береговою охороною через морські радіобуї, що працюють на частоті 283,5-325 кГц. Користуватися цим сервісом може будь-хто. Під Санкт-Петербургом у лютому 1998 року була встановлена перша базова станція. Вона передає диференціальні поправки на частоті 298,5 кГц.

Класифікація сучасних диференціальних систем супутникової навігації:

1. Системи диференціальної навігації по кодовим і псевдофазовим вимірам. Системи диференціальної навігації по кодовою вимірам будуються на основі вимірювання і обробки псевдодальностей, в загальному випадку, мають необмежену область дії і характеризуються помилками визначення місцезнаходження від часток метра до декількох метрів. Системи диференціальної навігації по псевдофазовим вимірам характеризуються дуже високою точністю визначення місцезнаходження (до часток сантиметра). Однак область їхньої дії обмежена дальністю ~ 10-12 км в одночастотному режимі, і близько 100 км в двохчастотному режимі. Специфічною особливістю диференціальних систем по псевдофазовим вимірам є неоднозначність цих

вимірів, що ускладнює їх використання. Системи диференціальної навігації по псевдофазовим вимірам іноді називають системами відносних визначень.

2. Системи диференціальної навігації по кодовою вимірам, в свою чергу, поділяють на локальні (Local Area Differential GPS), широкодіапазонні (Wide Area Differential GPS, WADGPS) і глобальні (Global Differential GPS, GDGPS). Подальша уточнююча класифікація систем диференціальної навігації буде проводитися тільки для систем на основі кодових вимірювань.

3. Більшість сучасних систем диференціальної навігації є локальними. Вони використовують тільки одну наземну станцію вимірювань і формування диференціальних поправок (далі будемо називати дифстанцією). Дифстанція розташовується в центрі локальної зони, розмір якої може доходити до 200 км. У центрі зони забезпечується точність визначення місцезнаходження порядку 0,5-1 м. На периферії зони точність погіршується і поступово наближається до точності абсолютних визначення місця знаходження. Диференціальні поправки в локальних системах диференціальної навігації можуть формуватися на основі методу корекції координат (the position-domain approach) і методу корекції навігаційних параметрів (the measurement-domain approach). На практиці більшого поширення отримав другий метод, в якому дифстанція формує поправки до вимірювань псевдодальностей для кожного з видимих нею супутників. Споживач поправляє свої вимірювання псевдодальностей по тим же супутникам на значення, отримані від дифстанції. Для передачі поправок, сформованих відповідно до методу корекції навігаційного параметра, був розроблений спеціальний стандарт RTCM SC-104, що враховує в даний час особливості навігаційних систем GPS і ГЛОНАСС.

4. У широкодіапазонних системах диференціальної навігації (WADGPS) використовується мережа станцій збору інформації (CCI) і принципово інший метод формування диференціальних поправок. Цей метод отримав назву the state-space approach (дослівно - метод корекції параметрів простору стану або, більш змістовно, метод корекції параметрів моделей руху КА, параметрів

моделі іоносферних затримок і зсувів шкал часу навігаційних супутників). У широкодіапазонних системах виміру двочастотних навігаційних приймачів, розташованих на станціях збору інформації (CCI), збираються в єдиний центр, де здійснюється їх спільна обробка з метою оперативного уточнення параметрів моделей руху, зміщення шкал часу супутників і складання карт вертикальних іоносферних затримок. Всі перераховані дані потім оперативно передаються тим або іншим способом споживачеві, який використовує їх для уточнення даних, що витягають їм із сигналів навігаційних супутників. Широкодіапазонні системи диференціальної навігації забезпечують точність визначення місцезнаходження зі середньоквадратичною помилкою $\sim 0,5$ м в галузі, яку охоплює мережею CCI, і суміжних з нею областях. В мережі вказується на сильну кореляцію між помилками оцінки зсувів шкал часу і помилками оцінки вертикальних координат приймачів. Така кореляція виникає внаслідок ідентичності відповідних приватних похідних, особливо для супутників з великими кутами місця. Стабілізація опорних частот приймачів станцій збору інформації та приймачів споживача за допомогою рубідієвих генераторів дозволяє краще розділяти помилки оцінки зсуву шкал часу і вертикальних координат приймача. Результати відповідних експериментів демонструють середньоквадратичні помилки вертикальних координат менше 0,4 м.

Додатковою, дуже важливою властивістю широкодіапазонних систем є можливість різкого підвищення цілісності, в порівнянні з цілісністю, властивої базовими супутниковими системами. В обговорюються способи підвищення цілісності за рахунок використання можливостей, що надаються широкодіапазонними системами диференціальної навігації.

В даний час можна вказати на існування поки що єдиною в світі глобальної системи диференціальної навігації, що використовує в якості основи станції глобальної GPS-мережі (GGN) NASA. Для оперативного уточнення орбіт навігаційних супутників в цій системі використовується той же пакет прикладних програм RTG (Real Time Gipsy), який використовується для

уточнення орбіт в широкодіапазонних диференціальних системах фірми Satloc і WAAS. Для передачі вимірювань в центр обробки використовується глобальна мережа інтернет.

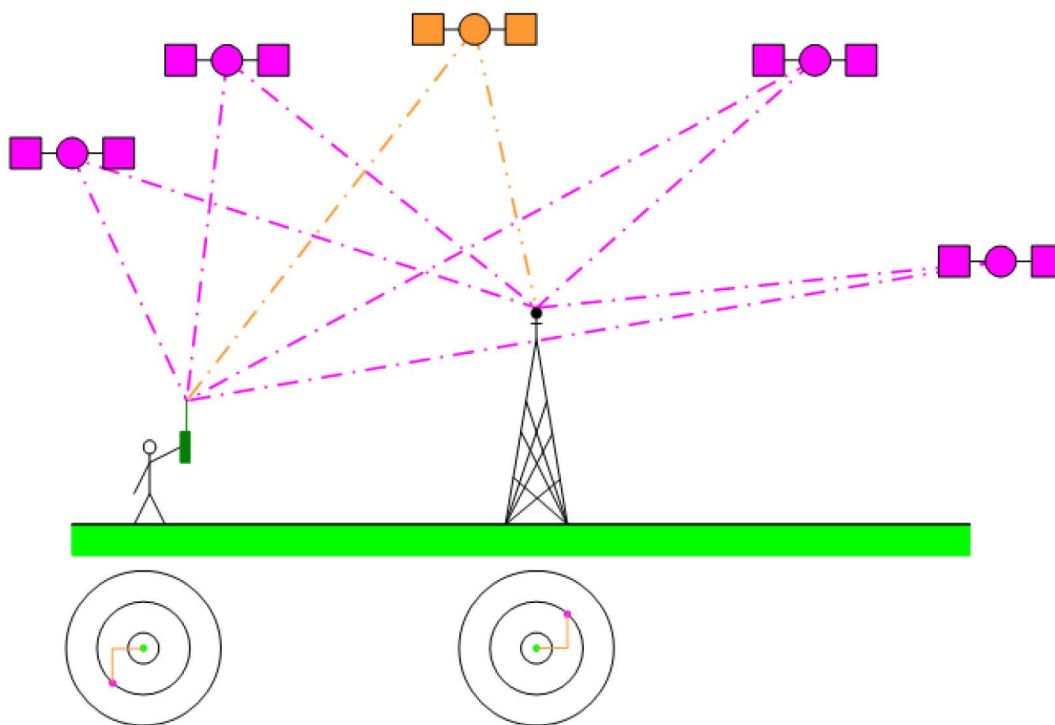


Рис. 1.3. Діаграма принципу роботи супутникової системи диференціальних поправок

Системи диференціальної корекції (Додатки глобальних навігаційних супутникових систем, англ. GNSS Augmentation) - методи поліпшення характеристик роботи навігаційної системи, такі, як точність, надійність і доступність, через інтеграцію зовнішніх даних в процесі розрахунку. Що застосовується скорочення DGPS (ДГНСС - диференціальні глобальні супутникові системи).

Для підвищення точності позиціювання навігаційної апаратури ГНСС на земній поверхні або в навколосемному просторі. Суть більшості методів диференціальної корекції полягає в обліку навігаційною апаратурою різного роду поправок, одержуваних з альтернативних джерел. Наприклад для морських застосувань джерелами коректує інформації є контрольно-коригуючі (ККС) станції, опорні координати яких відомі з високою точністю. Як правило методи диференціальної корекції забезпечують поправками обмежену територію Землі. Каналами доставки даних диференціальної

корекції можуть бути різними, традиційно це УКВ, стільниковий і супутниковий зв'язок.

Супутникова система диференціальної корекції (англ. SBAS - Satellite Based Augmentation System). Супутникові допоміжні системи підтримують збільшення точності сигналу за рахунок використання супутникової трансляції повідомлень. Такі системи зазвичай складаються з декількох наземних станцій, координати розташування яких відомі з високим ступенем точності. Також зустрічається під назвою WADGPS (Wide Area Differential GPS)

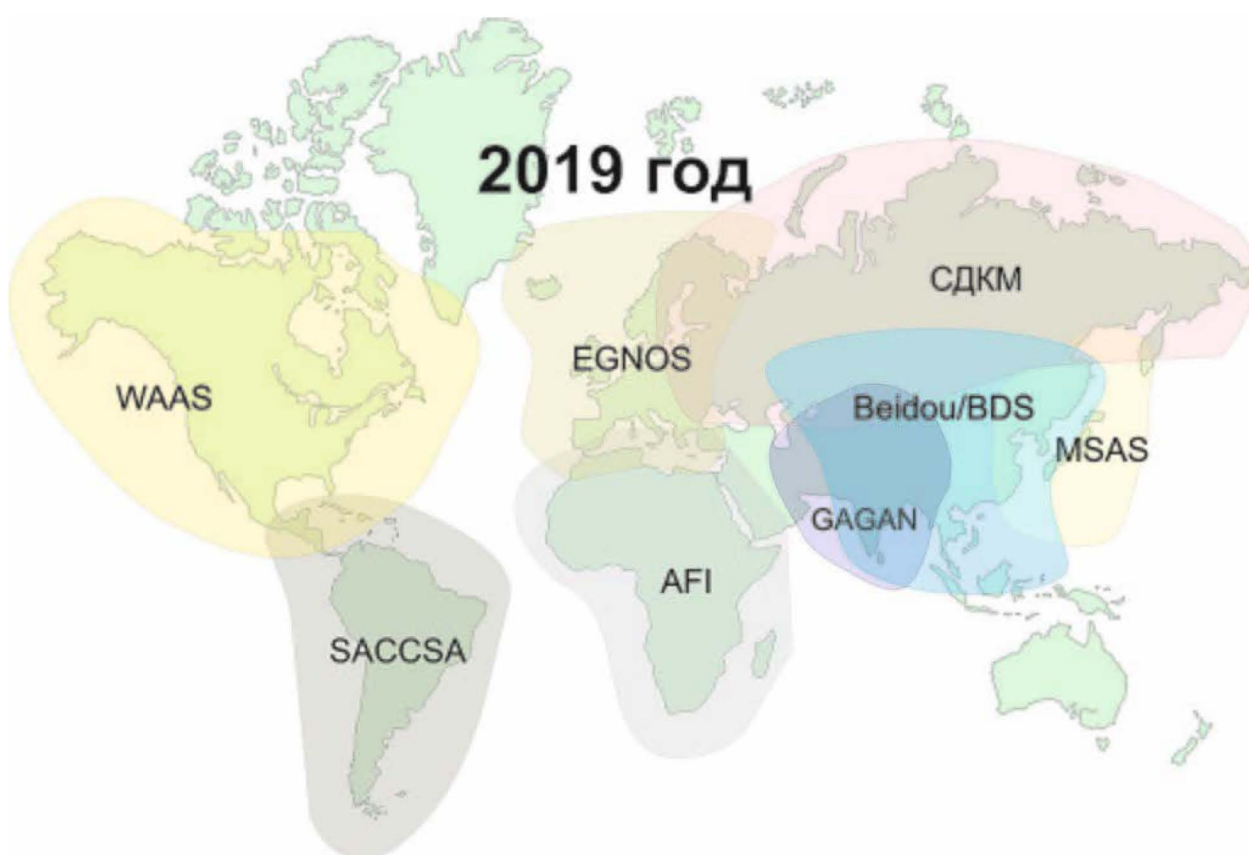


Рис. 1.4. Зони покриття широкозональної системами ГНСС

Принцип роботи: роботу супутникової системи диференціальної корекції (ССДК) можна представити в такий спосіб.

- Базові станції моніторингу системи (RIMS), із задалегідь визначеними координатами визначають координати, ведуть безперервне спостереження за космічною угрупованням.

- Далі станції RIMS передають накопичену інформацію на контрольно-обчислювальні станції системи (МСС).

- На станціях МСС за даними прийнятим з усіх обслуговуваних станцій моніторингу визначаються похибки і формуються диференціальні поправки, на якусь обмежену територію.

- Попередньо обчислені поправки передаються на станції закладки (передачі даних), рівномірно розташовані на території, що обслуговується.

- Після цього поправки передаються на геостационарні супутники.

- З супутників користувачеві.

Наземна система диференціальної корекції (англ. GRAS - Ground-Based Regional Augmentation System)) - система диференціальної корекції (DGPS) в якій додаткові інформаційні повідомлення передаються через наземні УКХ-станції в межах охоплення базової станції. Також зустрічається під назвою GBAS (Ground Based Augmentation System).

Наземне доповнення GBAS включає такі основні елементи:

- контрольно-коригуючу станцію;
- станцію моніторингу диференціальних поправок;
- станцію передачі диференціальних поправок і сигналів попередження.

АДПС (авіаційні диференціальна підсистема) - диференціальна система (підсистема) направлена на підвищення рівня обслуговування авіації на етапах заходу на посадку, посадки та вильоту, а також для наземних операцій і маневрування в районі аеродрому. Вони мають місцеве покриття (наприклад, околиці аеропорту). Основною метою АДПС є забезпечення цілісності, вона також підвищує точність до 1 м. Російськомовне позначення - ЛДПС (локальна диференціальна підсистема). В англійськомовних джерелах застосовується аббревіатура GBAS (англ. Ground based augmentation system) або LAAS (англ. Local Area Augmentation System).

АДПС є критично важливим для безпеки цивільної авіації систему і складається з наземної підсистеми і підсистеми з визначення місця розташування повітряного судна. Наземна підсистема забезпечує повітряне

судно даними про траєкторії заходу на посадку і для кожного супутника в поле зору, інформацією про виправлення та цілісності. Поправки дозволяють літаку більш точно визначати своє положення щодо траєкторії заходу на посадку. Наземна інфраструктура для АДПС складається з ЛККС. Радіус мовлення становить 30 кілометрів (Покриття сигналу призначене для підтримки переходу повітряного судна з повітряного простору на маршрут в повітряний простір термінальної зони і через нього. Частоти мовлення від 108 до 118 МГц. Формат поправок RTCM-SC 104. Конструктивно являє собою моноблок. Локальні ДПС мають максимальні дальності дії від контрольної-корегуючої станції (ККС) або передавача лінії передачі даних (ЛПД) - до 50-200 км. ЛДПС зазвичай включають одну ККС (є варіанти з декількома ККС), апаратуру у ліній і контролю (в тому числі і контролю цілісності), а також засоби передачі даних. Розташування GBAS в зоні аеродрому створює умови для розширення її функцій, а також полегшує обслуговування. Надається можливість здійснювати контроль і управління всіма рухомими об'єктами, що знаходяться в зоні аеродрому.

АДПС можуть мати архітектуру з розширеною зоною дії, що охоплює певний регіон (РДПС). Діаметр робочої зони регіональної системи зазвичай становить від 500 до 2000 км. Вона може мати одну або кілька ККС. Наземна підсистема передає коригувальну інформацію до далекомірним сигналам за допомогою УКХ-передача. Прикладами таких РДПС є Австралійська наземна регіональна система доповнення (AGRAS - Australian Ground-based Regional Augmentation System), яка охоплює території Австралії і Нової Зеландії, і європейська система «Єврофікс», в якій для передачі поправок споживачам використовуються передають станцій імпульсно-фазового РСДН Loran -C (eLoran).

За даними на 2010 рік НДЦ «Геодинаміка» рекомендований Міждержавним авіаційним комітетом (МАК) і Мінтрансом РФ для проведення робіт з геодезичного забезпечення авіації. Центром реалізовано понад 70

проектів в аеропортах країн СНД і більш ніж на 40 вертолітних майданчиках Росії. Системою ЛККСА-А-2000 в Росії оснащені близько 40 аеродромів.



Рис. 1.5. Супутникова антена зв'язку для дистанційного керування і завантаження даних (ККС)

До складу локальної контрольно-коригувальної станції (ЛККС) входить:

- дубльований комплект модулів обробки і контролю (МОК);
- дубльований комплект серверів послідовних інтерфейсів (СПИ);
- дубльований комплект передавачів VDB;
- контрольний приймач VDB;
- модуль супутникових навігаційних приймачів (МСНП), що включає чотири опорних супутникових приймача і один контрольний супутниковий приймач;
- пристрій введення-виведення та інтерфейс обладнання (ІС).

Радіо передавач на УКХ ретранслює поправки, параметри цілісності і різні локальні дані пов'язані зі світовою геодезичною системою (WGS-84).

МДПС (морська диференціальна підсистема) (англ. MDGPS - Maritime DGPS) - система (підсистема) заснована на передавальних станціях, встановлених в різних прибережних пунктах, центру управління, обладнанні

GPS і зв'язку на судах. Доповнює глобальні системи позиціонування, надаючи локалізовані поправки до псевдо і допоміжну інформацію, які транслюються по мережі морських радіомаяків. Дані передаються в форматі RTCM SC-104 з використанням модуляції мінімального зсуву (MSK). Телеканал передається у діапазоні від 285 кГц до 325 кГц, який виділений для морської радіонавігації (радіомаяки). Всі ККС (контрольно-коригувальна станція) мають індивідуальний ідентифікаційний номер, що передається в сигналі DGPS. Точність визначення місця розташування складати 10 метрів або краще (у випадку вдалого угруповання супутників для призначеного для користувача устаткування $DOP < 2$ або 3). Дальність досягає 500 км. Швидкість передачі коректує інформації коливається від 25 до 200 біт/с.

До складу МДПС входить - від 1 до декількох ККС (контрольно-коригувальна станція) об'єднаних в кластер, апаратура віддаленого управління і контролю кластера (контрольний пункт), прямі і зворотні лінії зв'язку контролю-управління. Логіка роботи полягає в забезпеченні підвищеної точності за рахунок використання опорного GPS-приймача (базової станції), розташованого в точці з відомими координатами, шляхом порівняння координат відомого розташування з тим, що отримано. Потім обчислюються супутникові поправки діапазону і передаються в режимі реального часу по радіозв'язку користувачами, які використовують поправки для поліпшення своїх позиційних розрахунків.

Традиційно до складу диференціальної підсистеми входять:

- Інструмент контрольно-коригувальна станція (ККС), що здійснює контроль якості ретранслявання сигналів за допомогою геодезично-прив'язаної опорної станції.

- Процесор, що обчислює диференціальні поправки і формує дані для передачі користувачу. Сформовані файли поправок можуть містити дані з метеостанції і стандарт частоти і часу.

- Апаратура передачі диференціальних поправок (передача здійснюється «безпосередньо» через УКХ).

- Приймальна апаратура споживачів, що забезпечує прийом і облік диференціальних поправок (як правило, поєднана з ГНСС обладнанням)

Контрольно-коригуюча станція (ККС): ККС забезпечує формування поправок до сигналів ГЛОНАСС / GPS і їх передачу за стандартом RTCM SC-104. Для контролю роботи ККС і контролю передачі навігаційної інформації створюються контрольні пункти. Всі операції контролю і управління можуть бути виконані на місці від кожної з станцій DGPS або віддалено з контрольного пункту або центру управління. Звідки можуть бути змінені параметри і змінні служби передачі диференціальних поправок. Крім того ККС мають комп'ютерні програми, які дозволяють автоматичний запис даних. ККС спроектовані в надлишкової конфігурації, яка гарантує її надійність та автономність в разі збоїв і порушень.

До складу ККС (контрольно-коригувальна станція) входить:

- 2 опорні станції (основний і резервний комплекти (ОС)) для визначення диференціальних поправок і формування коректує інформації
- Комп'ютер віддаленого управління і оперативного контролю стану ККС;
- 2 монітори цілісності (основний і резервний комплекти станції інтегрального контролю (СВК)
- апаратура виборчого доступу;
- передавач радіомаяка.
- система зв'язку (RDSI, GSM або Inmarsat) і безперебійного живлення.

Контрольний пункт (КП): основне завдання Контрольної пункту (КП) - контроль роботи (ведення) контрольно-коригувальних станцій, ліній зв'язку (RDSI, GSM або Inmarsat) між ними і КП і спеціального каналу передачі даних (GIC - GPS Integrity Channel). А також забезпечення цілісності спостережень супутникових радіонавігаційних систем. Формування даних про цілісність для передачі їх споживачам.

Автономні системи (ABAS): автономна система диференціальної корекції (англ. ABAS - Aircraft Based Augmentations Systems)) - система

диференціальної корекції (DGPS) в якій додаткові інформаційні повідомлення генеруються самостійно тобто від внутрішніх алгоритмів.

Автономні системи, реалізуються на борту підводних човнів або на борту повітряного судна, використовують автономні методи контролю цілісності RAIM & AAİM. Бортове додаток ABAS по суті є удосконаленням системи автономного контролю цілісності і зазвичай іменується RAIM. За допомогою всієї доступної на борту навігаційної інформації, інших бортових систем споживача і потужного процесора забезпечуються необхідні характеристики навігаційного забезпечення.

Принцип роботи: методи відносних GPS визначень, які використовують не менше двох антен об'єднаних в єдину систему. Полягає в обробці реальних (отримані) вимірювань вихідними даними вимірів. (Точність до 1-2 см). Знаючи "геометрію" між фазовими центрами антен - базисний трикутник або вектор. Можна зробити диференціальну корекцію первинних вимірювань і підрахувати координати математичного центру системи. Алгоритм "холодного старту" повторюється кілька разів, з певною дискретністю (частотою). Дозволяє уточнювати вихідні дані.

Після старту системи, починає роботу система RAIM виробляє аналіз інформації, що надходить. При необхідності RAIM відбраковує супутники, дані з які не можна використовувати в повному обсязі при розрахунках навігаційних характеристик. На кожен відбракований супутник має припадат 5 діючих. При недостатній якості і кількості спостережуваних супутників система починає використовувати додаткову інформацію від процесора. Вводить поправки або заміщати відсутні супутники віртуальними. Період заміщення залежить від потужності процесора, програмного забезпечення і вихідної статистичної інформації.

Ефективне використання часу системи повинно відбуватися кожні 4 години (час повного оновлення плеяди (сузір'я) навігаційних супутників) або кожні 3000 км дальності (зона охоплення плеяди (сузір'я) навігаційних

супутників). Виконується заздалегідь дублюючим комплектом приймачів (оптимальні періоди десинхронізації становить 2 години і 1500 км відповідно).

Архітектура систем ABAS надлишкова і самодостатня з подвійним резервуванням у всьому ключовому обладнанні. Що дозволяє самостійно визначати координати (виробляти позиціонування з досить високою якістю) і гарантує безвідмовність.

Для будь-якої системи ABAS одним з визначальних параметрів "архітектури" є конфігурація. Розрізняю 2 основних види Динамічна та Статична.

Статична - полягає в розташуванні антен (фазових центрів) в похідній формі. Вимагає більшої кількості антен для якісного пеленг. Гарантує надмірність і великі періоди десинхронізації.

Динамічна - полягає в розташуванні антен (фазових центрів) в лінію (вектор) уздовж осі носія. Встановлюється на об'єктах зі значною швидкістю руху. Вимагає меншої кількості антен. Встановлюється як правило на повітряних судах. Дає хороші результати в процесі руху. Один з приймачів встановлюється на носі носія і вважається "головним", другий в кормі і визначається як "хвостовий". Застосовуючи квазидиференціальні методи в прямому і зворотному порядку, з достатньою дискретністю (частотою) можна обчислити азимути руху відносно один одного. Вимагає регулярного скидання інформації - оновлення кадру.

До складу системи ABAS входить 4 елементи:

- алгоритм первинного позиціонування;
- забезпечує "холодний старт" системи (первинне позиціонування квазидиференціальними (відносними) методами);
- виявлення помилок "холодного старту" (запуск/перезапуск системи)
- алгоритми автономного контролю цілісності (RAIM);
- виявлення відмов;
- виключення відмовили навігаційних супутників;

- використання методів бортового контролю цілісності AAİM (Airborne Autonomous Integrity Monitoring);
- виявлення відмов внутрішньої системи;
- виключення відмовили елементів внутрішньої системи;
- синхронізація та інтеграція різних встановлених на борту джерел навігаційної інформації і даних з різних навігаційних систем;
- спільне використання сигналів GPS-Galileo-ГЛОНАСС;
- обчислювальні процеси (інформація про час і ефемеридах в форматі Очікувана (Predicted) може генеруватися на основі вже отриманих даних) і / або завантажена заздалегідь;
- спільне використання бортових навігаційних датчиків і засобів (висотоміром (глибиноміром), високоточні годинники, гіроскопи, компаси, інерціальна навігаційна система).

1.1.1. WAAS - глобальна система диференціальних поправок

Система WAAS (Wide Area Augmentation System) служить для підвищення точності позиціювання навігаційних GPS систем. Принцип дії системи дещо відрізняється від звичайного DGPS режиму в якому використовуються коригувальні поправки з наземних базових станцій, що передаються по каналах GPRS, УКВ, тощо. У випадку з WAAS, сигнал з поправками ретранслюється з геостационарних супутників, і обробляється навігатором за допомогою одного з GPS-каналів. Це можливо завдяки тому, то сигнал WAAS передається на тій же частоті, що і сигнал C/A L1 системи GPS, і має схожу структуру кодування. У світі існує кілька аналогічних WAAS систем: в Європі - EGNOS, в Японії - MSAS. Загальноприйнята назва таких систем - SBAS (Space Based Augmentation System), що можна дослівно перекласти, як «космічні допоміжні системи». У літературі можна також зустріти назву WADGPS (Wide Area Differential GPS) - глобальний диференційний GPS.



Рис. 1.6. WAAS - глобальна система диференціальних поправок

Система WAAS містить більше 20 базових станцій (WRS), розташованих на всій території Сполучених Штатів. Кожна їх станцій обладнана GPS апаратурою та спеціальним програмним забезпеченням, призначеним для прийому GPS сигналів, аналізу отриманих вимірювань, обчислення помилок іоносфери, відхилень траєкторій і годин супутників. Ці дані передаються на центральну станцію управління (Master Station - WMS), де повторно обробляються і аналізуються з урахуванням вимірів, отриманих з усіх базових станцій мережі. Потім коригувальна інформація передається на геостационарні супутники і вже звідти ретранслюються користувачам.

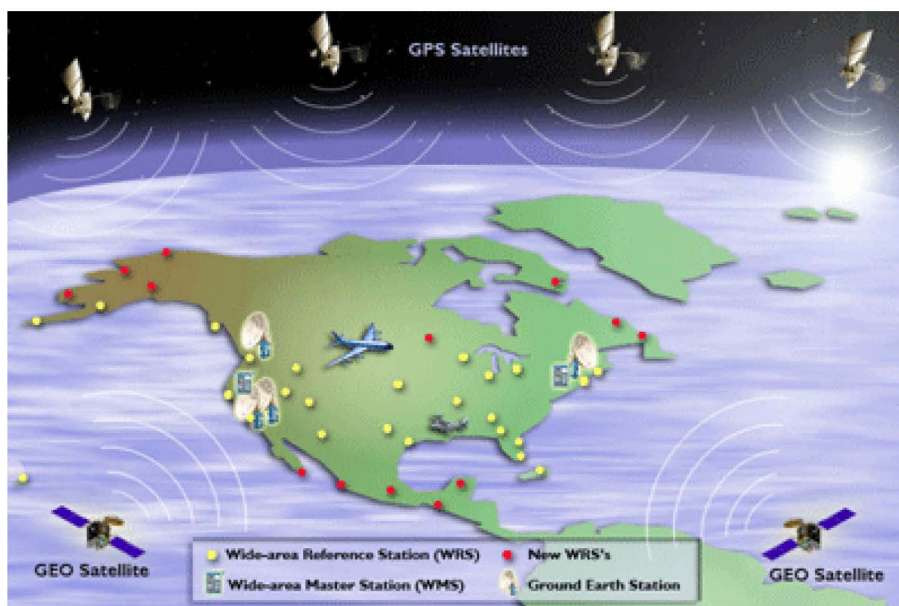


Рис. 1.7. Межі розповсюдження системи WAAS

Якщо помилки траєкторії і догляду годин жодного супутника не залежать від поточного місця розташування користувача і враховуються в обчисленнях позиції однаково, то атмосферні затримки багато в чому визначаються специфікою місцевості. Більш того, з урахуванням модернізації космічних апаратів та наземних сегментів GPS, за останні кілька років рівень «системних» помилок значно знизився. Тому основний внесок в загальну помилку позиціонування вносять саме атмосферні помилки, пов'язані з затримкою розповсюдження сигналу при проходженні іоносферного і тропосферного шарів. Розробники системи WAAS запропонували спеціальну координатну сітку поправок, для опису моделі іоносферних затримок. Поверхня Землі поділена на 9 зон, кожна з яких містить 201 точку (остання - 200). Для кожної точки, з урахуванням даних базових станцій, моделюється і обчислюється значення іоносферної затримки.

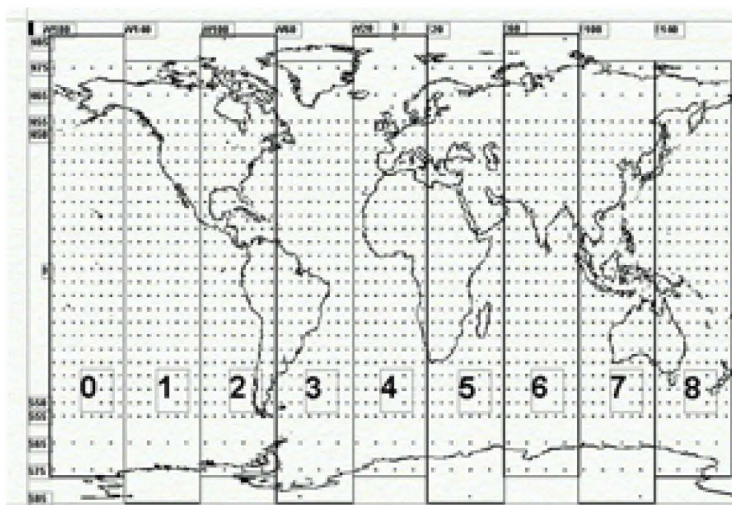


Рис. 1.8. Зображення Землі, поділеної на зони

Будь-який з геостаціонарних супутників SBAS (системи WAAS, EGNOS) покриває обмежену територію, відповідно він може передавати інформацію тільки для 3-4 зон. Ці обмеження пов'язане з територіальною приналежністю систем і розташуванням мережі базових станцій WAAS, що визначають точність моделювання поправок. Вважається, що кожна станція ефективно «покриває» навколишню територію радіусом 400-500 км. Час передачі даних

з базових станцій на геостаціонарні супутники WAAS становить кілька секунд. У робочому режимі, оновлення даних пов'язаних з помилками годин і ефемерид здійснюється з періодом 2 хвилини. Дані іоносферних затримок оновлюються не так часто, тому що змінюються в часі значно повільніше. Для обчислення значення іоносферної помилки в поточному місцезнаходження GPS приймач використовує дані 4-х сусідніх «вузлових» точок. Якщо поточне місце розташування знаходиться в безпосередній близькості від «вузлової» точки, то додаткові обчислення можуть не знадобитися. Друга важлива роль систем SBAS полягає в контролі цілісності і працездатності GPS супутників. Якщо з якихось причин, GPS супутник став передавати неправильну інформацію, або помилки навігаційних вимірювань перевищують допустимі значення, то йому може бути присвоєно статус «хворий», щоб виключити з алгоритмів обчислення позиції. Всі GPS приймачі використовують інформації про «здоров'я» супутників зі спеціальних полів альманаху і ефемерид, дані яких коригуються з керуючих наземних GPS станцій раз в декілька годин. Відповідно, наземний сегмент системи GPS не може оперативно відреагувати на проблеми в роботі супутників, і донести цю інформацію до користувачів. Допоміжна система WAAS може передати ці дані в періоді декількох хвилин. Навігаційні приймачі ідентифікую геостаціонарні супутники WAAS за номерами, значення яких більше 32. Номери з 1 по 32 строго закріплені за супутниками GPS і прив'язані до псевдошумовому коду (PRN). Нижче наведена таблиця відповідностей між назвою супутника, його номером і ідентифікаційним номером, який використовується в приймачах «Garmin». Координати кожного супутника визначені тільки значенням довготи, так як широта екватора відповідає 0 градусів.

Таблиця 1.1

Відповідність між назвою супутника, його номером і ідентифікаційним номером, який використовується в приймачах «Garmin»

Параметр	Номер	ID Garmin	Координати
Inmarsat 3f2	120	33	W15.5
Inmarsat 3f4(AOR-W)	122	35	W142
ARTEMIS	124	37	E21.4
Inmarsat 3f5(IOR-W/F5)	126	39	E25.0
Inmarsat 3f1 (IOR)	131	44	E64
Inmarsat 3f3(POR)	134	47	E178
PanAmSat(LM-RPS-1)	135	48	W133
MTSAT2	137	50	E145

Планується, що через кілька років загальна кількість геостационарних супутників всіх SBAS систем може досягти 19-ти.

1.1.2. Egnos - глобальна система диференціальних поправок

Європейська служба геостационарного навігаційного накладання (EGNOS) - це європейська регіональна система збільшення супутникової системи (SBAS). Він використовується для підвищення продуктивності глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), таких як GPS та Galileo в майбутньому. EGNOS був розгорнутий для забезпечення безпеки навігаційних служб життєзабезпечення користувачів авіації, морської та сухопутної діяльності.

EGNOS використовує вимірювання GNSS, проведені точно розташованими опорними станціями, розміщеними в основному по всій Європі та Північній Африці. Усі вимірювання переносяться в центральний обчислювальний центр, де розраховуються диференційні виправлення та

повідомлення про цілісність. Потім ці обчислення транслуються над охопленою територією за допомогою геостационарних супутників, які слугують збільшенням або накладенням на оригінальне повідомлення GNSS.

EGNOS розширює цивільний сигнал GPS L1 (1575,42 МГц) з грубим придбанням (C/A), надаючи інформацію про виправлення та цілісність для космічних транспортних засобів GPS (ефемериди, помилки годин) і головне, інформацію для оцінки затримки іоносфери, що впливає на користувача. Повідомлення EGNOS транслуються через два геостационарні супутники відповідно до діючих стандартів (MOPS та SARPS). Інформація, що надається EGNOS, підвищує точність та надійність інформації про позиціонування GNSS, одночасно надаючи важливе повідомлення про цілісність. Крім того, EGNOS також передає точний сигнал часу.

Подібні системи SBAS, розроблені відповідно до того ж стандарту, уже введені в експлуатацію США (система широкого збільшення системи - WAAS), Японії (супутникова система збільшення сукупності MTSAT - MSAS) та Індія (GPS Aided GEO Augmented Navigation - GAGAN в Індії). Аналогічні системи знаходяться на введенні в експлуатацію або розміщення в інших регіонах світу (наприклад, Система диференціальної корекції та моніторингу - SDCM в Росії) або досліджуються (наприклад, супутникова система посилення Кореї - KASS в Південній Кореї).

Послуги: EGNOS надає інформацію про виправлення та цілісність для сигналів GPS у широкій зоні, зосередженій в Європі, і вона повністю взаємодіє з іншими існуючими системами SBAS. EGNOS надає три послуги:

1. Відкрита служба (OC): Основна мета OC EGNOS - поліпшити досяжну точність позиціонування шляхом виправлення різних джерел помилок, що впливають на сигнали GPS. Виправлення, передані EGNOS, допомагають пом'якшити діапазон джерел помилок, пов'язаних із супутниковими годинниками, положенням супутника та іоносферними ефектами. EGNOS

також може виявити спотворення, що впливають на сигнали, що передаються за допомогою GPS, і запобігти користувачам відслідковувати нездорові або оманливі сигнали. Операційна система EGNOS безкоштовно доступна в Європі будь-якому користувачеві, оснащеному відповідним приймачем, сумісним з GPS/SBAS, для якого не потрібна конкретна сертифікація приймача. ОС EGNOS доступна з 1 жовтня 2009 року.

2. Служба безпеки життєдіяльності (SoL): ця послуга забезпечує найсуворіший рівень роботи сигналу в просторі для всіх спільнот користувачів безпеки життєдіяльності. Основна мета служби EGNOS SoL - підтримка операцій цивільної авіації до мінімуму виконання вертикальних вказівок (LPV). На сьогоднішній день детальна характеристика ефективності була проведена лише проти вимог, висловлених цивільною авіацією. Однак послуга EGNOS SoL в майбутньому також може бути використана у широкому діапазоні інших областей застосування (наприклад, морська, залізнична, автомобільна). Для надання послуги SoL система EGNOS була розроблена таким чином, щоб сигнал сигналу в просторі EGNOS відповідав стандартам ICAO SARPs для SBAS. Послуга EGNOS SoL доступна з 2 березня 2011 року.

3. Служба доступу до даних EGNOS (EDAS): ця послуга призначена для користувачів, які потребують підвищення продуктивності для комерційного та професійного використання. EDAS - служба наземних даних EGNOS і пропонує наземний доступ до даних EGNOS в режимі реального часу, а також до історичного архіву FTP авторизованим користувачам (наприклад, постачальникам додатків із додатковою вартістю). EDAS є єдиною точкою доступу для даних, зібраних та генерованих наземною інфраструктурою EGNOS, що поширюється по Європі та Північній Африці. Постачальники програм можуть підключатися до сервера даних EGNOS і використовувати продукти EGNOS, щоб пропонувати високоточні послуги своїм клієнтам. EGNOS EDAS доступний з 26 липня 2012 року.

EGNOS розділений на чотири функціональні сегменти:

1. Наземний сегмент: включає мережу з 40 станцій моніторингу цілісності (RIMS), 2 центрів контролю місій (MCC), 2 навігаційних наземних станцій (NLES) на GEO та мережі широкосмугової мережі EGNOS (EWAN), яка забезпечує мережу зв'язку для всіх складових наземного сегмента.

- 40 RIMS: основна функція RIMS полягає у збиранні вимірювань із супутників GPS та передачі цих необроблених даних щосекунди центральним процесорним процесорам (CPF) кожного MCC. Конфігурація, що використовується для початкової ОС EGNOS, включає 40 сайтів RIMS, розташованих на широкій географічній території.

- 2 MCC (центри контролю та обробки): вони отримують інформацію від RIMS та генерують корекційні повідомлення для підвищення точності супутникового сигналу та інформаційних повідомлень про стан супутників (цілісність). MCC виступає як "мозок" системи EGNOS.

- 2 NLES на GEO: NLES передає повідомлення EGNOS, отримане від центрального обробного пристрою, до супутників GEO для трансляції користувачам та для забезпечення синхронізації із сигналом GPS.

2. Сегмент підтримки: окрім вищезазначених станцій, система має й інші наземні сервісні установки, що беруть участь у плануванні операцій системи та оцінці ефективності, а саме: механізм оцінювання та одержання замовлень (PACF) та спеціальний інструмент кваліфікації додатків (ASQF). управляються постачальником послуг EGNOS (ESSP).

- PACF (Механізм оцінки ефективності): забезпечує підтримку управління EGNOS у формі аналізу продуктивності, усунення несправностей та операційних процедур, а також оновлення специфікацій та перевірок та надання підтримки технічного обслуговування.

- ASQF (специфічний інструментальний центр кваліфікації): надає органам цивільної авіації інструменти для кваліфікації, затвердження та сертифікації різних додатків EGNOS.

3. Космічний сегмент: складається з щонайменше трьох геостационарних супутників, що транслюють корективи та інформацію про цілісність для

супутників GPS у смузі частот L1 (1575,42 МГц). Ця конфігурація космічного сегмента забезпечує високий рівень надмірності по всій зоні обслуговування у разі збою в геостаціонарному супутниковому каналі. Операції EGNOS обробляються таким чином, що в будь-який момент часу щонайменше два GEO передають оперативний сигнал.

4. Сегмент користувача: Сегмент користувачів EGNOS складається з приймачів EGNOS, які дозволяють їхнім користувачам точно обчислювати свої позиції з цілісністю. Для отримання сигналів EGNOS кінцевий користувач повинен використовувати EGNOS-сумісний приймач. Наразі ресивери, сумісні з EGNOS, доступні для таких ринкових сегментів, як сільське господарство, авіація, морське, залізничне, картографування/зйомка, послуги на основі доріг та локацій (LBS).

Поняття повідомлень Egnos: кожне повідомлення EGNOS SBAS можна розділити на чотири розділи, кожен з яких надає різну інформацію, необхідну для декодування кожного типу повідомлень (MT).

Таблиця 1.2

Повідомлення EGNOS SBAS

Бітова позиція	Назва розділу	Аім
0-7	Преамбула	Забезпечення кадрової синхронізації
8-13	Ідентифікатор типу повідомлення	Визначення типу повідомлення
14-225	Поле даних	Надання відповідних даних
226-249	Інформація про паритет	Перевірка помилок

Повідомлення EGNOS SBAS надаються користувачам щосекунди зі швидкістю 250 біт на секунду, отже, можна очікувати отримання одного типу повідомлення щосекунди.

Незважаючи на те, що можна визначити 64 різні типи повідомлень (ємністю 6 біт у розділі "Ідентифікатор типу повідомлення"), на даний момент визначено лише 20, і їх можна розділити на "Супутникові інформаційні повідомлення", "Повідомлення, пов'язані з іоносферою" та інші повідомлення. Вони надають додаткову інформацію, яку потрібно враховувати для досягнення ідеальної гармонії повідомлень EGNOS SBAS.

EGNOS - це один із безлічі SBAS (супутникової системи збільшення), доступних у всьому світі. Системи SBAS стандартизовані на рівні ICAO (Міжнародної організації цивільної авіації) для забезпечення сумісності.

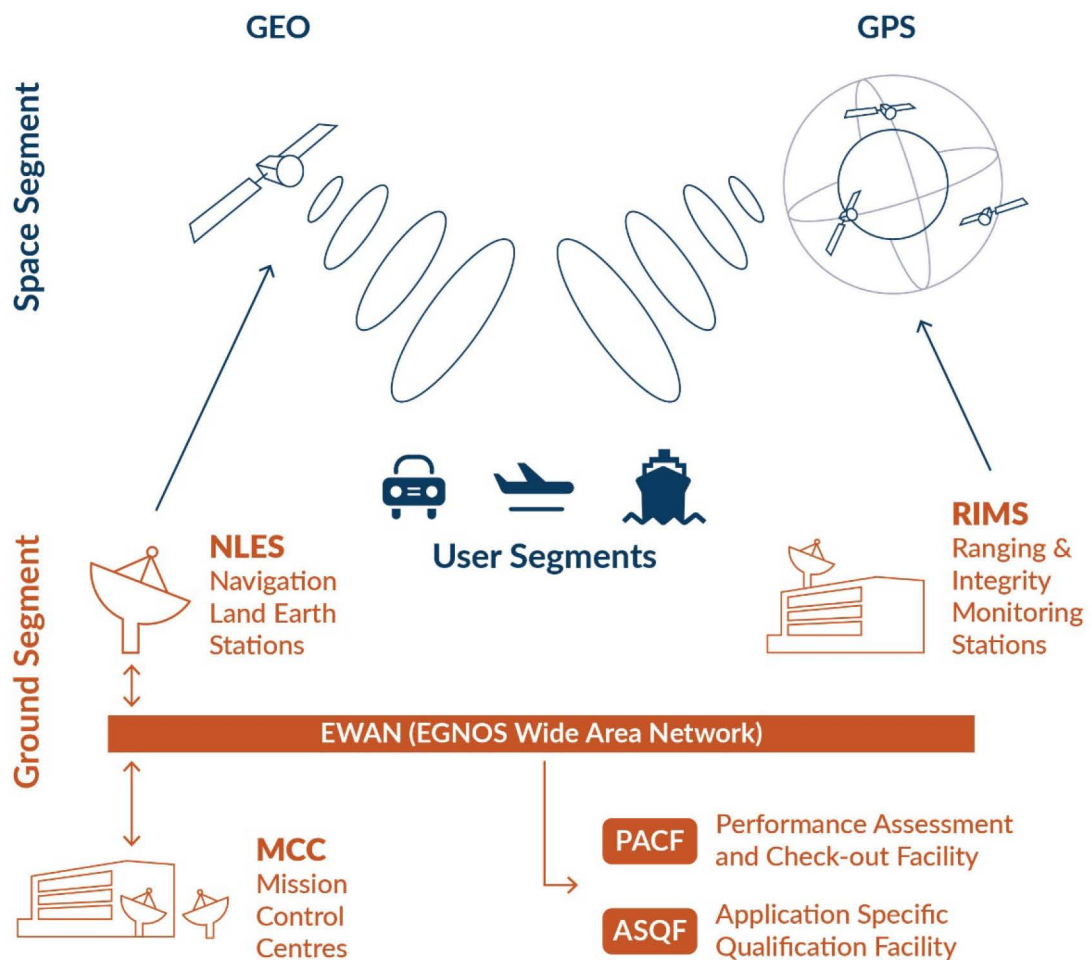


Рис. 1.9. EGNOS - глобальна система диференціальних поправок

Програмою EGNOS керують наступні органи:

- Європейське агентство GNSS (GSA): відповідає за завдання, пов'язані з фазою експлуатації EGNOS та загальним управлінням оперативною програмою EGNOS. Як така, несе відповідальність за рішення щодо використання системи, розвитку та просування послуг та додатків на основі угод з Європейською Комісією.

- Європейський постачальник супутникових послуг (ESSP): Постачальник послуг EGNOS в Європі, сертифікований відповідно до регламенту Єдиного європейського неба (SES) як постачальник

аеронавігаційних послуг (ANSP). GSA уклала ESSP з контрактом на експлуатацію та надання послуг до кінця 2021 року.

- Європейська Комісія (ЄК): є власником системи EGNOS. Право власності на активи було передано з ESA Європейській комісії 1 квітня 2009 року для експлуатації.

- Європейське космічне агентство (ESA): в минулому керувало технічним розвитком системи EGNOS, а тепер Європейська Комісія отримала доручення виступати агентом проектування та закупівлі для розвитку систем.

1.2. Кінематика реального часу (RTK)

Real Time Kinematic (RTK, в перекладі з англ. - «кінематика реального часу») - сукупність прийомів і методів отримання планових координат і висот точок місцевості сантиметрової точності за допомогою супутникової системи навігації за допомогою отримання поправок з базової станції, прийнятих апаратурою користувача під час зйомки. Є одним з методів DGPS.

Принцип роботи: радіосигнал з супутника при передачі піддається різним спотворень. Виділяють три основні причини спотворення сигналу: атмосферні неоднорідності (іоносферні і тропосферні основні з них), перешкоди від стаціонарних та рухомих об'єктів, а також відраження сигналу або багатопроменевість. За допомогою GNSS-сигналів можна визначити положення приймача на поверхні Землі з дециметровому точністю. Однак через перекручування без застосування спеціального обладнання реальна точність позиціонування зазвичай вимірюється в метрах або десятках метрів (в залежності від широти, кількості видимих супутників та інших умов). Спотворення можуть бути істотно зменшені за допомогою додаткової наземної інфраструктури - систем диференціальної корекції.

Для отримання поправок використовуються вимірювання фаз несучих GNSS сигналів одночасно на двох GNSS-приймачах. Координати одного з приймачів (базового) повинні бути точно визначені (наприклад, він може бути встановлений на пункті державної геодезичної мережі); він передає по

каналу зв'язку (радіомодем, GSM-модем, інтернет та ін.) набір даних, званих поправками. Поправки отримані станцією і супутниковий сигнал обробляється програмним забезпеченням відповідно до програмних алгоритмів і накопиченою статистикою супутникових ефемерид. Після чого на ровер з базової станції передається диференціальна поправка.

Другий приймач (ровер) може скористатися цими даними для точного визначення місця розташування (до 1 см в плані ($1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$) і 2 см по висоті) на відстанях до 30 км від базового приймача. Для передачі поправок використовуються радіомодеми, інтернет і так далі. В даний час метод RTK використовується на частотах L1, L2.

Польові базові станції передаються сигнали DGPS зазвичай через УКХ-радіомодеми або через операторів стільникового зв'язку. При використанні радіосигналів метрового діапазону горбиста і гірська місцевість зазвичай не впливає на прийом сигналу. Однак сигнали доходять до глибоких каньйонів, розташованих далеко від базових станцій і в сильно залісненій місцевості. А також обмежується наявністю веж стільникового зв'язку, в разі використання GSM-модему.

На сьогодні, кінематика у реальному часі (RTK) - це сучасна технологія підвищення точності даних, отриманих в Глобальній навігаційній супутниковій системі (GNSS) - GPS, ГЛОНАСС, GALILEO та КОМПАС. Він забезпечує більш точне позиціонування та навігацію мобільного прийому, що отримує скоректовану координату в реальному часі від базової станції.

Цей метод був відомий у середині 1990-х років, і він постійно розбирається для геодезії, моніторингу будівництва, добування корисних копалин. Для сільського господарства вкрай важливо підвищити точність системи автоматичного управління. RTK надає цю можливість, тому RTK-інфраструктура, обладнання, апарати та програмні рішення працюють у багатьох місцях за всім миром, в тому численні та в Україні.

RTK - це набір засобів та методів для значного підвищення точності географічних координат до сантиметрів, інколи та до міліметрової точності, отриманих із застосуванням навігаційної системи GNSS. В останній рік цей технологічний механізм є все більш поширеним у сфері точного землеробства. Цей метод кінематичного вимірювання, у якому два прийоми GPS і/або ГЛОНАСС, має радіо- або стільникову лінію зв'язку через радіо модем або GSM-модем для передачі даних між ними. Один прийом невідповідний із заданими рівнями і називається опорним або базовим, а другий - підвальним.

В RTK використовується двочастотне обладнання. Передані всі дані вимірювання фазової корекції в реальному часі для мобільного прийому GNSS. Коли пара приймачі розташовані на прикладі однієї високої, передбачується, що атмосферні приміщення однакові для обох. На основі відомих і вимірюваних координат опорний прийом випускає поправки до механізмів і передає їх на мобільне пристрій. У останній час у ряді країн, включно з Україною, строгі постійні станції та мережі для RTK. Через них будь-який оператор, підтримуючий прийом GNSS, може використовувати послугу RTK в діапазоні базових станцій.

Існують три основні причини зміни сигналів:

- атмосферна неоднорідність;
- шум від стаціонарних та рухомих об'єктів;
- переривання сигналів.

Супутники ГЛОНАСС, GPS, і в найближчому майбутньому ГАЛІЛЕО і КОМПАС (Бейдоу) можуть визначати будь-який пункт на поверхні Землі до міліметра. Однак, коли сигнал досягає поверхні через спотворення, він не вказує ні однієї точки в кілька міліметрів, а плями від 5 до 100 метрів (в залежності від широти, кількості активних супутників та інших умов). Деформації можуть бути зменшені за рахунок використання наземної інфраструктури RTK з виділеними апаратними та програмними системами.

Інфраструктура представлена однією або мережею з декількох базових станцій, які обмінюються потоками даних з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Супутниковий сигнал, прийнятий на станції, обробляється програмним забезпеченням, а потім базова станція передає ремонт, очищаючи супутникові сигнали. виправлений сигнал, в свою чергу, переходить на техніку на якій стоїть приймач, від цього координати стають точні до сантиметрів. Таким чином, RTK покращує сигнали GPS і ГЛОНАСС для більш високої диференційованої супутникової навігації, що дозволяє більш ефективно управляти сільськогосподарською технікою в точній сільському господарстві.

В останні роки RTK став стандартом для точного землеробства, оскільки він дозволяє здійснювати навігацію сільськогосподарської техніки з точністю до сантиметра. Таким чином, посадка, внесення добрив, захист рослин, збір та інші операції здійснюються з автоматичним контролем з високою точністю без упущення і перекриття ділянок, з меншим навантаженням на оператора і більш ефективним використанням ресурсів.

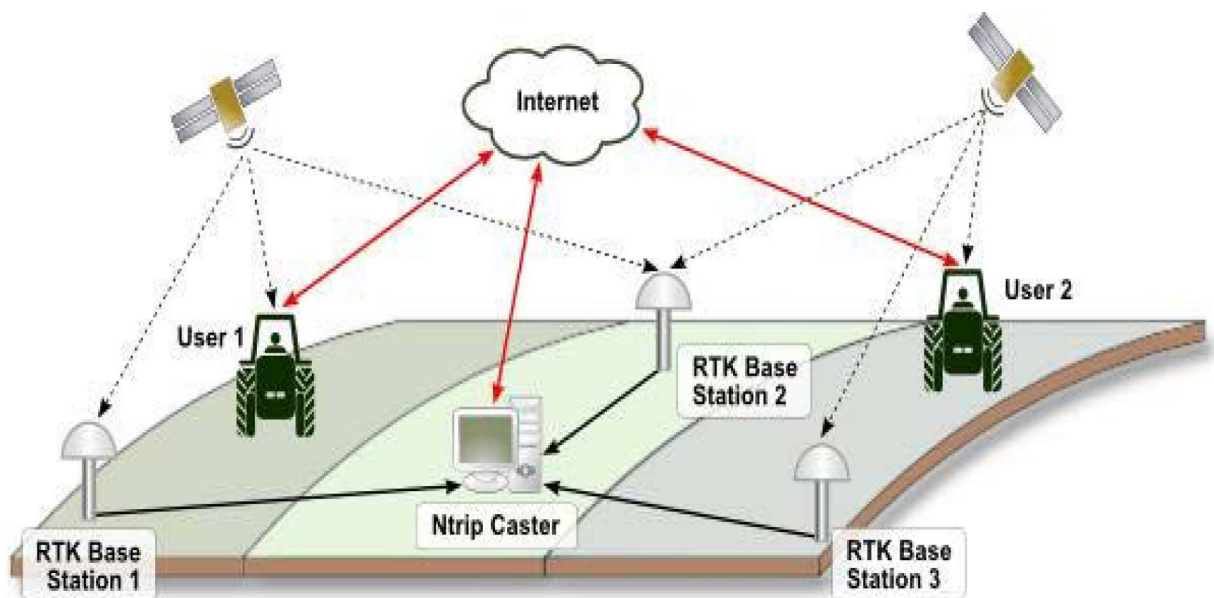


Рис. 1.10. Технологія поправок сигналів RTK

Переваги та обмеження RTK: основною перевагою RTK-режиму є здатність точно обробляти сигнали в реальному часі. Існує кілька типів

методів для отримання навігаційних виправлень, які відрізняються точністю і синхронізацією сигналів - кінематичної, пост-обробка і диференційний метод в реальному часі (DGNSS). Метод пост-обробки дозволяє здійснювати найбільш точну коригування в міліметрах, але для збору і обробки даних потрібно багато часу. Диференціальні методи можуть працювати в режимі реального часу, але точність поправок знаходиться в межах метра. При роботі в режимі RTK ви можете отримати установки в реальному часі з точністю 1 см в горизонтальному і 2 см у вертикальному напрямку. Це найвищий рівень точності в реальному часі.

З появою супутникових приймачів, які працюють не тільки з GPS, але і з ГЛОНАСС, а потім з GALILEO і COMPASS, очікується значне підвищення точності, ефективності і надійності вимірювання просторових координат. Останні моделі приймачів компактні, легкі і інтегровані в усі системи, в яких вони потребують: високошвидкісний процесорний контролер, компас, зчитувач штрих-кодів, камеру, слот для карт пам'яті і модем WiFi з підключенням WiFi і Bluetooth.

Недоліки методу RTK: діапазон щодо еталонної станції є обмеженим (зазвичай 10-20 км), потреба в каналі зв'язку в реальному часі і неможливість працювати в умовах несприятливої супутникової навігації. Великі інвестиції в купівлю обладнання і програмного забезпечення. Для вирішення кінематичних завдань в реальному часі були розроблені різні нові рішення, такі як мережа RTK і ширші технології WARTK (Wide Area Real Time Kinematic). Перший надає собою настройки з мережі базових станцій, так що мобільний приймач в сільськогосподарській машині приймає сигнали від декількох опорних станцій в залежності від місця розташування станції. Другий розташовується з дециметровому точністю в реальному часі, причому можлива дія становить понад 400 км від базової станції.

Мережеві методи: RTK створюють мережеву інфраструктуру з опорних станцій, які безперервно отримують дані з супутників, а через канали зв'язку

направляють їх на центральний сервер за допомогою спеціального програмного забезпечення для моніторингу даних. Усуваються неоднозначності, а відредагований сигнал відправляється на мобільні приймачі, які використовуються, наприклад, на фермі. Мобільний приймач отримує інформацію з сервера через GSM, Інтернет або радіозв'язок в реальному часі і обчислює свої координати із сантиметровою точністю з використанням програмного алгоритму RTK. На відміну від систем з однією станцією, мережеве взаємодія забезпечує високу точність роботи на великих відстанях, ніж опорні станції, а також більш точне визначення помилок.

Мережеві методи бувають різних типів. Вони реалізовані в двох режимах - RTK і режимі пост-обробки. Оброблені вимірювання доставляються після запиту і завантаження з Інтернету. Мережеві методи відносяться до віртуальних опорних станціям (VRS), FKP і додатковим допоміжним виправлень. В APC режимі, реальні супутникові вимірювання від опорної станції перетворюються в штучні по відношенню до віртуальної опорної станції в безпосередній близькості від техніки на якій встановлено GPS приймач. Дані віртуальних станцій використовуються мобільними приймачами, як і у реальних станцій.

Мережеві диференціальні методи генерують диференціальні поправки, які передаються користувачам через геостационарні супутники. OmniSTAR - це основна і найбільш широко використовувана глобальна мережева диференціальна супутникова навігаційна система з широким діапазоном. Забезпечує коригування роботи в режимі реального часу з трьома рівнями точності: віртуальна опорна станція (VBS) - точність вимірювання; Розширене обслуговування (XP) - Точність нижче 20 см і висока точність обслуговування (HP) - Точність нижче 10 см.

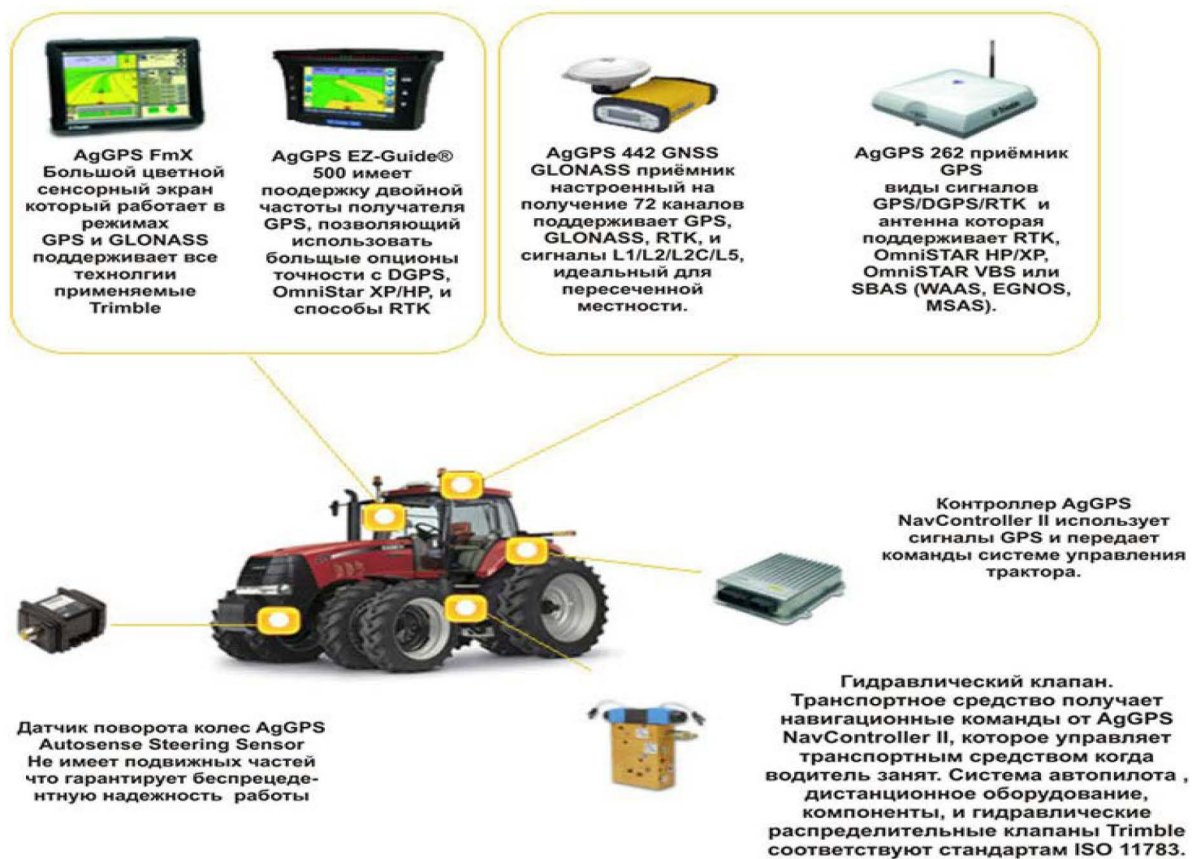


Рис. 1.11. Широкополосный RTK

Метод WARTK (Wide Area Real Time Kinematic) - це інноваційний метод диференціальної регулювання супутникової навігації розширеного діапазону. Він був розроблений в кінці 1990-х років групою досліджень в Каталонському політехнічному університеті (СКП) в Барселоні. Він забезпечує коригування іоносферного впливу через мережу опорних станцій, розташованих на відстані до 1000 км один від одного. Розбіжності фіксуються в реальному часі мобільними приймачами на відстані більше 400 км від базових станцій. Таким чином, WARTK долає обмежений діапазон класичних методів RTK. За погодженням з Європейським космічним агентством WARTK використовує наземну і супутникову інфраструктуру Європейської геостационарної навігаційної оверлейної служби, включаючи приймачі GNSS.

В Україні послуги RTK пропонуються з єдиними базовими станціями і послуг мережі, які все більше віддають перевагу фермери в області точного

землеробства. Інфраструктурні рішення, обладнання та програмне забезпечення від різних виробників і постачальників. Клієнти можуть вибирати за точністю, обсягом, надійності і вартості послуг. За словами представників промисловості, ті, хто хоч раз спробував метод корекції супутникової навігації через RTK, навряд чи відмовиться від нього будь-коли.

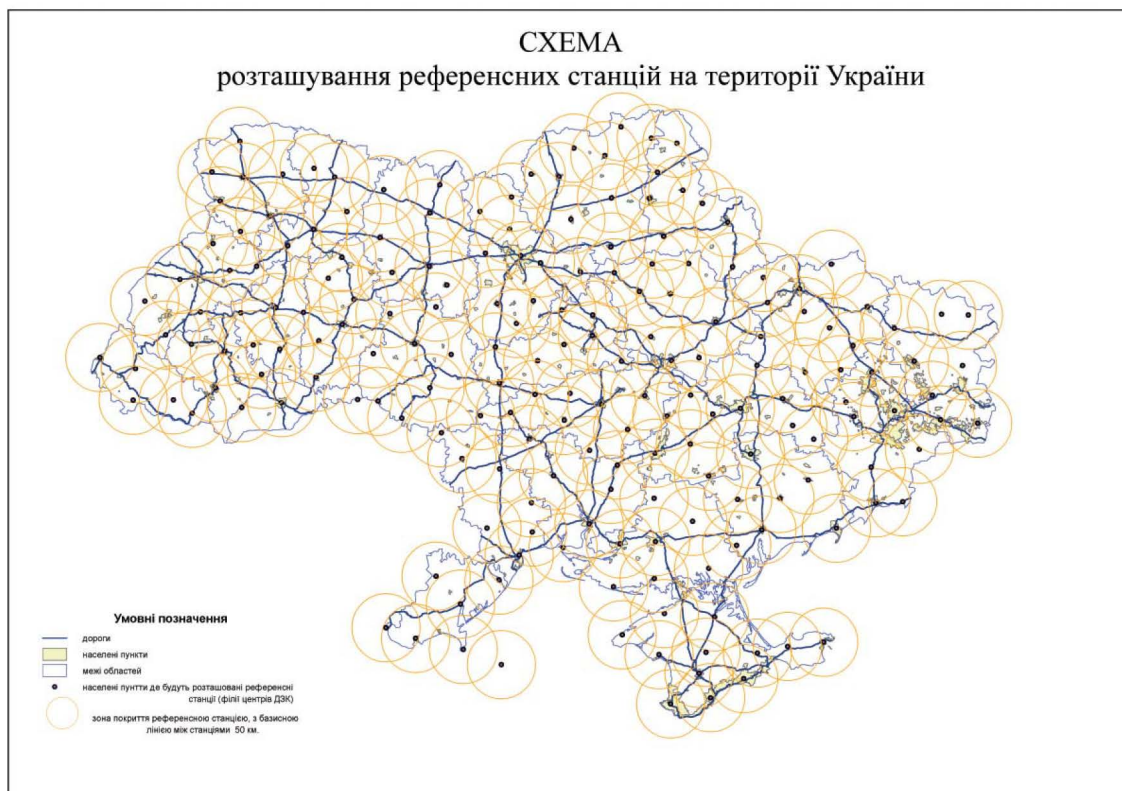


Рис. 1.12. Проект створення української національної мережі референсних станцій UAPOS

Пропонована мережа покриває територію всієї країни GNSS станціями, розташованими на відстані 30-60 км одна від одної. Загальна кількість станцій на територію країни становитиме близько 200 шт. Такої щільності повністю досить для створення інфраструктурної мережі, що забезпечує повне покриття всієї території України, з підтримкою режимів RTK і VRS.

Ця система забезпечить точне позиціонування в реальному часі для користувачів на всій території країни. Вигоду від цієї системи отримають фахівці різних галузей, таких як містобудівне планування, будівництво,

транспорт, метеорологія, землевпорядкування, прецизійне землеробство, екологія, геологія, геофізика і інші.

РОЗДІЛ 2

ПРОТОКОЛ NTRIP ТА ЙОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Використання протоколу NTRIP

Мережевий транспорт RTCM через Інтернет-протокол (NTRIP).

У рамках EUREF (Федеральне агентство з картографії та геодезії (BKG)) розробило нову методику з використанням відкритого Інтернету для збору в реальному часі та обміну даними GNSS, а також для трансляції похідних продуктів. Головною метою цих заходів є поширення диференціальних корекцій GPS (DGPS) для точного позиціонування та навігації. Це є техніка на основі режим доступу: HTTP для передачі даних GNSS мобільним користувачам, підключеним до Інтернету через мобільні IP-мережі, такі як GSM, GPRS, EDGE або UMTS.

Завдяки збільшенню можливостей Інтернету програми, які передають постійні потоки даних за допомогою IP-пакетів (IP для Інтернет-протоколу), таких як інтернет-радіо, стали налагодженими послугами. Порівняно з цими програмами пропускна здатність, необхідна для передачі даних GPS в режимі реального часу, порівняно мала. Як наслідок, поширення поправок DGPS через Інтернет та мобільні IP-мережі стає альтернативою використанню інших методів наземного мовлення. На сьогоднішній день бездротовий доступ до Інтернету доступний у багатьох регіонах. При його використанні не очікується суттєвого зниження продуктивності позиціонування, проте можливі деякі помітні переваги. Крім того, до потоків даних від опорних станцій та баз даних (GIS) можна отримати доступ одночасно за допомогою однієї техніки зв'язку. Стаціонарні програми можуть використовувати дротове з'єднання з Інтернетом через настільний ПК, тоді як мобільні додатки можуть використовувати ноутбук або КПК з бездротовим доступом до Інтернету через інтегрований модем GPRS. Намагання інтегрувати необхідне клієнтське

програмне забезпечення безпосередньо в приймачі DGPS/RTK знаходяться на стадії розробки.

При обробці даних немає потреби в з'єднанні приймачів, головне - одночасне спостереження одних і тих же супутників. Але для режиму реального часу необхідно забезпечити стабільний зв'язок, щоб в кожен момент часу поправки, розраховані Базою, передавалися на ровер. Готове рішення розраховується після обробки цих даних програмним забезпеченням ровера.

Існує 3 основних способи зв'язку приймачів:

- По каналу УКХ (ультракороткохвильовий) радіозв'язок;



Рис. 2.1. Плюсы на минусы УКХ (ультракороткохвильового) радіозв'язку

- За допомогою голосового зв'язку (CSD);



Рис. 2.2. Плюсы на минусы голосового зв'язку (CSD)

- по мережі Інтернет.



Рис. 2.3. Плюси на мінуси зв'язку по мережі Інтернет

УКХ (ультракороткохвильового) радіозв'язку вимагає використання спеціалізованого УКХ-модему (вбудованого в приймач або зовнішнього) і радіоантени. Залежно від моделі УКХ-модему працюють на прийом, передачу або прийом/передачу поправок. На Базовому приймачі модем налаштовується на передачу, а на ровері - на прийом. Головна умова з'єднання - правильна настройка цього обладнання. У передавальному і у приймаючій радіо модемів повинні збігатися робочі характеристики: частота, протокол шифрування, швидкість в ефірі і швидкість фізичного з'єднання. В такому випадку з'єднання стабільне і швидке. Ще один плюс використання радіозв'язку в тому, що до однієї Базі можна підключити необмежену кількість роверів, відповідне налаштувавши їх роботу.

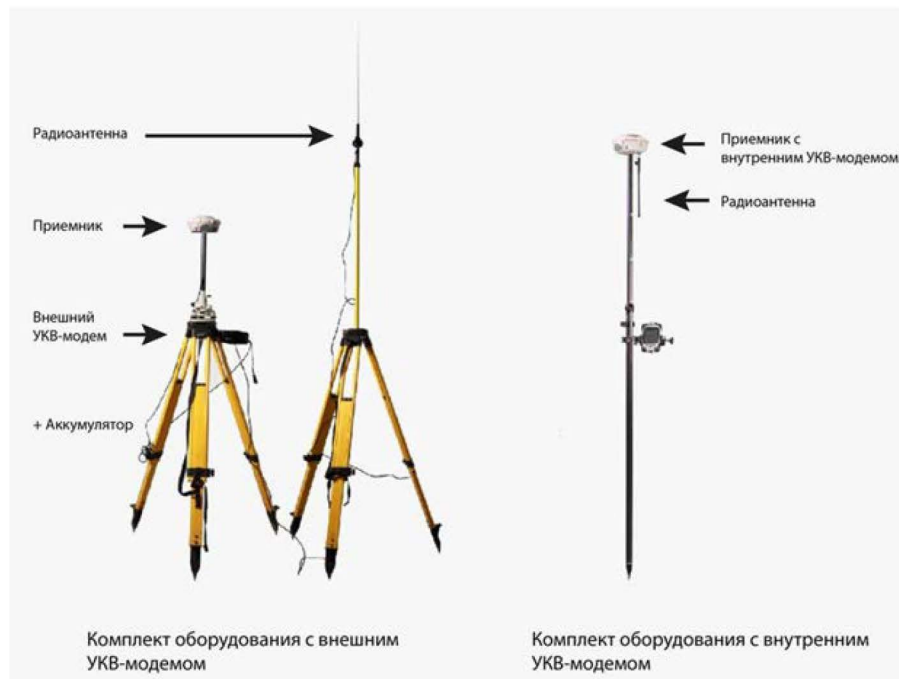


Рис. 2.4. Приклад роботи УКХ (ультракороткохвильовий) радіозв'язок

У деяких випадках виникають складнощі у використанні радіозв'язку. Наприклад, дальність зв'язку визначається потужністю УКХ-модему і сильно залежить від рельєфу. Потужні радіомодеми (35 Ватт) здатні подолати відстань близько 30 км, але і вартість такого обладнання набагато вище. Комплект виходить важким - до ваги модему додається вага зовнішнього акумулятора. Через це зовнішній радіомодем зазвичай розміщують на Базі, а ровер використовують з внутрішнім радіомодемом. Також, якщо між радіоантенами Базі і ровера розташоване перешкоду (масив лісу, високий пагорб, будівля), то необхідно використовувати ретранслятор (окремий пристрій для обходу перешкоди) або антену вище перешкоди.

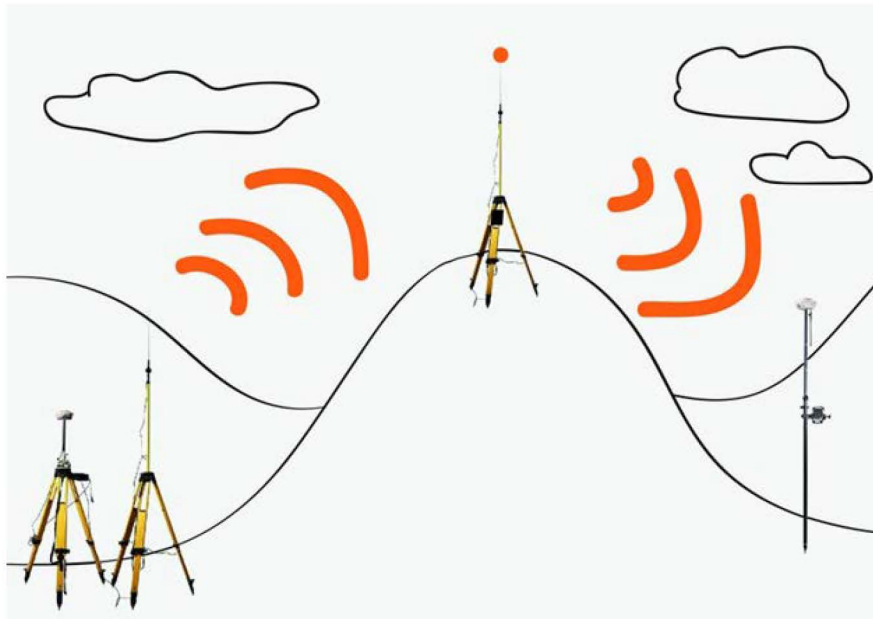


Рис. 2.5. Використовування ретранслятора (окремий пристрій для обходу перешкоди)

Голосовий зв'язок заснований на передачі даних по голосовому каналу. Якщо говорити просто, то це схоже на розмову по стільниковому телефону. Для роботи з цим режимом зв'язку використовується GSM модем з антеною і SIM-карта з підключеною опцією CSD (передача даних по голосовому каналу, «Мобільний офіс», тощо) на Базі і на ровері. GSM-модеми бувають вбудованими в приймач або зовнішніми і містять один або два слота для SIM-карти. Устаткування налаштовується так, щоб ровер «подзвонив» Базі, а та, в свою чергу, відповіла на дзвінок. Як тільки встановилося з'єднання - поправки від Базовою станції стали надходити на ровер. Голосовий зв'язок не вимагає великих витрат на обладнання, а сигнал поширюється на сотні і тисячі кілометрів. Але для отримання фіксованого рішення по фазовим вимірювання, відстань між Basisю і ровером не повинно перевищувати 50-80 км.



Рис. 2.6. Голосовий зв'язок, що заснований на передачі даних по голосовому каналу

Незважаючи на плюси голосового зв'язку, все менше користувачів зараз вибирають цей режим, що не дивно. До очевидних недоліків варто віднести високу вартість самої «розмови». До того ж деякі оператори відмовляються від надання послуги передачі даних по голосовому каналу, і нові базові станції GSM її просто не підтримують. Навіть якщо послуга CSD підключена на обох SIM-картах, але в регіоні роботи вежа стільникового зв'язку і не виконує жодних цей сигнал, то з'єднати приймачі по голосового зв'язку не вдасться. За аналогією з стільниковим зв'язком один номер не може відповісти відразу декільком абонентам, так і з CSD режимом - одна База з'єднується тільки з одним ровером. Інакше потрібно стільки GSM модемів з SIM-картками, скільки роверів необхідно підключити для прийому поправок з одного Бази.



Рис. 2.7. Кількість GSM модемів з СИМ-картками повинна дорівнювати кількості роверів для прийому поправок з одного Бази.

Самий передовий на даний момент вид зв'язку здійснюється по мережі Інтернет. Вбудовані GSM модеми сучасних приймачів підтримують і GPRS зв'язок, а в якості зовнішнього GPRS модему використовується модем контролера. Знадобиться тільки СИМ-карта з можливістю виходу в Інтернет. У сучасному світі вже складно уявити собі життя без Інтернету, тому мережа покриття досить обширна. Інформація, передана в поправках малої ваги, значить трафік невеликий, і в підсумку послуга зв'язку варто зовсім недорого. Алгоритм роботи заснований на використанні деякого сервера, на який надходять поправки від Бази і до якого звертається ровер, щоб ці поправки отримати. Таким чином від однієї Бази поправки можуть отримати незліченну кількість роверів. Природно, їх кількість обмежена можливостями сервера.

Сервер - це програмне забезпечення для зберігання даних в Інтернеті, має статичний IP- адресу і надає доступ до даних за запитом. Основні протоколи для прийому-передачі поправок це NTRIP і TCP/IP. Вони розрізняються структурою і можливостями. Схема роботи по протоколу TCP/IP: База-Сервер-ровер. Будь-який користувач ровера, який знає адресу сервера (IP і Порт) може

підключитися до нього для прийому поправок. Також один TCP-порт підтримує тільки один потік даних і, відповідно, один формат поправок.

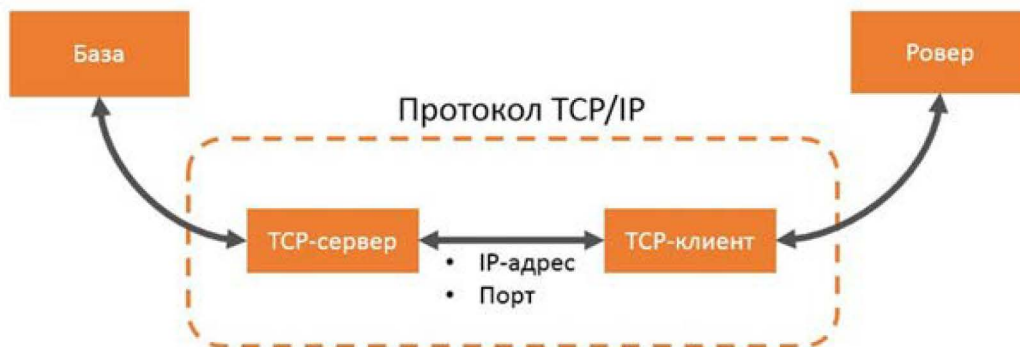


Рис. 2.8. Один TCP-порт підтримує тільки один потік даних

Протокол NTRIP працює за схожою схемою, але з'являється ще один елемент - Кастер. Цей софт дозволяє до одного адресу прив'язати безліч потоків з різною інформацією (види поправок). За допомогою кастера налаштовується доступ до даних тільки для авторизованих користувачів. Це означає, що отримувати дані з сервера по NTRIP протоколу можна тільки при наявності адреси та аккаунта. Такий тип передачі даних використовується в різних мережах референцних станцій. Кількість підключених одночасно користувачів обмежується тільки фізичними можливостями мережевого обладнання.



Рис. 2.9. Кастер дозволяє прив'язати безліч потоків даних

Сервер і кастер в фізичному сенсі є програмами, і можуть знаходитися як на приймачі, так і на окремому комп'ютері. Проблеми в передачі поправок по мережі Інтернет виникають, якщо в якомусь віддаленому регіоні відсутній Інтернет в принципі. Або навантаження на канал не відповідає його пропускної здатності і тоді не вдається забезпечити швидкий і стабільний Інтернет всім користувачам мережі.

Основний принцип Генерування диференціальних даних корекції GPS, як правило, здійснюється безпосередньо на GPS-приймачі опорної станції, але також може бути отримано з мережевих спостережень, отриманих низкою еталонних станцій. Створений таким чином потік даних подається на сервер, який робить дані доступними в Інтернеті за допомогою відповідного протоколу. Користувач мобільного зв'язку може отримати доступ до Інтернету за допомогою технології мобільного телефону за допомогою клієнтської програми.

Відстань між опорною станцією та клієнтом із підключеною станцією ровер ділиться на дві частини. Більша частина відстані складається з дротового підключення до Інтернету, а решта частина може бути з'єднана за допомогою технології бездротового мобільного телефону. Користувачі GPS-послуги DGPS або RTK повинні вибрати техніку отримання корекційних даних через Інтернет. GSM, GPRS та EDGE - серед варіантів. Впровадження «Загальної послуги радіозв'язку пакетів» (GPRS) як послуги комутації пакетів IP для мобільної передачі даних має особливе значення щодо додатків DGPS. GPRS зміцнює насамперед мобільне використання Інтернету і, як правило, вважається попередником UTMS. На відміну від GSM, дані поділяються на пакети і передаються окремо, що дозволяє оптимально використовувати пропускну здатність. Вирішальне значення для додатків DGPS має той факт, що з GPRS, виставлення рахунків здійснюється на основі отриманого обсягу даних. Це означає, що користувач більше не буде платити за тривалість з'єднання, а за кількість переданих даних. Наявна ємність передачі ділиться між усіма учасниками, займаючи радіолінію лише тоді, коли фактично

передаються пакети даних. Порівняно з технікою GSM, витрати на передачу GPRS даних DGPS зменшуються до 90%. Однак у випадку додатків RTK використання GPRS, на жаль, дозволяє сьогодні лише незначне зниження витрат за рахунок вдвідесятеро більшої швидкості передачі даних. Інтернет (задуманий як відкрита мережа) особливо добре підходить для передачі даних між ними на різні провайдери на великі відстані. Уніфіковані структури через національні кордони на континентальному чи глобальному рівні легко створюються. Однак потрібні сервери повинні бути пов'язані з Інтернетом через взаємопов'язані мовники з достатньою пропускну здатністю. Операційні витрати телерадіомовлення в основному залежать від кількості одночасно обслуговуваних клієнтів.

2.2. Версія формату RTCM протоколу NTRIP

NTRIP BKG у співпраці з Дортмундським університетом розробила техніку, засновану на режимі доступу: Http (Hyper Text Transfer Protocol) для передачі даних DGPS або інших видів даних GNSS на мобільні приймачі через Інтернет. Ця методика встановлює формат під назвою "Мережевий транспорт RTCM через Інтернет-протокол" (NTRIP), оскільки його основним застосуванням є поширення виправлень у популярному потоковому форматі RTCM-104. Достатня точність позиціонування отримується, якщо дані про виправлення не старше декількох секунд. Стандарт RTCM використовується у всьому світі, і більшість, якщо не всі, приймачі DGPS приймають його.

Системними компонентами NTRIP є:

- NTRIPSources, які генерують потоки даних DGPS у певному місці;
- NTRIPServers, які передають дані з одного або декількох джерел у форматі NTRIP;
- NTRIPCaster, основний компонент системи розподілу потоків і ширококомовної трансляції, NTRIPClients, що приймає дані бажаних джерел з ролика.

Потік даних здійснюється за допомогою стека протоколу TCP/IP. Декілька спроб, заснованих на перетворенні послідовної передачі даних на

послідовному TCP потоці даних на стороні посилання (сервер) та повторному перетворенні TCP в серію на стороні ровер (клієнт), продемонстрували придатність протоколу TCP/IP для передачі даних мобільним IP-клієнтам. Нова технологія має дві переваги:

а) NTRIP заснований на Режим доступу: Http як шарі протоколу додатка поверх TCP. Отже, будь-який потік даних передається виключно через стандартний порт 80. Таким чином, можна уникнути багатьох проблем із брандмауерами та захищеними проксі-серверами локальними мережами.

б) Заклик, встановлений між сервером та клієнтами, як це зазвичай відбувається у впровадженні Інтернет-радіо, дублює вхідні вихідні дані, щоб їх одночасно могли отримувати багато користувачів. Уникаючи контактів NTRIPServer – NTRIPClient, ролик також виступає захисним елементом захисту для постачальників потоків даних.

З будь-яким видом техніки передачі час вирішення даних корекції даних DGPS або RTK має вирішальне значення. Програмне забезпечення для позиціонування на стороні ровера вимагає отримання відповідних даних майже миттєво (залежно від певної міри від типу позиціонування). Значні затримки, відсутність або неправильне надходження даних про виправлення погіршать точність, не така проблема, якщо використовуються ексклюзивні шляхи передачі (наприклад, радіомовники AM або FM). Однак, використовуючи Інтернет, додаток DGPS ділиться ресурсами постачальника послуг Інтернету (ISP) з іншими програмами, отже, пропускну здатність неможливо контролювати. У цьому контексті виникає питання про те, наскільки звичайні ресурси, пропоновані професійними провайдерами, відповідають вимогам позиціонування в режимі реального часу та навігації. Досліджено зв'язок через Інтернет та провідну мережу, а також бездротові телефонні мережі (GSM та GPRS). Затримки порядку менше трьох-чотирьох секунд характерні для ситуації у ФРН. Тести, проведені в Європі (через національні кордони), показують дуже мало затримок, що перевищують чотири секунди. Тому затримка даних про виправлення, спричинені

включенням бездротових мереж Інтернет, може вважатися настільки низькою, що не спостерігається помітного впливу на досягну точність позиціонування.

NTRIP - це нова технологія передачі даних GNSS (наприклад, дані корекції RTCM) через Інтернет та мобільні мережі IP. Практичні випробування не показують значної погіршення працездатності порівняно з використанням інших транспортних носіїв. Основні програмні компоненти NTRIP розробляються в межах EUREF згідно з Загальною публічною ліцензією GNU. Спеціальний комітет RTCM 104 створив робочу групу "Інтернет-протокол" для подальшого розвитку NTRIP до міжнародного стандарту. Завдяки майже доступній в усьому світі і широкому розповсюдженню обладнання для бездротового доступу до Інтернету, NTRIP - це потоковий метод майбутнього. EUREF управляє NTRIPCaster. Ця послуга досягла можливості початкової експлуатації. "Повідомлення для користувачів телерадіомовлення" (NABU) інформують користувачів про тимчасові відключення послуги.

Позиціонування RTK - це метод, використовуваний GPS-приймачем з підтримкою RTK для отримання надзвичайно точних позицій за допомогою даних базової станції RTK (другого GPS-приймача), які передаються через Інтернет. Протокол NTRIP (мережевий транспорт RTCM через Інтернет-протокол) дозволяє мобільному приймачу RTK GPS (роверу) отримувати доступ до даних з базової станції RTK через Інтернет для досягнення точності 1 см.

RTK працює, встановивши базову станцію RTK у відомому геопросторовому місці. Приймач базової станції RTK встановлюється на відому широті/довготі/висоті цієї точки під час налаштування. Базовий приймач постійно спостерігає за супутниками та обчислює корекції положення, що надсилаються мобільному приймачу (роверу) раз на секунду в потоці даних. У цій статті я буду називати це "базовими даними". Ровер використовує інформацію про місцезнаходження із супутників та базових корекційних даних для обчислення точної координати.

Історично раніше, перш ніж мобільні пристрої були настільки добре підключені до Інтернету, базові дані надсилалися через радіостанції 900 МГц, УКХ або УВЧ. Це означало, що базовий приймач повинен бути підключений до радіо, здатного передавати, а ровер повинен бути підключений до радіо, здатного приймати. Ця система може бути дорогою, складною та має обмеження. Наприклад, радіосигнали можуть бути заблоковані пагорбами, будівлями, деревами тощо. Радіосигнали також мають обмежену відстань, на яку вони можуть подорожувати.

У 2004 році німецька організація під назвою Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (Федеральне агентство з картографії та геодезії) випустила протокол NTRIP. NTRIP надає спосіб для надсилання та прийому базових даних GNSS через Інтернет порівняно з використанням радіостанцій 900 МГц, УКХ або УВЧ.

Переваги використання NTRIP:

-менше обладнання для перевезення в полі. Практично всі збирачі даних, смартфони та комп'ютери мають можливість підключення до Інтернету навіть у польових умовах. Зазвичай це робиться через SIM-карту.

-Ліцензія не потрібна (для деяких радіостанцій потрібна ліцензія).

-Пом'якшити ймовірність радіоперешкод.

-Без обмежень на дальність зв'язку. Радіоприймачі 900 МГц, УКХ та УВЧ мають обмежений діапазон.

Межі використання NTRIP: вимагає, щоб робоча область знаходилась у діапазоні стільникового зв'язку для отримання даних про виправлення через Інтернет.

NTRIP складається з двох програм, які спілкуються через Інтернет. На стороні сервера працює програмне забезпечення NTRIP Caster. Сторона Rover запускає програмне забезпечення NTRIP Client. Заклик NTRIP відповідає за отримання потоку даних від базового приймача та його ретрансляцію через визначений порт TCP (протокол управління передачею).

Скажімо, що ролик налаштований для трансляції через порт 1000 TCP, а зовнішня IP-адреса комп'ютера, на якому працює програмне забезпечення ролика, становить 123.0.0.1. З іншого боку, клієнтське програмне забезпечення NRTIP повідомляється про підключення до сервера за IP-адресою 123.0.0.1 на порту 1000. Це зазвичай робиться користувачем у простій формі, що дозволяє легко змінювати сервери. Після підключення клієнта NRTIP до ролика NRTIP потік даних надсилається на приймач ровера через послідовне з'єднання, Bluetooth, USB.

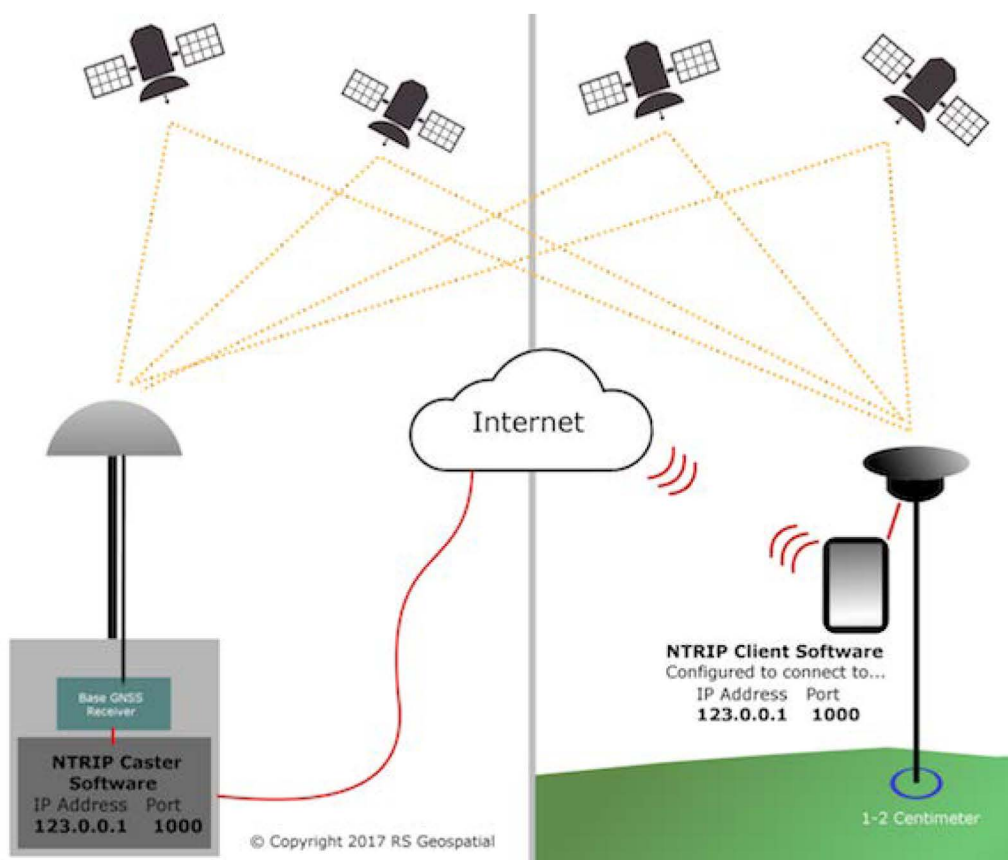


Рис. 2.10. Принцип роботи програмного забезпечення NTRIP Caster

Послуги NTRIP: у більшості випадків користувачі не мають або не використовують базову станцію RTK. Натомість вони запитують доступ (платний або безкоштовний) до послуги NTRIP. Багато штатів США працюють і керують мережею RTK (мережею базових станцій RTK) і пропонують послугу NTRIP. Доступ до більшості державних мереж RTK (державна/керована) безкоштовний.

NTRIP дозволив новому поколінню користувачів вільно збирати сантиметрові GPS-позиційні дані. У минулі роки встановлення та експлуатація базової станції RTK було дорогим і складним завданням. З появою NTRIP, покращеним охопленням Інтернетом та меншими / швидшими / дешевшими GPS-приймачами RTK, технологія збору даних GPS (горизонтальна та вертикальна) в сантиметрах вже не тільки для інспекторів та інженерів. З постійним зростанням громадських мереж RTK, технологія стала досить простою, що це просто ще один інструмент у наборі інструментів польових техніків. Ця технологія призвела до астрономічного зростання використання GPS-технологій RTK інженерними та екологічними консалтинговими фірмами.

2.3. Програмний комплекс BNC для роботи з NTRIP протоколом

BNC надає контекстно-залежну довідку, пов'язану з конкретними об'єктами. Крім того, вона поставляється з представленою документації, доступної як частина програмного забезпечення і в форматі PDF.

Метою BNC є:

- отримати потоки даних GNSS у режимі реального часу, доступні через транспортний протокол NTRIP;
- отримати потоки даних GNSS у реальному часі через TCP безпосередньо з IP-адреси, не використовуючи NTRIP
- отримати потоки даних GNSS у режимі реального часу з локального UDP або послідовного порту без використання NTRIP
- створити високошвидкісні файли спостереження та навігації RINEX для підтримки майже в режимі реального часу пошти GNSS
- обробка додатків;
- генерувати ефемериди та синхронізовані або несинхронізовані епохи спостережень за епохою через IP порт для підтримки двигунів мережі GNSS в режимі реального часу;

- створити корекцію орбіти та годинника для трансляції ефемеридів через IP-порт для підтримки реального часу;
- точне позиціонування точки на роверах GNSS;
- контроль продуктивності мережі потоків даних GNSS у режимі реального часу для створення дорадчих записів у випадок відключень або пошкоджених потоків;
- сканувати потоки RTCM на інформацію про вхідну антену, а також на типи спостереження та типи повідомлень та частота їх повторення;
- подавати потік у приймач GNSS за допомогою послідовного зв'язку;
- здійснювати точне позиціонування в режимі реального часу, щоб визначити позицію ровера GNSS;
- одночасно обробляти декілька потоків виправлення ширококомовної передачі для створення, кодування та завантаження разом;
- виправлення мовлення;
- завантажувати трансляцію ефемерних потоків у форматі RTCM версії.

2.4. Принцип роботи з RTCM-поправками

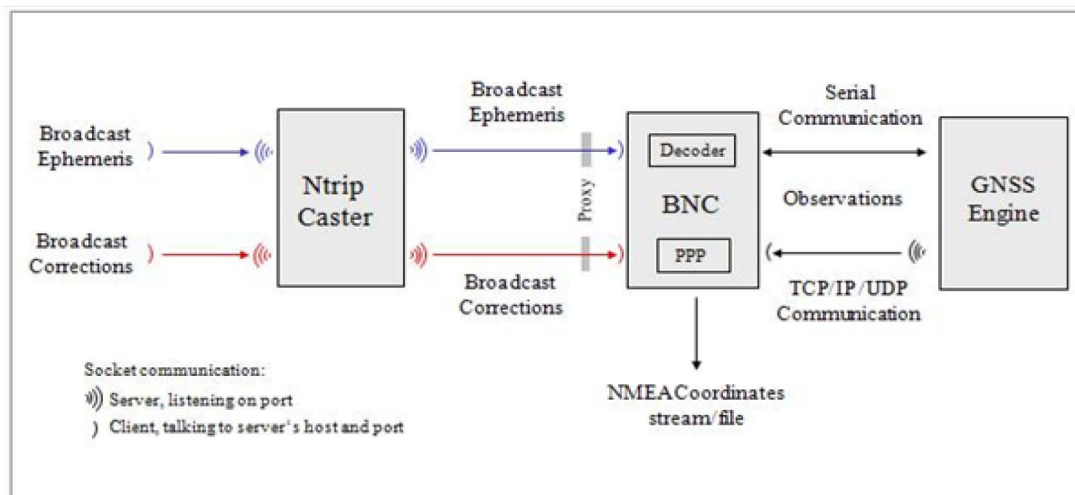


Рис. 2.11. Блок-схема, BNC підключений до приймача GNSS для точного позиціонування точки.

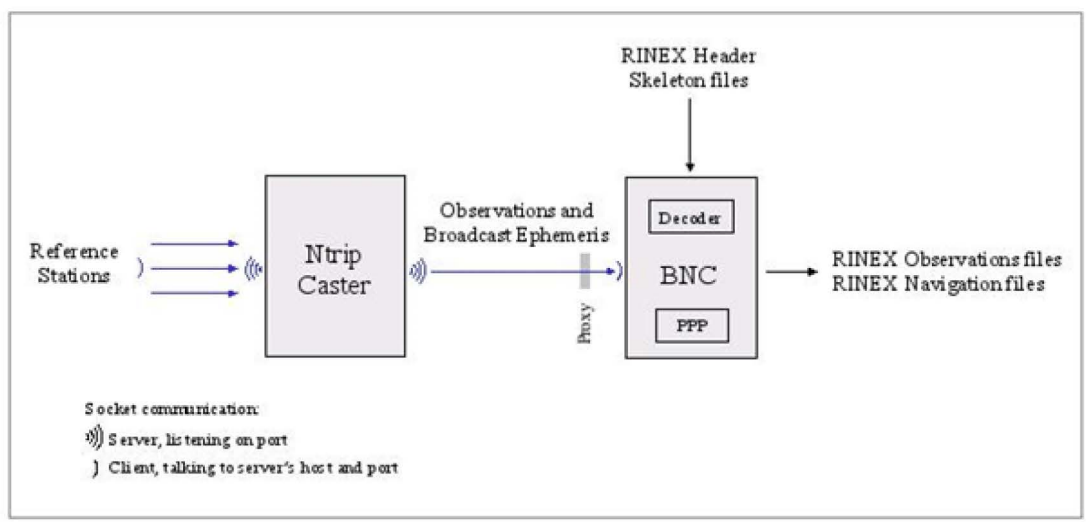


Рис. 2.12. Блок-схема, BNC перетворює потоки RTCM в RINEX.

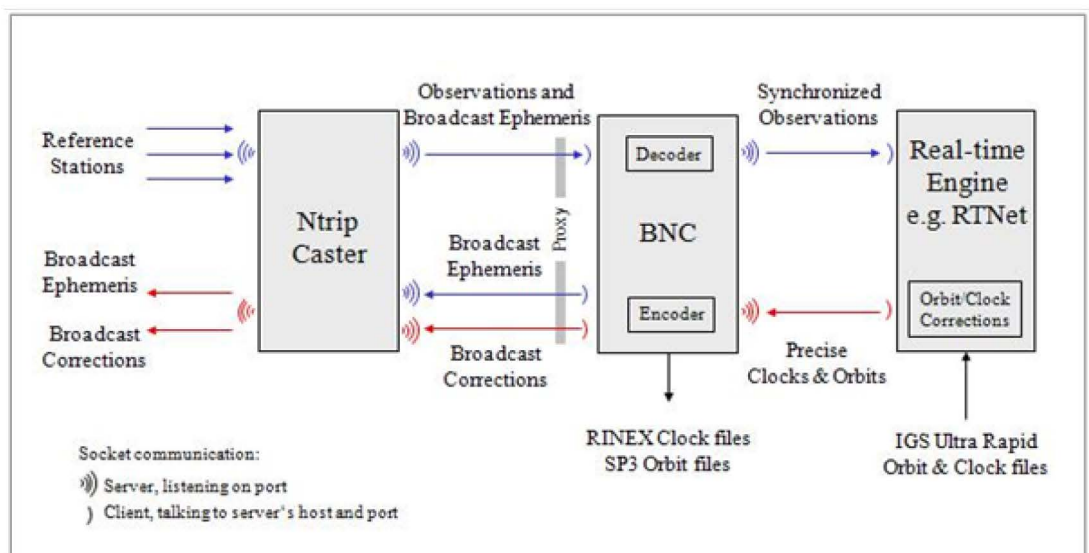


Рис. 2.13. Блок-схема, BNC подає GNSS у режимі реального часу та завантажує закодовані корекції мовлення.

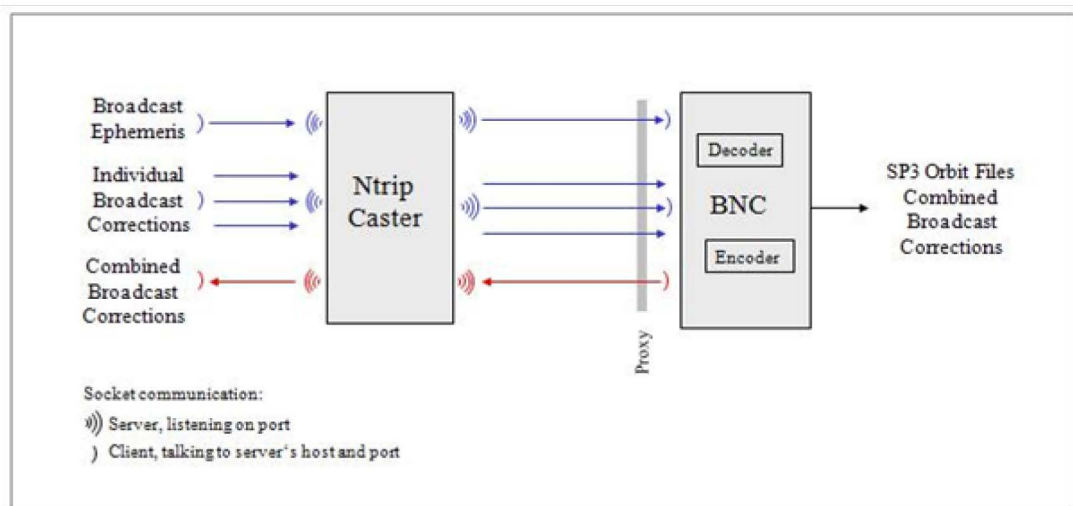


Рис. 2.14. Блок-схема, BNC, що поєднує потоки корекції трансляції.

Перший малюнок з наступних фігур показує блок-схему BNC, з'єднану з приймачем GNSS, що забезпечує спостереження через послідовне або TCP-з'єднання для цілей точного позиціонування точки. На другому малюнку показано перетворення потоків RTCM у файли RINEX. На третьому малюнку показана схема БНК, що подає двигун GNSS у режимі реального часу, який оцінює точні орбіти та такти. BNC використовується в цьому сценарії для кодування коректорів до версії 3 RTCM та завантаження їх на транслятор NTRIP. На четвертому малюнку показано, що BNC поєднує кілька потоків корекції ширококомовної передачі для розповсюдження комбінованого продукту, зберігаючи результати у файлах SP3 та Clock RINEX.

RTCM v2 - радіотехнічна комісія з морських послуг - незалежна міжнародна некомерційна організація, яка створює стандарти радіозв'язку. У версії 1 виникли проблеми і вона була замінена версією 2.0. Версія 2.1 додалася підтримка RTK, в версії 2.2 додалася підтримка GLONASS, а в версії 2.3 додалися деякі повідомлення для підвищення точності RTK. Це відкритий стандарт, який використовується багатьма виробниками, але, оскільки він давній, він використовується лише на застарілому обладнанні, яке не може використовувати версію 3.

RTCM v3 - найновіший формат даних від RTCM, який має кращу компресію даних та цілісність повідомлень, ніж версія 2. Версія 3.1 додала підтримку мережевої RTK за допомогою основної допоміжної концепції. Досі відкритий стандарт, цей формат використовується більшістю сучасних приймачів.

Радіотехнічна комісія з морських послуг (RTCM) випускає поправки до свого стандарту для диференціальних глобальних навігаційних супутникових систем.

Стандарт RTCM підтримує дуже високу точність навігації та позиціонування через трансляцію від опорної станції до мобільних приймачів. Сподіваючись на використання нових супутникових систем позиціонування,

поправка вносить ефемерні повідомлення та набір нових множинних повідомлень сигналу (MSM) для японської супутникової системи Quasi-Zenith (QZSS). Нові сигнали приєднуються до повідомлень GPS та GLONASS, а також повідомлень Galileo та BeiDou System (BDS). Повідомлення про ефемериди QZSS містить супутникові ефемериди, точність та стан здоров'я (сигнал та дані).

Стандарт RTCM "Версія 3": RTCM 10403.2 - це подальший розвиток стандарту DGNS RTCM "Версія 3", що підтримує метод Kinematic в реальному часі (RTK). RTK дозволяє швидко і точно визначити позицію мобільного приймача, без необхідності обробляти дані, як це було необхідно для попередніх методологій. "Версія 3" підтримує розповсюдження інформації про мережу RTK на великих територіях, охоплених мережею довідкових станцій. Він розроблений для підтримки різноманітних технологій мереж, зберігаючи при цьому сумісність постачальника послуг та обладнання користувача. Раніше видання "Версії 3" включали загальні повідомлення, а також повідомлення для американської глобальної системи позиціонування (GPS) та російської системи GLONASS.

RTCM 10403.2 вводить кілька сигнальних повідомлень (MSM). Подібна природа спостережуваних даних для кожної з відомих на даний момент GNSS (як операційної, так і планової) дозволяє представити всі спостережувані дані для кожної GNSS у універсальному форматі. Загальна структура MSM описана спочатку за допомогою загальних чисел поля. Наступні визначення для кожної з GNSS, яка включає визначення для специфічних полів для GNSS. MSM поділяються на компактні та повноцінні повідомлення, подібно до попереднього підходу RTCM.

MSM призначені для охоплення наступного:

- Максимальна сумісність з RINEX-3;
- замінені застарілі повідомлення RTCM-3 (MT1001-1004 та MT1009-1012), передаючи найважливішу інформацію в узагальненому вигляді, включаючи нові сигнали та GNSS;

- універсальність для всіх існуючих та майбутніх сигналів GNSS;
- компактність викладу;
- без двозначності в інтерпретації;
- простота декодування;
- гнучкість та масштабованість.

Організація повідомлень однаково добре підходить для:

- Повністю розгорнутий GNSS з кожним супутником, що передає один і той же набір сигналів.

Перехідний період GNSS, коли різні супутники передають різні набори сигналів.

Передумови щодо GNSS та DGNSS: Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) надають інформацію про географічне положення від сузір'я супутників на орбіті до приймачів у морі, на землі та в повітрі. Найвідоміші з цих систем - американська система глобального позиціонування (GPS) та російська система GLONASS. Аналогічні послуги надаватимуть європейська система Galileo та китайська система BeiDou. Разом вони відомі як глобальні навігаційні супутникові системи, і вони можуть забезпечувати точність позиції в діапазоні від 10 метрів до 15 метрів. Регіональна японська супутникова система Квазі-Зеніт (QZSS) тепер включений.

Настільки вражаючі, як і системи GNSS, вони, можливо, безпосередньо не забезпечують точності, які є достатньо хорошими, щоб розраховувати, наприклад, для кораблів, що заходять у гавані, або стикування. Хоча супутники мають потенціал для надання більш точних позицій, атмосферні та інші ефекти погіршують якість супутникових сигналів. Супутникові сигнали можна виправити за допомогою опорних станцій у точно відомих місцях, які транслюють виправлення на приймачі GNSS поблизу. Ця методика відома як Диференціальна послуга GNSS (DGNSS), і вона дозволила чітко орієнтуватися не тільки на кораблях, але і на літаках, і наземних транспортних засобах. Техніка DGNSS, відома як кінематика в реальному часі (RTK), може забезпечити точність у сантиметровому діапазоні. Це дало змогу тракторам

кожен раз перетинати сільськогосподарські поля точно в одній і тій же доріжці, покращуючи врожайність сільськогосподарських культур, і снігові плуги швидко працювати через дороги, закопані під інакше безплідним сніговим полем. Геодезисти використовують DGNS для точного документування.

РОЗДІЛ 3

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ RTCM-ПОПРАВOK КАСТЕРУ ГАО НАН УКРАЇНИ

3.1. Призначення та принцип роботи кастера з передавання поправок

Мережеве пересилання даних RTCM через IP (NTRIP) - це протокол, який використовується для надавання даних корекції RTK через Інтернет. По суті, клієнт підключається до якогось пристрою, що обслуговує потік, і запитує копію цих даних. Транспортування даних корекції RTK через Інтернет є альтернативою використанню радіостанцій для транспортування даних. Приймачі GNSS не знають і не цікавлять, як дані про виправлення потрапляють до них, тому ми можемо перенести їх будь-яким способом, доки байти будуть у тому ж порядку, коли вони потраплять на ровер.

Умови:

- компоненти програмного забезпечення NTRIP були названі погано, що спричинило плутанину щодо того, які саме частини чекають з'єднання та які ініціюють запити;

- клієнт NTRIP (функціонує як клієнт TCP/IP) - Це на стороні ровера. Він ініціює підключення до Caster, запитуючи дані про певний потік;

- сервер NTRIP (функціонує як клієнт TCP/IP) - Це на базі базової станції. Він ініціює підключення до Caster, просячи завантажити дані для певного потоку;

- NTRIP Caster (функціонує як сервер TCP/IP) - це пристрій, який прослуховує з'єднання, і передаватиме дані з одного сервера NTRIP багатьом клієнтам NTRIP.

Випадок 1 - Кастер і Сервер знаходяться в різних місцях:

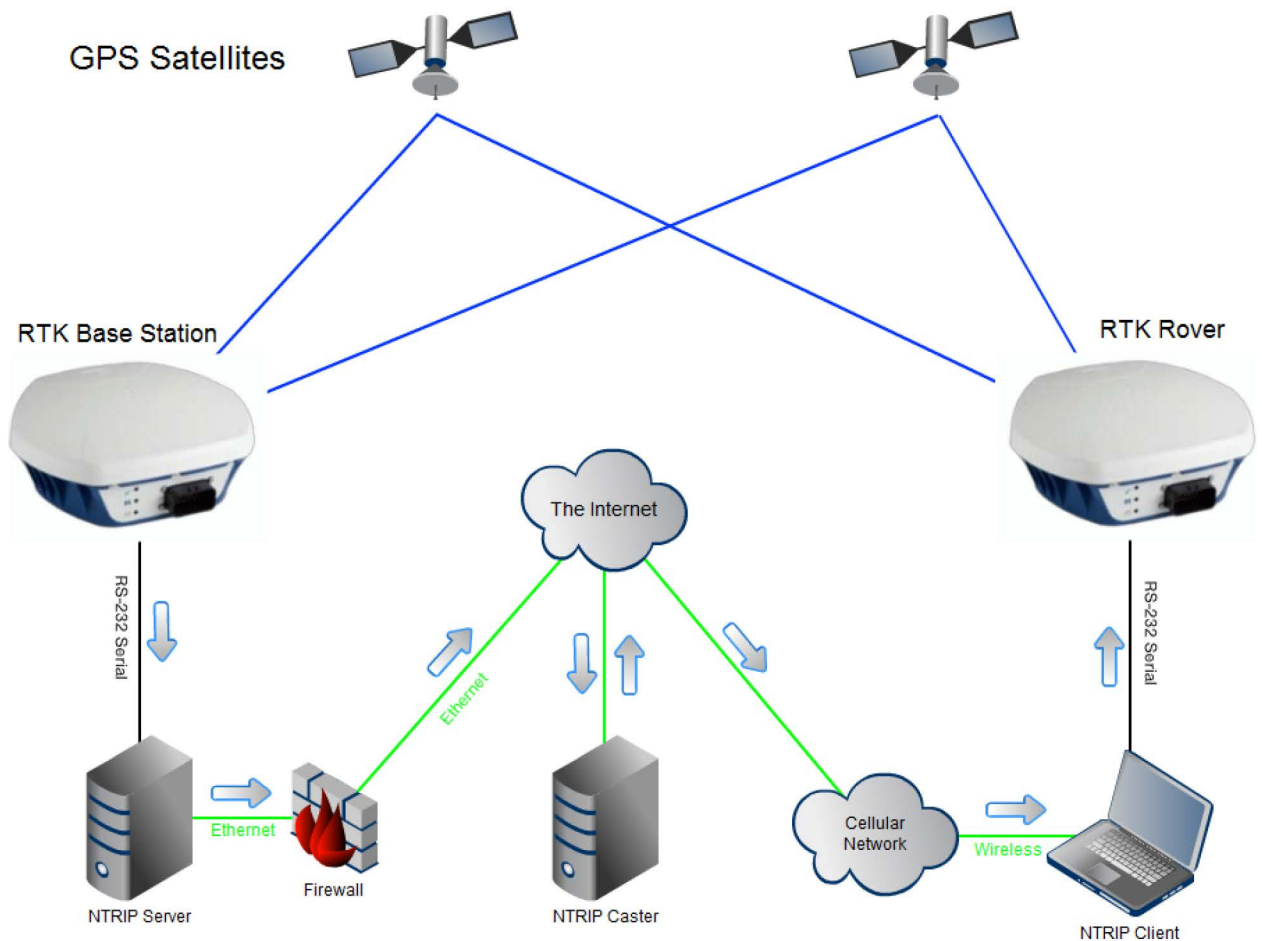


Рис. 3.1. Кастер і Сервер знаходяться в різних місцях

В цьому випадку Кастер зазвичай буде знаходитись в центрі обробки даних, так як він просто переміщує дані. Кожна базова станція має послідовне підключення до сервера NTRIP, який інкапсулює дані в пакети протоколу TCP/IP і посилає їх на МБЛЗ.

Проводячи керування NTRIP Caster, вам потрібно буде переконатися, що ваш брандмауер дозволяє TCP - пакети програмного забезпечення на будь-який номер порту. Як NTRIP сервер і NTRIP Client буде підключатися до Кастера на своєму загальнодоступному IP на номер порту.

Якщо ви керуєте NTRIP сервером, вам не потрібно робити нічого особливого в брандмауері. Функції А NTRIP сервера в якості клієнта TCP/IP означає, що він ініціює з'єднання з Кастером. Ви повинні знати IP-адресу і

номер порту на МБЛЗ, а також точку (потік) і пароль для передачі даних до цієї точки.

Випадок 2 - Кастер і Сервер – один і той самий пристрій:

Це, ймовірно, буде ідеальним рішенням для випадків, коли у вас буде тільки один потік даних і невелика кількість клієнтів. Програмне забезпечення Lefebure NTRIP Caster включає в себе можливість підключення до одного послідовного порту.

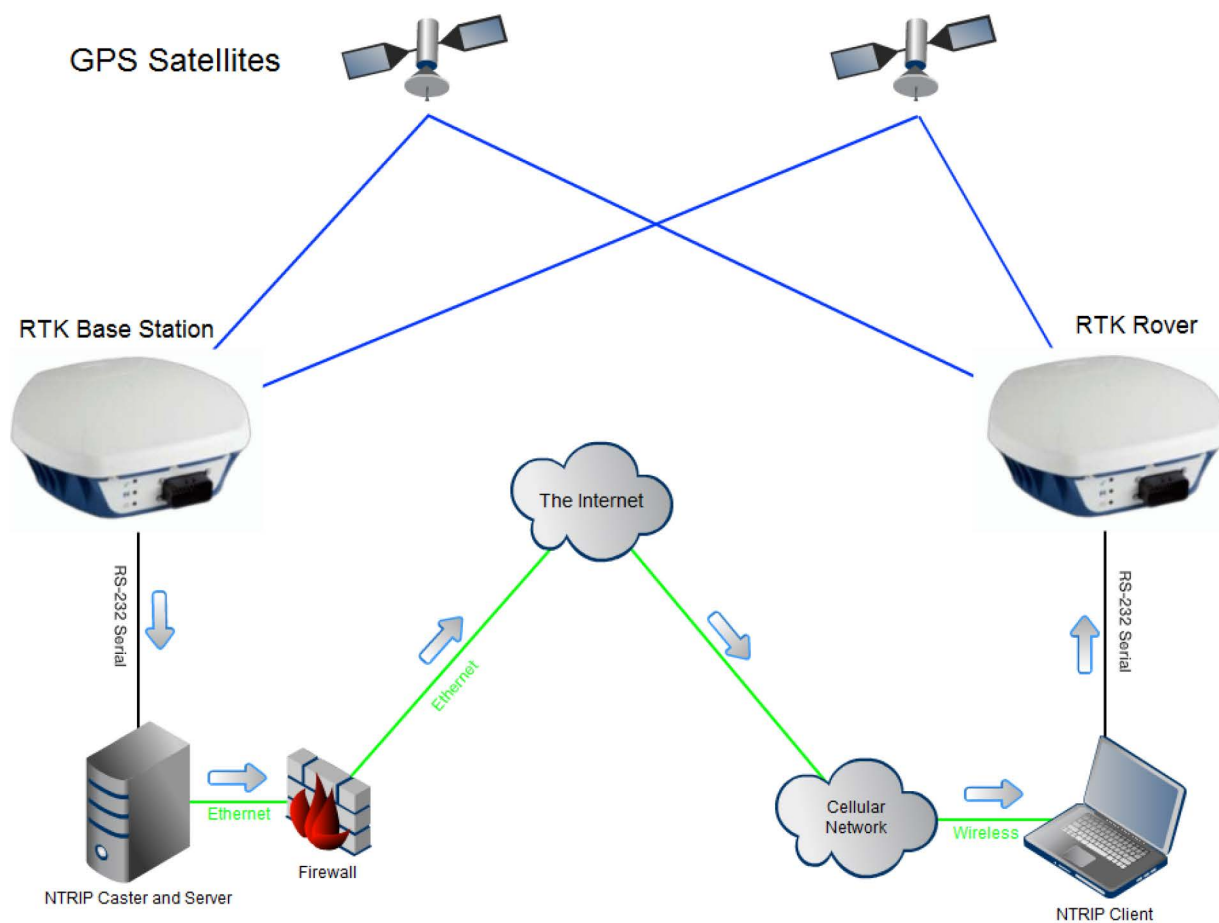


Рис. 3.2. Кастер і Сервер – один і той самий пристрій

В цьому випадку клієнти зазвичай живуть в офісі або вдома, фізично близько базова станція. Там повинно бути послідовне з'єднання між базовою станцією RTK і комп'ютером, який означає, що ви обмежені максимальною відстанню ваші кабелі можуть нести послідовні дані.

NTRIP Клієнти повинні підключитися до заклинателів, що означає, що вам потрібно буде мати:

- Надійний комп'ютер, щонайменше, один послідовний порт.
- Надійне підключення до Інтернету.
- Статичний IP - адрес від вашого інтернет-провайдера (IP-адреса не змінюється).
- Налаштований брандмауер дозволить перенаправлення портів TCP на внутрішній IP-адреса комп'ютера, на якому виконується програмне забезпечення Caster.
- Клієнт повинен також мати вручну призначений IP - адреса внутрішньої мережі, щоб брандмауер завжди переадресовував вхідні дані для правильності пристрою.

3.2. Відомості про кастер ГАО НАН України

Головна астрономічна обсерваторія Національної Академії Наук України (ГАО НАНУ) - українська астрономічна обсерваторія, розташована в Голосіївському лісі в 12 км на південь від центру Києва (звідси походить її неофіційна назва - Голосіївська обсерваторія) на висоті 213 метрів над рівнем моря. Заснована 17 липня 1944 року по ініціативі академіка АН УРСР А. Я. Орлова. Складається з 8 наукових відділів. Є засновником Української Астрономічної Асоціації. У обсерваторії є філія в Терскол (Кабардино-Балкарія, Північний Кавказ, Росія).

З грудня 2003 року в Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України проводиться регулярна обробка та з 2010 року – репроцесинг ГНСС-спостережень на постійнодіючих ГНСС-станціях, що розташовані на території України та сусідніх країнах.

В результаті, з високою точністю доступні координати, швидкості та тропосферні параметри ГНСС-станцій.



Рис. 3.3. Головна астрономічна обсерваторія Національної Академії Наук України (ГАО НАНУ)

Таблиця 3.1

Обладнання

	Обладнання	Дата встановлення
Приймач	«Trimble NetR9» (Код IGS: «TRIMBLE NETR9»)	21 червня 2019 р.
Антенa	«Zephyr 3 Geodetic» (Код IGS: «TRM115000.00»)	21 червня 2019 р.
Купол	«NONE»	
Кабель	«LMR-400», 30 м	21 червня 2019 р.



Рис. 3.4. Антена ГАО НАНУ

Таблиця 3.2

Координати та швидкості, визначені EUREF

	IGb08 (епоха: 2005.0)	ETRF2000 (епоха: 2005.0)
X, м	3512888,954 ± 0,000	3512889,325 ± 0,000
Y, м	2068979,882 ± 0,000	2068979,689 ± 0,000
Z, м	4888903,200 ± 0,000	4888903,020 ± 0,000
V _x , м/рік	-0,0195 ± 0,0000	+0,0005 ± 0,0000
V _y , м/рік	+0,0142 ± 0,0000	-0,0009 ± 0,0000
V _z , м/рік	+0,0084 ± 0,0000	-0,0006 ± 0,0000

Таблиця 3.3

Загальна інформація про ГНСС-станцію «Сміла» (SMLA)

Станція:	«Сміла»
Ідентифікатор:	SMLA
Номер DOMES:	15503M001
Дата встановлення:	20 листопада 2008 р., день року – 325, GPS-тиждень – 1506
Місце знаходження:	ДП «Оризон-Навігація», м. Сміла
Включено до EPN:	1 листопада 2009 р., день року – 305, GPS-тиждень – 1556
Поточний log-файл:	smla_20150505.log

Таблиця 3.4

Обладнання

	Обладнання	Дата встановлення
Приймач	«NovAtel DL–V3» (Код IGS: «NOV OEMV3»)	20 листопада 2008 р.
Антенa	«GPS–702–GG» (Код IGS: «NOV702GG»)	20 листопада 2008 р.
Купол	«NONE»	
Кабель	«Belden H–1000», 45 м	20 листопада 2008 р.

Таблиця 3.5

Координати та швидкості

	ITRF2008 (епоха: 2011.0)	ETRF2000 (епоха: 2011.0)
X, м	3546267,623 ± 0,000	3546268,137 ± 0,000
Y, м	2204464,002 ± 0,000	2204463,704 ± 0,000

Z, м	4805379,225 ± 0,000	4805378,984 ± 0,000
Vx, м/рік	N/A	N/A
Vy, м/рік	N/A	N/A
Vz, м/рік	N/A	N/A

3.3. Моніторинг якості RTCM поправок з кастору ГАО НАН України

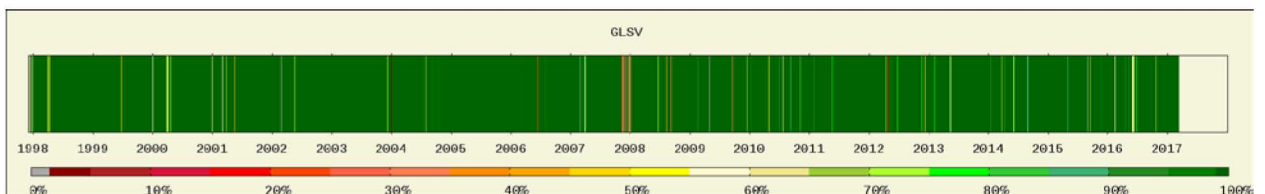


Рис. 3.5. Доступність спостережень GLSV

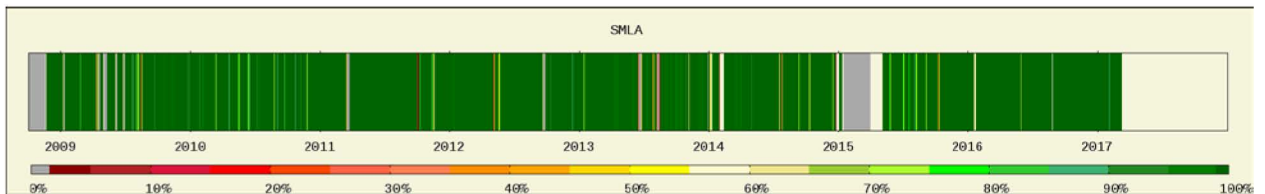


Рис. 3.6. Доступність спостережень SMLA

Для моніторингу якості RTCM поправок з кастору ГАО НАН України потрібно виконати наступний комплекс дій:

Відкриваємо програмний комплекс BNC та заповнюємо дані по ГНСС-станції

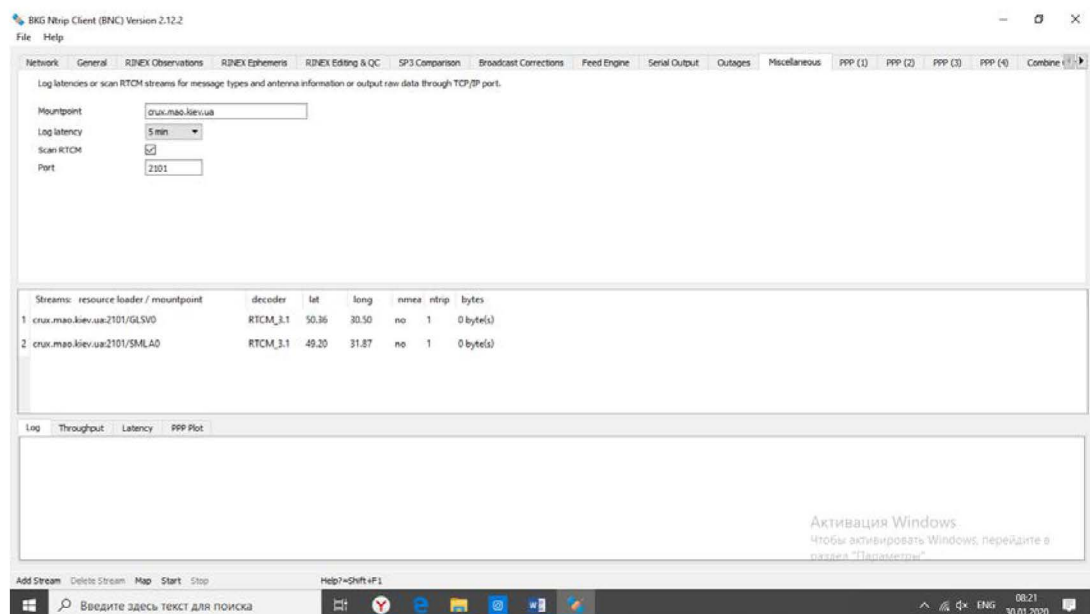


Рис. 3.7. Miscellaneous

Натискаємо на кнопку додати Кастер

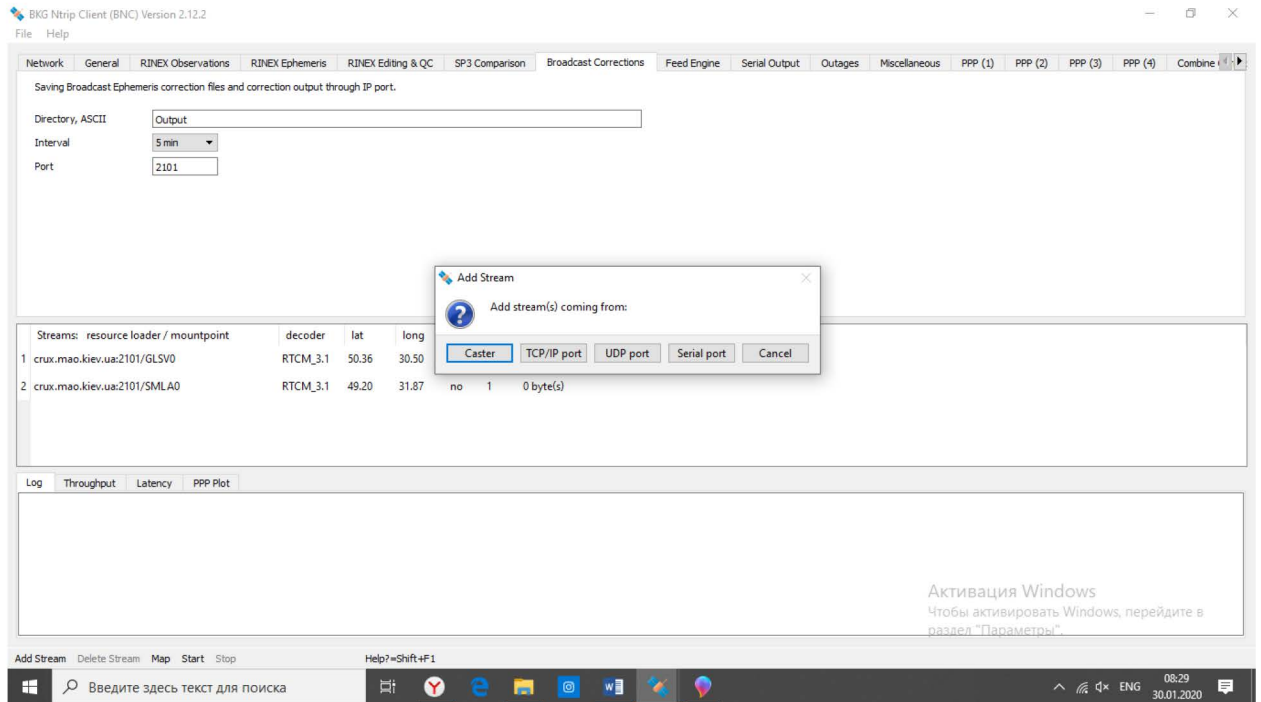


Рис. 3.8. Add Caster

Заповнюємо всі дані по ГНСС-станції

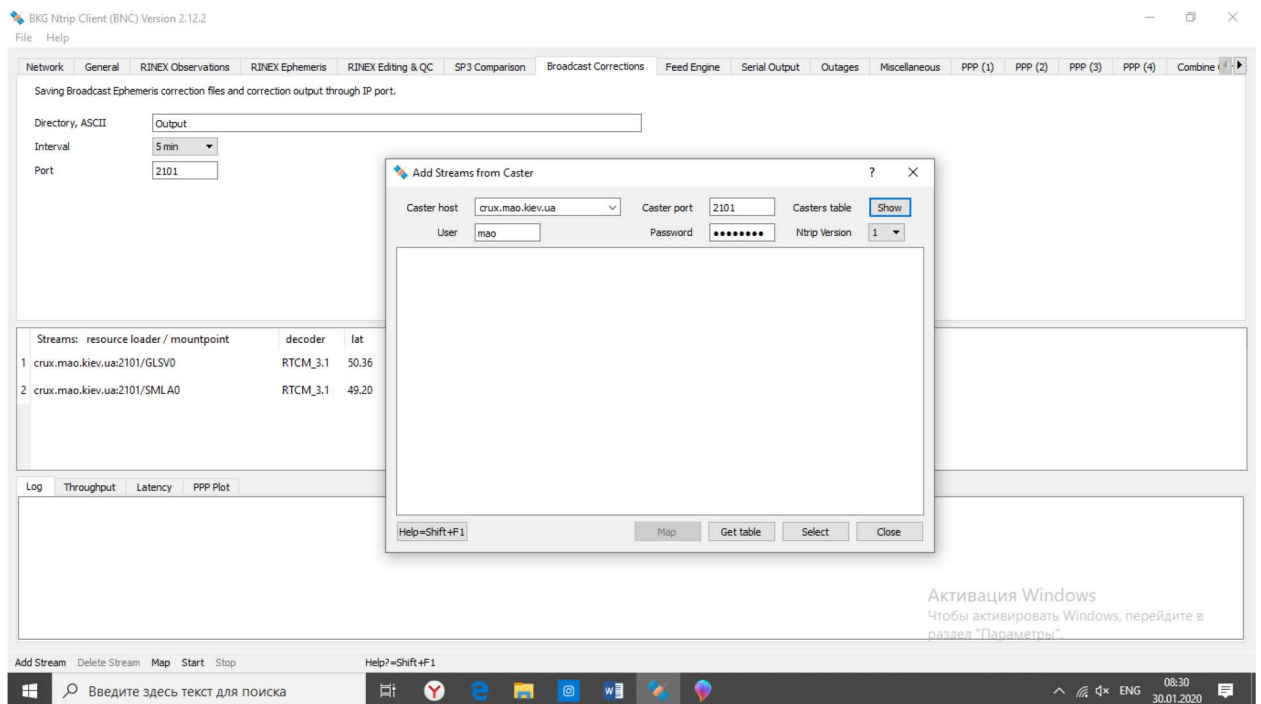


Рис. 3.9. Add streams

Вибираємо потрібні нам ГНСС станції та натискаємо Select

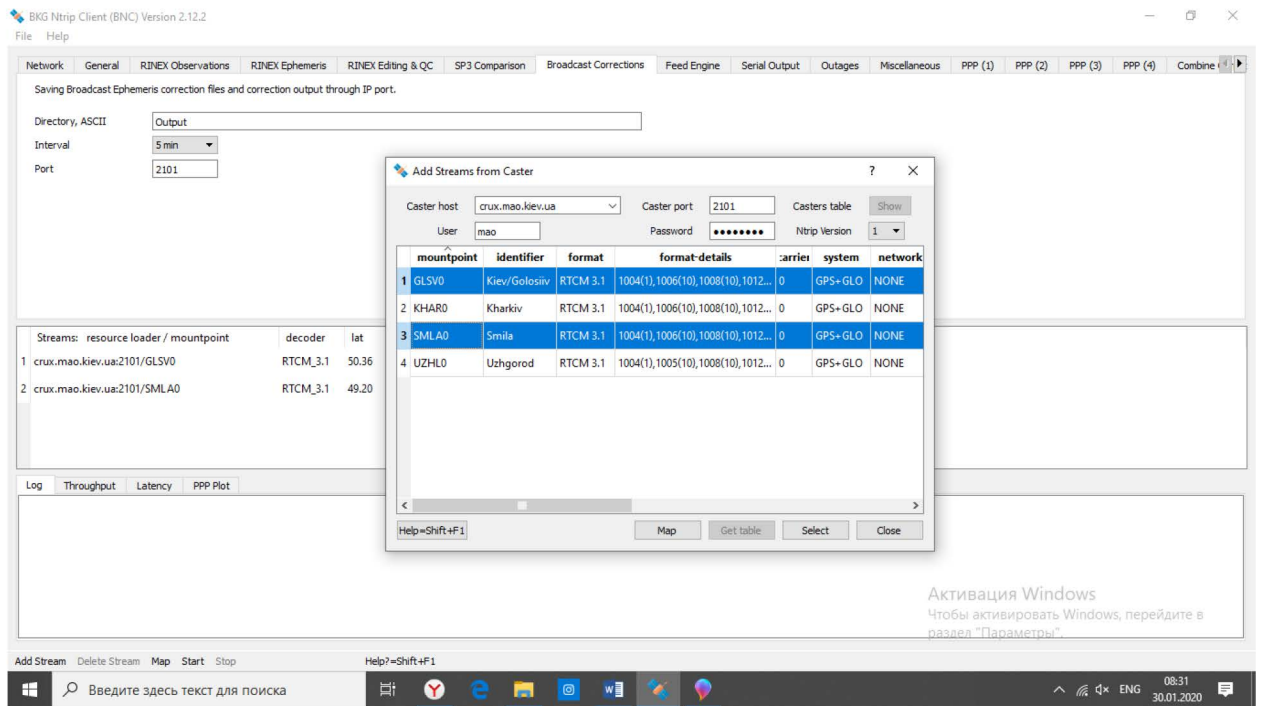


Рис. 3.10. Select

Також можна проглянути карту з ГНСС-станціями натиснувши Map

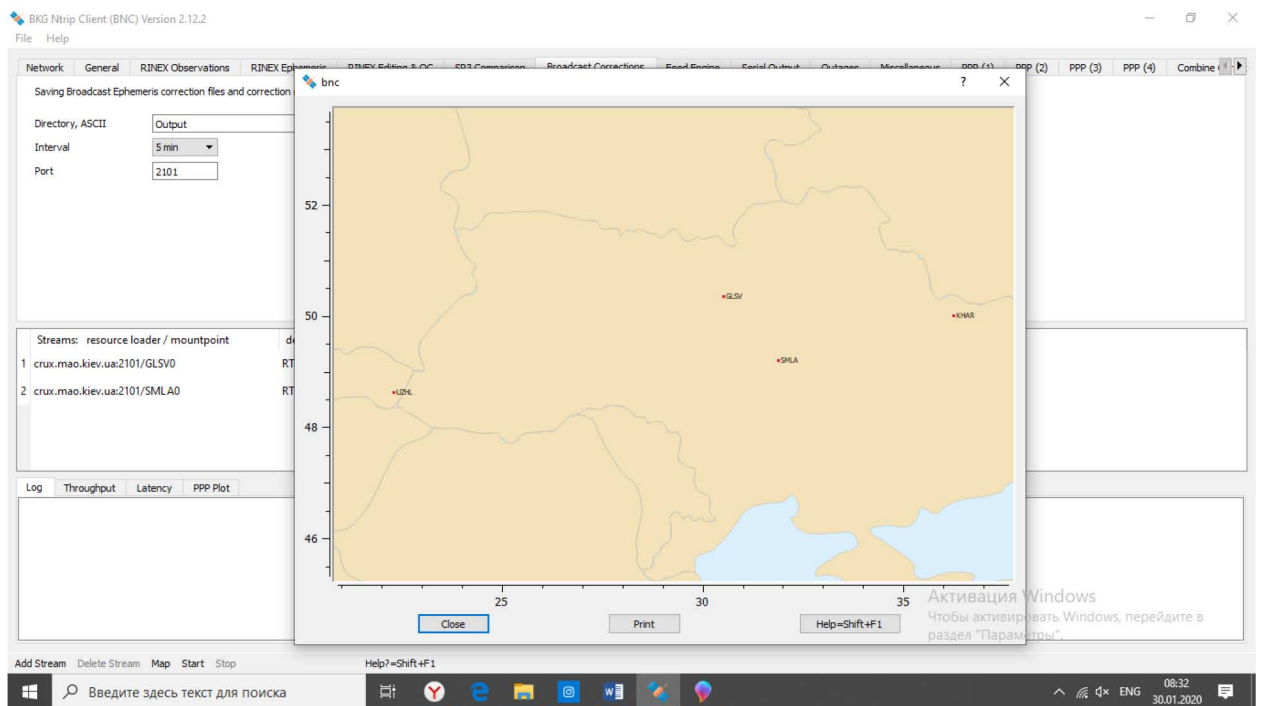


Рис. 3.11. Map

В результаті виконання дипломної роботи було побудовано графіки для моніторингу якості RTCM поправок з кастору ГАО НАН України

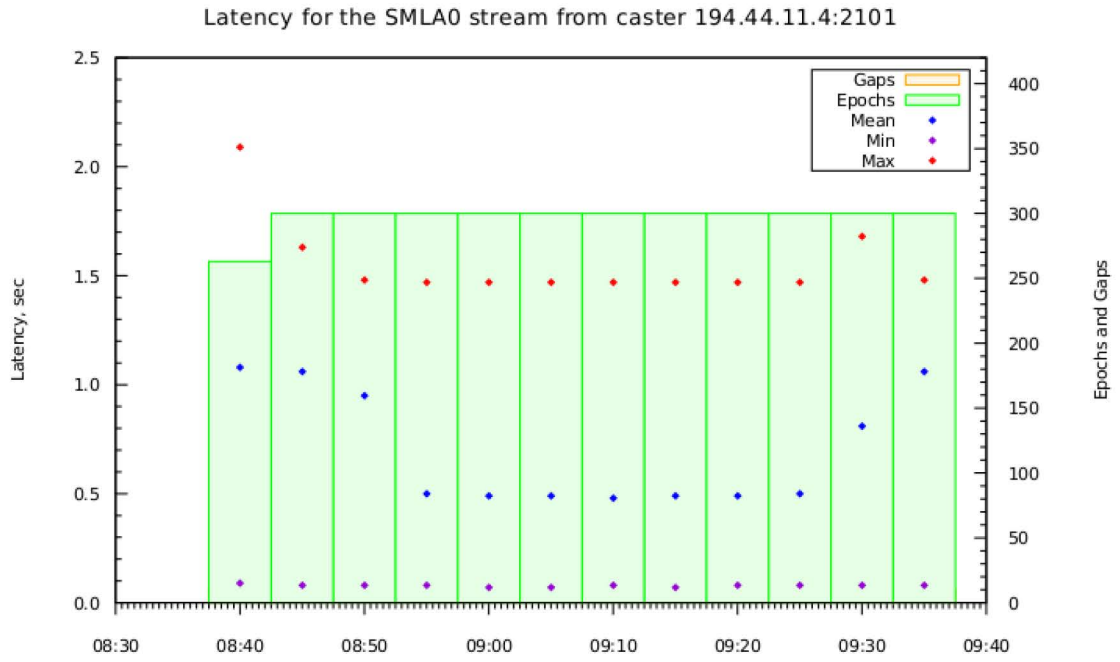


Рис. 3.12. Якість надходження поправок з SMLA

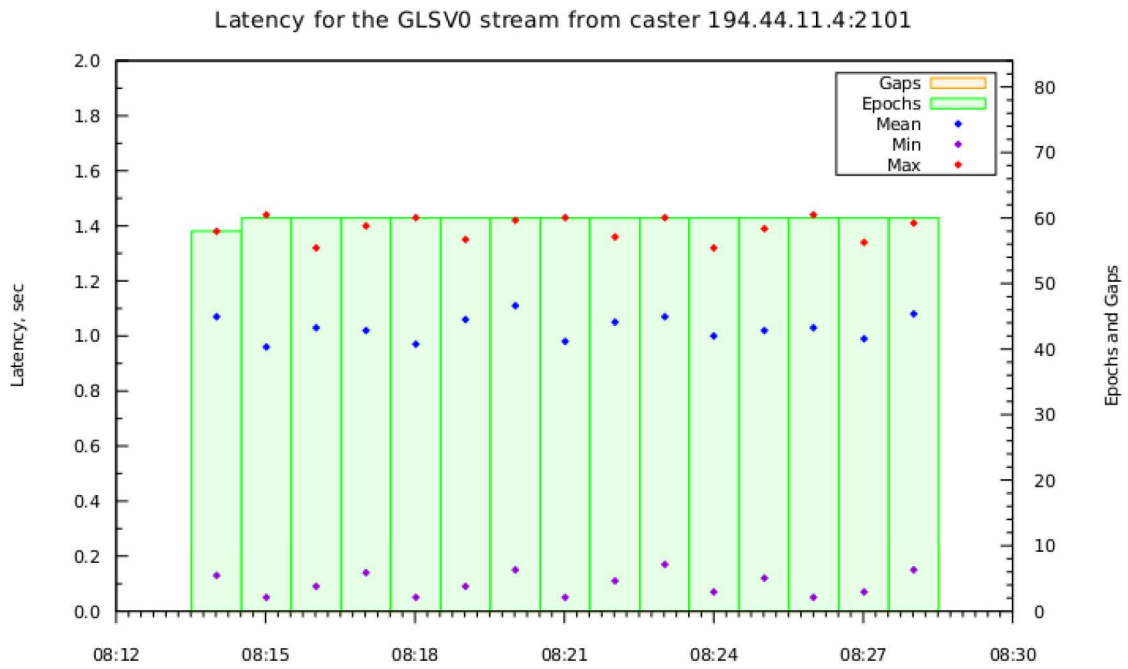


Рис. 3.13. Якість надходження поправок з GLSV

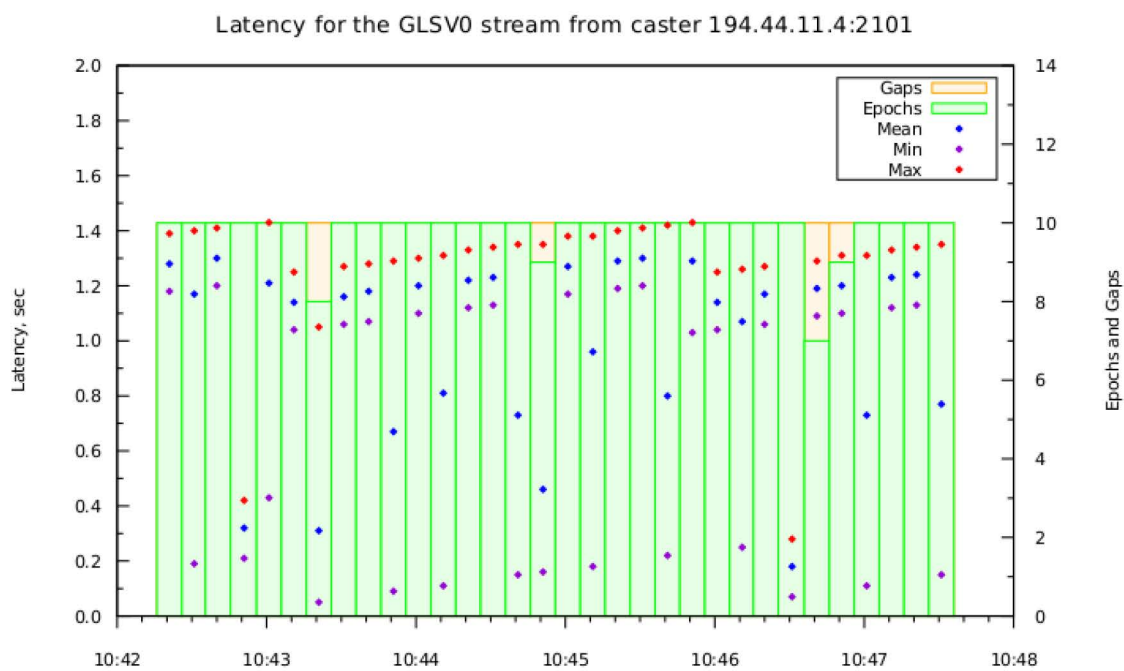


Рис. 3.14. Якість надходження поправок з GLSV з інтервалом в 1 хвилину

ВИСНОВКИ

1. Висвітлено та досліджено загальні відомості про диференціальні підсистеми супутникової навігації та їх види.
2. Вивчено програмний комплекс BKG NTRIP Client (BNC) та формат поправок RTCM.
3. Проаналізовано потоки даних із ГНСС-станцій GLSV та SMLA.
4. Проведено аналіз якості моніторингу передавання даних з ГНСС-станцій.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Global Positioning System: Theory and Applications. Edited by B.W. Parkinson and J.J. Spilker Jr. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. 1996.
2. Muellerschoen R.J., Bertiger W.I., Lough M., Stovers D. and Dong D. An Internet-Based Global differential GPS System, Initial Results. ION National Technical Meeting. Anaheim. CA. Jan. 2000.
3. Muellerschoen R.J., Bar-Sever Y.E., Bertiger W.I., Stovers D.A. Decimeter Accuracy. NASA Global DGPS for High-precision Users. GPS World. January 2001. 14-20 с.
4. Манин А.П., Романов Л. М. Методы и средства относительных определений в системе NAVSTAR // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. 33-45 с.
5. Шебшаевич В.С., Григорьев М.Н., Кокина Э.Г., Мищенко И.Н., Шишман Ю.Д. Дифференциальный режим сетевой спутниковой радионавигационной системы // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. 5-32 с.
6. RTCM paper 11-98/sc104-std. RTCM recommended standarts for differential gnss (global navigation satellite systems) servise. version 2.2. developed by rtcм spesial committee no. 104. JANUARY 15, 1998. Radio Technical commission For Marine Services. 1800 Diagonal Road. Suite 600. Alexandria. Virginia 22314-2840 U.S.A.
7. Whitehead M.L., Penno G., Feller W.J., Messinger I., Bertiger W.I., Muellerschoen R.J., Ijima B.A., Piesinger G. A Close Look at Satloces Real-Time WADGPS System. GPS Solutions. 1998. 46-63 с.
8. Muellerschoen R.J., Bertiger W.I., Whitehead M.L. Flight Tests Demonstrate Sub 50 cms RMS Vertical WADGPS Positioning. Proceedings of ION GPS-99. Nashville. Tenn. September 1999. 199-210 с.
9. Ceva J., Parkinson B., Bertiger W., Muellerschoen R., Yunck T. Incorporation of Orbital Dynamics to Improve Wide-Area Differential GPS. Proceedings of ION

GPS-95. The 8th International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation. 647-659 с.

10.Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Головна_астрономічна_обсерваторія_НАН_України.

11.Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/226922592_Networked_Transport_of_RTCM_via_Internet_Protocol_NTRIP.

12.Режим доступу: <https://gdr.com.ua/articles/chto-takoe-rtk-navigatsiya-po-rtk-real-time-kinematic-samaya-tochnaya-navigatsiya-do-millimetrov>.

13.Режим доступу: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/egnos-system/about-egnos.

14.Режим доступу: <http://gnss.mao.kiev.ua>.

15.Режим доступу: <https://geodesist.ru/threads/kak-rabotaet-NTRIP-protokol.64980>.

16.Режим доступу: <http://trunk.kz/differencialnye-popravki>.

17.Режим доступу: <https://smartnet.geosystems.ru/materialy/opisanie-protokola-NTRIP>.

18.Режим доступу: <http://vestnik-glonass.ru/ugolok-chitatel'ya/glossariy/kommentarii.php>.

19.Режим доступу: <https://igs.bkg.bund.de/NTRIP/bnc>.

20.Режим доступу: <https://russiandrone.ru/publications/sposoby-svyazi-gnss-priemnikov>.

21.Режим доступу: <https://en.ppt-online.org/433139>.

22.Режим доступу: http://www.kmcgeo.com/UAPOS/Kiev_City.htm.

23.Режим доступу: <https://www.agrortk.com.ua/set-rtk/tehnologiya-agrortk>.

24.Режим доступу: <https://land.gov.ua/info/proekt-postanovy-kabinetu-ministriv-ukrainy-pro-vnesennia-zmin-do-poriadku-pobudovy-derzhavnoi-heodezychnoi-merezhi>.

25.Режим доступу: <http://lefebure.com/articles/rtk-correction-data-formats>.

26. Gebhard, H., Weber G.: “Networked Transport of RTCM via Internet Protocol”, DesignProtocol-Software, published by Federal Agency for Cartography and Geodesy, June 2003.

27. Weber, G., Dettmering, D., Gebhard, H.: “Networked Transport of RTCM via Internet Protocol”, paper, published by Federal Agency for Cartography and Geodesy.

28. Weber, G., Honkala, M.: “The future is talking NTRIP”, article Trimble Newsletter, published by Trimble GmbH Raunheim, 2004.

29. Bauer, M.: “Vermessung und Ortung mit Satelliten”, Herbert Wichmann Verlag, Hüthing GmbH & Co. KG, published 2003.

30. https://www.researchgate.net/publication/259638117_Basics_of_RTCM_31_Transformation_Messages_Standard_for_GNSS_Positioning_Services.