

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури, будівництва та ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Хмільовська Адріана Романівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.48
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
« Дослідження продуктивності використання мульті GNSS
приймачів у різних умовах застосування »
(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

А.Р. Хмільовська, студентка групи ГЗ-21-1

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник: ст. викладач Андрій Матішук
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада)

(підпис) (дата)

проф. Микола ПРИХОДЬКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

(посада)

(підпис) (дата)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут архітектури та будівництва 'ІФНТУНГ-ДонНАБА'

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та землеустрою

проф. Микола ПРИХОДЬКО

" ____ " _____ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Хмільовській Адріані Романівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Дослідження продуктивності використання мульті GNSS приймачів у різних умовах застосування »

керівник роботи: ст. викладач Андрій Матішук

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

затверджена наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом роботи _____ року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Матеріали та інструменти для дослідження
2. Територія дослідження
3. Аналіз даних спостережень у реальному часі

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Дата видачі завдання: _____

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Матеріали та інструменти для дослідження		
2	Територія дослідження		
3	Аналіз даних спостережень у реальному часі		
4	Оформлення бакалаврської роботи		

Студент

_____ ***Хмільовська А. Р.***
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ ***Матіщук А.В.***

Анотація

Раніше багатодіапазонні GNSS-чіпи зустрічалися виключно в геодезичному устаткуванні – їхня ціна робила їх розкішшю для масового ринку.

Та науковий прорив та зменшення собівартості обладнання відкрили навігацію з супутників для різноманітних задач.

Зараз велика кількість космічних угруповань забезпечує надійне та точне визначення координат, що сприяє розширенню можливостей GNSS-технологій.

Сучасні системи супутникової навігації здобули широке застосування не лише у повсякденному житті, а й у сферах точної геодезії та картографії, забезпечуючи їх найвищу деталізацію.

Вони знайшли своє місце в організації транспортних потоків, системі навігації для різноманітних транспортних засобів, спостереженні за поверхнею планети, мобільному супутниковому зв'язку, складанні прогнозів погоди, автоматизованому управлінні рухом транспорту, сільському господарстві та навіть в інтелектуальних технологіях, що робить наше життя комфортнішим.

Об'єднання GNSS з іншими передовими технологіями, як-от інерціальні навігаційні системи (INS) та методи машинного навчання для визначення позиції об'єктів у реальному часі, відкриває шлях до досягнення ще більшої точності та надійності.

На сьогоднішній день існують різні геодезичні приймачі, здатні визначати координати з високою точністю, аж до міліметрів.

Проте, бюджетні моделі мають свої недоліки.

Наприклад, в умовах щільної міської забудови, де прийом сигналів від супутників ускладнений, часто спостерігається затримка у визначенні положення, а також значний вплив багатопроменевості та інших похибок.

Зокрема, одночастотні приймачі значно поступаються в точності, якщо прийом сигналу утруднений.

У процесі роботи над бакалаврським проектом, було зосереджено увагу на вивченні характеристик точності та стабільності низки систем GNSS (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo).

Дослідження проводились як з використанням одночастотних, так і двочастотних приймачів, з акцентом на кінематичне позиціонування.

Основний етап дослідження передбачав проведення польових вимірювань в умовах щільної міської забудови.

Для цього було задіяно як одночастотні приймачі (Emlid Reach GNSS), так і двочастотні прилади, серед яких Tersus Precise BX306 та Piksi Multi GNSS.

Отримані масиви інформації було досліджено одночасно з надходженням та після завершення збору, щоб виміряти вплив різноманітних параметрів на точність встановлення місцезнаходження.

Дослідження продемонструвало, що застосування багатодіапазонних приймачів суттєво знижує погрішності визначення позиції, навіть коли умови навколишнього середовища є несприятливими.

Крім того, було встановлено, що використання алгоритмів для опрацювання інформації здатне значно поліпшити отримані результати, мінімізуючи вплив перешкод та випадкових спотворень.

Отримані дані відкривають перспективу для глибшого розвитку триточкового позиціонування.

Їх можна ефективно застосовувати вдосконалюючи вже наявні алгоритми, зокрема, при створенні систем для безпілотного транспорту.

Також, ці результати корисні для контролю стану будівельних споруд, у геодезичній практиці під час будівництва та інших проектах, що вимагають точного і негайного визначення просторових координат.

Abstract

Previously, multi-band GNSS chips were found exclusively in surveying equipment - their price made them a luxury for the mass market.

But a scientific breakthrough and a decrease in the cost of equipment have opened up satellite navigation for a variety of tasks.

Now a large number of space constellations provide reliable and accurate determination of coordinates, which contributes to the expansion of the capabilities of GNSS technologies.

Modern satellite navigation systems have gained wide application not only in everyday life, but also in the fields of precise geodesy and cartography, providing their highest level of detail.

They have found their place in the organization of transport flows, navigation systems for various vehicles, observation of the planet's surface, mobile satellite communications, weather forecasting, automated traffic management, agriculture and even in intelligent technologies, which makes our lives more comfortable.

Combining GNSS with other advanced technologies, such as inertial navigation systems (INS) and machine learning methods for determining the position of objects in real time, opens the way to achieving even greater accuracy and reliability.

Today, there are various geodetic receivers capable of determining coordinates with high accuracy, down to millimeters.

However, budget models have their drawbacks.

For example, in dense urban areas, where reception of signals from satellites is difficult, there is often a delay in determining the position, as well as a significant impact of multipath and other errors.

In particular, single-frequency receivers are significantly inferior in accuracy if signal reception is difficult.

During the work on the bachelor's project, attention was focused on studying the accuracy and stability characteristics of a number of GNSS systems (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo).

The research was conducted using both single-frequency and dual-frequency receivers, with an emphasis on kinematic positioning.

The main stage of the research involved conducting field measurements in dense urban environments.

For this purpose, both single-frequency receivers (Emlid Reach GNSS) and dual-frequency devices, including Tersus Precis BX306 and Piksi Multi GNSS, were used.

The received data sets were examined simultaneously with the receipt and after the completion of the collection to measure the impact of various parameters on the accuracy of location determination.

The study demonstrated that the use of multi-band receivers significantly reduces position determination errors, even when environmental conditions are unfavorable.

In addition, it was found that the use of algorithms for information processing can significantly improve the results obtained, minimizing the impact of interference and random distortions.

The obtained data open up prospects for further development of three-point positioning.

They can be effectively applied to improve existing algorithms, in particular, when creating systems for unmanned transport.

Also, these results are useful for monitoring the condition of construction structures, in geodetic practice during construction and other projects that require accurate and immediate determination of spatial coordinates.

Зміст

Вступ

1. Матеріали та інструменти для дослідження

1.1 Додаткове устаткування та програмне забезпечення

1.2 Умови випробувань

2. Територія дослідження

2.1 Рішення для позиціонування RTK

3. Аналіз даних спостережень у реальному часі

Висновок

Список використаних джерел

Вступ

Застосування дешевих GNSS-приймачів для отримання координат з надзвичайною точністю є надзвичайно важливим для низки сфер діяльності.

Серед них: точне сільське господарство, спостереження за зміщеннями земної кори, мобільне картографування місцевості, керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та моніторинг зсувів ґрунту.

Сучасний ринок обладнання GNSS тішить розмаїттям пристроїв: від висококласних, тричастотних геодезичних апаратів, що оперують з кількома супутниковими системами, до бюджетних одночастотних рішень, орієнтованих на широкий загал споживачів.

Геодезичні приймачі, звичайно, гарантують найвищу точність вимірювань.

Проте, сантиметрові результати цілком досяжні і з використанням менш вартісного обладнання, якщо правильно застосувати відповідні методики обробки отриманих даних.

Зокрема, навіть бюджетні одночастотні GNSS-приймачі здатні забезпечити достатньо високу точність визначення місцезнаходження в реальному часі, за умови застосування корекцій на основі безперервно діючої постійної референц-станції.

Для отримання ще більш прецизійних даних, можливе виконання всебічного аналізу отриманої інформації після завершення збору даних, враховуючи потенційні похибки та необхідні поправки, обумовлені атмосферними явищами.

Окрім того, в наявності також існують бюджетні двочастотні приймачі, які функціонують на двох основних частотах (L1 та L2).

Це дієво нівелює похибки, викликані атмосферними впливами та впливом довкілля, і суттєво збільшує точність визначення положення.

У випадку належного усунення фазової невизначеності несучої частоти, стає можливим досягнення сантиметрової точності навіть в умовах з ускладненими факторами.

Попередні дослідження вже продемонстрували, що застосування двочастотних GNSS-приймачів суттєво прискорює процес усунення неоднозначності (AR) у відкритих просторах, якщо порівнювати з одночастотними.

Це має велике значення для кінематичних застосувань, як-от відстеження транспортних засобів, навігація безпілотних літальних апаратів та автономні системи управління.

Швидкий прогрес мульти-GNSS технологій суттєво підвищив ефективність позиціювання в режимі реального часу (RTK), використовуючи при цьому доступні за ціною приймачі й антени.

Це стало реальністю, перш за все, через розширення кількості супутників та вдосконалення просторової конфігурації, що призводить до зменшення похибок у визначенні позиції.

Упродовж останніх років спостерігається значне покращення точності позиціювання та відстеження різних об'єктів, зокрема транспортних засобів.

Це стало можливим завдяки інтеграції GNSS-сенсорів у звичні гаджети, як-от смартфони.

Вмонтовані у сучасні мобільні пристрої GNSS-модулі забезпечують високоточні дані про місцезнаходження.

Це відкриває нові перспективи для використання навігаційних технологій у різноманітних сферах, включаючи транспорт, логістику, безпілотні системи та концепції розумних міст.

Застосування GNSS на різноманітних приладах видається цілком виправданим, адже це гарантує зв'язок із значно більшою кількістю супутників, що в свою чергу збільшує вірогідність визначення координат з високою точністю незалежно від місця розташування.

До того ж, мульти-GNSS технологія дає можливість приймачам вибірково відкидати супутники з слабким сигналом, сприяючи покращенню точності та стабільності визначення положення.

На сьогоднішній день більшість населення має певне уявлення про GNSS-обладнання, яке знайшло широке застосування в їхньому щоденному житті.

Широко застосовувана у дорожній навігації, судноплаванні, геодезії та картографії, керуванні безпілотними апаратами й багатьох інших областях, історія технології GNSS бере початок з радіонавігаційних систем.

Прикладом може слугувати система Long Range Navigation (LORAN), котра була розроблена для забезпечення навігації морських та повітряних суден.

Відколи виникли системи супутникової навігації, дослідники активно працюють над покращенням точності визначення місця розташування, мінімізацією негативного впливу перешкод, пришвидшенням часу отримання першого фіксу (TTFF), а також удосконаленням алгоритмів обробки сигналів.

Усі GPS-приймачі послуговуються сигналами від супутників, аби визначити координати, але між ними спостерігаються суттєві відмінності.

Наприклад, вони відстежують супутники з різних навігаційних систем, серед яких GPS, ГЛОНАСС, BeiDou та Galileo, й оперують різною кількістю робочих частот.

Їхні можливості щодо коригування координат значно розрізняються, зважаючи на конструкцію приймача та спосіб опрацювання інформації, що надіюється.

Використання додаткових способів виправлення є визначальним для отримання високоточного позиціонування.

Скажімо, системи доповнення супутникової навігації, або скорочено SBAS, підвищують надійність позиціонування завдяки виправленню сигналів у режимі реального часу.

Водночас методи реального часу з кінематичною обробкою (RTK) гарантують сантиметрову точність, використовуючи дані з базових станцій.

З погляду теорії, приймачі GNSS, що працюють на одній частоті, поступаються за точністю двочастотним аналогам.

Причина полягає у неспроможності ефективно враховувати атмосферні похибки, викликані впливом іоносфери.

При автономному режимі визначення координат одночастотні приймачі переважно гарантують точність позиціонування в реальному часі на рівні кількох метрів.

Проте, застосування скоригованих даних з постійних станцій дає змогу суттєво покращити точність вимірювань, досягаючи результатів у сантиметровому діапазоні.

Коли аналіз відбувається після отримання даних, точність значно покращується.

Наприклад, досягається сантиметрова точність, використовуючи віртуальні файли RINEX (формат обміну незалежний від приймача), які створюються мережею нерухомих станцій.

Це дає значний потенціал для використання GNSS у геодезичних роботах, контролю деформацій споруд, автоматизованих транспортних системах та багатьох інших галузях, де є критично важливим точне визначення просторового розташування об'єкта.

Головною задачею нашої бакалаврської роботи є оцінка властивостей та розбір точності актуальних, недорогих одно- та двочастотних GNSS приймачів, створених для широкого загалу споживачів.

Метою нашого дослідження є встановлення дієвості цих приймачів в реальних умовах, зокрема, під час триточкового позиціювання.

Усі три приймачі, використані в нашому експерименті, передбачають застосування диференціальних корекцій, отриманих із програмного забезпечення мережі стаціонарних станцій.

Вони також мають можливість фіксувати сирі дані GNSS, серед яких фаза несучої, псевдодальності та доплерівські виміри.

Ці дані можуть бути збережені як на внутрішньому носії пам'яті пристрою, так і на зовнішніх носіях, наприклад, на ноутбучі, з метою їх подальшого та безперешкодного аналізу.

В рамках цього дослідження було реалізовано кінематичне тестування з метою оцінки точності отриманих координат в умовах динаміки.

Для досягнення поставленої мети використовувалися дані зі стаціонарних станцій, що сприяло збільшенню точності позиціонування та провело порівняльний аналіз функціонування приймача в різних умовах експлуатації.

1. Матеріали та інструменти для дослідження

Для оцінки властивостей доступних GNSS-приймачів, що забезпечують функціонування з кількома супутниковими мережами, а також одно та двочастотних приймачів, призначених для масового використання, було відібрано три різноманітні зразки, вбудовані в різні пристрої.

У даному дослідженні будуть розглянуті такі приймачі:

1. Tersus GNSS PreciS-BX306, двочастотний GNSS-приймач, здатний працювати з кількома супутниковими системами (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou та Galileo). Він забезпечує високоточне визначення координат як у реальному часі (RTK), так і після обробки даних (PPK).

2. Swift Piksi Multi GNSS від Swift Navigation – це двочастотний приймач, що вирізняється високою ефективністю, створений для отримання надзвичайно точних даних про місцезнаходження в умовах постійного руху.

Завдяки підтримці технології RTK його застосовують у таких сферах, як самокеровані транспортні засоби, роботизовані комплекси, а також безпілотні літальні апарати (БПЛА).

3 Emlid Reach RTK від EMLID – це зручний, невеличкий GNSS-приймач, з підтримкою RTK та PPK, що забезпечує надточне визначення місця розташування.

Його часто застосовують у геодезії, сільському господарстві та картографії, зокрема, для дронів.[4]

1.1 Додаткове устаткування та програмне забезпечення

Під час експерименту було використано таке обладнання та матеріали:

- GNSS антени, які сумісні з кожним приймачем. Вони забезпечували бездоганний прийом сигналу із супутників.

- Ноутбук, на якому було встановлено спеціальне програмне забезпечення. Воно використовувалося для збору, аналізу та обробки GNSS-даних.

- Мережа стаціонарно розміщених GNSS-станцій. Вони надавали дані корекції, що дозволяли підвищити точність вимірювань.

Програмне забезпечення для обробки даних:

- RTKLib – це інструментарій з відкритим кодом, розроблений для аналізу та постобробки даних GNSS спостережень.
- Tersus GNSS Centre – це програмний комплекс, призначений для керування даними та їх аналізу, отриманих з приймача Preci-BX306.
- Emlid ReachView – мобільний додаток, що дозволяє налаштовувати та моніторити роботу RTK-приймачів Emlid Reach.[4,6]

1.2 Умови випробувань




Випробування проводилися у різноманітних умовах прийому, щоб визначити точність та надійність функціонування GNSS-приймача в таких середовищах:

1. Відкрите середовище: тестування на відкритому просторі з мінімальними перешкодами для сигналу від супутників;
2. Міське середовище: тестування в умовах багатоповерхової забудови, де може виникати часткове блокування сигналу, багатопроменеve розповсюдження та інтерференція;
3. Лісова місцевість: випробування в ситуаціях, де наявні суттєві перешкоди (наприклад, ліси, крони дерев, схили) для сигналу GNSS. Крім того, досліджувався вплив на точність визначення координат використання додаткових сигналів поправок, таких як RTK і поправки Precision Point Positioning (PPP).[4]

Випробування збагатили нас масивом відомостей для детального вивчення, що дало змогу ідентифікувати як переваги, так і недоліки кожного приймача в розмаїтті робочих сценаріїв.

Технічні параметри та властивості цих приймачів викладено в таблиці 1.[4]

Таблиця 1 Технічні специфікації та особливості GNSS приймачів

GNSS приймач	Precis-BX306	Swift Multi Piksi GNSS	Emlid Reach RTK
Зображення			
Ціна	799\$	475\$	159\$
Вага	23гр.	20гр.	20гр.
Сузір'я супутників	GPS L1/L2, GLONAS G1/G2, BeiDou B1/B2	GPS L1/L2, GLONAS G1/G2, BeiDou B1/B2, Galileo E1/E5b, QZSS L1/L2	GPS L1/L2, GLONAS G1/G2, BeiDou B1/B2, Galileo E1/E5b, SBAS
Час оновлення позиції	1Hz – 20Hz	1Hz – 20Hz	1Hz – 14Hz
Формат вихідних даних	TRS	SBP	RINEX 2.X RINEX 3.X
Тип виправлення даних	RTCM 2.x/3.x/CMR/CMR+	RTCM 2.x/3.x/CMR/CMR+	RTCM 2.x RTCM 3.x

Tersus BX306 - це високоточний двочастотний RTK GNSS приймач, що відрізняється приємною вартістю, розроблений для визначення координат з точністю до сантиметрів.

Цей пристрій генерує вихідні дані, що легко інтегруються з автопілотами, системами інерціальної навігації (INS), а також іншими додатками, де критичною є надзвичайна точність позиціонування.

Пристрій здатний обробляти три сузір'я: GPS (L1/L2), ГЛОНАСС (G1/G2) та BeiDou (B1/B2), що помітно покращує стабільність і точність RTK-координат, навіть якщо умови роботи далекі від ідеальних – наприклад, у щільній забудові або у лісах.

Swift Pixi Multi GNSS - це доступний двочастотний GNSS-приймач, що пропонує технологію RTK та гарантує надзвичайно точне визначення місця розташування.

Основні позитивні аспекти включають:

- Підтримка різних супутникових систем, що веде до поліпшення точності та надійності визначення позиції.

- Ефективна робота в динамічних умовах завдяки швидкому часу збіжності RTK.

- Невеликі габарити та мінімальне споживання електроенергії відкривають можливості для його інтеграції у різноманітні мобільні платформи: від самокерованих автівок та роботів до безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Emlid Reach RTK – це GNSS-приймач, який функціонує на одній частоті, сумісний з різними супутниковими системами (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo), та орієнтований на використання в цивільних сферах діяльності, серед яких картографія, сільськогосподарська галузь та контроль за станом інфраструктурних об'єктів.

Завдяки застосуванню RTK-технології, приймач забезпечує сантиметрову точність вимірювань і здатний обробляти дані в реальному часі.[4,6]

У випадку з Tersus BX306, Pixi Multi GNSS та Emlid Reach RTK визначальною є не лише точність кожного окремого приймача, але й система

постійно діючих станцій, що забезпечують стабілізацію RTK-рішення в реальному часі, сприяючи покращенню стабільності визначення координат.

Це має критичне значення в специфічних умовах, зокрема, в міській забудові, лісових масивах або гірських районах зі складною топографією.

Антени GNSS відіграють ключову роль у високоточних системах позиціонування, особливо для масового використання приймачів.

Вони суттєво допомагають мінімізувати перешкоди в сигналах та загалом покращують достовірність отриманих даних.

Щоб отримати найкращі результати позиціонування під час тестувань, було залучено малогабаритну антену AX3702.


Ця антена ідеально взаємодіє з GNSS-приймачами Tersus BX306 та Piksi Multi.

Її технічні параметри викладено у таблиці 2.[4,7]

Від антени напряму залежить точність визначення координат.

Адже саме антена знижує вплив багатопроменевості, забезпечуючи стабільне приймання сигналу навіть там, де умови не ідеальні.

Таблиця 2. Основні характеристики GNSS антени AX3702, виробництва Tersus.

GNSS антена	AX3702
Зображення	
Ціна	140\$
Сила сигналу	5.5dBi
Вага	350 гр.
Сузір'я супутників	GPS L1/L2, GLONAS G1/G2, BeiDou B1/B2

Антенa не лише успішно долає проблеми з багатопроменевими перешкодами, але й гарантує стійкий та безперебійний прийом сигналу в важких умовах, як-от в урбанізованих зонах, де багато висотних будівель.

Вмонтована система приглушення багатопроменевості зводить до мінімуму вплив сигналів, які віддзеркалюються від різних площин, що попереджає виникнення похибок та, відповідно, неточного визначення координат.

Окрім цього, під час розробки цієї антени було приділено особливу увагу корекції геометричних похибок та помилок фазового центру, оскільки це є критично важливим для забезпечення надзвичайно високої точності вимірювань.

Це забезпечує збереження стабільних показників, навіть коли супутниковий сигнал частково перекритий чи відбивається від довкілля.

Таким чином, антена може гарантувати високу надійність та точність визначення розташування, навіть у важких умовах.

Завдяки цим технічним перевагам, антена ідеально підходить для високоточних GNSS-приймачів, які знаходять застосування у різноманітних галузях, зокрема: геодезія, сільське господарство, безпілотні літальні апарати (БПЛА), мобільне картографування та спостереження за навколишнім середовищем.

2. Територія дослідження

Для здійснення нашого випробування з використанням RTK-технології, було обрано паркову зону у м. Львів, що представлена на малюнку 1.[4]



Рисунок 1. Карта випробувального полігону для кінематичних випробувань

Вибір місця проведення випробувань гарантує, що випробувальний майданчик зможе імітувати реальні умови, які доволі часто трапляються у міських умовах.

Там довкілля відчутно впливає на точність позиціонування за допомогою ГНСС.

Різноманітні архітектурні споруди, рослинність, на зразок хмарочосів, зелених насаджень та інших складових міського пейзажу, можливо використовувати в експериментах для аналізу ефективності GNSS-приймачів в умовах багатопронемовості, коли сигнал відбивається від поверхонь, або інших дестабілізуючих впливів, які негативно позначаються на точності позиціонування.

Таке тестування дає змогу визначити стійкість приймача до перешкод, характерних для міської забудови, де радіосигнали можуть бути заблоковані або спотворені.

Застосовуючи широкий спектр сценаріїв, ефективність методів RTK може бути ретельно перевірена в умовах, що відображають реальне застосування, де надзвичайно важливою є точність визначення координат, наприклад, під час картографування, моніторингу об'єктів інфраструктури та управління дронами.

Дані для аналізу було отримано у Львові в червні 2018 року, поблизу Національного університету "Львівська політехніка".

Випробування тривали кілька діб, що дало змогу зібрати достатню кількість даних для зіставлення.

Ми мали змогу порівняти ефективність різних приймачів, випробувуючи їх за різноманітних умов.

Завдяки цьому підходу можна не лише визначити точність отриманих координат, а й проаналізувати, як навколишнє середовище впливає на функціонування GNSS-приймачів, особливо в умовах міста з його особливостями.

2.1 Рішення для позиціонування RTK

Для проведення дослідження було використано мобільну платформу, що вміщувала усі GNSS-приймачі та антени.

Як можна побачити на рисунку 2, для запуску та збереження даних з трьох GNSS-приймачів застосовувався ноутбук.



Рис. 2. GNSS-приймачі, антена, джерело живлення і лептоп, розміщені на платформі

Двочастотний GNSS приймач з'єднано з ноутбуком через USB, одночастотний - за допомогою Wi-Fi.

Живлення приймачів здійснювалося від батареї ємністю 30 000 мАг.

Завдяки такому з'єднанню, всі приймачі могли безперервно функціонувати протягом усього часу роботи, гарантуючи стабільність даних та простоту збору вимірів.[4,7]

Використання павербанків збільшеної місткості відкинуло потребу у частому живленні, значно підвищуючи ефективність та безперервність збору інформації.

Платформа передбачає можливість регулювати позицію приймального пристрою без зупинок, забезпечуючи збирання даних у різноманітних локаціях з різними параметрами сигналу, враховуючи вплив забудов, насаджень та інших факторів навколишнього середовища.

Даний підхід сприяє отриманню даних з більшою точністю, а також дозволяє здійснити оцінку працездатності приймача в умовах, максимально наближених до реальних сценаріїв застосування, наприклад, в мобільному картографуванні або ж у моніторингу об'єктів інфраструктури.

Для поглиблення аналізу даних було застосовано спеціалізоване програмне забезпечення, здатне до корекції та обробки зібраних вимірювань.

Це сприяло підвищенню точності визначення місцезнаходження як в режимі реального часу, так і під час постобробки.

3. Аналіз даних спостережень у реальному часі

Кінематичні випробування проводилися з суворим дотриманням заздалегідь встановлених опорних траєкторій для отримання надійної основи для зіставлення даних позиціювання.

Для збору даних спостережень у режимі реального часу від усіх трьох GNSS-приймачів було застосовано частоту 1 Гц.

Така частота була обрана з огляду на те, що прошивка GNSS-приймача Tersus VX-306 не передбачає можливості обробки даних на частотах, що перевищують 1 Гц.

Для зіставлення показників позиціювання всіх пристроїв, було встановлено однакову частоту збору інформації, що складала 1 секунду.[4]

Це дало змогу нівелювати потенційні відмінності у даних, які могли виникнути внаслідок неоднакової періодичності зчитування сигналів різними приймачами.

Щоб досягти граничної точності позиціювання у реальному часі, були застосовані диференційні поправки, отримані з мережі опорних станцій.

Зазначені поправки сприяли не лише покращенню точності визначення координат, а й дали змогу коректно усунути фазові невизначеності в несучих частотах GNSS, що виникають між ровером та базовою станцією.

Внаслідок проведених випробувань, система продемонструвала стійкі та надзвичайно точні показники позиціонування, навіть в умовах, що характеризуються високим рівнем складності, зокрема, в умовах щільної міської забудови.

Усі три приймачі, що брали участь у експерименті, продемонстрували здатність генерувати внутрішні рішення в режимі реального часу, застосовуючи коригування, що надходили з базової станції.

Це суттєво покращує ефективність системи GNSS, адже тепер можна досягти високої точності, використовуючи виключно дані, зібрані безпосередньо в польових умовах.

Мережеві протоколи, що базуються на технології Real Time Kinematic (RTK), забезпечують можливість передачі диференціальних даних GPS (DGPS) або даних з поправками RTK через мережу Інтернет з використанням стандарту TCP/IP.[4]

Це мінімізує похибки, що виникають з неприємних чинників, як-от багатопроменевість або атмосферні корективи.

Задля забезпечення стабільного з'єднання з інтернетом була застосована фіксована мобільна мережа, котра охоплювала увесь випробувальний полігон.

Завдяки цьому було забезпечено безперервне надходження у реальному часі даних, необхідних для точного визначення координат.

Мережа наземних станцій, на кшталт System Solutions, застосовувалась задля отримання потрібних коректив, враховуючи дані з двох провідних супутникових систем, GPS та ГЛОНАСС.

Такий підхід підвищив можливість спостереження за супутниками і сприяв введенню точніших поправок навіть у випадках, коли супутники в одній системі були недоступні або ж їх видимість обмежувалася перешкодами навколишнього середовища.

Мережа стаціонарних приймачів System Solutions визначає найвищу точність, закладаючи фундамент для надзвичайно важливої інфраструктури супутникових вимірювань, інтегруючись безпосередньо з найвідомішими геодезичними системами – зокрема, з європейською геодезичною

референцною системою, та Українською національною системою координат УСК2000.

Завдяки цьому стає можливим вносити необхідні поправки, котрі суттєво підвищують точність визначення положення у режимі реального часу, і забезпечувати неймовірну точність вимірювань, навіть коли умови роботи є вкрай складними.

Для кожного GNSS-приймача в рамках дослідження було обрано індивідуальний спосіб отримання коректур з базової станції, що мало критичне значення для забезпечення належної точності отриманих вимірів.

Оскільки GNSS-приймач Tetsus BX306 не оснащений інтегрованим NTRIP-клієнтом, для його роботи було використано з'єднання з мобільним телефоном, зокрема, було задіяно функціональність Bluetooth-модулів.

На смартфоні було встановлено програмний додаток NTRIP-клієнт, спеціально розроблений для отримання даних про розташування користувача; додаток підтримував як ручний, так і автоматизований режим роботи.

За потреби, користувач має можливість самостійно ввести географічні координати (широту та довготу) свого розташування, використовуючи NTRIP, без втрати з'єднання з базовою станцією.

Для приймача Swift Multi-Pixi дані базової станції транспортувалися за допомогою NTRIP, спрямовуючи інформацію до програмного забезпечення STRSVR, яке є частиною комплексу RTKLIB.[4,5]

Ці дані передавалися прямо до приймача через USB-з'єднання і об'єднувалися з вихідними спостереженнями, отриманими в процесі тестування, щоб сформувати точне внутрішнє RTK-позиціонування.

Приймачем Emlid Reach RTK можна було керувати через мобільний телефон, використовуючи ReachView, веб-застосунок.

Програма не потребувала інтернет-з'єднання, її можна було відкрити на будь-якому приладі з веб-браузером, наприклад, Windows, Linux або

Android. ReachView забезпечував можливість налаштування та керування приймачем, а ще підтримував постійне оновлення координат у реальному часі.

Він реалізував вбудовану функцію NTRIP, що дає змогу передавати ключові дані GNSS мережею Інтернет.

З метою поглибленого аналізу результатів випробувань, координати, що були отримані від трьох різних GNSS-приймачів, було зіставлено з попередньо визначеними координатами контрольних точок.

Ці дані були зафіксовані за допомогою високоточного професійного вимірювального обладнання.

Завдяки цьому стало можливим оцінити розбіжність між фактичними даними та отриманими координатами, та, відповідно, встановити точність кожного окремого приймача у реальних умовах експлуатації.

Під час тестувань було взято до уваги чинники, здатні впливати на якість сигналу, зокрема багатопроменеві спотворення, відбиття сигналу, а також присутність споруд, дерев та інших об'єктів, що можуть утворювати перешкоди для розповсюдження сигналу.

Зазначені умови є типовими для міської забудови, і було критично важливо перевірити реакцію різних GNSS-приймачів на подібні перешкоди.

Оскільки віддзеркалення сигналу та перешкоди здатні суттєво знизити точність визначення розташування, було вкрай необхідно дослідити, як різні версії приймачів справляються з такими викликами, використовуючи різноманітні методи фільтрації та виправлення сигналу.

Крім того, було підкреслено ключову роль правильного вибору антени для конкретного приймача.

Наприклад, для приймачів Tersus BX-306 та Piksi Multi, вибір антен, що оснащені інтегрованими системами зменшення багатопроменевого відбиття, призвів до послаблення впливу перешкод, що покращило точність в умовах з ускладненою геометрією, таких як міські ландшафти з великою кількістю висотних будівель і густою рослинністю.

Додатково, при використанні Emlid Reach RTK, застосування Wi-Fi каналу для передачі даних через веб-додаток ReachView забезпечило просте налаштування та зручне використання приймача.[4]

Окрім порівняльної оцінки точності, ключовим було виміряти швидкість обробки даних у реальному часі, а також тривалість збіжності RTK.

Під час збіжності мається на увазі час, котрий потрібен приймачу, аби дійти до стабільного та точного визначення місцезнаходження після першого сеансу роботи.

Результати тестів продемонстрували, що Swift Multi Piksi, що працює з багатьма сузір'ями і кількома частотними діапазонами, характеризується найшвидшою збіжністю.

Він здатний оперативно знаходити поправки й забезпечувати точні результати навіть у складних умовах міської забудови.

Дані з трьох приладів також були використані для оцінки стабільності визначення позиції на протязі тривалого періоду часу.

Ключова ціль полягала в тому, щоб з'ясувати, наскільки добре кожний з приймачів може зберігати високу точність в умовах плину часу та різноманітних сценаріях руху.

В результаті тестування було виявлено, що кожний з GNSS-приймачів відповідає нормам для широкого застосування в таких сферах, як геодезія, навігація, створення карт і автоматизація транспортних засобів.

Технологія RTK невпинно крокує вперед, і в численних галузях, де критично важливою є сантиметрова точність визначення координат, GNSS-

приймачі, такі як Piksi Multi, Emlid Reach та інтегровані RTK-приймачі Tersus GNSS, активно використовувалися для обчислення позицій у режимі реального часу.

Отримані дані потім графічно відображалися за допомогою Google Планета Земля.

Це дало змогу наочно представити зібрану інформацію та провести її аналіз, тим самим довівши корисність різних моделей GNSS-пристроїв для визначення координат з високою точністю в умовах, наближених до реальності.

На рисунку 3 візуалізовано результати картографічного відображення, що чітко демонструє точність та надійність зібраних даних.[4]



Рис. 3. Дані RTK з усіх 3 GNSS приймачів, накладені на Google Earth

Виробник Tersus GNSS наголошує, що первинне виправлення потребує лише 60 секунд.

Такий результат досягається майже завжди, навіть на протяжних базових лініях, що вирізняє Tersus GNSS на тлі інших приймачів, зокрема Piksi Multi та Emlid Reach.[4]

Для виконання кінематичного позиціонування мобільну платформу переміщували територією випробувань протягом 8-10 хвилин.

Це забезпечило достатній обсяг даних для оцінювання стабільності та точності позиціонування в умовах реального часу.

Порівняння стандартних відхилень вимірювань, здобутих за допомогою тахеометра, відіграло ключову роль у верифікації отриманих даних, надавши змогу встановити реальну точність кожного з приймачів.

Для кожної з трьох GNSS-станцій було обчислено та проаналізовано середнє, найвище та найменше стандартні відхилення по різних координатах.

Це дало можливість оцінити якість роботи кожного з приймачів під час проведення кінематичних випробувань.

На основі проаналізованої інформації відкривається перспектива оцінки ступеня вірності та продуктивності кожного з приладів, окреслюючи його потенціал в обставинах, де точність визначає успіх геодезичних робіт та навігаційних операцій.

Ці показники піддали аналізу, співставляючи різноманітні моделі GNSS-приймачів з традиційними техніками геодезичних вимірювань.

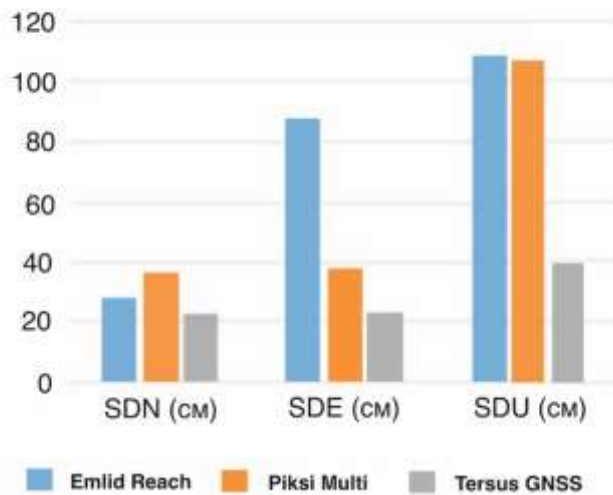
Такий підхід сприяв виявленню як позитивних, так і недосконалих аспектів кожного з протестованих приймачів, враховуючи їхню поведінку в реальному контексті використання.

Для глибшого аналізу ефективності кожного з приймачів, в рамках дослідження також аналізуються відмінності у часі сходження (період, який потрібен приймачу для формування стабільного та точного результату після надходження коригувальних даних).

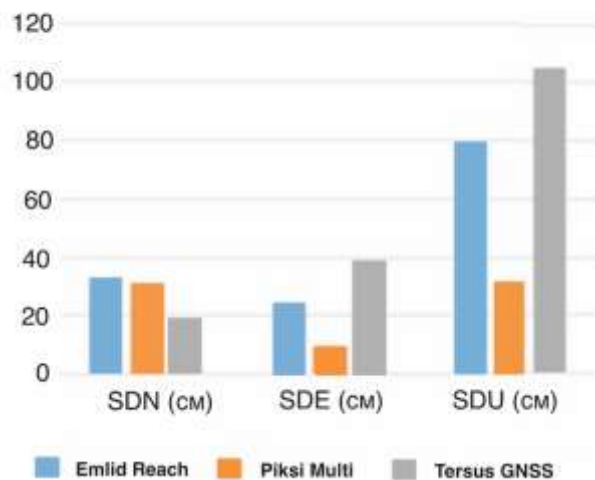
Цей показник має ключове значення для визначення швидкості адаптації GNSS-системи до змінних даних та її здатності оперативно відновлювати точне позиціонування в реальному часі.

Визначення мінімального часу корекції також сприяє глибшому розумінню швидкості відновлення точності приймачем після короткотривалих перешкод або тимчасової втрати сигналу.[4]

Максимальне стандартне відхилення для рішення RTK



Мінімальне стандартне відхилення для рішення RTK



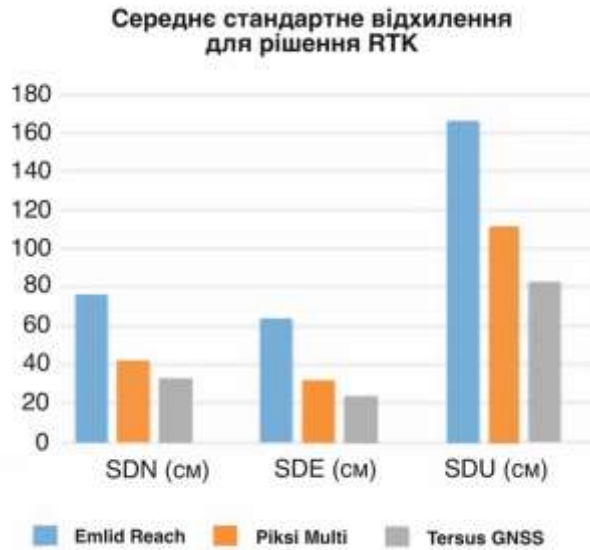


Рисунок 4. Найбільше, найменше та середнє значення стандартного відхилення RTK-розв'язків з GNSS-приймачів.

Середнє квадратичне відхилення різноманітних складових двочастотного GNSS-приймача демонструвало значно кращі показники, ніж у випадку одночастотного приймача.

З цього випливає, що двочастотні GNSS-приймачі вигідніші для досягнення вищої точності позиціонування, адже здатні ефективніше опрацьовувати сигнали з різних сузір'їв.

Найвищі показники точності визначення координат у режимі RTK продемонстрував GNSS-приймач Tersus.

Середні показники стандартного відхилення цього приймача варіюються в діапазоні приблизно 1-3 см по горизонталі та 8 см по вертикалі, що вважається відмінним результатом, навіть якщо йдеться про роботу в умовах міської забудови, де наявні висотні будівлі та дерева, які обмежують видимість неба.[6,7]

Це демонструє, що прецизійність визначення координат лишається стабільною на сантиметровому рівні, навіть у випадках з ускладненими умовами.

Одним з ключових моментів, що впливає на точність позиціонування за допомогою RTK, є процес усунення неоднозначностей фази несучої частоти, що зрештою приводить до отримання більш точних результатів.

З цією метою застосовуються статистичні інструменти, зокрема, тести відношень.

Високий коефіцієнт порівняння (наприклад, понад 3) свідчить про суттєву перевагу обраного варіанту над іншими, що дозволяє розглядати його як остаточний вибір.

У подібних ситуаціях визначеність позиції є надзвичайно високою.

Якщо значення коефіцієнта варіюється в межах від 0 до 3, рішення вважається «умовним», характеризується низькою точністю та невизначеністю.

Враховуючи підсумки проведених випробувань, ключовим аспектом при підборі GNSS-приймача виступає різновид навколишнього середовища, де планується здійснювати виміри.

Так, приміром, двочастотні варіанти та ті, що підтримують кілька сузір'їв, демонструють більшу опірність до перешкод і видають точніші дані в режимі реального часу.

Це робить їх оптимальним вибором для діяльності в місцях з підвищеною складністю, як-от міські території чи зони з щільним лісовим масивом.

На малюнку 5 представлено співвідношення відсотків фіксованих, змінних та поодиноких розв'язків, отриманих під час тестів RTK-позиціонування.[4]

Це дозволяє наочно продемонструвати позитивний вплив застосування диференціальних поправок на точність визначення координат.

Ключовим аспектом даного методу є використання коригувальних поправок, які вносяться безпосередньо під час роботи.

Це сприяє досягненню високої стабільності та збільшенню надійності позиціонування.

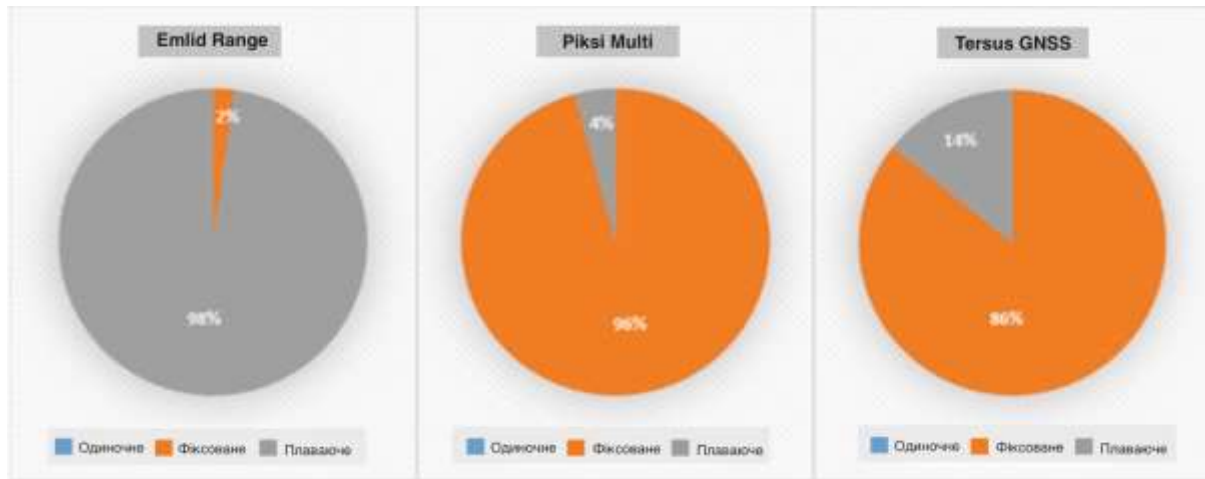


Рисунок 5. Співвідношення стаціонарних, змінних та індивідуальних рішень, здобутих з GNSS приймачів, застосовуючи метод безперервного розв'язання неясностей.

З графіка 5 стає очевидним, що приймач Piksi Multi демонструє найбільший відсоток виправленої фазової роздільності неточностей, сягаючи 96%. [4]

Це підкреслює його надзвичайну точність та ефективність у роботі з технологією двох частот.

Tersus VX-306 продемонстрував стабільну роботу в середовищі RTK з фіксованим значенням епохи у 86%, хоча його продуктивність була трохи нижчою, ніж у Piksi Multi.

Одночастотний приймач Emlid Reach показав значно гірші результати, досягнувши лише 2%.

Це виникає через нижчу ефективність одночастотних приймачів порівняно з двочастотними.

Одночастотні пристрої не мають можливості коригувати вплив іоносфери, який спотворює дані, отримані від супутників. [4]

Геометрична конфігурація супутників, включно з їхньою оглядовістю, є ключем до надзвичайно точного GNSS-позиціонування: чим більше супутників мають добрий показник сигналу до шуму, тим краща стійкість і точність визначення координат, відтак, більша кількість спостережуваних супутників позитивно впливає на точність.

Відсутність перешкод, таких як високі споруди чи лісові насадження, суттєво покращує точність, оскільки дозволяє зібрати більший обсяг даних із супутників.

Пристрої Tersus VX-306 та Piksi Multi демонструють можливість одночасно приймати сигнали з великої кількості супутників.[4,6]

Це забезпечує високу точність у виправленні фазової невизначеності.

Водночас, за обставин, коли супутників недостатньо, або видимість погана, точність розв'язання задачі може впасти.

Це відбувається через те, що зменшується кількість інформаційних каналів, на які система GNSS може спиратися, обчислюючи координати.

Під час проведення експериментів виявлено, що точність визначення позиції зазнавала значних коливань, коли змінювалося положення платформи, яка проходила тестування.

Ця зміна залежала від розташування супутників стосовно платформи.

На малюнку 6 представлено максимальну, мінімальну та середню кількість супутників, що спостерігалися під час кінематичних випробувань для кожного приймача.[4]

Отримані результати демонструють критичну потребу в систематичному контролі супутникової системи, щоб гарантувати найвищу точність визначення місцезнаходження в реальних умовах, де видимість супутників та кількість доступних сигналів зазнає коливань.

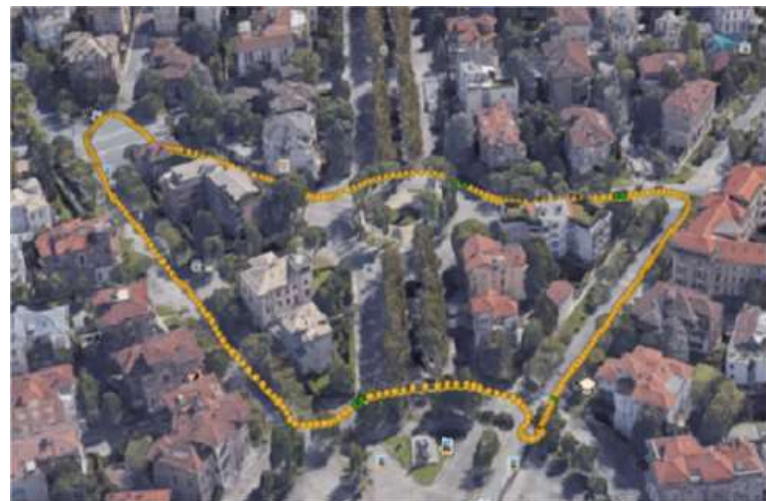


Рисунок 6. RTK-розв'язки з трьох GNSS-приймачів, накладені на Google Earth (угорі: RTK-розв'язок Tersus, посередині: RTK рішення Pixsi, внизу: RTK рішення Emlid Reach).

Отже, для отримання надзвичайно точного позиціонування в режимі реального часу необхідно зважати на ряд аспектів: тип приймача (одно- або двочастотний), число видимих супутників, їхню геометрію, стан середовища та застосування поправок від мережі безперервно діючих станцій.

Емрид Річ здатний приймати радіосигнали від зоряних скупчень, використовуючи виключно одну робочу частоту, та загалом розпізнавати щонайменше два десятки штучних супутників.

Здатність бачити супутники значно зросла, при цьому правильність визначення їхніх координат залежить не тільки від кількості зафіксованих об'єктів, а й від їхнього взаємного розташування в просторі.

Натомість, Piksi Multi та Tersus GNSS продемонстрували лише 12 та 18 супутників відповідно.[4,7]

Варто зауважити, що це пов'язано з підтримкою обробки сигналів від кількох сузір'їв у цих приймачах, що впливає на точність та надійність отриманих даних.

Програмне забезпечення Piksi Multi передбачає роботу з двома сузір'ями (GPS та ГЛОНАСС), що є обмежувальним фактором у порівнянні з Tersus GNSS.

Останній підтримує також BeiDou, розширюючи таким чином список доступних супутників.

Це свідчить про те, що обладнання Tersus GNSS має здатність приймати сигнал від значно більшої кількості космічних апаратів, що, у свою чергу, позитивно впливає на точність кінцевого результату.

Втім, важливо враховувати, що якщо так звана геометрія супутників, або їх розрахунковий DOP, буде незадовільною, просте збільшення загальної кількості "спійманих" сигналів не призведе до автоматичного покращення загальної точності визначення координат.

На рисунку 7 наочно продемонстровано прямий взаємозв'язок між точністю розрахунків та параметром геометричного розташування супутників.[4]

Значення DOP відіграє ключову роль в оцінці оптимальності розміщення супутників на орбіті відносно приймача, що є вирішальним фактором для досягнення максимально точного позиціонування.

Більш високе значення DOP вказує на гіршу геометрію і призводить до зниження точності позиціонування незалежно від кількості видимих супутників.

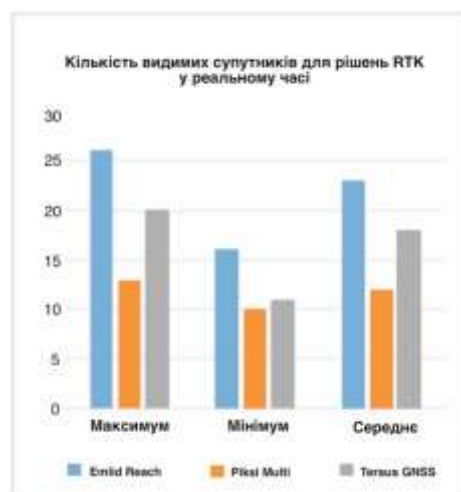
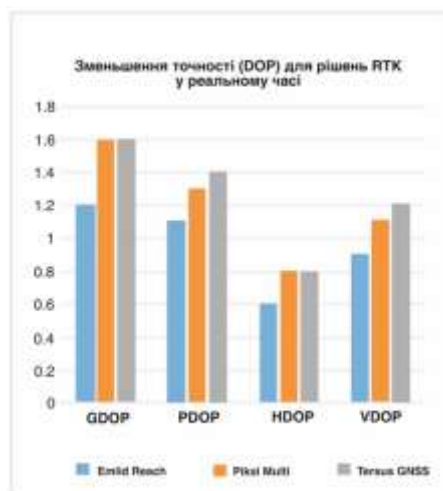


Рисунок 7. Порівняння DOP (згори) і видимості супутників (внизу) від трьох GNSS-приймачів під час тестування RTK.

DOP (Розмиття точності) – це показник, який описує геометричне розташування видимих супутників, і прямо впливає на точність позиціонування GNSS.

Чим вигідніше розташування космічних апаратів (тобто чим більша їх кількість розташована на різних курсах відносно один одного), тим більш точним буде визначення координат, і тим меншим стає показник DOP.

Оптимальна конфігурація супутників передбачає їх рівномірне розподілення на небесній сфері, що сприяє більш точному вимірюванню місцезнаходження.

Наслідком цього є зменшення DOP і, як результат, зростання точності.

Натомість, коли космічні апарати зосереджені на меншому просторі небесної сфери, показник DOP збільшується, а здатність точно визначати положення – знижується.

Проведені аналізи вказують, що одночастотні GNSS-пристрої переважно демонструють нижчі показники DOP у порівнянні з двочастотними.[5]

Це може виглядати несподівано, але важливо розуміти, що інформація, отримана від одночастотних приймачів, зазвичай менше піддається впливу іоносферних перешкод та здатна забезпечувати схожу точність, зокрема за умови обмеженої видимості супутників.

Отже, попри розширені функціональні можливості двочастотних приймачів, рівень точності визначення місцезнаходження, досягнутий завдяки одно- та двочастотним пристроям, здатний бути співставним за певних обставин.

Висновки

Сучасне позиціонування, яке використовує GNSS, – ключова технологія, що знайшла широке застосування в різноманітних сферах, зокрема в агросекторі, мобільному картографуванні та моніторингу зсувів ґрунту.

З поступовим удосконаленням та розширенням ринку багаточастотних GNSS-приладів, виникає необхідність у їх тестуванні та порівняльному аналізі характеристик, зосереджуючись на точності та відповідності для конкретних практичних потреб.

У рамках нашої бакалаврської роботи ми здійснили випробування трьох різновидів GNSS-приймачів.

Ці прилади спроможні працювати з диференціальними поправками, використовуючи мережу постійно діючих станцій.

Дослідження охоплювали обидва режими роботи: обробку даних у реальному часі та подальшу постобробку отриманої інформації.

У першому варіанті застосовувалася диференційна корекція для стабільного визначення положення в реальному часі, що давало змогу наблизитися до сантиметрової точності; в другому варіанті зібрані дані (фаза несучої, псевдодальність і вимірювання доплера) фіксувалися у вбудованій пам'яті приймача або на зовнішніх носіях, таких як ноутбук, з подальшою їх обробкою вже після завершення збору інформації.

У кінематичних випробуваннях з мобільними засобами збору даних зафіксовано низку показників, які свідчать про позитивний вплив мережі закріплених, постійних станцій, що забезпечують поправки в режимі реального часу та для уточнення результатів після завершення зйомки.

У випадку використання RTK з Emlid Reach та Piksi Multi, середнє стандартне відхилення приймачів Tersus GNSS фіксується на рівні: 17 см,

11 см і 8 см для вертикального положення, а для горизонтальної координати: 2-3 см, якщо приймачі двочастотні, та 5-8 см для одностотних.

Відсоток надійних рішень значно варіювався – від мінімальних 2% до максимальних 96%.

Це безпосередньо залежало від обраного методу розв'язання неоднозначностей, застосованого для визначення позиції у режимі RTK.

Результати проведеного дослідження засвідчили, що техніка блокування та утримання демонструє найвищу ефективність у забезпеченні статичного позиціювання, гарантуючи оптимальні показники у випадках, коли присутня невизначеність.

Для кінематичних потреб, доцільно застосовувати метод «безперервного» визначення місцезнаходження, що мінімізує ризик хибного закріплення.

Дослідження показало, що за відповідних обставин одностотні GNSS-приймачі можуть бути раціональною заміною дорожчим двочастотним апаратам в широкому діапазоні геодезичних робіт та землевпорядкування.

Список використаних джерел

1. Бакалаврська робота. Методичні вказівки. За ред. проф. Полянської А. С., доц. Станьковської І.М., доц. Вербовської Л. С. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 42 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. Стандарт України. Вид. офіц. [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
3. Лазарева О. В. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» : методичні вказівки / О. В. Лазарева, С. М. Смирнова. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 28 с. (Методична серія ; вип. 383).
4. Marco Piras , Paolo Dabove , and Nives Grasso Performances and New Aspects of Multi GNSS, Dual Frequency and Low-Cost Receivers in Harsh Urban Environments, November 2020 Communications in Computer and Information Science DOI:10.1007/978-3-030-62800-0_7
5. Манурунг, П., Прамуджо, Х., Манурунг, Дж.Б.: Розробка приймача GNSS для мобільних CORS з послугами корекції RTK з використанням хмарного сервера. E3S Web Conf. 94, 01010 (2019)
6. Манзіно, А.М., Дабове, П.: Контроль якості позиціонування NRTK за допомогою масових приймачів. У: Глобальні системи позиціонування: структура сигналу, застосування та джерела помилок і зміщень, с. 17–40 (2013)
7. Монтенбрук, О. та ін.: IGS-MGEX: Підготовка ґрунту для багатосупер'євої GNSS науки. Inside GNSS 9, 42–49 (2014)

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

« Дослідження продуктивності використання мульти GNSS приймачів у різних умовах застосування ».

Обсяг пояснювальної записки: _____ аркуша.

_____ рік
(дата)

(підпис студента)