

Даний винахід відноситься, в основному, до технологій, зв'язаних з позиціонуванням та навігацією з використанням супутників, і, зокрема, до розрізнення плаваючої неоднозначності несучої в регіональній, широкозонній або глобальній системі позиціонування і/або навігації по фазі несучої.

Глобальна система позиціонування (ГСП) використовує супутники в космосі для визначення місцеположення об'єктів на землі. У ГСП сигнали від супутників поступають на приймач ГСП і використовуються для визначення положення приймача ГСП. У цей час два типи вимірювань ГСП, що відповідають кожному каналу корелятора із захопленим сигналом супутника ГСП, доступні для цивільних приймачів ГСП. Два типи вимірювань ГСП являють собою псевдодальність та інтегровану фазу несучої для двох сигналів L1 та L2 несучою з частотами 1,5754 ГГц та 1,2276 ГГц, або довжинами хвиль 0,1903 м та 0,2442 м, відповідно. Вимірювання псевдодальності (або вимірювання коду) являє собою основну функцію спостереження ГСП, яку всі типи приймачів ГСП можуть виконувати. Воно використовує C/A-код або P-коди, що модулюються на сигнали несучої. При вимірюванні реєструється дійсний час, що затрачується для проходження відповідного коду від супутника до приймача, тобто час, в який сигнал поступає на приймач відповідно до часів приймача, мінус час, коли сигнал був переданий зі супутника відповідно до часів супутника. Вимірювання фази несучої здійснюється за допомогою інтегрування відновленої несучої сигналу, коли він поступає на приймач. Таким чином, вимірювання фази несучої також являє собою міру різниці часу проходження сигналу, що визначається часом, коли сигнал був переданий зі супутника відповідно до часів супутника, і часу, коли він поступає на приймач відповідно до часів приймача. Однак, оскільки первинна кількість цілих періодів при проходженні між супутником та приймачем, коли приймач починає відстежувати фазу несучої сигналу, звичайно невідома, різниця часу проходження сигналу може бути з помилкою на кратне число періодів несучої, тобто існує повноперіодна неоднозначність при вимірюванні фази несучої.

При доступних вимірюваннях ГСП дальність або відстань між приймачем ГСП і кожним з множини супутників обчислюється за допомогою множення часу проходження сигналу на швидкість світла. Ці дальності звичайно згадуються як псевдодальності (помилкові дальності), оскільки часи приймача звичайно мають значну часову помилку, яка спричиняє загальне зміщення дальності, що вимірюється. Це загальне зміщення через помилку часів приймача визначається разом з координатами положення приймача як частина нормальних навігаційних обчислень. Різні інші фактори також можуть призводити до помилок або шуму в обчисленій дальності, включаючи ефемеридну помилку, часову помилку часів супутника, атмосферні впливи, шум приймача та помилку багатопроменевого поширення. При автономній навігації ГСП, коли користувач з приймачем ГСП одержує код і/або дальності по фазі несучої відносно множини видимих супутників без звернення до якої-небудь опорної станції, користувач дуже обмежений в шляхах зниження помилок або шумів в дальностях.

Щоб усунути або знизити ці помилки, диференціальні операції звичайно використовуються в прикладеннях ГСП. Функціонування диференціальної ГСП (ДГСП) звичайно використовує базовий опорний приймач ГСП, (або навігаційний) приймач користувача ГСП і лінію зв'язку між користувачем та опорними приймачами. Опорний приймач розміщується у відомому розташуванні, і відоме положення використовується для генерування поправок, пов'язаних з деякими або всіма з вищезазначених факторів помилок. Поправки подаються на приймач користувача, і приймач користувача потім використовує поправки для відповідної корекції його обчисленого положення. Поправки можуть бути у вигляді поправок положення опорного приймача, визначеного на опорній станції, або у вигляді поправок годин і/або орбіти конкретного супутника ГСП. Диференціальні операції, що використовують вимірювання фази несучої, часто згадуються як операції позиціонування/навігації кінематичного режиму в реальному часі (KPPЧ).

Фундаментальний принцип диференціальної ГСП (ДГСП) полягає у використанні переваги просторових та часових кореляцій помилок, властивих вимірюванням ГСП, з метою усунення факторів шуму при вимірюванні псевдодальності і/або фази несучої, що виникають внаслідок цих факторів помилок. Однак, хоча часова помилка часів супутника ГСП, яка виявляється як зміщення при вимірюванні псевдодальності або фази несучої, ідеально корелюється між опорним приймачем та приймачем користувача, велика частина інших факторів помилок ні корелюється, ні кореляція не скорочує їх в широкозонних застосуваннях, тобто коли відстань між опорним та приймачами користувача стає великою.

Щоб подолати неточність системи ДГСП в широкозонних застосуваннях, були запропоновані різні методики регіональних, широкозонних або глобальних ДГСП (що нижче згадуються як широкозонна ДГСП або ШЗДГСП). ШЗДГСП включають в себе мережу численних опорних станцій, що знаходяться на зв'язку з обчислювальним центром або центральною станцією. Поправки на виправлення помилок обчислюються на центральній станції, основуючись на відомому розташуванні опорних станцій та вимірюваннях, що здійснюються ними. Обчислені поправки на виправлення помилок потім передаються користувачам по лініях зв'язку, наприклад через супутники, по телефону або радіо. За допомогою використання численних опорних станцій ШЗДГСП забезпечує більш точні оцінки поправок на виправлення помилок.

Таким чином, був розроблений ряд різних методик для одержання високоточної диференціальної навігації з використанням вимірювань фази несучої ГСП. Методикою з найвищою точністю є методика KPPЧ, яка має типову точність приблизно один сантиметр. Щоб одержати таку точність, однак, повинна бути розрізнена повноперіодна неоднозначність в диференціальних вимірюваннях фази несучої. Коли є малою відстань між приймачем користувача та опорним приймачем (протяжність базової лінії), методика KPPЧ є дуже вигідною, оскільки в цьому випадку повноперіодна неоднозначність може бути розрізнена не тільки точно, але також і швидко. З іншого боку, коли протяжність базової лінії становить більше декількох десятків кілометрів, може стати неможливим розрізнення повноперіодної неоднозначності, і не може бути досягнута нормальна точність KPPЧ. Іншим обмеженням методики KPPЧ є те, що вона вимагає підтримку локальної радіолінії між опорним приймачем та навігаційним приймачем.

Методики ШЗДГСП, які використовують диференціальний спосіб по фазі несучої, також можуть досягати дуже високої точності навігації. Диференціальні методики ШЗДГСП також характеризуються надійними низькочастотними лініями зв'язку на великі відстані або надійними лініями супутникового зв'язку. Таким чином, поправки, в основному, можуть передаватися на навігаційні приймачі без істотних перерв. Однак, методики ШЗДГСП звичайно розглядають повноперіодні неоднозначності як змінну з дійсними

значеннями (не цілочисельними) і визначають «плаваючу неоднозначність», яка звичайно дуже погано визначається доти, доки не будуть одержані дані вимірювань, що охоплюють часової інтервал істотної зміни геометрії супутників. Таким чином, в прикладенні ШЗДГСП часто потрібний часової інтервал, який дорівнює максимально одному або двом годинам, для розрізнення «плаваючої неоднозначності», щоб одержати точність менше 10 сантиметрів в навігаційному положенні.

Дана заявка включає в себе спосіб об'єднання використання навігаційних методик КРРЧ та ШЗДГСП, так що слабкість кожної методики може доповнюватися сильними властивостями іншої методики. Основним недоліком методики ШЗДГСП є те, що навігаційному приймачу потрібний тривалий минулий час (часто більше години) для визначення значень плаваючої неоднозначності, які потрібні для перетворення вимірювань фази несучої в точні вимірювання дальності. Основними недоліками методики КРРЧ є те, що вона вимагає лінію передачі даних в реальному часі (звичайно в межах лінії прямої видимості) між приймачем користувача ГСП та опорним приймачем ГСП, і що повноперіодна неоднозначність може бути визначена тільки тоді, коли розділяюча відстань між опорним приймачем ГСП та приймачем користувача ГСП є відносно малою.

Ці окремі недоліки можуть бути усунені за допомогою використання способу об'єднання використання навігаційних методик КРРЧ та ШЗДГСП згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу. Спосіб включає в себе використання відомого положення приймача користувача для ініціалізації значень плаваючої неоднозначності в системі ШЗДГСП. Коли приймач користувача був нерухомим, відоме положення приймача користувача може являти собою обстежене положення або положення, одержане з попередньої операції. Коли приймач користувача переміщається, відоме розташування може бути одержане з використанням системи КРРЧ.

Таким чином, при об'єднаній дії, коли доступна лінія зв'язку для навігації в КРРЧ, вихідні результати положення, швидкості та часу (ПШЧ) приймача користувача можуть бути одержані з використанням системи КРРЧ, тоді як система ШЗДГСП виконується в фоновому режимі і її вихідні результати постійно ініціалізуються для відповідності вихідним результатам системи КРРЧ. Коли уривається лінія зв'язку для навігації в КРРЧ, або коли приймач користувача відходить на дуже велику відстань від опорної станції в системі КРРЧ, вихідні результати ПШЧ приймача користувача можуть бути одержані з використанням системи ШЗДГСП, яка була ініціалізована, коли працювала КРРЧ. Ініціалізація виключає нормальний час «входження в синхронізм» від 15 хвилин до двох годин, необхідний для визначення значень плаваючої неоднозначності, коли невідоме положення приймача користувача ГСП. Це забезпечує дуже точні рішення ПШЧ від системи ШЗДГСП, коли система КРРЧ недоступна або є неточною, і робить методику ШЗДГСП більш практичною для цілей високоточного позиціонування та навігації в реальному часі.

Фіг.1 являє собою блок-схему комбінації системи ШЗДГСП та локальної системи КРРЧ згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу.

Фіг.2 являє собою блок-схему комп'ютерної системи, зв'язаної з приймачем користувача ГСП.

Фіг.3А являє собою блок-схему послідовності операцій, що ілюструє спосіб об'єднання використання системи ШЗДГСП та локальної системи КРРЧ.

Фіг.3В являє собою блок-схему послідовності операцій, що ілюструє спосіб оновлення положення приймача, що використовує локальну систему КРРЧ.

Фіг.4 являє собою блок-схему послідовності операцій, що ілюструє послідовність операцій процесу для об'єднаної дії з використанням як системи ШЗДГСП, так і локальної системи КРРЧ.

Фіг.5 являє собою схему, що ілюструє ситуацію, в якій може використовуватися об'єднана дія.

Фіг.1 ілюструє систему 100 широкозонної або глобальної диференціальної ГСП (ШЗДГСП) згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу. Як показано на Фіг.1, система 100 ШЗДГСП включає в себе мережу опорних станцій 120, причому кожна має приймач 122 ГСП, і одну або декілька центральних станцій 105 обробки. Опорні станції 120 безперервно надають необроблені параметри ГСП, що спостерігаються, центральній станції 105 для обробки. Ці параметри, що спостерігаються, включають в себе вимірювання коду і фази несучої ГСП, ефемериди та іншу інформацію, що одержується відповідно до сигналів, що приймаються від множини супутників 110 на опорних станціях 120. Опорні станції 120 розміщуються у відомому розташуванні по широкій зоні 101, такий як континент, для системи широкозонної ДГСП, або навколо земної кулі для мережі глобальної ДГСП. Центральні станції 105 являють собою обладнання, на якому обробляються параметри ГСП, що спостерігаються, та обчислюються поправки ДГСП. Якщо передбачені численні незалежні центральні станції, переважно, щоб вони географічно були розділені і працювали паралельно.

Система 100 ШЗДГСП може використовуватися одним або декількома користувачами (або пристроями користувача або об'єктами) 140, причому кожний має приймач користувача 142 ГСП для цілей позиціонування і/або навігації. В одному варіанті здійснення даного винаходу користувач 140 зв'язується з сусідньою опорною станцією 120 по радіолінії КРРЧ, так що приймач користувача 142 і сусідня опорна станція 120 утворюють локальну систему 150 КРРЧ. Система 100 додатково включає в себе звичайні лінії передачі даних (не показані) для забезпечення надійних транспортних механізмів для посилання параметрів ГСП, що спостерігаються, від опорних станцій 120 центральним станціям 105 і для широкомовної розсилки обчислених поправок від центральних станцій 105 опорним станціям 120 і користувачам 140. Континентальна система ШЗДГСП звичайно має приблизно від 3 до 10 опорних приймачів, і глобальна система ШЗДГСП звичайно має приблизно від 20 до 100 опорних приймачів, що подають дані на центральні станції 105. В одному варіанті здійснення даного винаходу параметри ГСП, що спостерігаються, посилаються з опорних станцій 120 центральним станціям 105 через Інтернет, і обчислені поправки посилаються також через Інтернет з центральних станцій на одну або декілька наземних станцій (не показані) для передачі по лінії «вгору» на один або декілька супутників (не показані), які потім виконують широкомовну передачу обчислених поправок для прийому опорними станціями 120 та приймачем користувача 142.

В одному варіанті здійснення даного винаходу користувач або об'єкт 140 також оснащується комп'ютерною системою 144, зв'язаною з приймачем користувача 142 ГСП. Як показано на Фіг.2, комп'ютерна система 144 включає в себе центральний процесор (ЦП) 146, пам'ять 148, один або декілька

портів 154 введення, один або декілька портів 156 виведення і (необов'язково) інтерфейс користувача 158, зв'язані один з одним за допомогою однієї або декількох шин 152 зв'язку. Пам'ять 148 може включати в себе високошвидкісний оперативний запам'ятовуючий пристрій і може включати в себе енергонезалежний масовий запам'ятовуючий пристрій, такий як один або декілька пристроїв зберігання на магнітних дисках або пристроїв флеш-пам'яті.

Пам'ять 148 переважно зберігає операційну систему 162, процедури 164 прикладення ГСП та базу 170 даних. Процедури 164 прикладення ГСП можуть включати в себе процедури 166 для виконання способу 300 об'єднання використання локальної системи 150 КРРЧ та системи 160 ШЗДГСП, як детальніше описано нижче. Операційна система 162 і програми та процедури 164 прикладення, що зберігаються в пам'яті 148, призначені для виконання за допомогою ЦП 146 комп'ютерної системи 144. Пам'ять 148 переважно також зберігає структури даних, що використовуються під час виконання процедур 164 прикладення ГСП, включаючи вимірювання 168 псевдодальності і фазу несучої ГСП, поправку 172 ГСП, прийняті від центральних станцій, а також інші структури даних, описані в даному документі.

Порти 154 введення призначені для прийому даних від приймача 142 ГСП, для прийому інформації від опорної станції 120 в локальній системі 120 КРРЧ по радіолінії 124 і для прийому поправок ГСП та іншої інформації від центральних станцій 105 за допомогою лінії 107 супутникового зв'язку. Порт 156 виведення використовується для виведення на опорну станцію 120 по радіолінії 124. В одному варіанті здійснення даного винаходу ЦП 146 і пам'ять 148 комп'ютерної системи 144 об'єднані з приймачем 142 ГСП в один пристрій, всередині одного корпусу, як показано на Фіг.2. Однак таке об'єднання в один пристрій не потрібно для здійснення способів даного винаходу.

Тому, користувач або об'єкт 140 може брати участь в двох різних режимах роботи або одночасно, або в різні моменти часу. Користувач або об'єкт 140 може працювати в режимі ШЗДГСП, в якому користувач або об'єкт 140 позиціонує себе або виконує навігацію з використанням системи 100 ШЗДГСП, і/або в режимі КРРЧ, в якому користувач або об'єкт 140 позиціонує себе або виконує навігацію з використанням локальної системи 150 КРРЧ. Коли користувач або об'єкт 140 знаходиться близько до опорної станції 120, з якою він зв'язаний, і може підтримуватися радіолінія між користувачем або об'єктом 140 та опорною станцією 120, користувач може використати локальну систему 150 КРРЧ для свого позиціонування відносно опорної станції 120. Локальна система 150 КРРЧ більш вигідна, ніж система 100 ШЗДГСП в тому, що вона більш точна, і що може бути швидко розрізнена повноперіодна цілочисельна неоднозначність, як пояснено нижче.

Використовуючи локальну систему 150 КРРЧ, коли виконуються вимірювання відносно п супутників 110, видимих для опорного приймача 122 ГСП, та зв'язаного з ними приймача користувача 142 ГСП, вимірювання можуть використовуватися для визначення положення користувача або об'єкта 140 за наступним рівнянням в форматі матриці:

$$(\nabla\Phi + N)\lambda = Hx + n_\Phi \quad (1)$$

де $\nabla\Phi = [\nabla\phi_1 \ \nabla\phi_2 \ \dots \ \nabla\phi_n]^T$ являє собою вектор вимірювання фази несучої, утворений диференціальним вимірюванням фази несучої відносно кожного з п супутників 110. $N = [N_1 \ N_2 \ \dots \ N_n]^T$ являє собою вектор цілочисельної неоднозначності, утворений диференціальною цілочисельною неоднозначністю, зв'язаною з кожним з диференціальних вимірювань фази несучої у векторі вимірювання фази несучої, $N = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_n]^T$ являє собою матрицю чутливості вимірювань, утворену одиничними векторами від користувача або об'єкта 140 до п супутників 110, x являє собою речовинний вектор невідомого стану (або речовинний вектор), що включає в себе вектор положення від опорної станції 120 до користувача або об'єкта 140 в локальній системі 150 КРРЧ, і $n_\Phi = [n_{\phi_1} \ n_{\phi_2} \ \dots \ n_{\phi_n}]^T$ являє собою вектор шуму вимірювання (або вектор відхилень дальності по фазі), утворений диференціальним шумом фази несучої відносно кожного з п супутників 110.

Для визначення речовинного вектора x , використовуючи рівняння (1), повинен бути розрізнений вектор N цілочисельної неоднозначності. Багато різних способів були розроблені для розрізнення значень цілочисельної неоднозначності, включених у вектор N цілочисельної неоднозначності, і ці способи звичайно використовують процес пошуку для знаходження комбінації значень цілочисельної неоднозначності, яка задовольняє визначеним критеріям, таким як мінімальна норма вектора Δ_Φ відхилень вимірювання,

$$\Delta_\Phi = (\nabla\Phi + \tilde{N})\lambda - H\hat{x} \quad (2)$$

де Δ_Φ являє собою вектор відхилень дальності по фазі, що відповідає можливому вектору \tilde{N} цілочисельної неоднозначності, що включає в себе комбінацію значень цілочисельної неоднозначності, і \hat{x} являє собою рішення рівняння (1) за методом найменших квадратів,

$$\hat{x} = [H^T H]^{-1} H^T (\nabla\Phi + N)\lambda \quad (3)$$

або

$$\hat{x} = [H^T R H]^{-1} H^T R^{-1} (\nabla\Phi + N)\lambda \quad (4)$$

де

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

являє собою коваріаційну матрицю вимірювань, утворену за допомогою σ_1 , яке являє собою середньоквадратичне відхилення диференціального шуму ϕ_1 фази несучої, обчислене з використанням звичайних способів. Приклад способів обчислення σ_1 можна знайти в «Precision, Cross Correlation, and Time Correlation of GPS Phase and Code Observations,» by Peter Bona, GPS Solution, Vol. 4, No. 2, Fall 2000, p. 3-13, або в «Tightly Integrated Attitude Determination Methods for Low-Cost Inertial Navigation: Two-Antenna GPS and GPS/Magnetometer», by Yang, Y., Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical Engineering, University of California, Riverside, CA June 2001, обидва документи включені як посилання.

Інші приклади способів пошуку можна знайти в «Instantaneous Ambiguity Resolution,» by Hatch, R., in the Proceedings of the KIS Symposium 1990, Banff, Canada, яка включена тут як посилання, і в заявці на патент із загальною власністю на «Fast Ambiguity Resolution for Real Time Kinematic Survey and Navigation», заявка на патент № 10/338 264, яка також включена тут як посилання.

При розрізненій цілочисельній неоднозначності положення, швидкість і час (ПШЧ) приймача користувача 142 можуть бути точно обчислені у вигляді рішень локальної системи 150 KPPЧ.

Незважаючи на багато переваг, локальна система 150 KPPЧ може бути не завжди доступна для користувача або об'єкта 140, оскільки користувач може переміщатися в розташування, яке знаходиться дуже далеко від опорної станції 120 або поза видимістю з опорної станції 120, так що не може підтримуватися радіолінія 124 між користувачем або об'єктом 140 та опорною станцією. У таких ситуаціях наведена іоносферою помилка не може бути усунена задовільно за допомогою урахування різниці між вимірюваннями у користувача або об'єкта 140 і на опорній станції 120. Ця помилка впливає на вищезазначений процес пошуку відносно вектора цілочисельної неоднозначності, оскільки вона спричиняє збільшення відхилень вимірювання, включених у вектор Δ_ϕ відхилень вимірювання.

Тому, в тих ситуаціях, коли локальна система 150 KPPЧ недоступна або втратила свою точність через велику відстань між приймачем користувача ГСП та опорною станцією, користувачеві може бути потрібним працювати в режимі ШЗДГСП, в якому використовується інший підхід до розрізнення цілочисельної неоднозначності. Використовуючи систему 100 ШЗДГСП, кожна повноперіодна неоднозначність оцінюється як змінна з дійсними значеннями (не цілими числами). Ця практика часто згадується як визначення значення «плаваючої неоднозначності». Один спосіб визначення значення «плаваючої неоднозначності» включає в себе утворення скоректованих з урахуванням рефракції вимірювань коду і фази несучої, основаних на необроблених вимірюваннях ГСП, виконаних у користувача або об'єкта 140, масштабування вимірювань фази несучої в ті самі одиниці, що і вимірювання коду, і віднімання кожного масштабованого вимірювання фази несучої з відповідного вимірювання коду з метою одержання значення зсуву. В одному варіанті здійснення даного винаходу скоректоване з урахуванням рефракції вимірювання коду, позначене як PRC, утворюється таким чином:

$$P_{RC} = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_1 - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_2 \cong P_1 - 1.5457(P_1 - P_2) \quad (6)$$

де P_1 та P_2 являють собою необроблені вимірювання коду псевдодальності на частотах $L1$ та $L2$ f_1 та f_2 , відповідно, в конкретний період вимірювань. Скоректовані з урахуванням рефракції вимірювання фази несучої, позначені як L_{RC} , утворюються аналогічно таким чином:

$$L_{RC} = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) L_1 - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) L_2 \cong L_1 - 1.5457(L_1 - L_2) \quad (7)$$

де L_1 та L_2 являють собою вимірювання фази несучої, масштабовані довжинами хвиль сигналів $L1$ та $L2$, відповідно, і кожне включає в себе приблизне значення повноперіодної неоднозначності, яке було додане так, щоб спричинити наближення масштабованого вимірювання фази несучої до такого ж значення, що і відповідне вимірювання коду. Таким чином,

$$L_1 = (\phi_1 + N_1) \lambda_1 \quad (8)$$

$$L_2 = (\phi_2 + N_2) \lambda_2 \quad (9)$$

де ϕ_1 та ϕ_2 являють собою необроблені вимірювання фази несучої на частотах $L1$ та $L2$, відповідно, в цьому ж періоді вимірювань, і повноперіодні значення N_1 та N_2 були ініціалізовані на початку відстеження фази несучої користувачем або об'єктом 140 для одержання значень, які знаходяться в межах однієї довжини хвилі несучої відповідних вимірювань коду, щоб підтримувати малими різниці між масштабованими вимірюваннями фази несучої та відповідними вимірюваннями коду. З рівняння (7) зазначається, що скоректовані з урахуванням рефракції вимірювання фази несучої включають в себе повноперіодну неоднозначність з довжиною λ хвилі, що визначається сумою f_1 та f_2 (яка дорівнює приблизно 2,803 ГГц), так що λ приблизно дорівнює 0,1070 метри (тобто $c/(f_1 + f_2)$).

Оскільки іоносферні впливи були усунені у вимірюваннях як коду, так і фази несучої відповідно до рівнянь (6)-(9), і вплив помилок годин і орбіти супутника на вимірювання псевдодальності і фази несучої

однакові, значення P_{RC} та L_{RC} , одержані на етапі 310, повинні бути майже ідентичними за винятком можливої повноперіодної неоднозначності, зв'язаної з вимірюванням L_{RC} фази несучої і з більш високим шумом багатопроменевості при вимірюванні P_{RC} коду. Це дозволяє одержати розрізнення повноперіодної неоднозначності в L_{RC} за допомогою згладжування зсуву ($O = P_{RC} - L_{RC}$) між скоректованим з урахуванням рефракції вимірюванням коду і скоректованим з урахуванням рефракції вимірюванням фази несучої по серії періодів вимірювань, так що зсув стає все більш і більш точною оцінкою «плаваючої неоднозначності». Згладжене значення зсуву може бути додатково уточнене за допомогою використання постфікських відхилень вимірювання для забезпечення додаткового коректування вимірювань фази несучої, так що відхилення відкоректованих вимірювань дорівнюють майже нулю.

В одному варіанті здійснення даного винаходу зсув згладжується, за допомогою взяття середнього зсуву, що розширюється, таким чином:

$$O_i = O_{i-1} + (P_{RC}^i - L_{RC}^i - O_{i-1}) / \eta \quad (10)$$

де $i=1, 2, 3 \dots$ використовується для позначення періоду вимірювання, і значення η являє собою довірче значення, яке збільшується, коли O_i стає більш точною оцінкою значення плаваючої неоднозначності. В одному варіанті здійснення даного винаходу η дорівнює і доти, доки не буде досягнуте максимальне значення усереднення. Наприклад, якщо передбачається, що вимірювання фази несучої має тільки 1/100-у від шуму вимірювання коду, значення « η » буде обмежене значенням, яке менше ніж 100 в квадраті або 10000. Рівняння (9), таким чином, може обчислюватися рекурсивним чином, доки не буде досягнута визначена точність значення плаваючої неоднозначності.

При згладженому зсуві O_i згладжене скоректоване з урахуванням рефракції вимірювання S коду може бути одержане за допомогою додавання скоректованого з урахуванням рефракції вимірювання фази несучої для поточного періоду вимірювання до згладженого зсуву, так що

$$S_i = O_i + L_i \quad (11)$$

яке має точність вимірювання фази несучої, але без зв'язаної з ним неоднозначності.

Вищезазначений процес, як описано в зв'язку з рівняннями (6)-(11), виконується для кожного з множини супутників, які є видимими для приймача користувача 142 ГСП. При згладженому скоректованому з урахуванням рефракції вимірюванні коду, доступному для кожного з множини супутників, які є видимими для приймача користувача 142 ГСП, можуть бути одержані псевдодальності до цих супутників. Ці псевдодальності уточнюються за допомогою поправок ШЗДГСП, що приймаються від центральних станцій 105, і використовуються при визначенні місцеположення за методом зважених найменших квадратів для обчислення вектора x стану. Таким чином, можуть обчислюватися положення, швидкість і час (ПШЧ) приймача користувача 142 ГСП як рішення ШЗДГСП для ПШЧ приймача користувача 142 ГСП.

Інші приклади способів одержання згладжених скоректованих з урахуванням рефракції зсувів можна знайти в «The Synergism of Code and Carrier Measurements,» by Hatch, R. in Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, DMA, NOS, Las Cruces, N.M., New Mexico State University, Vol. II, pp. 1213-1232, яка включена тут як посилання, і в заявці на патент із загальною власністю на «Method for Generating Clock Corrections for a Wide-Area or Global Differential GPS System», реєстр повіреного № 009792-0042-999, яка також включена тут як посилання.

Також можна визначити значення «плаваючої неоднозначності» як окремі стани в рішенні за методом найменших квадратів або калмановської фільтрації. Коли неоднозначність включена у вигляді станів, значення оцінки для кожного значення плаваючої неоднозначності коректується відповідно до відхилення, так що вона стає все більш точною, коли геометрія системи змінюється внаслідок руху супутників. Таким чином, ця методика також дає все більш точну оцінку у часі. Див. статтю Patrick H. C. Hwang в Navigation Vol. 38, No. 1, Spring 1991, озаглавлену «Kinematic GPS for Differential Positioning: Resolving Integer Ambiguities on the Fly», яка включена тут як посилання.

Існують багато комбінацій та різновиди вищеписаних методик, які можуть використовуватися для оцінювання значень «плаваючої неоднозначності». Однак всі вони включають в себе обробку даних протягом істотного інтервалу часу. Інтервал часу часто може становити максимально одну або дві години, перш ніж можна бути упевненим, що «плаваюча неоднозначність» досить точна, щоб одержати точність менше 10 сантиметрів в керованому навігацією положенні користувача 140. Щоб зменшити інтервал часу для одержання значень «плаваючої неоднозначності», система ШЗДГСП може ініціалізуватися так, як описано нижче, з використанням відомого розташування приймача користувача 142 ГСП.

Фіг.3А ілюструє спосіб 300 ініціалізації системи 100 ШЗДГСП. Як показано на Фіг.3, спосіб 300 включає в себе етап 310, на якому визначається, чи є користувач нерухомим у відомому розташуванні. Це може бути виконане відповідно до введення користувача або за допомогою деякого звичайного механізму, який дозволяє комп'ютеру 144 визначити, чи був нерухомим приймач користувача 142. Якщо приймач користувача 142 був нерухомим, і положення приймача користувача 142 точно відоме, то це положення може використовуватися для обчислення значень плаваючої неоднозначності без допомоги локальної системи 150 КРРЧ. Досліджене положення приймача користувача 142 ГСП може використовуватися як відоме положення, або при деяких умовах, положення може бути відомим, просто тому що приймач користувача 142 був нерухомим, і положення користувача вже було визначене під час попередньої операції.

У відповідь на визначення, що користувач є нерухомим у відомому розташуванні, спосіб 300 переходить на етап 320, на якому положення приймача користувача встановлюється у відоме розташування. В іншому випадку, спосіб 300 переходить на етап 330, на якому включається локальна система 150 КРРЧ для автоматичного оновлення розташування користувача, використовуючи описаний вище спосіб.

Спосіб 300 додатково включає в себе етап 340, на якому розташування приймача користувача, чи

визначене воно на етапі 320 або на етапі 330, використовується для обчислення набору теоретичних дальностей до супутників 110. Це може включати в себе обчислення положень супутників 110, основуючись на ширококомовних ефемеридах від системи 100 ШЗДГСП і коректування цих положень за допомогою орбітальних поправок, що передаються ширококомовним чином системою 100 ШЗДГСП. Якщо як положення приймача користувача, так і положення супутників задані в прямокутних координатах, теоретична дальність від користувача 140 до кожного супутника 110 може обчислюватися таким чином:

$$r = \sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2} \quad (12)$$

де нижній індекс s означає координату супутника, і нижній індекс u означає координату приймача користувача або об'єкта.

Спосіб 300 додатково включає в себе етап 350, на якому початкове значення а плаваючої неоднозначності, що відповідає кожному супутнику, обчислюється за допомогою віднімання з обчисленої теоретичної дальності і дальності, одержаної з скоректованого з урахуванням рефракції вимірювання фази несучої у відношенні цього ж супутника, так що

$$a = r - L_{RC}^0 \quad (13)$$

де L_{RC}^0 представляє скоректоване з урахуванням рефракції вимірювання фази несучої, обчислене за рівнянням (7) в початковому періоді вимірювань.

Спосіб 300 додатково включає в себе етап 360, на якому значення плаваючої неоднозначності розрізняються за допомогою додавання початкових значень плаваючої неоднозначності до відповідних скоректованих з урахуванням рефракції вимірювань фази несучої в подальших періодах вимірювань, тобто,

$$L_{RC}^i = L_{RC}^i + a \quad (14)$$

і розглядання значень плаваючої неоднозначності також відомими, так що достовірність встановлюється високою (або відхилення встановлюється низьким). На практиці етап 360 виконується з використанням малого значення коефіцієнта посилення для коректування значень плаваючої неоднозначності в процесі визначення значень плаваючої неоднозначності. Наприклад, якщо значення плаваючої неоднозначності визначаються за допомогою згладжування зсуву між скоректованим з урахуванням рефракції вимірюванням коду і скоректованим з урахуванням рефракції вимірюванням фази несучої за рівнянням (9), малий коефіцієнт посилення означає розглядання значення плаваючої неоднозначності, як яби велика кількість значень зсуву була використана при його обчисленні, так що $\eta = i + (\text{велике число})$. Якщо значення неоднозначності визначається в процесі калмановської фільтрації, малий коефіцієнт посилення досягається встановленням відхилення стану неоднозначності на мале значення.

Таким чином, за допомогою використання відомого розташування нерухомого приймача користувача 142, або за допомогою використання локальної системи 150 КРРЧ для ініціалізації значень плаваючої неоднозначності, виключається звичайний час «входження в синхронізм» від п'ятнадцяти хвилин до двох годин, необхідний для визначення значень плаваючої неоднозначності, коли невідоме положення приймача користувача. Це може значно прискорити процес розрізнення неоднозначності фази несучої в системі 100 ШЗДГСП, роблячи систему 100 ШЗДГСП більш відповідною для цілей позиціонування і/або навігації в реальному часі.

Щоб використати локальну систему 150 КРРЧ для оновлення положення приймача користувача в способі 300, положення опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ повинно визначатися точно в системі 100 ШЗДГСП. Звичайна система КРРЧ може використовуватися у відносному значенні, означаючи, що положення приймача користувача 142 може визначатися відносно опорного приймача. Таким чином, точні відносні положення приймача користувача 142 ГСП можуть бути одержані, навіть якщо координати опорної станції не є особливо точними, і дані координат крім нормальних даних ГСП використовуються для позиціонування опорної станції. Для об'єднаного позиціонування локальної системи 150 КРРЧ та системи 100 ШЗДГСП, однак, повинно бути визначене точне положення опорного приймача 120 в системі 150 КРРЧ. Якщо використовується неправильне положення для опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ, то це викличе неправильні значення плаваючої неоднозначності, обчислені так, як описано вище. Це призведе до повільного дрейфу обчисленого положення приймача користувача 142, оскільки значення плаваючої неоднозначності повільно коректуються до правильного значення під час подальшої обробки ШЗДГСП.

В одному варіанті здійснення даного винаходу середнє положення опорної станції 120 в системі 150 КРРЧ визначається на основі даних часів позиціонування від системи 100 ШЗДГСП для підвищеної надійності. В альтернативному варіанті здійснення комп'ютерна система на опорній станції 120 приймає введення оператором значення для її положення і надає положення користувачеві 140. Це дозволяє негайно починати відносне позиціонування КРРЧ, використовуючи це положення для опорної станції. Одночасно, більш точне положення опорної станції 120 визначається системою 100 ШЗДГСП і передається опорній станції 120. Це більш точне положення або зсув між введеним оператором положенням і більш точним положенням опорної станції 120, визначеним системою 100 ШЗДГСП, потім передається з відносно низькою швидкістю передачі користувачеві 140.

Фіг.3В ілюструє більш детально етап 330 в способі 300, на якому положення користувача оновлюється з використанням локальної системи 150 КРРЧ. Як показано на Фіг.3В, етап 330 включає в себе підетап 331, на якому користувач або об'єкт 140 приймає введення оператором положення опорної станції 120 в системі 150 КРРЧ, і підетап 333, на якому користувач або об'єкт 140 виконує операцію локального КРРЧ для

визначення свого власного положення відносно положення опорної станції 120. Етап 330 додатково включає в себе підетап 335, на якому користувач або об'єкт 140 приймає більш точне положення опорної станції 120, визначене системою 100 ШЗДГСП, або зсув між введенням оператором положенням опорної станції 120 і більш точним положенням опорної станції 120, визначеним системою 100 ШЗДГСП. Етап 330 додатково включає в себе підетап 337, на якому користувач або об'єкт 140 обчислює абсолютне положення приймача користувача 142 ГСП в прямокутних координатах, використовуючи або введені користувачем положення опорної станції, або положення опорної станції 120, визначене системою 100 ШЗДГСП (якщо доступна).

Прикладом, де можуть бути одержані переваги за допомогою використання способу 300, є позиціонування потяга. Коли потяг проходить через тунель, втрачається як локальна лінія зв'язку КРРЧ, так і глобальна лінія зв'язку ШЗДГСП. У цій ситуації лінія передачі даних КРРЧ може бути встановлена для ініціалізації значень плаваючої неоднозначності ШЗДГСП, коли потяг вийде з тунелю. Це усуває довгий інтервал передачі даних, який інакше б був потрібен для визначення правильних значень плаваючої неоднозначності.

Іншим прикладом, де можуть бути одержані переваги за допомогою використання способу 300, є позиціонування літака відразу ж після зльоту. У цьому випадку, локальна система КРРЧ в аеропорті, де літак готується злетіти, може використовуватися для ініціалізації неоднозначності ШЗДГСП або до, або під час зльоту.

Таким чином, користувач або об'єкт 140, який включає в себе приймач користувача 142 ГСП та комп'ютерну систему 144, приєднану до приймача користувача 142 ГСП, може працювати як в режимі КРРЧ, так і в режимі ШЗДГСП. Локальна система 150 КРРЧ є більш сприятливою, ніж система ШЗДГСП, оскільки процес пошуку для локальної системи 150 КРРЧ, як описано вище, займає значно менше часу, ніж спосіб згладжування в системі 100 ШЗДГСП для розрізнення значень цілочисельної неоднозначності. У процесі пошуку згладжування вимірювань коду або не потрібно, або виконується згладжування вимірювань коду зі значно більш короткою тривалістю, не визначаючи безпосередньо повноперіодну неоднозначність, але надаючи зменшену невизначеність в початковому наборі значень цілочисельної неоднозначності, так що подальший процес пошуку може бути більш жорстко обмежений. З цієї причини, тільки декількох секунд передачі даних досить для одержання початкового набору значень неоднозначності. Локальна система 150 КРРЧ, однак, доступна тільки в ситуаціях, де може підтримуватися лінія зв'язку між приймачем користувача 142 ГСП та опорною станцією 120 в локальній системі 150 КРРЧ, і користувач або об'єкт 140 не переміщається дуже далеко від опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ. Коли ці умови не задовольняються, тобто, коли локальна система 150 КРРЧ або недоступна, або неточна, користувач може звернутися до системи 100 ШЗДГСП для навігації за допомогою використання положення приймача користувача, визначеного в останній раз системою 150 КРРЧ для ініціалізації системи ШЗДГСП, так що виключається довгий час «входження в синхронізм» для одержання значень «плаваючої неоднозначності».

Фіг.4 ілюструє послідовність 400 операцій процесу для об'єднаної роботи КРРЧ та ШЗДГСП, що виконується комп'ютерною системою 144 користувача. Послідовність операцій процесу включає в себе етапи 440, 450 та 460. Як показано на Фіг.4, коли доступні поправки КРРЧ, користувач 140 працює в режимі КРРЧ. Він приймає положення 401 опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ і виконує етап 440, на якому визначаються ПШЧ приймача користувача з використанням поправок 410 КРРЧ, що приймаються від опорного приймача 120 в локальній системі 150 КРРЧ. Під час виконання етапу 440 користувач 140 може продовжувати приймати поправки 420 ШЗДГСП від центральних станцій 105, так що рішення ШЗДГСП можуть генеруватися в фоновому режимі. Користувач 140 також може приймати оновлене положення 430 опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ від центральної станції 105 з відносно низькою швидкістю передачі. Використовуючи оновлене положення опорної станції 120 і рішення КРРЧ положення приймача користувача, рішення ШЗДГСП можуть безперервно ініціалізуватися в фоновому режимі для узгодження з рішеннями КРРЧ відповідно до способу 300, описаного вище.

Коли втрачаються поправки КРРЧ, користувач 140 перемикається в режим ШЗДГСП роботи і виконує етап 450, на якому користувач 140 використовує положення приймача користувача, визначене в режимі КРРЧ роботи, безпосередньо перед тим, як поправки КРРЧ стали недоступними для ініціалізації значень плаваючої неоднозначності для режиму ШЗДГСП роботи відповідно до способу 300, описаного вище. Таким чином, значення «плаваючої неоднозначності» можуть бути визначені без тривалого часу «входження в синхронізм». Під час виконання етапу 450 користувач 140 продовжує приймати поправки 420 ШЗДГСП від центральних станцій 105. Користувач 140 також може приймати оновлене положення 430 опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ від центральної станції 105 з відносно низькою швидкістю передачі. Координати опорної станції використовуються для перетворення положення приймача користувача, згенерованого в режимі ШЗДГСП, в положення відносно локального опорного приймача 120. Таким чином, результати ПШЧ, згенеровані комп'ютерною системою 144 користувача, будуть плавно переходити між двома різними режимами роботи.

Коли знову стануть доступні поправки КРРЧ, користувач поновлює роботу КРРЧ на етапі 460, яка аналогічна роботі КРРЧ на етапі 440.

Процес 400 може використовуватися в багатьох застосуваннях. Одне застосування включає в себе розширення роботи КРРЧ в зоні, де не може підтримуватися радіолінія КРРЧ, тоді як лінія зв'язку ШЗДГСП, щонайменше, в основному доступна. Наприклад, як показано на Фіг.5, користувачем або об'єктом 140 може бути сільськогосподарський транспортний засіб 510, що переміщається по рядах 520 в зоні 501 з височинами, що чергуються, причому приймач користувача 142 прикріплений до сільськогосподарського транспортного засобу або до сільськогосподарського обладнання, яке приєднане до сільськогосподарського транспортного засобу. Зона 501 включає в себе зону 503, яка є видимою з опорної станції 120 в локальній системі 150 КРРЧ, і зони (заштриховані) 505 та 507, які не є видимими з опорної станції 120. Оскільки лінія зв'язку КРРЧ звичайно являє собою лінію прямої видимості, дані КРРЧ будуть втрачатися всякий раз, коли приймач користувача 142 ГСП переміщається із зони 503 в зону 505 або 507. Але лінія передачі даних між приймачем користувача 142 та системою 100 ШЗДГСП, в основному, доступна, оскільки вона часто забезпечується супутниками. За допомогою ініціалізації плаваючої

неоднозначності в системі 100 ШЗДГСП, всякий раз коли радіолінія КРРЧ стає доступною і система 150 КРРЧ діючою, точність роботи КРРЧ може, практично, зберігатися під час тих інтервалів, коли втрачається лінія зв'язку КРРЧ.

Хоча система 100 ШЗДГСП/КРРЧ на Фіг.1 використовувалася у вищенаведеному описі, зрозуміло, що будь-яка регіональна, широкозонна або глобальна система, яка використовує вимірювання фази несучої зі супутників для цілей позиціонування і/або навігації і, таким чином, вимагає визначення значень неоднозначності, зв'язаних з вимірюваннями фази, також може скористатися перевагами способу 300 і процесу 400, описаних вище. Приклади таких систем включають в себе систему Starfire™, розроблену компанією John Deere Company, і регіональну систему високоточної національної диференціальної (ВТ-НД) ГСП, що розробляється декількома урядовими установами США.

Посилальні позиції

100 система широкозонної або глобальної диференціальної ГСП (ШЗДГСП)

101 широка зона

105 центральна станція обробки

107 лінії супутникового зв'язку

110 множина супутників

120 мережа опорних станцій

122 приймач ГСП

124 радіолінії

140 користувач (або пристрої користувача або об'єкти)

142 приймач користувача ГСП для цілей позиціонування і/або навігації

144 комп'ютерна система

146 центральний процесор (ЦП)

148 пам'ять

150 локальна система КРРЧ

152 шина зв'язку

154 порт введення

156 порт виведення

160 система ШЗДГСП

162 операційна система

164 програми та процедури прикладення ГСП

166 процедури для виконання способу 300

168 вимірювання псевдодальності

170 база даних

172 поправка ГСП

300 спосіб ініціалізації системи ШЗДГСП

310 Чи є приймач нерухомим в відомому розташуванні?

320 Встановити положення приймача у відоме положення

330 Автоматично оновити положення приймача, використовуючи локальну систему КРРВ

331 Прийняти положення опорної станції, що вводиться оператором, в системі КРРВ

333 Виконати операцію КРРВ для визначення положення приймача користувача відносно опорної станції в локальній системі КРРВ

335 Прийняти положення опорної станції, визначене системою ШЗДГСП, або зсув між введеним оператором положенням опорної станції і положенням опорної станції 120, визначеним системою ШЗДГСП

337 Обчислити абсолютне положення приймача користувача ГСП в прямокутних координатах

340 Обчислити теоретичну дальність до кожного супутника

350 Обчислити початковий набір значень плаваючої неоднозначності, які дають нульові відхилення

360 Встановити довірчі значення плаваючої неоднозначності високими (або відхилення низькими) і вирішити значення плаваючої неоднозначності

400 Послідовність операцій процесу для об'єднаної роботи КРРЧ та ШЗДГСП

401 Положення опорної станції КРРВ 410 Поправки КРРВ

420 Поправки ШЗДГСП

430 Координати опорної станції КРРВ

440 Вихідні результати ПШЧ, що генеруються рішенням КРРВ;

Рішення ШЗДГСП, що безперервно ініціалізується для відповідності з рішенням КРРВ

450 «плаваюча неоднозначність», визначена з використанням положення приймача користувача, визначеного в останній раз операцією КРРВ;

Вихідні результати ПШЧ, що генеруються рішенням ШЗДГСП;

Координати опорної станції КРРВ, відняті з положення приймача користувача

460 вихідні результати ПШЧ, що генеруються рішенням КРРВ;

Рішення ШЗДГСП, що безперервно ініціалізується для відповідності з рішенням КРРВ

510 сільськогосподарський транспортний засіб

501 зона з височинами

503, 505, 507 зони

520 райди

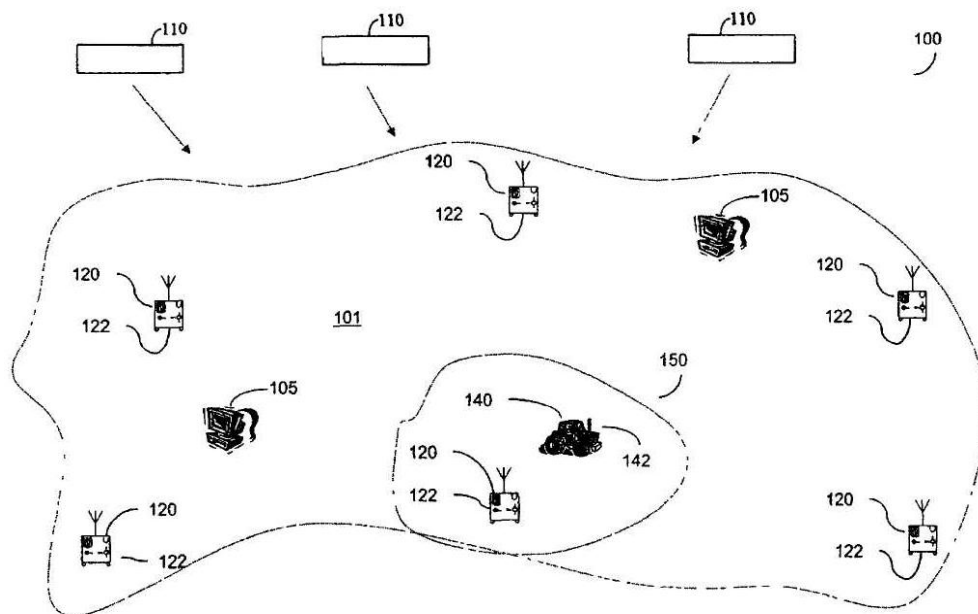


Fig. 1

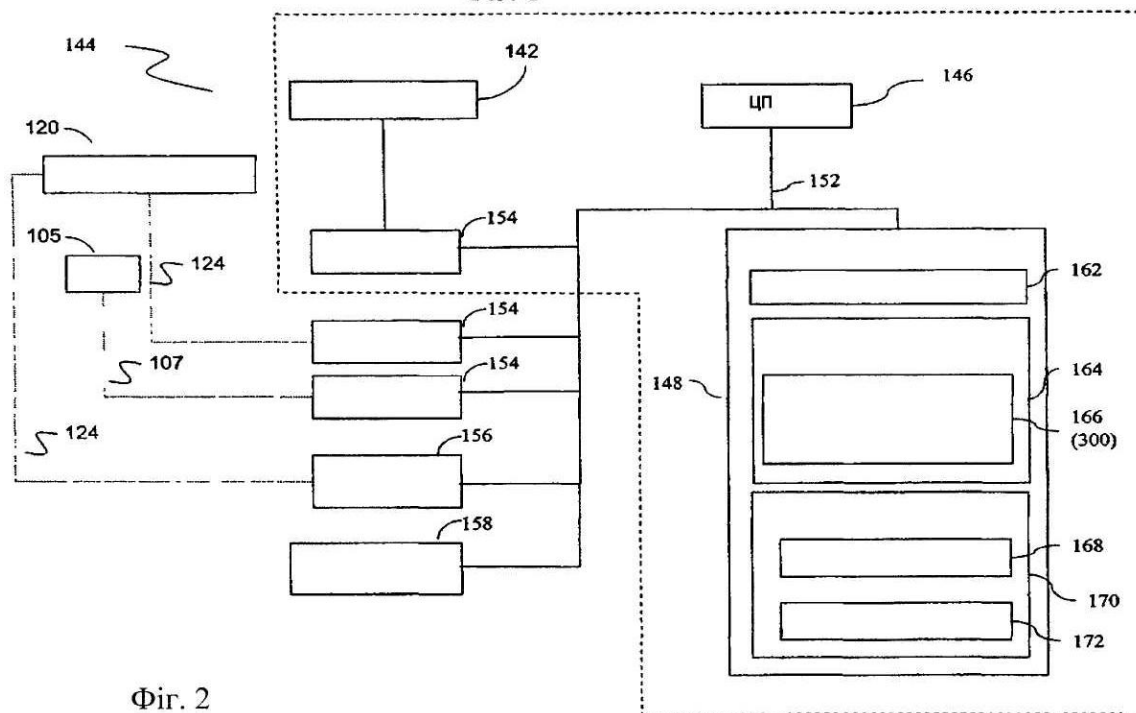
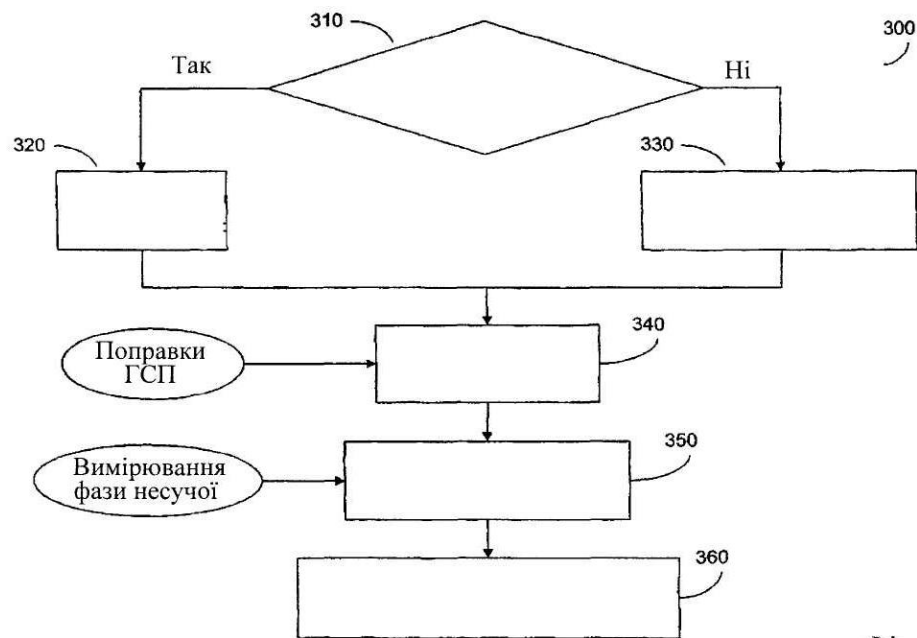
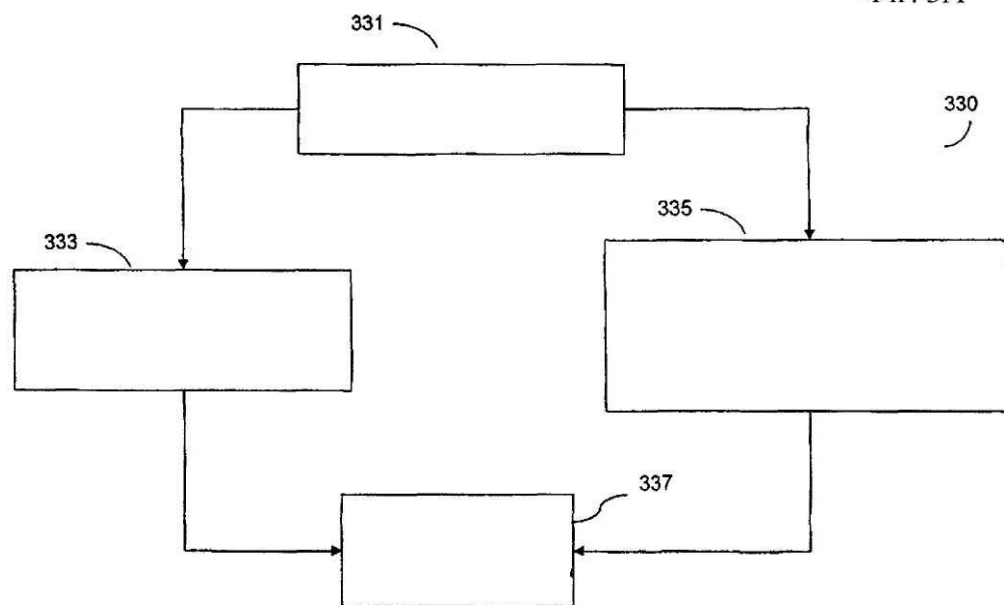


Fig. 2



Фіг. 3А



Фіг. 3В

