

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗЙОМКИ GPS ДАНИХ

У статті запропоновано два напрями покращення точності позиціонування зйомки GPS даних та створення програмного забезпечення, доступного для непрофесійних користувачів, яке автоматично надає необхідні дані у загальному форматі. Дані напрями досягаються шляхом автоматизації процесу надання допоміжних даних, реалізації різних алгоритмів відстеження та порівняння їх результатів; аналізу методів підвищення точності позиціонування зйомки GPS даних; аналізу енергоспоживання. Отриманні результати демонструють мінімізацію апаратних компонент та зниження енергоспоживання, обидві складові призводять до ефектного скорочення витрат. Для того, щоб отримати покращення точності вимірювань нашої позиції, можна застосувати виправлення похибок іоносфери при використанні формату обміну IONEX. IONEX створений для покращення позиціонування, щоб задовольнити світові потреби GPS у загальному форматі даних, який дає змогу обміну, порівняння або поєднання ЗВЕ (загальний вміст електронів) карт. Даний формат підтримує 2-мірні та 3-мірні ЗВЕ карти. Формат IONEX також може підтримувати різні карти, які відповідають різним епохам. Файли даних IONEX створюються шляхом об'єднання вимірювань з великою кількістю 2-ядерних приймачів, які поширюються по всьому світу, поєднуючи вимірювання, отримані від GPS для геодинаміки.

Автоматичне та прозоре постачання допоміжних даних спрощує роботу користувача з програмним забезпеченням. Користувачу необхідно просто записати знімок і запустити запропоноване програмне забезпечення. Без будь-якого ручного введення тег часу зчитується і надсилається в алгоритм та ефемериди, які містять інформацію про елементи Кеплера плюс корекції для гравітаційного поля Землі та інших сил, що забезпечують залежну від часу, точні значення супутникової орбіти, у форматі файлів RINEX автоматично завантажуються з FTP сервера, результат декомпресований і збережений в блоці обчислення після обробки. В той же час така ж процедура виконується для файлів IONEX, які надають інформацію, що необхідна для вирішення іоносферної затримки. Тому потенційному користувачеві просто потрібно переконатися, що підключення до Інтернету гарантується. Найкращі результати отримуються при використанні файлів IONEX, і, застосувавши всі корекційні рівні, можна видалити більшість систематичних помилок з вимірювань.

Ключові слова: точність позиціонування, зйомки GPS даних, алгоритми, допоміжні дані, навігаційна система

Вступ та постановка завдання. Глобальна система позиціонування (GPS) - супутникова навігаційна система розроблена Міністерством оборони США на початку 70-х років. Перш за все, GPS розроблена для задоволення потреб урядових установ США та організацій, таких як Департамент Оборони, Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (НАСА) та Департамент транспорту, для тривимірної системи позиціонування, яка зможе забезпечити [1]: глобальне покриття, безперервність, наявність, можливість обслуговувати високі динамічні платформи.

Незважаючи на своє військове походження, цивільна версія сигналу також була включена в початкову розробку. Спочатку точність цього сигналу була погіршена та контролювалася через вибірккову доступність. Однак її було видалено в 2000 році, що призвело до прориву цивільних додатків. В даний час GPS використовується для широкого кола цивільних і наукових додатків, які включають: позиціонування та навігацію, дослідження землі (від картографії до моніторингу руху тектонічних плит), відстеження тварин, моніторингу тропосфери та іоносфери та синхронізація в часі мережевого обладнання.

GPS в даний час є системою подвійного використання, до якої можуть звертатися як військові, так і цивільні користувачі. GPS забезпечує безперервну інформацію про місцезнаходження та час у будь-якій точці світу при будь-яких погодних умовах. GPS є однією (пасивною) системою, тому що вона служить необмеженій кількості користувачів, а також використовується з міркувань безпеки, тобто, користувачі можуть лише отримувати супутникові сигнали.

Технології зйомки з GPS набувають все більшої популярності в науковій спільноті у зв'язку із тим, що вони передбачають мінімізацію апаратних компонент та зниження енергоспоживання, обидві складові призводять до ефективного скорочення витрат.

Перша програма, яка дійсно підсилювала інтерес громадськості, була портативним автомобільним навігатором, який дозволив своєму користувачеві візуалізувати свою позицію на карті, спланувати маршрут і отримати маршрут руху до пункту призначення. З того часу ця сфера безперервно зростає, в результаті чого GPS використовується в повсякденному житті. Можливо, останнє важливе покращення на масовому ринку програм - це створення A-GPS (Assisted-GPS), яке запропоновано Федеральною Комісією Комунікацій США, яка мала на меті надавати інформацію про стан аварійної служби, таким чином сприяючи пошуково-рятувальним операціям після екстрених дзвінків зі стільникових телефонів.

Зовсім недавно з'явилася інша технологія позиціонування, що називається технікою моментальної зйомки, і очікується, що вона принесе нові перспективні програми для ручних пристроїв.

На сьогодні в соціальних мережах з'являється нова тенденція: ділитися вашим місцем розташування з друзями та родиною. Ця тенденція тісно пов'язана зі зростаючою популярністю веб-сайтів соціальних мереж та розвитком смартфонів і цифрових камер. Додатки, які дозволяють ділитися локацією, вже є на ринку. Google Inc. розробила додаток "Google Latitude", що дозволяє користувачам мобільних телефонів поділитися своїм розташуванням за допомогою контактів. Інший додаток, який швидко набирає популярності - "Спортивний трекер", створений компанією Nokia, дозволяє своїм користувачам поділитися розташуванням та деталями своїх тренувань.

Найпоширеніша соціальна мережа, Facebook, створила "Місця", що, за словами генерального директора компанії, Марка Цукерберга, дозволить користувачам поділитися тим, де вони весело і соціально провели час, подивитися, хто навколо них і дослідити нові місця. Компанія вважає, що служба GPS буде потужним доповненням до соціальної мережі.

В даний час в основному всі служби місцезнаходження отримують інформацію про позицію через найближчу стільникову вежу, точковий маршрутизатор Wi-Fi або вбудований GPS-приймач. Це стандартні апаратні приймачі, які вимагають відстеження сигналу GPS, щоб отримати позицію, перш ніж мати змогу поділитися нею. Ця операція відстеження споживає багато енергії з огляду на ручний пристрій (смартфон) та її безперервна робота швидко розряджає батареї.

Зі зростанням популярності служб місцезнаходження, не можна не помітити цифрове фотографування, яке розвивається паралельно з розвитком соціальних мереж та технологій смартфонів. Крім простого обміну фотографіями, що є дуже поширеним на сьогодні, люди хочуть точно показати, де і коли фотографія була знята.

Методи зйомки GPS можуть бути використані для географічних цифрових фотографій. У зв'язку із цим необхідно вирішити наступні задачі: забезпечення всіх необхідних даних автоматично, у такий спосіб, щоб користувач не мав до цього відношення; покращення точності позиціонування, отриманої за допомогою методів зйомки GPS.

Для вирішення поставлених задач, необхідно проаналізувати відстеження сигналів GPS, помилки GPS та отримані GPS дані.

Основними завданнями підвищення ефективності зйомки GPS є: надання допоміжного часу і автоматичне завантаження ефемерид; реалізація алгоритмів допомоги: обчислення початкової позиції на основі вимірювань Доплера, зберігання початкового положення, перегляд супутників та збирання даних для нескінченних зйомок; корекція затримки

іоносфери (за допомогою використання файлів IONEX) та затримки тропосфери (за допомогою відповідної тропосферної моделі); корекція помилок відносності і загальної групової затримки; реалізація різних алгоритмів відстеження та порівняння їх результатів; аналіз загального підвищення точності; аналіз енергоспоживання.

Проектуючи програмно-апаратний продукт на базі GPS, для непрофесійних користувачів, слід мати на увазі, що кінцевий результат повинен бути зручним для користувачів і повинен забезпечувати додаткові можливості за гроші, він повинен споживати як найменшу кількість енергії, і система має інтегрувати сьгоднішні тенденції мініатюризації. У цьому сенсі, мініатюризація та зменшення енергоспоживання відіграли важливу роль у сприянні вбудовуванню GPS – системи в ручні пристрої.

Основна частина. Основна мета відстеження сигналу GPS полягає у вдосконаленні приблизних оцінок частоти та кодування фазових параметрів, отриманих під час відстеження сигналу та демодуляції навігаційних даних [2]. Дозвіл на відстеження в основному обмежується частотою дискретизації на клієнті.

Відстеження сигналу – це метод подолання цього обмеження шляхом вирішення проблеми часу передачі та досягнення роздільної здатності сигналу кодуваної фази. Тому, впровадження відстеження є найважливішим завданням, щоб досягти рівня точності, де помилки псевдодіапазону стають наступною межею точності. Помилки з псевдодіапазону об'єднують всі інші елементи, що підлягають виправленню навіть після ідеального відстеження сигналу.

На рис. 1 представлено основну схему демодуляції. Системи відстеження, як правило, мають дві основні задачі: відстеження коду та відстеження носія.



Рисунок 1 – Базова схема демодуляції

Щоб мати змогу демодуляції навігаційних даних, перше завдання, яке має бути вирішене, це генерування точної репліки хвилі носія і множення її репліки на вхідний сигнал для усунення хвилі носія. Як правило, відстеження хвилі носія виконується за допомогою фазового автоналаштування частоти (ФАЧ) або системи автоматичного налаштування частоти (АНЧ). Через те, що біти даних навігації можуть призвести до фазових переходів, GPS приймачі зазвичай використовують петлю Костас (рис. 3). На відміну від ФАЧ, петля Костас нечутлива до 180° фазових зрушень, як показано на рис. 2. Основна мета петлі Костас полягає в тому, щоб зберегти всю енергію в синфазному плечі [2]. Щоб бути в змозі зробити точну репліку хвилі носія, використовується зворотний зв'язок, контрольований дискримінатором носія.

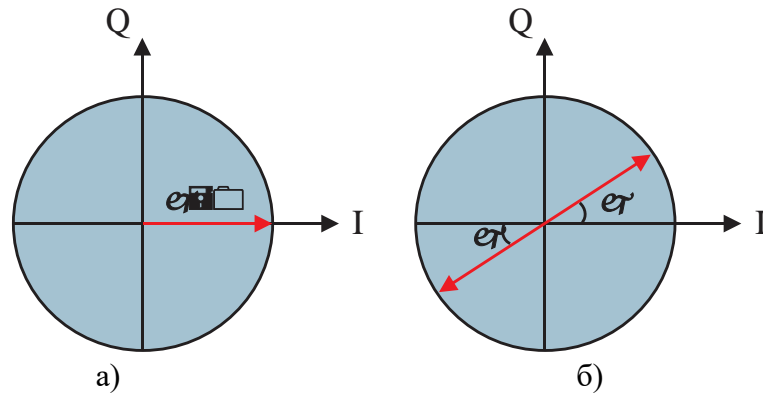


Рисунок 2 – Фазова діаграма:

а) вхідний сигнал в фазі з локально створеною хвилею носія, б) локальний сигнал несучої хвилі встановлюється відносно вхідного сигналу, тому φ представляє фазову помилку. Навіть для фазового переходу 180° фазова помилка залишиться незмінною.

Дискримінатор – це детектор помилок, який виражається як функція фази. На рис. 3 функція дискримінатора \tan^{-1} буде виводити фазову помилку. Фільтр носія використовується для фільтрації фазового дискримінатора, щоб компенсувати рух супутника і для передбачення доплерівської частоти.



Рисунок 3 – Діаграма петлі Костас

де: $D^k(n)$ – послідовність навігаційних даних після аналогово-цифрового сигналу перетворення і φ є фазова помилка.

Відстеження коду намагається синхронізувати певний код із вхідним сигналом, згенерованим локально. Відстеження коду, як правило, досягається за допомогою системи автоматичного налаштування по затримці (АНЗ), яка реалізує ранньо-пізній корелятор (рис. 4). Ця петля має забезпечити ідеально вирівняний код репліки.

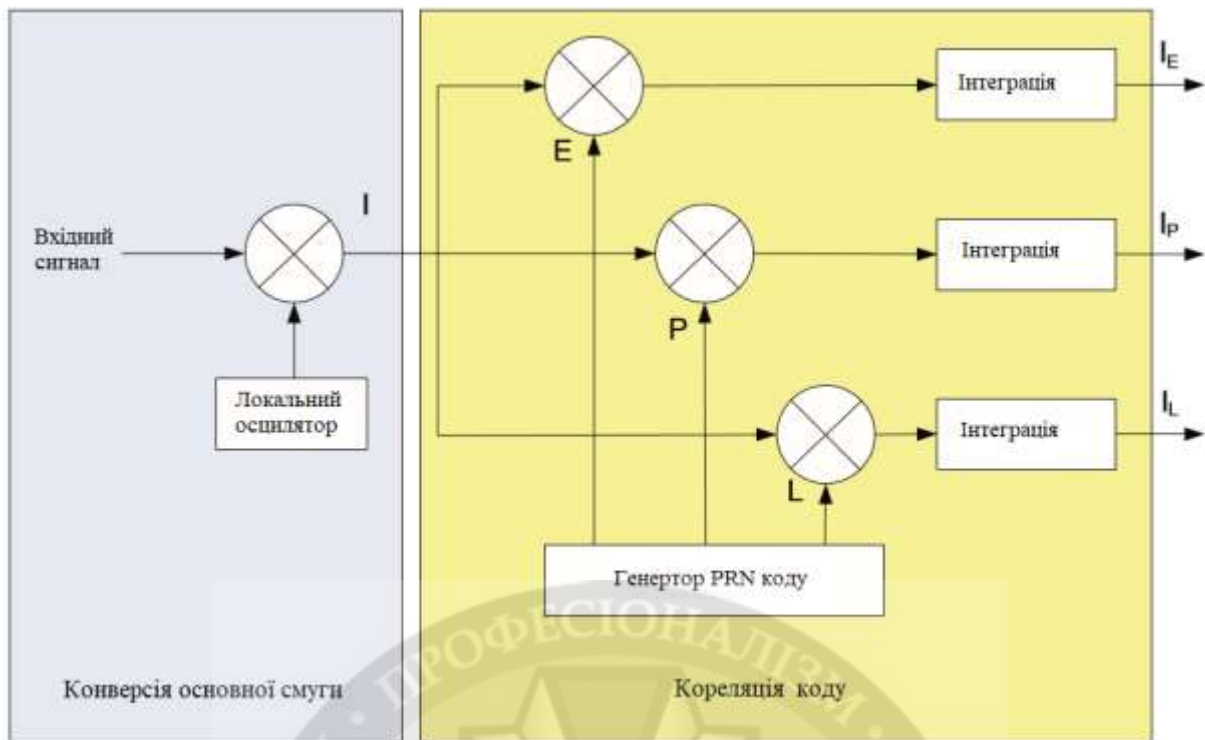


Рисунок 4 – Автоматичне налаштування по затримці

Після перетворення вхідного сигналу на основну смугу (це робиться шляхом множення вхідного сигналу на репліку несучої хвилі, яка була вирівняна за допомогою відстеження носія), локальний кодовий генератор виводить три кодових репліки: E (*Early*), P (*Prompt*) і L (*Late*). Дані репліки затримуються відносно одна одної половинами чіпа, які множаться на сигнал основної смуги. В основному виконують три різні кореляції, і на основі найвищого кореляційного результату, код повинен бути затриманим, покращеним або залишеним недоторканим. Код ідеально вирівнюється, якщо співвідношення з копією забезпечує найвищий результат [2, 3]. Це показано на рис. 5.

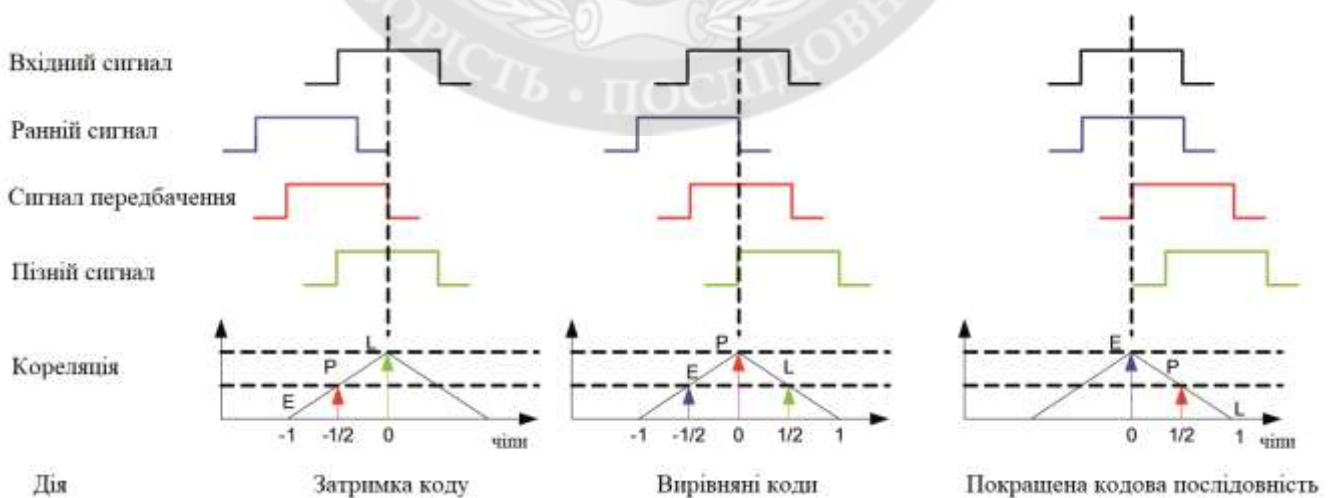


Рисунок 5 – Early-Prompt-Late кореляція

На вимірювання GPS – сигналу впливають декілька джерел помилок, які достатньо повно описані в наступних наукових видань. [3 - 5].

Аналіз цих джерел помилок дозволив визначитись у наступному.

У деяких посланнях, зміщення годинника космічного апарату, відхилення між кожною мережею годинників на супутниках та офіційним часом GPS, також класифікується як псевдодіапазон помилки, оскільки, як і всі часові помилки в системі, вони, безумовно, мають критичний вплив на вимірювання.

Іоносфера є верхнім шаром атмосфери, що розширюється на висоті від 70 км до більше ніж 1000 км. Вона має високий вміст вільних електронів за рахунок фотоіонізації, яка виробляється за рахунок ультрафіолетової сонячної радіації. Ці електрони, електрично заряджені атоми та молекули навколо Землі створюють електромагнітну оболонку, виготовлену з іонізованого газу. Таким чином, GPS-сигнали не переміщуються при вакуумній швидкості світла під час подорожі через цей регіон, виробляючи затримки (помилки) в часі прибуття.

Затримка іоносфери залежить від частоти сигналу f дисперсійного середовища та кутів нахилу.

$$\delta_{ion} = F_{pp} \frac{40.3}{f^2} TEC[c], \quad (1)$$

де: TEC - сумарний вміст електронів, виражається в електронах на одиницю поверхні; F_{pp} - фактор нахилу або функція відображення, яка визначає збільшений шлях руху сигналу в межах іоносфери як функція від його кута.

Іоносфера залежить від багатьох різних факторів: сонячного циклу, географічного положення та часу доби, – тому важко точно оцінити її значення. Для того, щоб надати певну інформацію про стан іоносфери, є вісім параметрів, заснованих на моделі, розробленій Клобучаром, які передаються в навігаційному повідомленні, що дозволяє одночастотним користувачам виправляти близько 60% іоносферної затримки. З іншого боку, подвійні частотні приймачі здатні коректувати близько 99,9% іоносферної затримки, скориставшись її частотною дисперсією.

У даний час GPS є важливим інструментом для вивчення іоносфери та тропосфери. Міжнародна служба GNSS, а також інші агентства та науково-дослідні інститути, надають дані про загальний вміст електронів (ЗВЕ), що зберігаються в стандартному файловому форматі під назвою IONEX. Цей формат базується на першій теорії Штефана Шера у 1996 р., який суворо дотримувався формату RINEX. Остання версія IONEX підтримує обмін двовимірними і тривимірними ЗВЕ картами.

Використання глобальних іоносферних карт надає більшу точність у обчисленні затримки іоносфери, а також дуже детальний опис природи іоносфери. Таким чином, файли IONEX можуть бути використані як допоміжні дані для корекції GPS даних, які приймаються одночастотним приймачем, виправляючи затримки іоносфери за псевдодіапазонними вимірами для досягнення більш точної позиції в подальшій обробці.

Очевидно, що для їх використання потрібні додаткові ресурси обробки на нашому комп'ютері (не на клієнті), – це ціна, яку треба заплатити для кращої точності. Інший недолік полягає в тому, що файли IONEX щодня оновлюються, разом з 24-годинними навігаційними файлами RINEX, що вже використовуються.

Тропосфера - найнижчий шар атмосфери. Він знаходиться на висоті 7 - 20 км, залежно від пори року і широти. Тропосфера містить майже 75% маси атмосфери і 99% її водяної пари та аерозолів. Тому більшість погодних феноменів зустрічаються в тропосфері [3]. Тропосфера впливає на радіохвилі інакше, ніж іоносфера, так як вона не є дисперсійною, що означає, що вона не залежить від радіочастот. Проте радіохвилі заломлюються зміною показника заломлення, що спричиняє сцинтиляцію, деполяризацію або затримки.

Тропосферні затримки зазвичай виражаються як комбінація двох компонентів: "вологий" компонент, водяні пари, як правило, становлять близько 10% загального ефекту; "сухий" компонент, кисень та азот в гідростатичній рівновазі - це решта 90%.

Завдяки своїй постійній варіації та непередбачуваності "вологий" компонент є найбільш складним.

Методи зменшення похибки тропосфери включають використання диференціального GPS (DGPS), що враховують тропосферну затримку на основі значень кута піднесення та тропосферного моделювання.

Похибки відносності викликають два різновиди різних помилок у системах GPS: з одного боку – ефект Саньяка і, з іншого боку - "Загальна відносність", що охоплює теорії Альберта Ейнштейна.

Щодо ефекту Саньяка, фізичні закони зберігаються у всіх інерційних системах. Треба враховувати, що система GPS використовує дві різні системи координат: Земля-централізована, Земля-фіксована та центр Землі інерціальний. У цьому сенсі користувач повинен враховувати корекцію обертання Землі під час польоту сигналу.

Що стосується "Загальної відносності", то слід враховувати, що система GPS опирається на годинники орбіти, що літають на великих швидкостях і в різних гравітаційних площинах відносно поверхні Землі. Просторово-часова кривизна через масу Землі менша, ніж на поверхні Землі. Тому годинники, наближені до масивного об'єкта, здаватимуться повільнішими, ніж ті, що розташовані далі. Зауважимо, що вчені протидіяли цьому ефекту, тим самим сповільнивши частоту бортових атомних годин так, що коли вони опиняться на орбіті, годинники йтимуть з такою ж швидкістю, як і еталонні годинники на наземних станціях. Однак користувачеві все-таки потрібно виправити меншу частину проблеми - компонент залежний від високих швидкостей супутників [4]:

$$\delta_{rel} = Fe\sqrt{a} \sin(E_k) , \quad (2)$$

де e – ексцентриситет, a – напівголовна геометрична вісь, E_k - ексцентрична аномалія,

$$F - \text{постійна, } F = \frac{-2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4.442807633 \cdot 10^{-10} .$$

Загальна затримка групи - затримка сигналу в схемі супутника: між моментом створення і його передачею через антену. Кожен супутник має різну затримку, і вона передається користувачеві в навігаційному повідомленні. Цей параметр слід враховувати для затримки, спричиненої одержувачем. Проте, така затримка є постійною для всіх сигналів, тому вона скасовується або поглинається в наземних рівняннях за рахунок зміщення годинника приймача.

Зазвичай, приймач також отримує сигнали, які є не тільки безпосередньою точкою зору, але й деякими копіями, які були відбиті однією чи кількома перешкодами. Тому вони затримуються в часі і фазі - зміщені і ослаблені. Однак, їх внесок може спотворити спектр вхідних сигналів, зміщуючи вимірювання від кореляторів.

Багатопроменевість - це найнижче явище, що обмежує точність, в технологіях диференційного GPS. Сьогодні існує кілька методів, що використовуються для пом'якшення або мінімізації ефектів багатопроменевого зв'язку. Ці методи можуть включати: використання декількох антенних літаків, використання фазових спостережень, усереднення вимірювань протягом 24 годин або реалізація дизайну приймача з кількома кореляторами або дуже вузької кореляційної функції.

Всі ці методи вимагають модифікації апаратних засобів, що забезпечується лише дорогим професійним обладнанням, але це не для масового ринку. Таким чином, єдиним, що залишає вибір, є моделювання, яке є досить складним в динамічному сценарії. З цієї причини не доцільно застосовувати будь-які багатопроменеві виправлення.

Допоміжні дані – це всі дані, надані через зовнішнє джерело, а не GPS сигнал.

Основні допоміжні дані – це всі необхідні дані, які необхідно надати алгоритму для отримання позиціонування: час, координати користувача, ефемериди.

Додаткові допоміжні дані – це дані, що використовуються під час вирішення проблеми покращення точності позиції. Файли IONEX, входять до цієї категорії.

Застосовуючи алгоритми відстеження, ми маємо змогу отримати більш точні значення для коду фази і несучої частоти. Це має надати нам більш точні результати позиціонування. При реалізації алгоритмів відстеження для зйомки GPS даних ми повинні мати на увазі короткий проміжок часу зйомок, тому що це може спричинити невдачу конвергенції, тому ми повинні знайти альтернативні алгоритми.

Через те, що на сигнали GPS впливає кілька різних помилок, які роблять різні внески, щоб отримати якомога точні позиції, ці помилки повинні бути пом'якшені, або принаймні зведені до мінімуму.

Для генерації псевдодіапазонних вимірювань стандартного відстеження передбачається постійне створення коду репліки в приймачі, виконання кореляції вхідного сигналу, а потім - декодування навігаційного повідомлення із супутників GPS. Кодова фаза - це незалежний параметр часу коду PRN, виражена в чіпах, що фактично вказує, де у вхідному сигналі коду відповідає певний початок PRN [7].

Використовуваний дискримінатор - це нормалізований ранній мінус пізній дискримінатор і він характеризується наступним виразом:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{E - L}{E + L}, \quad (3)$$

де D - вихід дискримінатора, E - рання складова, L - пізній компонент.

$$E = \sqrt{I_E^2 + Q_E^2}, \quad (4)$$

$$L = \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}, \quad (5)$$

де I_E - фазовий ранній компонент, Q_E - квадратурний ранній компонент, I_L - фазовий пізній компонент, Q_L - квадратурний пізній компонент.

Дискримінатор набуває продуктивності, яка не залежить від ФАЧ [1, 2], використовуючи вихідні фази і квадратурні корелятори. Цей нормований дискримінатор виведе в ідеальному випадку для інтервалу корелятора ± 0.5 помилку відстеження в мікросхемах ± 0.5 , як показано на рис. 6.

Через те, що вивід дискримінатора залишається досить постійним при повторенні алгоритму відстеження для тієї ж частини сигналу, можна врахувати весь сигнал, обробляючи кожні мілісекунди самостійно [8,9]. Головна ідея полягає в тому, що ми повинні визначити загальну точку вимірювання для всіх каналів, які треба відстежувати. Ця спільна точка визначається відносно каналу з мінімальною кодовою фазою. Тому потрібно повторити алгоритм відстеження кілька разів, що на мільйонну секунди коротше, ніж час інтеграції [10].

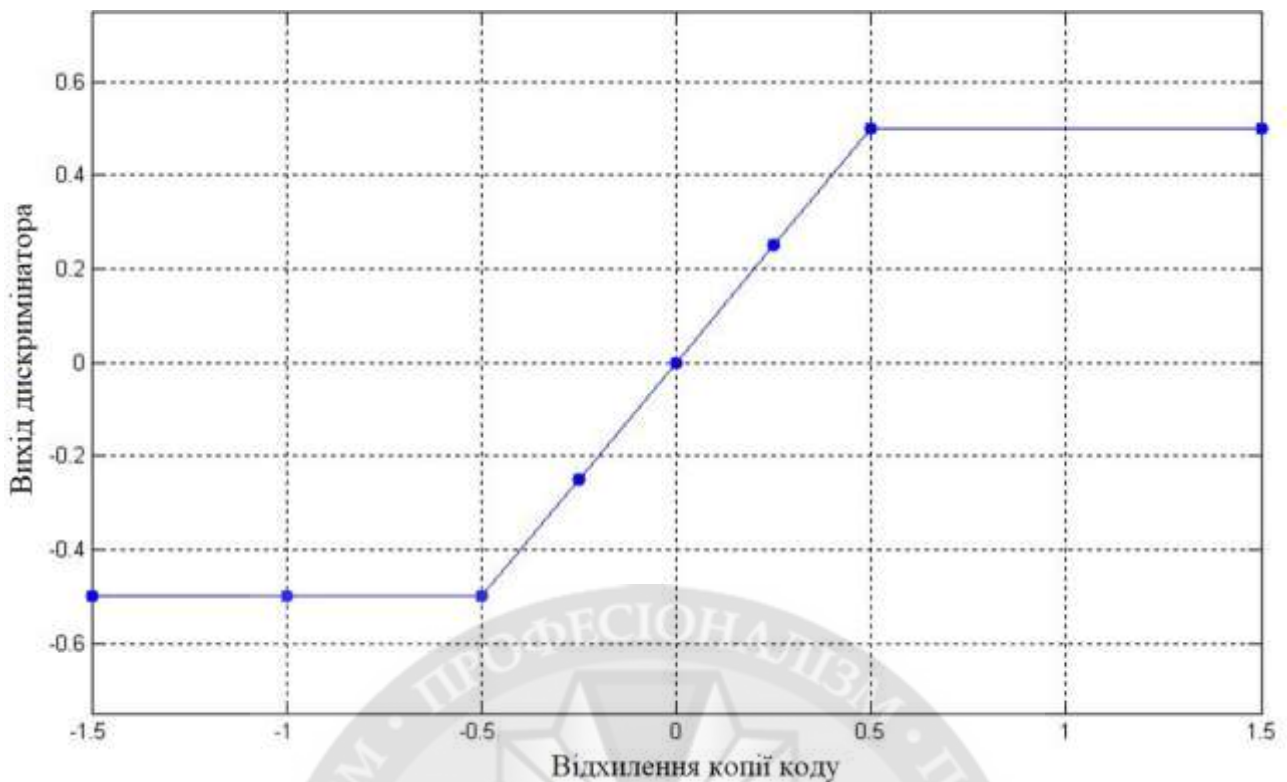


Рисунок 6 – Вихід дискримінатора і похибка коду

Через дуже короткий час інтеграції виправлення, застосовані до кодової фази, були незначними. Алгоритм відстеження збігається після більш тривалого періоду часу - в деяких випадках близько 200 мс, як показано на рис. 7.

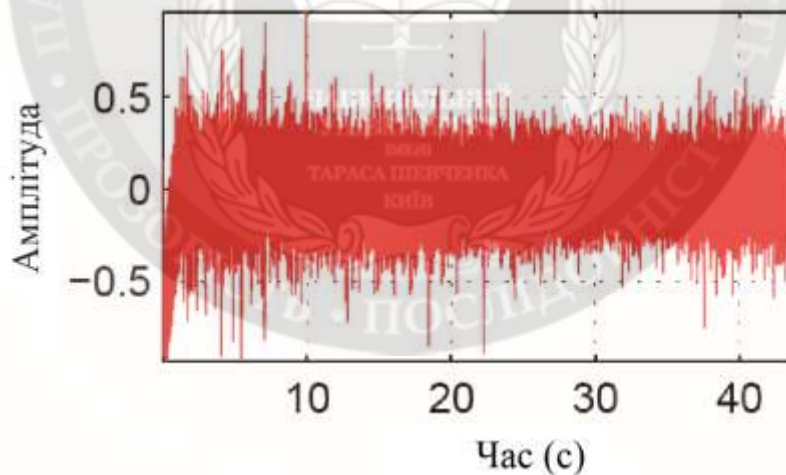


Рисунок 7 – Вихідний сигнал дискримінатора

Для того, щоб отримати кращу точність вимірювань нашої позиції, можна застосувати виправлення похибок іоносфери при використанні формату обміну IONEX. IONEX був створений для покращення задоволення світових потреб GPS у загальному форматі даних, який дає змогу обміну, порівняння або поєднання ЗВЕ карт [11]. Цей формат підтримує 2-мірні та 3-мірні ЗВЕ карти. Файл IONEX також може підтримувати різні карти, які відповідають різним епохам. Файли даних IONEX створюються шляхом об'єднання вимірювань з великою кількістю двоядерних приймачів, які поширюються по всьому світу в певних місцях, поєднуючи вимірювання, отримані від GPS для геодинаміки.

Висновки. Підсумовуючи вищезазначені підходи у вирішенні проблеми, доцільно виділити два конкретні аспекти: надання додаткових даних та покращення точності позиції.

Автоматичне та прозоре постачання допоміжних даних спрощує роботу користувача з програмним забезпеченням. Користувачу необхідно просто записати знімок і запустити запропоноване програмне забезпечення. Без будь-якого ручного введення тег часу зчитується і надсилається в алгоритм та ефемериди, які містять інформацію про елементи Кеплера плюс корекції для гравітаційного поля Землі та інших сил, що забезпечують залежну від часу, точні значення супутникової орбіти, у форматі файлів RINEX автоматично завантажуються з FTP сервера, результат декомпресований і збережений в блоці обчислення після обробки. В той же час така ж процедура виконується для файлів IONEX, які надають інформацію, що необхідна для вирішення іоносферної затримки. Тому потенційному користувачеві просто потрібно переконатися, що підключення до Інтернету гарантується. Найкращі результати отримуються при використанні файлів IONEX, і, застосувавши всі корекційні рівні, можна видалити більшість систематичних помилок з вимірювань.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бородко А.В. Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр: Энциклопедия: в 2-х т./ Под общ. Ред. А.В. Бородко, В.П. Савиных. / А.В. Бородко. – М.: Геодезкартиздат, 2014. – Т1. – 496 с.
2. Берлянт А.М. Картография: учебник для ВУЗов / А.М. Берлянт– М.: Аспект Пресс, 2012 – 336с.
3. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Алёшин Б.С., Афонин А.А., Веремеенко К.К. и др. - М.: Физматлит, 2006. — 424 с.
4. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. / К.М. Антонович. - Т. 2. - М.: ФГУП Картгеоцентр», 2006. –360 с.
5. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS, NAVSTAR и ГЛОНАСС Текст. / В.С. Яценков. М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
6. Шебшаевич В. Сетевые спутниковые радионавигационные / В. Шебшаевич [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2003. – 408 с.: ил.
7. Щербинин В.В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В.В. Щербинин.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. – 230с.
8. Радіоелектронні системи: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом підготовки „Радіотехніка” /Ю.М. Седишев, В.І. Карпенко, Д.В. Атаманський та ін.; за заг. ред. Ю.М. Седишева. – Х.: ХУПС, 2010. – 360 с.
9. Радиозлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник, изд. 2-е, перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
10. Петрова А.И. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / [под ред., В.Н. Харисова]/ А.И. Петрова – [3-е изд. перераб.]. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
11. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий – Тверь:ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.

REFERENCES:

1. Borodko, A.V. and Savinyih, V.P. (2014), "Geodeziya, kartografiya, geoinformatika, kadastr: Entsiklopediya: v 2-h t." [Geodesy, cartography, geoinformatics, cadastre: Encyclopedia: in 2 volumes.] / Pod obsch. Red. A.V.Borodko,. M.: Geodezkartizdat,. T1. , 496p.
2. Berlyant, A.M. (2012), "Kartografiya: uchebnik dlya VUZov" [Cartography: A Textbook for High Schools], M.: Aspekt Press, 336p.
3. AlYoshin, B.S., Afonin, A.A. and Veremeenko, K.K. (2006), "Orientatsiya i navigatsiya podvizhnyih ob'ektov: sovremennyye informatsionnyie tehnologii" [Orientation and navigation of mobile objects: modern information technologies], M.: Fizmatlit, 424p.
4. Antonovich, K.M. (2006), "Ispolzovanie sputnikoviyih radionavigatsionnyih sistem v geodezii." [The use of satellite radio navigation systems in geodesy]. T.2.,M.: FGUP Kartgeotsentr», 360p.
5. Yatsenkov, V. S. (2005)," Osnovyi sputnikovoy navigatsii. Sistemyi GPS, NAVSTAR i GLONASS Tekst" [Fundamentals of satellite navigation. GPS, NAVSTAR and GLONASS], M. : Goryachaya liniya-Telekom, 272p.
6. Shebshaevich, V. (2003)," Setevyie sputnikovyye radionavigatsionnyie" [Network satellite radio navigation], 2-e izd., pererab. i dop., M.: Radio i svyaz, 408p.: il.

7. Scherbinin, V.V. (2011), "Postroenie invariantnykh korrelyatsionno-ekstremalnykh sistem navigatsii i navedeniya letatelnykh apparatov" [Construction of invariant correlation-extreme systems of navigation and guidance of aircraft], M.: Izd-vo MGTU im. N.E.Baumana, 230p.

8. Baklitskiy, V.K. (2009), "Korrelyatsionno-ekstremalnyie metodyi navigatsii i navedeniya" [Correlation-extreme methods of navigation and guidance], Tver: TO «Knizhnyiy klub», 360p.

9. Shirmana, Y.D. (2007), "Radioelektronnyie sistemyi: Osnovyi postroeniya i teoriya. Spravochnik" [Radioelectronic Systems: Fundamentals of Construction and Theory. Directory], izd. 2-e, pererab. i dop. / pod red.. – M.: Radiotekhnika, 512p.

10. Petrova, A.I. (2010), "GLONASS. Printsipy postroeniya i funktsionirovaniya" [GLONASS. Principles of construction and operation], [pod red., V.N. Harisova], [3-eizd. pererab.], M.: Radiotekhnika, 800p.

11. Sedishev, Y.M., Karpenko, V.I. and Atamanskiy, D.V. (2010), "RadIoelektronniI sistemi: navch. posIb. dlya stud. visch. navch. zakl. za napryamom pIdgotovki „RadIotehnlka”" [Radio electronic systems: teaching. manual for studio higher tutor shut up in the direction of "Radio Engineering"], za zag. red. Yu.M. Sedisheva. – H.: HUPS, 360p.

к.т.н., доц. Джулий В.Н., к.т.н. Ленков Е.С.,

к.т.н., доц. Муляр И.В., к.т.н., с.н.с. Охрамович М.Н., Бонар В.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЪЕМКИ GPS ДАННЫХ

В статье предложено два основных направления: улучшение точности позиционирования съемки GPS данных и создания программного обеспечения доступного для непрофессиональных пользователей, которое автоматически предоставляет необходимые данные в общем формате. Данные направления достигаются путем автоматизации процесса предоставления вспомогательных данных, реализации различных алгоритмов отслеживания и сравнения их результатов; анализа методов повышения точности позиционирования съемки GPS данных; анализа энергопотребления.

Полученные результаты демонстрируют минимизацию аппаратных компонент и снижение энергопотребления, обе составляющие приводят к эффективному сокращения расходов. Для того, чтобы получить улучшение точности измерений нашей позиции, можно применить исправления ошибок ионосферы при использовании формата обмена IONEX. IONEX создан для улучшения позиционирования, чтобы удовлетворить мировые потребности GPS в общем формате данных, который позволяет обмен, сравнения или сочетание ОСЭ (общее содержание электронов) карт. Данный формат поддерживает 2-мерные и 3-мерные ОСЭ карты. Формат IONEX также может поддерживать различные карты, соответствующие различным эпохам. Файлы данных IONEX создаются путем объединения измерений с большим количеством 2-ядерных приемников, которые распространяются по всему миру, сочетая измерения, полученные от GPS для геодинамики.

Автоматическое и прозрачное предоставление вспомогательных данных упрощает работу пользователя с программным обеспечением. Пользователю необходимо просто записать снимок и запустить предложенное программное обеспечение. Без какого-либо ручного ввода тег времени считывается и направляется в алгоритм и эфемериды, которые содержат информацию об элементах Кеплера плюс коррекции для гравитационного поля Земли и других сил, обеспечивающих зависящую от времени, точные значения спутниковой орбиты, в формате файлов RINEX автоматически загружаются с FTP сервера, результат декомпрессованный и сохранен в блоке вычисления после обработки. В то же время такая же процедура выполняется для файлов IONEX, которые предоставляют информацию, необходимую для решения ионосферной задержки. Поэтому потенциальному пользователю просто нужно убедиться, что подключение к Интернету гарантируется. Наилучшие результаты получаются при использовании файлов IONEX, и, применив все коррекционные уровни, можно удалить большинство систематических ошибок по измерениям.

Ключевые слова: ресурс точность позиционирования, съемки GPS данных, алгоритмы, вспомогательные данные, навигационная система

Ph.D. Dzhulii V.M, Ph.D. Lenkov E.S., Ph.D. Muliar I.V., Ph.D. Ohranovich M.M., Bonar V.O.
STUDY OF METHODS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF GPS DATA CHRONOMETRY POSITIONING

The two approaches for improving the accuracy of GPS data chronometry positioning and the creation of software which could be available to unprofessional users, which automatically provides the necessary data in a general format, are proposed in the article. These directions are achieved by automating the process of providing auxiliary data, implementing various tracking algorithms and comparing their results; analysis of methods for increasing the accuracy of GPS data chronometry positioning; power consumption analysis.

The obtained results demonstrate the minimization of hardware components and the reduction of power consumption, both components lead to a spectacular cost reduction. In order to improve the accuracy of measurements of our position, corrections of ionospheric errors can be applied by using the IONEX exchange format. IONEX is created to improve positioning to meet the world's GPS needs in a common data format that allows to exchange, comparison, or combination calls (total electron content) of cards. This format supports 2-dimensional and 3-dimensional IDE cards. The IONEX format can also support different maps corresponding to different epochs. IONEX data files are created by combining measurements with a large number of 2-kernel receivers that are distributed all over the world, combining measurements derived from GPS for geodynamics.

The automatic and transparent delivery of auxiliary data simplifies the user's work with the software. The user needs simply to record a picture and run the proposed software. Without any manual input, the time tag is read and sent to the algorithm and ephemeris, which contains information about Kepler's elements plus corrections for the Earth's gravitational field and other forces that provide time-dependent, accurate satellite orbit values, in the RINEX file format are automatically downloaded from FTP server, the result is decompressed and stored in the calculation block after processing. At the same time, the same procedure is performed for IONEX files that provide the information necessary to resolve the ionospheric delay. Therefore, a potential user just needs to make sure that the Internet connection is guaranteed. The best results are obtained by using IONEX files, and by applying all the correction levels, you can remove most of the systematic measurement errors.

Key words: *positioning accuracy, GPS data capture, algorithms, auxiliary data, navigation system*