



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **89471** (13) **C2**  
(51) **МПК (2009)**  
**G01S 5/00**  
**H04B 7/00**  
**G01S 13/00**  
**G01S 13/58 (2009.01)**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ КОРИСТУВАЧА ЗА СИГНАЛАМИ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

1

2

(21) 20041210570

(22) 22.12.2004

(24) 10.02.2010

(46) 10.02.2010, Бюл.№ 3, 2010 р.

(72) БУРДАКОВ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ВЕРЕЩАК ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, ІЛЬЧЕНКО СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ, ЛІТУС ЮРІЙ ПАВЛОВИЧ, НЕСТЕРОВИЧ АНДРІЙ ГЕННАДІЙОВИЧ, НІКОЛАЄВ АНДРІЙ ВАДИМОВИЧ, ПІСКОРЖ ВОЛОДИМИР ВІКТОРОВИЧ, РУДІЧ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ, СЕМІВОЛОС СЕРГІЙ ПАВЛОВИЧ, СУМКІН ГЕРМАН ПАВЛОВИЧ, УСЕНКО ПЕТРО ЯКОВИЧ

(73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "АТ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ"

(56) UA 65085 A; 15.03.2004

EA 2604 B1; 27.06.2002

JP 55149065 A; 20.11.1980

DE 3113667 A1; 21.10.1982

RU 2107306 C1; 20.03.1998

US 6370357 B1; 09.04.2002

US 6388613 B1; 10.05.2002

US 311670; 19.11.1963

UA 69794 A; 15.09.2004

Глобальная навигационная спутниковая система "ГЛОНАСС". Интерфейсный документ (Четвертая редакция), Москва, Координационный научно-информационный центр, 1998г. [Найдено в Internet 11.11.2009], URL:

<http://www.aggf.ru/gnss/glon/ikd51ru.pdf>

Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment / Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). Rockwell Int. Corp., 2000. [Найдено в Internet 11.11.2009], URL:

<http://www.losangeles.af.mil/shared/media/document/AFD-090727-072.doc>

Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М. Методы измерения характеристик антенн СВЧ.- М.: Радио и связь, 1985.

Марков Г.Т. Антенны. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.

Жодзишский М.И., Мазепа Р.Б., Овсянников Е.П. и др. Цифровые радиоприемные системы: Справочник. - М.: Радио и связь, 1990.

(57) Спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, який включає в себе

прийом навігаційною апаратурою користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

зادання навігаційною апаратурою користувача моментів часу прийому сигналів,

визначення для кожного космічного апарата супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були прийняті навігаційною апаратурою користувача, на моменти часу прийому сигналів, псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарата,

виділення з прийнятих радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем цифрової інформації, що передається цими радіосигналами,

визначення моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були прийняті навігаційною апаратурою користувача та оброблені в ній на моменти часу прийому сигналів з використанням визначених на ці моменти часу псевдовідстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів,

розміщення, в точках з відомими координатами, ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, в кількості, яка б доповнювала кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких безпосередньо приймає

(13) **C2**

(11) **89471**

(19) **UA**

навігаційна апаратура користувача, до мінімально необхідної для визначення параметрів руху користувача кількості прийнятих радіосигналів, визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, прийом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача, прийом навігаційною апаратурою користувача радіосигналів, які випромінюють ретранслятори навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, виділення в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори, визначення для кожного космічного апарата супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з сигналів ретрансляторів на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого був виділений сигнал даного космічного апарата, псевдовідстаней та доплерівського зсуву частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарата, виділених з радіосигналів ретрансляторів, виділення для кожного космічного апарата, навігаційні радіосигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів, цифрової інформації, що передається в його радіосигналі, визначення для кожного космічного апарата радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів та оброблені на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого були виділені сигнали даного космічного апарата, моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів даного космічного апарата з використанням визначених на ці моменти часу відповідних псевдовідстаней, визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були виділені з радіосигналів ретрансляторів, параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів, визначення на моменти часу прийому сигналів параметрів руху користувача за результатами визначення псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених за результатами обробки як безпосередньо прийнятих навігаційною апаратурою користувача, так і виділених із радіосигналів ретрансляторів, навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, шляхом розв'язання рівнянь, які пов'язують результати вимірювання псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти з відомими координатами

та приймальної та випромінювальної антен ретрансляторів, з визначеними затримкою та зміщенням частоти сигналів в апаратурі ретрансляторів, з визначеними на моменти часу випромінювання навігаційних радіосигналів параметрами руху космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, з визначеними на ці моменти часу значеннями зміщення шкал часу та частоти цих космічних апаратів, та з невідомими координатами, компонентами вектора швидкості та зміщеннями шкали часу та частоти навігаційної апаратури користувача,

який **відрізняється** тим, що після визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, додатково виконують задання для кожного ретранслятора набору функцій, які задають зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів,

задання для кожного ретранслятора правила вибору функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, із заданого для даного ретранслятора набору функцій,

вибір для кожного ретранслятора на поточний момент часу функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, згідно із правилом вибору функцій, заданого для даного ретранслятора, здійснення для кожного ретранслятора регулювання параметрів радіосигналу, який випромінює ретранслятор, згідно із функцією, вибраною для даного ретранслятора на поточний момент часу, одночасно з прийомом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача, виконують

регулювання для кожного ретранслятора параметрів радіосигналу, який випромінює ретранслятор, згідно із функцією, вибраною для даного ретранслятора на поточний момент часу,

одночасно з виділенням в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори, виконують

визначення для кожного виділеного навігаційного радіосигналу, який випромінюють ретранслятори, функціональної залежності від часу зміни параметрів даного виділеного навігаційного радіосигналу при проходженні його через апаратуру ретранслятора, та

визначення значень зміни параметрів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем при проходженні ними через апаратуру ретранслятора, на момент ретрансляції даного виділеного навігаційного радіосигналу по встановленій для цього сигналу функціональній залежності.

Винахід відноситься до радіотехніки, та може бути використаний для навігації рухомих об'єктів з використанням радіохвиль.

Відомий спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, [описаний наприклад в 1, стор.24-27] включає в себе

прийом навігаційною апаратурою користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

завдання навігаційною апаратурою користувача моментів часу прийому сигналів,

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були прийняті навігаційною апаратурою користувача, на моменти часу прийому сигналів, псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату,

виділення з прийнятих радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем цифрової інформації, що передається цими радіосигналами,

визначення моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були прийняті навігаційною апаратурою користувача та оброблені в ній на моменти часу прийому сигналів з використанням визначених на ці моменти часу псевдовідстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів.

Недоліком даного способу є те, що він не дозволяє виконувати визначення параметрів руху користувача в умовах, коли в точку місцезнаходження користувача надходять навігаційні радіосигнали від недостатньої, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількості космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Достатня, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем дорівнює сумі трьох невідомих координат користувача та числу шкал часу та частоти, встановлених для кожної з супутникових радіонавігаційних систем. Так, наприклад, для випадку, коли визначення параметрів руху користувача здійснюється по навігаційним радіосигналам космічних апаратів, які належать одній супутниковій радіонавігаційній системі, такий як GPS (NAVSTAR) або ГЛОНАСС, достатньо, щоб в точку місцезнаходження користувача надходили сигнали від чотирьох космічних апаратів, а для випадку, коли визначення параметрів руху користувача здійснюється по навігаційним радіосигналам космічних апаратів, які належать обом системам GPS (NAVSTAR) та

ГЛОНАСС, які використовують різні шкали часу та частоти, ця кількість дорівнює п'яти [2].

Найбільш близьким до винаходу, що пропонується, технічним рішенням є спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем в умовах, коли в точку місцезнаходження користувача надходять навігаційні радіосигнали від недостатньої, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількості космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, [описаний в 3]. Цей спосіб включає в себе

прийом навігаційною апаратурою користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

завдання навігаційною апаратурою користувача моментів часу прийому сигналів,

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були прийняті навігаційною апаратурою користувача, на моменти часу прийому сигналів, псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату,

виділення з прийнятих радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем цифрової інформації, що передається цими радіосигналами,

визначення моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були прийняті навігаційною апаратурою користувача та оброблені в ній на моменти часу прийому сигналів з використанням визначених на ці моменти часу псевдовідстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів,

розміщення, в точках з відомими координатами, ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, в кількості, яка б доповнювала кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких безпосередньо приймає навігаційна апаратура користувача, до мінімально необхідної для визначення параметрів руху користувача кількості прийнятих радіосигналів,

визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

прийом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача,

прийом навігаційною апаратурою користувача радіосигналів, які випромінюють ретранслятори навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

виділення в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори,

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з сигналів ретрансляторів на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого був виділений сигнал даного космічного апарату, псевдовідстаней та доплерівського зсуву частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату, виділених з радіосигналів ретрансляторів,

виділення для кожного космічного апарату, навігаційні радіосигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів, цифрової інформації, що передається в його радіосигналі,

визначення для кожного космічного апарату радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів та оброблені на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого були виділені сигнали даного космічного апарату, моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів даного космічного апарату з використанням визначених на ці моменти часу відповідних псевдовідстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були виділені з радіосигналів ретрансляторів, параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів,

визначення на моменти часу прийому сигналів параметрів руху користувача за результатами визначення псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених за результатами обробки як безпосередньо прийнятих навігаційною апаратурою користувача, так і виділених із радіосигналів ретрансляторів, навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, шляхом розв'язання рівнянь, які пов'язують результати вимірювання псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти з відомими координатами приймальної та випромінювальної антен ретрансляторів, з визначеними затримкою та зміщенням частоти сигналів в апаратурі ретрансляторів, з визначеними на моменти часу випромінювання навігаційних радіосигналів параметрами руху космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, з визначеними на ці моменти часу значеннями зміщення шкал часу та частоти цих космічних апаратів, та з невідомими координатами, компонентами вектора швидкості та зміщеннями шкали часу та частоти навігаційної апаратури користувача.

Недоліком даного способу є те, що він не дозволяє визначати параметри руху користувача за

результатами обробки ретрансльованих навігаційних радіосигналів тих космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких ретрансльовують декілька ретрансляторів в одній частотній смузі. Визначення параметрів руху користувача за результатами обробки ретрансльованих навігаційних радіосигналів тих космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких ретрансльовують декілька ретрансляторів дозволяє підвищити точність визначення параметрів руху користувача за рахунок компенсації впливу на точність визначення параметрів навігаційних сигналів таких факторів, як іоносфера, тропосфера, похибки у визначенні параметрів руху та зміщення шкал часу космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Можливість такої компенсації обумовлена наявністю кореляції впливу цих факторів на параметри навігаційного радіосигналу даного космічного апарату в близько розташованих (до 100км) точках прийому даного радіосигналу [1, 2, 4], зокрема в точках розташування прийомних антен ретрансляторів, що повинні знаходитись в зоні прямої видимості користувача, та в точці розташування користувача. Важливість використання різними ретрансляторами спільної частотної смуги обумовлена тим, що за нашого часу існує дефіцит радіочастот, на використання яких можна отримати дозвіл. Так, наприклад, для ретрансляції радіосигналів космічних апаратів супутникової радіонавігаційної системи GPS одним ретранслятором необхідно отримати дозвіл на використання частотної смуги шириною 20,46МГц [4, стор.62]. Мінімально необхідна кількість ретрансляторів для здійснення визначення параметрів руху користувача в зоні повного екранування сигналів супутникових радіонавігаційних систем дорівнює чотирьом. Для того щоб забезпечити ретрансляцію радіосигналів чотирьох ретрансляторів в неперекривних частотних діапазонах, необхідно отримати дозвіл на використання частотної смуги шириною приблизно 82МГц, що за наявного дефіциту частот є проблематичним. Неможливість використання різними ретрансляторами спільної частотної смуги для визначення параметрів руху користувача за даним способом обумовлена тим, що в разі здійснення ретрансляції різними ретрансляторами навігаційних радіосигналів якого-небудь космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем в одній частотній смузі, в навігаційній апаратурі користувача, в разі виявлення в прийнятому сумарному радіосигналі ретрансляторів, навігаційного радіосигналу якого-небудь космічного апарату, буде практично неможливо визначити, яким саме ретранслятором був переданий даний навігаційний радіосигнал. Крім того, в сумарному радіосигналі ретрансляторів, який приймає навігаційна апаратура користувача, може спостерігатись інтерференція навігаційних радіосигналів тих космічних апаратів, сигнали яких були ретрансльовані різними ретрансляторами.

В основу винаходу покладена задача створення способу визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем в умовах, коли в точку місцезнаходження користувача надходять навігаційні радіосигнали

від недостатньої, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількості космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, шляхом утворення за допомогою ретрансляторів додаткових трас поширення навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем та утворення в апаратурі ретрансляторів додаткових функціональних залежностей параметрів ретрансльованих радіосигналів від часу, що дозволить виконувати визначення параметрів руху користувача за результатами обробки ретрансльованих навігаційних радіосигналів тих космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких ретранслюють декілька ретрансляторів в одній частотній смузі.

Спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, яким вирішується поставлена задача, включає в себе

прийом навігаційною апаратурою користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

завдання навігаційною апаратурою користувача моментів часу прийому сигналів,

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були прийняті навігаційною апаратурою користувача, на моменти часу прийому сигналів, псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату,

виділення з прийнятих радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем цифрової інформації, що передається цими радіосигналами,

визначення моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були прийняті навігаційною апаратурою користувача та оброблені в ній на моменти часу прийому сигналів з використанням визначених на ці моменти часу псевдовідстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів,

розміщення, в точках з відомими координатами, ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, в кількості, яка б доповнювала кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких безпосередньо приймає навігаційна апаратура користувача, до мінімально необхідної для визначення параметрів руху користувача кількості прийнятих радіосигналів,

визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

прийом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апарату

тв супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача,

прийом навігаційною апаратурою користувача радіосигналів, які випромінюють ретранслятори навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем,

виділення в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори,

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з сигналів ретрансляторів на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого був виділений сигнал даного космічного апарату, псевдовідстаней та доплерівського зсуву частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату, виділених з радіосигналів ретрансляторів,

виділення для кожного космічного апарату, навігаційні радіосигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів, цифрової інформації, що передається в його радіосигналі,

визначення для кожного космічного апарату радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів та оброблені на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого були виділені сигнали даного космічного апарату, моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів даного космічного апарату з використанням визначених на ці моменти часу відповідних псевдо-відстаней,

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були виділені з радіосигналів ретрансляторів, параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів,

визначення на моменти часу прийому сигналів параметрів руху користувача за результатами визначення псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених за результатами обробки як безпосередньо прийнятих навігаційною апаратурою користувача, так і виділених із радіосигналів ретрансляторів, навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, шляхом розв'язання рівнянь, які пов'язують результати вимірювання псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти з відомими координатами приймальної та випромінювальної антен ретрансляторів, з визначеними затримкою та зміщенням частоти сигналів в апаратурі ретрансляторів, з визначеними на моменти часу випромінювання навігаційних радіосигналів параметрами руху космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, з визначеними на ці моменти часу значеннями зміщення шкал часу та частоти цих космічних апаратів, та з невідомими координатами, компонентами вектора швидкості та зміщен-

нями шкали часу та частоти навігаційної апаратури користувача,

який відрізняється тим, що після визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, додатково виконують

завдання для кожного ретранслятора набору функцій, які задають зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, завдання для кожного ретранслятора правила вибору функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, із заданого для даного ретранслятора набору функцій,

вибір для кожного ретранслятора на поточний момент часу функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, згідно із правилом вибору функцій, заданого для даного ретранслятора,

здійснення для кожного ретранслятора регулювання параметрів радіосигналу, який випромінює ретранслятор, згідно із функцією, вибраною для даного ретранслятора на поточний момент часу,

одночасно з прийомом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача, виконують

регулювання для кожного ретранслятора параметрів радіосигналу, який випромінює ретранслятор, згідно із функцією, вибраною для даного ретранслятора на поточний момент часу,

одночасно з виділенням в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори, виконують

визначення для кожного виділеного навігаційного радіосигналу, які випромінюють ретранслятори, функціональної залежності від часу зміни параметрів даного виділеного навігаційного радіосигналу при проходженні його через апаратуру ретранслятора, та

визначення значень зміни параметрів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем при проходженні ними через апаратуру ретранслятора, на момент ретрансляції даного виділеного навігаційного радіосигналу по встановленій для цього сигналу функціональній залежності.

Спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, що заявляється, у відомих джерелах не виявлений, що дозволяє вважати його новим.

Відмінні ознаки в своїй сукупності є необхідними і достатніми для досягнення поставленої мети, в інших відомих технічних рішеннях не виявлені, що забезпечує винаходу відповідність критерію "винахідницький рівень".

Введення нових ознак способу визначення параметрів руху користувача за сигналами супутни-

кових радіонавігаційних систем в умовах, коли в точку місцезнаходження користувача надходять навігаційні радіосигнали від недостатньої, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількості космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем є необхідним і достатнім для здійснення визначення параметрів руху користувача з використанням ретрансляторами для випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем однієї частотної смуги. Кожна окремо взята ознака та всі разом узяті в заданій послідовності служать для досягнення поставленої задачі.

Реалізація наведеного способу дозволяє провадити визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем в умовах, коли в точку місцезнаходження користувача надходять навігаційні радіосигнали від недостатньої, для забезпечення визначення параметрів руху користувача, кількості космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, з використанням для ретрансляції сигналів одного частотного діапазону.

Додатковим результатом способу визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем є те, що він дозволяє додатково використати сигнал ретранслятора для передачі службової інформації. Для здійснення цього достатньо кожній функції зміни параметрів радіосигналів в апаратурі ретранслятора із заданого для даного ретранслятора набору функцій співставити деякий символ службової інформації.

Сутність винаходу полягає в наступному.

Згідно зі способом визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, що пропонується, виконують

прийом навігаційною апаратурою користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Навігаційна апаратура користувача може здійснювати прийом радіосигналів лише тих космічних апаратів, для яких лінія, яка з'єднує космічний апарат із користувачем, не перетинає жоден матеріальний об'єкт. Таким матеріальним об'єктом може бути поверхня Землі, будинки, гори тощо;

завдання навігаційною апаратурою користувача моментів часу прийому сигналів. Ці моменти часу формує опорний генератор навігаційної апаратури користувача. Обробка навігаційних радіосигналів виконується таким чином, щоб всі параметри, визначені під час обробки радіосигналів, були прив'язані саме до цих моментів часу прийому сигналів;

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були прийняті навігаційною апаратурою користувача, на моменти часу прийому сигналів, псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату. Псевдовідстань визначають за результатами вимірювання фази радіосигналу (кодової або фазової) на момент часу прийому радіосигналу шляхом додавання цілого числа до-

вжин хвиль, визначеного при розв'язанні фазової неоднозначності [1 стор.34-35, 114-118]. Найбільш легко виконати розв'язання фазової неоднозначності для кодової фази. Це пов'язано із тим, що довжина хвилі, яка відповідає кодовому сигналу складає досить велику величину. Так для супутникових радіонавігаційних систем GPS (NAVSTAR) та ГЛОНАСС вона складає приблизно 300км, в той час як фаза несучої для цих систем має величину порядку 20см [2]. Доплерівський зсув частоти визначають як різницю між частотою прийнятого радіосигналу та частотою опорного сигналу, який формується в навігаційній апаратурі користувача [1, стор.99-100];

виділення з прийнятих радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем цифрової інформації, що передається цими радіосигналами. В цифровій інформації містяться дані, які дозволяють обчислити на будь-який заданий момент часу параметри руху та зміщення шкал часу та частоти даного космічного апарату відносно опорної шкали часу та частоти, яка була прийнята в супутниковій радіонавігаційній системі, до якої належить даний космічний апарат. Виділення даних виконують згідно з форматом даних, описаним в документації на дану супутникову систему (для GPS (NAVSTAR) див.[5], а для ГЛОНАСС див.[6]),

визначення моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були прийняті навігаційною апаратурою користувача та оброблені в ній на моменти часу прийому сигналів з використанням визначених на ці моменти часу псевдовідстаней. Величина псевдовідстані пов'язана із моментами часу прийому та випромінювання сигналу співвідношенням [1, стор.114-118]:

$$R=c \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{вип}})$$

де  $R$  - виміряна псевдовідстань для даного космічного апарату;

$c$  - швидкість світла;

$t_{\text{пр}}$  - час прийому сигналу, який задає навігаційна апаратура користувача;

$t_{\text{вип}}$  - час випромінювання радіосигналу, визначений в шкалі часу даного космічного апарату.

Оскільки в цьому співвідношенні час прийому сигналу  $t_{\text{пр}}$  задає навігаційна апаратура користувача, а псевдовідстань  $R$  визначена внаслідок обробки радіосигналу, то час випромінювання може бути визначений з рівняння:

$$t_{\text{вип}} = t_{\text{пр}} - R/c$$

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів. Ця операція виконується згідно із документацією на дану супутникову радіонавігаційну систему (для GPS (NAVSTAR) див.[5], а для ГЛОНАСС див. [6]);

розміщення, в точках з відомими координатами, ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних

систем, в кількості, яка б доповнювала кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, радіосигнали яких безпосередньо приймає навігаційна апаратура користувача, до мінімально необхідної для визначення параметрів руху користувача кількості прийнятих радіосигналів. Ретранслятори застосовують для того, щоб сформувати нові траси поширення навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Псевдовідстань та доплерівський зсув частоти, визначені за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційного радіосигналу якого-небудь космічного апарату, сигнал якого був виділений з радіосигналу ретранслятора, використовують для доповнення кількості псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених в результаті обробки радіосигналів, які безпосередньо приймає навігаційна апаратура користувача, до кількості, яка буде достатньою для визначення параметрів руху користувача. Достатня для визначення параметрів руху користувача кількість космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем дорівнює сумі трьох невідомих координат користувача та кількості шкал часу та частоти, які використовують супутникові радіонавігаційні системи. Так, наприклад, у випадку, коли визначення параметрів руху користувача виконується по навігаційним радіосигналам космічних апаратів, які належать одній супутниковій радіонавігаційній системі, такий як GPS (NAVSTAR) або ГЛОНАСС, ця кількість дорівнює чотирьом [1, стор.24-27], тобто сумарна кількість ретрансляторів та космічних апаратів супутникової радіонавігаційної системи, сигнали яких надходять на приймальну апаратуру користувача, повинна бути не меншою чотирьох. У випадку, коли визначення параметрів руху користувача виконується по навігаційним радіосигналам космічних апаратів, які належать двом різним супутниковим радіонавігаційним системам, наприклад GPS (NAVSTAR) та ГЛОНАСС, ця кількість дорівнює п'яти [2], а отже сумарна кількість ретрансляторів та космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких надходять на приймальну апаратуру користувача, повинна бути не меншою цієї кількості. Така відмінність у кількості мінімально необхідного числа сигналів пов'язана із тим, що кожна супутникова радіонавігаційна система як правило використовує свою опорну шкалу часу та частоти. Тому при визначенні параметрів руху користувача необхідно оцінювати зміщення шкал часу та частоти навігаційної апаратури користувача відносно опорної шкали часу та частоти кожної із супутникових радіонавігаційних систем [2];

визначення координат фазових центрів приймальних та передавальних антен ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Цю операцію виконують для того, щоб в рівняннях для псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених в результаті обробки сигналів космічних апаратів, які були виділені з радіосигналів ретрансляторів, невідомими залишились лише координати, компоненти вектора швидкості та величини

зміщення шкали часу та частоти навігаційної апаратури користувача;

завдання для кожного ретранслятора набору функцій, які задають зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів. Основною метою введення цих функцій є забезпечення можливості розділення в навігаційній апаратурі користувача сигналів від різних ретрансляторів, за умови, що ці сигнали будуть знаходитись в одному частотному діапазоні. Для розділення сигналів від різних ретрансляторів, достатньо задати для кожного ретранслятора набір функцій зміни в часі затримки радіосигналів від космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем в апаратурі ретранслятора  $\psi_{i,r}(t)/c$  ( $r$  - номер ретранслятора;  $i$  - умовний номер функції в заданому наборі;  $c$  - швидкість світла в вакуумі). Варіювання в часі затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора призведе до того, що в кодовій фазі і в фазі несучої всіх навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, які випромінює даний ретранслятор, з'явиться доданок  $\psi_{i,r}(t)/c$ , який обумовлений затримкою сигналів в апаратурі ретранслятора і який буде змінюватись в часі згідно із функцією зміни в часі затримки радіосигналів, встановленої для даного ретранслятора. Таким чином, в навігаційній апаратурі користувача можна організувати пошук і стеження за сигналами, в кодових фазах та в фазах несучої яких присутній доданок  $\psi_{i,r}(t)/c$ , який змінюється згідно із функціональною залежністю, заданою для даного ретранслятора.

В якості допоміжного засобу, який може бути використаний для полегшення розділення радіосигналів від різних ретрансляторів, можна використати регулювання потужності сигналів, які випромінюють ретранслятори. Якщо встановити черговість, коли потужність одного ретранслятора буде перевищувати потужність сигналів від інших ретрансляторів, то це полегшить пошук в апаратурі користувача сигналів, кодова фаза яких містить доданок, який змінюється у відповідності з функцією зміни затримки сигналу, встановленою для даного ретранслятора.

Також для розділення сигналів додатково можуть бути використані такі засоби, як керування поляризацією та регулювання зміщенням частоти радіосигналів, які випромінюють ретранслятори (при регулюванні зміщенням частоти слід забезпечити, щоб зміщення частот залишало сигнал в заданому частотному діапазоні). Але ці засоби є допоміжними і призначені лише для того, щоб дати змогу в апаратурі користувача організувати канали обробки сигналів, в яких сигнал від даного ретранслятора буде мати найбільший рівень в порівнянні з сигналами від інших ретрансляторів;

завдання для кожного ретранслятора правила вибору функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, із заданого для даного ретранслятора набору функцій. Для вибору функції  $\psi_{i,r}(t)/c$  затримки радіосигналу в апаратурі ретранслятора з умовним номером  $r$  може бути застосоване наступне правило. Кожному номеру  $m$  функ-

ції  $\psi_{m,r}(t)/c$  із заданого для даного ретранслятора набору, ставиться у відповідність певний символ інформації, яку передбачається передавати через даний ретранслятор. Встановлюється тривалість передачі одного символу інформації. Тоді вибір функції  $\psi_{m,r}(t)/c$  можна здійснювати за наступним правилом. Задається символ інформації, який повинен передаватись в даний момент часу. По цьому символу визначають значення номера то функції  $\psi_{m,r}(t)/c$  із заданого для даного ретранслятора набору. Якщо в якості символів інформації, що передається, використати двійковий код, то в якості функції зміни в часі затримки навігаційних радіосигналів можна використати яку-небудь періодичну функцію, причому для розділення сигналів від різних ретрансляторів можна використовувати величину періоду даної функції, а для формування набору функцій для заданого ретранслятора можна використовувати набір амплітуд. Тоді величина періоду дозволить виділити сигнали, в яких присутній доданок, що змінюється в часі з даним періодом, а амплітуда сигналу може бути використана для передачі цифрової інформації.

Варіювання потужністю ретрансльованих сигналів може бути використано для полегшення здійснення пошуку радіосигналів від даного ретранслятора. Для цього для кожного ретранслятора можна задати інтервали часу, в які потужність сигналів, які випромінює даний ретранслятор, повинна перевищувати потужність сигналів від інших ретрансляторів. Така циклограма регулювання потужності ретрансльованих радіосигналів дозволяє забезпечити в навігаційній апаратурі користувача збільшення відношення сигнал-шум для навігаційних радіосигналів, що їх ретрансльовує привілейований на даний період часу ретранслятор (тобто ретранслятор, сигнали якого мають більшу потужність), а отже і підвищити надійність визначення параметрів даного радіосигналу. Регулювання поляризацією ретрансльованих сигналів та регулювання зміщення частоти здійснювати недоцільно, оскільки таке регулювання передбачає суттєве ускладнення навігаційної апаратури користувача, зокрема воно потребує здійснення регулювання параметрів антенного та аналогового блоків навігаційної апаратури користувача;

вибір для кожного ретранслятора на поточний момент часу функції, яка задає зміну в часі параметрів радіосигналів під час їх проходження через апаратуру ретрансляторів, згідно із правилом вибору функцій, заданого для даного ретранслятора. Набір функцій може бути встановлений лише для двох параметрів - затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора та потужність ретрансльованого радіосигналу. Вибір номеру  $m$  функції  $\psi_{m,r}(t)/c$  зміни в часі затримки радіосигналу в апаратурі ретранслятора виконується у відповідності із символом інформації, який повинен передаватись у даний момент часу. Вибір потужності радіосигналу виконується у відповідності з циклограмою встановленою для даної групи ретрансляторів;

прийом приймальними антенами ретрансляторів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з наступним випромінюванням цих радіосигналів



випромінювальними антенами ретрансляторів в напрямку розташування користувача з одночасним регулюванням для кожного ретранслятора параметрів радіосигналу, який випромінює ретранслятор, згідно із функцією, вибраною для даного ретранслятора на поточний момент часу. Ця операція забезпечує утворення додаткових трас поширення радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем в напрямку користувача та забезпечує можливість розділення сигналів ретрансляторів в апаратурі користувача. Регулювання затримкою радіосигналів може здійснюватись як за рахунок варіювання довжиною шляху поширення радіосигналу, так і за рахунок варіювання фазової швидкості поширення радіосигналу в апаратурі ретранслятора. Регулювання потужністю передбачає збільшення роздільності ретрансльованих радіосигналів на період часу, коли даний ретранслятор є привілейованим згідно із циклограмою, встановленою для даної групи ретрансляторів;

прийом навігаційною апаратурою користувача радіосигналів, які випромінюють ретранслятори навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Ці сигнали повинні доповнювати радіосигнали космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем до достатнього, для виконання визначення параметрів руху користувача, числа навігаційних сигналів. Якщо в ретрансляторах застосовується поляризаційне розділення радіосигналів, то в навігаційній апаратурі користувача необхідно застосовувати набір антен, кожна з яких має поляризацію відповідну поляризації одного з ретрансляторів. Відповідно для кожної антени необхідно створити свій канал аналогової та цифрової обробки сигналів. Якщо ретранслятори здійснюють зсув частоти радіосигналів, то в навігаційній апаратурі користувача необхідно мати для кожного зсуву частоти свій аналогово-цифровий канал обробки сигналів. В суміші радіосигналів, яка проходить кожен з цих каналів обробки, сигнал від відповідного ретранслятора буде мати суттєво вищий рівень в порівнянні з сигналами від інших ретрансляторів, що дає змогу полегшити пошук і виділення радіосигналів. Для обробки радіосигналів ретрансляторів, в яких для розділення радіосигналів використовується лише варіювання затримкою та потужністю ретрансльованих радіосигналів, в навігаційній апаратурі користувача достатньо мати лише один канал аналого-цифрової обробки сигналів;

виділення в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з радіосигналів, які випромінюють ретранслятори з одночасним визначенням для кожного виділеного навігаційного радіосигналу, які випромінюють ретранслятори, функціональної залежності від часу зміни параметрів даного виділеного навігаційного радіосигналу при проходженні його через апаратуру ретранслятора, та визначенням значень зміни параметрів навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем при проходженні ними через апаратуру ретранслятора, на момент ретрансляції даного

виділеного навігаційного радіосигналу по встановленій для цього сигналу функціональній залежності. Згідно із даним методом, передбачається, що всі ретранслятори будуть випромінювати свої сигнали в одній частотній смузі. Радіосигнал ретранслятора складається із суміші навігаційних радіосигналів всіх космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких надійшли на приймальну антену ретранслятора. В цій суміші радіосигнали всіх космічних апаратів проходять через апаратуру ретранслятора та спільну трасу "ретранслятор - користувач". Таким чином для сигналу  $U_r^s(t)$  від космічного апарата з номером  $s$ , який пройшов ретранслятор з номером  $r$  і був виділений в навігаційній апаратурі користувача, можна записати наступну математичну модель [1,2,4] (для спрощення пояснень цифрова інформація в дану модель не включена, оскільки вона не впливає на пошук сигналу):

$$U_r^s(t) = U_0^s * C / A_s(t - R_r^s(t)/c - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c - \rho_r^{us}(t)/c) * \sin(2\pi * f^s * (t - R_r^s(t) - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c - \rho_r^{us}(t)/c) + 2\pi * f_r * t + \varphi_{r0}^s)$$

де  $t$  - момент часу прийому сигналів в навігаційній апаратурі користувача;

$U_0^s$  - амплітуда сигналу від космічного апарату з номером  $s$ ;

$C / A_s(t - R_r^s(t)/c - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c - \rho_r^{us}(t)/c)$  - значення символу кодової псевдо-шумової послідовності, яку накладається на навігаційний радіосигнал, який випромінює космічний апарат з номером  $s$  в момент часу  $(t - R_r^s(t)/c - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c - \rho_r^{us}(t)/c)$ ;

$(t - R_r^s(t)/c - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c - \rho_r^{us}(t)/c)$  - момент випромінювання сигналу космічним апаратом з номером  $s$ ;

$R_r^s(t)$  - відстань, яку пройшов навігаційний радіосигнал під час його поширення від космічного апарату з номером  $s$  до ретранслятора з номером  $r$ ;

$c$  - швидкість світла в вакуумі;

$\psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) / c$  - значення функції зміни затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора з номером  $r$  в момент часу  $(t - \rho_r^{us}(t)/c)$ ;

$i0$  - умовний номер функції зміни затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора, вибраної з набору функцій, заданого для даного ретранслятора;

$\rho_r^{us}(t)$  - відстань, яку пройшов ретрансльований навігаційний радіосигнал під час його поширення від ретранслятора з номером  $r$  до користувача;

$(t - \rho_r^{us}(t)/c)$  - момент випромінювання радіосигналу ретранслятором з номером  $r$ ;

$f^s$  - несуча частота навігаційного радіосигналу, який випромінює космічний апарат з номером  $s$ ;

$(2\pi \cdot f_r \cdot t)$  - доданок, обумовлений впливом на фазу ретрансльованого сигналу, зміщенням частоти ретрансляції в ретрансляторі з номером  $g$ ;

$\varphi_{r0}^s$  - початкове зміщення фази навігаційного радіосигналу космічного апарату з номером  $s$ , що пройшов через апаратуру ретранслятора з номером  $g$ .

Навігаційна апаратура користувача приймає суму радіосигналів від всіх ретрансляторів в даному регіоні та від всіх космічних апаратів, сигнали яких пройшли апаратуру ретрансляторів  $U_{\Sigma}(t) = \sum_i (\sum_j (U_j^i(t)))$  ( $i$  - номери супутників,  $j$  - номери ретрансляторів). В апаратурі користувача виконується вибір номера  $s$  космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, пошук сигналу якого планується здійснити, та виконується вибір номеру  $g$  ретранслятора, серед сигналів якого планується виконувати пошук. Пошук сигналу здійснюється шляхом формування копії псевдовипадкової послідовності  $C/A_s(t')$  космічного апарату з номером  $s$  таким чином, щоб забезпечити максимум кореляції між копією та прийнятим сигналом [4]. Оскільки псевдовипадкові послідовності космічних апаратів майже некорельовані між собою, то пошук сигналу буде здійснюватись серед наступної суміші сигналів  $U_{\Sigma}^s(t) = \sum_j (U_j^s(t))$  ( $j=1...N_r$ ; де  $N_r$  - кількість ретрансляторів) (для ГЛОНАСС сигнали рознесені по частоті, тому розділення сигналів космічних апаратів цієї системи виконується в блоці аналогового перетворення навігаційної апаратури користувача). Для виділення сигналу космічного апарату з номером  $s$  серед сигналів ретранслятора з номером  $g$  утворюють копію псевдовипадкової послідовності  $C/A_s(t'(t))$  космічного апарату з номером  $s$ , причому функцію  $t'(t)$  будують таким чином, щоб вона мала доданок  $\tau_r(t)$  і щоб послідовності  $C/A_s(t'(t))$  утворювала максимальну кореляцію із сумішшю сигналів  $U_{\Sigma}^s(t)$ . Досягнення максимуму кореляції можливе лише за умови, що копія псевдовипадкової послідовності космічного апарату з номером  $s$  буде змінюватись в часі  $y$  точній відповідності із функцією  $C/A_s(t - R_r^s(t)/c - \psi_{i0,r}(t - \rho_r^{us}(t)/c) - \rho_r^{us}(t)/c)$

зміни псевдовипадкової послідовності супутника з номером  $s$ , яка була випромінена ретранслятором з деяким номером  $j$  та прийнята навігаційною апаратурою користувача. Для кожного ретранслятора згідно із способом, що пропонується, задається свій, притаманний лише йому набір функцій  $\psi_{i,r}(t)$ . Отже такий збіг можливий лише в тому випадку, коли ретранслятор, з яким дана копія утворює максимум буде мати номер  $g$ , тобто коли виконані рівності  $i=j$ , та  $j=g$ . В зв'язку з цим, для виявлення сигналів даного ретранслятора може бути запропонована наступна послідовність дій. В навігаційній апаратурі користувача здійснюють перебір функцій зміни затримки сигналу в апаратурі ретранслятора  $\psi_{i,r}(t)$  із заданого для даного ретранслятора набору, та виконують перебір частоти, кодової фази та початку відліку часу при формуванні функції  $\psi_{i,r}(t)/c$ , до тих пір, поки утворена

за цими параметрами копія сигналу космічного апарату з номером  $s$  досягне максимальну кореляцію із прийнятим радіосигналом. Керування такими параметрами ретрансльованого сигналу, як потужність, поляризація та частота лише послаблюють кореляції між сигналами від різних ретрансляторів і на обробку сигналів в навігаційній апаратурі користувача не впливають;

визначення для кожного космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з сигналів ретрансляторів на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого був виділений сигнал даного космічного апарату, псевдовідстаней та доплерівського зсуву частоти за результатами обробки в навігаційній апаратурі користувача навігаційних радіосигналів даного космічного апарату, виділених з радіосигналів ретрансляторів. Ці операції виконують для того, щоб доповнити псевдовідстані та величини доплерівських зсувів частоти, визначених за результатами обробки безпосередньо прийнятих навігаційною апаратурою користувача радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, до достатнього для визначення параметрів руху користувача числа;

виділення для кожного космічного апарату, навігаційні радіосигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів, цифрової інформації, що передається в його радіосигналі. Виділення цифрової інформації необхідно для тих космічних апаратів, радіосигнали яких не надходять безпосередньо на приймальну антену навігаційної апаратури користувача. В цифровій інформації, яка передається навігаційним радіосигналом космічного апарату супутникових радіонавігаційних систем, містяться дані необхідні для прогнозу координат та вектора швидкості космічного апарату на будь-який заданий момент часу, а також дані, які дозволяють визначити зміщення шкали часу та частоти супутника відносно опорної шкали часу та частоти, яка використовується в супутниковій радіонавігаційній системі, до якої належить даний космічний апарат (для GPS (NAVSTAR) див.[3], а для ГЛОНАСС див. [4]);

визначення для кожного космічного апарату радіонавігаційних систем, сигнали якого були виділені з радіосигналів ретрансляторів та оброблені на моменти часу прийому сигналів, і для кожного ретранслятора, з радіосигналу якого були виділені сигнали даного космічного апарату, моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів даного космічного апарату з використанням визначених на ці моменти часу відповідних псевдо-відстаней. Для псевдовідстані, яка визначена за результатами обробки навігаційного радіосигналу, виділеного з радіосигналу ретранслятора, з урахуванням фізичного змісту такого параметру, як псевдовідстань [1, стор.34-35, 114-118], буде справедливим наступне співвідношення:

$$R=c \cdot (t_{пр}-t_{вип});$$

де  $R$  - виміряна псевдовідстань для даного космічного апарату;

$c$  - швидкість світла;

$t_{np}$  - час прийому сигналу, який задає навігаційна апаратура користувача;

$t_{вип}$  - час випромінювання радіосигналу, визначений в шкалі часу даного космічного апарату.

Оскільки в цьому співвідношенні час прийому сигналу  $t_{np}$  відомий, а псевдовідстань  $R$  визначена внаслідок обробки радіосигналу, то час випромінювання може бути визначений з рівняння:

$$t_{вип} = t_{np} - R/c,$$

визначення на моменти випромінювання навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, сигнали яких були виділені з радіосигналів ретрансляторів, параметрів руху та зміщення шкали часу та частоти відповідних космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем з використанням цифрової інформації, що передається в навігаційному радіосигналі цих космічних апаратів. Ця операція виконується згідно із документацією на дану супутникову радіонавігаційну систему (для GPS (NAVSTAR) див.[5], а для ГЛОНАСС див. [6]);

визначення на моменти часу прийому сигналів параметрів руху користувача за результатами визначення псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти, визначених за результатами обробки як безпосередньо прийнятих навігаційною апаратурою користувача, так і виділених із радіосигналів ретрансляторів, навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, шляхом розв'язання рівнянь, які пов'язують результати вимірювання псевдовідстаней та доплерівських зсувів частоти з відомими координатами приймальної та випромінювальної антен ретрансляторів, з визначеними затримкою та зміщенням частоти сигналів в апаратурі ретрансляторів, з визначеними, на моменти часу випромінювання навігаційних радіосигналів, параметрами руху космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, з визначеними на ці моменти часу значеннями зміщення шкал часу та частоти цих космічних апаратів, та з невідомими координатами, компонентами вектора швидкості та зміщеннями шкали часу та частоти навігаційної апаратури користувача. Значення затримки та зміщення частоти сигналів в апаратурі ретрансляторів обчислюється по значенню функції  $\psi_{i0,j}(t - \rho_j^{us}(t)/c)$ , яка була визначена при виділенні навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, що були ретрансльовані даним ретранслятором. Для псевдовідстані, яка була визначена за результатами обробки безпосередньо прийнятого навігаційною апаратурою користувача навігаційного радіосигналу справедливе співвідношення [1, стор.212-231]:

$$R_i = \{(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2\}^{1/2} + c * \Delta t_i - c * \Delta T,$$

де  $R_i$  - псевдовідстань, визначена за результатами обробки безпосередньо прийнятого приймальною апаратурою користувача навігаційного радіосигналу космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ , де  $n$  - кількість космічних апаратів, радіосигнали яких були безпосередньо прийняті навігаційною апаратурою користувача);

$c$  - швидкість світла;

$x, y, z$  - невідомі координати користувача на момент часу прийому сигналів;

$\Delta T$  - невідоме зміщення шкали часу користувача відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат;

$X_i, Y_i, Z_i$  - координати космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) на момент випромінювання сигналу. Ці координати визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$\Delta t_i$  - зміщення шкали часу космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат. Це зміщення визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату.

Для псевдовідстані, яка була визначена за результатами обробки сигналу виділеного з радіосигналу ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ , де  $m$  - загальне число ретрансляторів, радіосигнали яких приймає навігаційна апаратура користувача) можна записати наступне співвідношення:

$$R_{рет,j,s} = \{(X_{прийм,j} - X_s)^2 + (Y_{прийм,j} - Y_s)^2 + (Z_{прийм,j} - Z_s)^2\}^{1/2} + \psi_{i0,j}(t - \rho_j^{us}(t)/c) + \{(x - X_{випр,j})^2 + (y - Y_{випр,j})^2 + (z - Z_{випр,j})^2\}^{1/2} + c * \Delta T - c * \Delta t_s$$

де  $R_{рет,j,s}$  - псевдовідстань, визначена за результатами обробки радіосигналу космічного апарату з умовним номером  $s$ , виділеного з радіосигналу ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ ), (вибір значення  $s$  номера космічного апарату може бути виконаний довільно);

$c$  - швидкість світла

$\{(X_{прийм,j} - X_s)^2 + (Y_{прийм,j} - Y_s)^2 + (Z_{прийм,j} - Z_s)^2\}^{1/2}$  - відстань, яку проходить радіосигнал від космічного апарату до приймальної антени ретранслятора;

$\rho_j^{us}(t) = \{(x - X_{випр,j})^2 + (y - Y_{випр,j})^2 + (z - Z_{випр,j})^2\}^{1/2}$  - відстань, яку проходить радіосигнал від випромінювальної антени ретранслятора до навігаційної апаратури користувача;

$\psi_{i0,j}(t - \rho_j^{us}(t)/c)$  - вибрана на даний момент часу

випромінювання  $(t - \rho_j^{us}(t)/c)$  функція зміни затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора;

$X_s, Y_s, Z_s$  - координати космічного апарату з умовним номером  $s$  на момент випромінювання сигналу. Ці координати визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$\Delta t_s$  - зміщення шкали часу космічного апарату з умовним номером  $s$  відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат. Це зміщення визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$X_{\text{прийм.}j}$ ,  $Y_{\text{прийм.}j}$ ,  $Z_{\text{прийм.}j}$  - відомі координати фазового центра приймальної антени ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$X_{\text{випр.}j}$ ,  $Y_{\text{випр.}j}$ ,  $Z_{\text{випр.}j}$  - відомі координати фазового центра випромінювальної антени ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$x$ ,  $y$ ,  $z$  - невідомі координати користувача на момент часу прийому сигналів;

$\Delta T$  - невідоме зміщення шкали часу користувача відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат.

Таким чином, із рівнянь, які пов'язують виміряні псевдовідстані  $R_i$  та  $R_{\text{рет.}j,s}$  із невідомими координатами користувача  $x$ ,  $y$ ,  $z$  та з невідомим зсувом шкали часу користувача  $\Delta T$  відносно опорної шкали часу супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат, випливає що для визначення параметрів руху користувача, а саме його координат, достатньо забезпечити виконання умови:  $n+m=4$ . Отримана система рівнянь може бути розв'язана, наприклад, методом послідовних наближень [7].

Для визначення компонент вектора швидкості користувача та для визначення зсуву його шкали частоти використовують результати вимірювання доплерівського зсуву частоти.

Для доплерівського зсуву частоти, який був визначений в результаті обробки безпосередньо прийнятого навігаційного апаратури користувача навігаційного радіосигналу справедливе співвідношення [1, стор.118]:

$$(\Delta F_{\text{доп.}i}) = (dp_i / dt) + c * (d\Delta t / dt) - c * (d\Delta t_i / dt),$$

де  $\Delta F_{\text{доп.}i}$  - доплерівське зміщення частоти, визначене за результатами обробки безпосередньо прийнятого приймальною апаратури користувача навігаційного радіосигналу космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ , де  $n$  - кількість космічних апаратів, радіосигнали яких були безпосередньо прийняті навігаційною апаратурою користувача),  $i$  виражене в одиницях вимірювання швидкості;

$(dp_i / dt)$  - радіальна швидкість космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) відносно користувача:

$$(dp_i / dt) = ((x - X_i) * (v_x - V_{i,x}) + (y - Y_i) * (v_y - V_{i,y}) + (z - Z_i) * (v_z - V_{i,z})) / \rho;$$

$\rho_i$  - відстань від користувача до космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ):

$$\rho_i = \{(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2\}^{1/2};$$

$c$  - швидкість світла;

$x$ ,  $y$ ,  $z$  - координати користувача на момент часу прийому сигналів;

$V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  - компоненти вектора швидкості користувача;

$X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$  - координати космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) на момент випромінювання сигналу. Ці координати визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$V_{i,x}$ ,  $V_{i,y}$ ,  $V_{i,z}$  - компоненти вектора швидкості космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) на момент випромінювання сигналу. Ці величини визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$(d\Delta t / dt)$  - невідоме зміщення шкали частоти користувача відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат;

$(d\Delta t_i / dt)$  - зміщення шкали частоти космічного апарату з умовним номером  $i$  ( $i=1...n$ ) відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат. Це зміщення визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату.

Для доплерівського зсуву частоти, який був визначений за результатами обробки сигналу виділеного з радіосигналу ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ , де  $m$  - загальне число ретрансляторів, радіосигнали яких приймає навігаційна апаратура користувача) можна записати наступне співвідношення:

$$(\Delta F_{\text{доп.}s,j}) = (dp_{s,j} / dt) + (dp_j / dt) +$$

$$+ (d\psi_{i0,j}(t - \rho^{us}_j(t) / c) / dt) + c * (d\Delta t / dt) -$$

$$- c * (d\Delta t_s / dt)$$

де  $\Delta F_{\text{доп.}s,j}$  - доплерівське зміщення частоти, визначене за результатами обробки радіосигналу космічного апарату з умовним номером  $s$ , виділеного з радіосигналу ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$c$  - швидкість світла;

$(dp_{s,j} / dt)$  - радіальна швидкість космічного апарату з умовним номером  $s$  відносно ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ ):

$$(dp_{s,j} / dt) = ((X_s - X_{\text{прийм.}j}) * V_{s,x} + (Y_s - Y_{\text{прийм.}j}) * V_{s,y} + (Z_s - Z_{\text{прийм.}j}) * V_{s,z}) / \rho_{s,j}$$

$\rho_{s,j}$  - відстань, яку проходить радіосигнал від космічного апарату з умовним номером  $s$  до ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ ):

$$\rho_{s,j} = \{(X_{\text{прийм.}j} - X_s)^2 + (Y_{\text{прийм.}j} - Y_s)^2 + (Z_{\text{прийм.}j} - Z_s)^2\}^{1/2};$$

$X_{\text{прийм.}j}$ ,  $Y_{\text{прийм.}j}$ ,  $Z_{\text{прийм.}j}$  - відомі координати фазового центра приймальної антени ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$X_s$ ,  $Y_s$ ,  $Z_s$  - координати космічного апарату з умовним номером  $s$  на момент випромінювання сигналу. Ці координати визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$V_{s,x}$ ,  $V_{s,y}$ ,  $V_{s,z}$  - компоненти вектора швидкості космічного апарату з умовним номером  $s$  на момент випромінювання сигналу. Ці параметри визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату;

$(dr_j/dt)$  - радіальна швидкість користувача відносно ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$$(dr_j/dt) = ((x - X_{\text{випр.}j}) * v_x + (y - Y_{\text{випр.}j}) * v_y + (z - Z_{\text{випр.}j}) * v_z) / r_j$$

$r_j$  - відстань, яку проходить радіосигнал від випромінювальної антени ретранслятора до навігаційної апаратури користувача:

$$r_j = \{(x - X_{\text{випр.}j})^2 + (y - Y_{\text{випр.}j})^2 + (z - Z_{\text{випр.}j})^2\}^{1/2};$$

$X_{\text{випр.}j}$ ,  $Y_{\text{випр.}j}$ ,  $Z_{\text{випр.}j}$  - відомі координати фазового центра випромінювальної антени ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$x$ ,  $y$ ,  $z$  - координати користувача на момент часу прийому сигналів;

$v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  - компоненти вектора швидкості користувача;

$(t - \rho_2^{\text{us}}(t)/c)$  - момент випромінювання радіосигналу ретранслятором з номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$i0$  - умовний номер функції зміни затримки сигналу в апаратурі ретранслятора, встановлений в момент випромінювання радіосигналу;

$(d\psi_{i0,j}(t - \rho^{\text{us}}j(t)/c)/dt)$  - похідна функції зміни затримки радіосигналу в апаратурі ретранслятора. Ця похідна дорівнює величині зсуву частоти радіосигналів, яка виникає при проходженні радіосигналу через апаратуру ретранслятора з умовним номером  $j$  ( $j=1...m$ );

$(d\Delta t/dt)$  - невідоме зміщення шкали частоти користувача відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат;

$(d\Delta t_s/dt)$  - зміщення шкали частоти космічного апарату з умовним номером  $s$  ( $s=1...n$ ) відносно опорної шкали часу та частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат. Це зміщення визначають за цифровою інформацією, яка передається навігаційним радіосигналом даного космічного апарату.

Таким чином, якщо визначені координати користувача  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , то за результатами вимірювань доплерівських зсувів частоти  $(\Delta F_{\text{доп.}i})$  та  $(\Delta F_{\text{доп.}s,j})$  з'являється можливість визначити невідомі компоненти вектора швидкості користувача  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  та визначити невідомий зсув шкали частоти користувача  $(d\Delta t/dt)$  відносно опорної шкали частоти супутникової радіонавігаційної системи, до якої належить даний космічний апарат. Слід зазначити, що ці рівняння лінійні, і, у випадку забезпечення виконання умови:  $n+m=4$ , можуть бути розв'язані яким-небудь традиційним методом розв'язання лінійних рівнянь [5].

Спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем, що пропонується, може бути реалізований наступним чином. В різних точках місцевості, в якій існують місця екранування навігаційних сигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, встановлюють ретранс-

лятори навігаційних радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем. Місцезаположення ретрансляторів вибирають таким чином, щоб з одного боку забезпечити мінімальну величину геометричного фактора [1, 2] на даній місцевості, а з іншого боку, щоб забезпечити можливість визначення параметрів руху користувача в кожній точці даної місцевості. Частотну смугу ретрансляції радіосигналів доцільно вибрати такою, щоб вона не мала перетину із частотною смугою, яку займають радіосигнали космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем (для уникнення впливу ретрансльованих сигналів на сигнали космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем). Для забезпечення можливості розділення сигналів ретрансляторів в апаратуру ретрансляторів вводять модуль керування затримкою радіосигналів, та задають функції, за якими повинно здійснюватись регулювання даних модулів, щоб забезпечити зміну в часі затримки радіосигналів в апаратурі ретранслятора у відповідності із заданим для даного ретранслятора набором функцій зміни затримки сигналів. В якості функції зміни затримки сигналів в апаратурі ретранслятора для всіх ретрансляторів доцільно задати одну і ту ж періодичну диференційовану функцію, наприклад синусоїду, причому за кожним ретранслятором доцільно закріпити конкретне значення періоду даної функції (амплітуда вибраної періодичної функції може бути використана для передачі цифрової інформації). Регулювання затримкою сигналу в апаратурі ретранслятора може бути виконане наступним чином. В апаратурі ретранслятора встановлюють додатковий модуль, в якому здійснюють регулювання часом проходження радіосигналу через даний модуль або за рахунок зміни швидкості поширення радіосигналу в даному модулі, або за рахунок зміни довжини шляху, який проходить радіосигнал в даному модулі, або за рахунок поєднання цих операцій. Зміна швидкості поширення радіосигналу може бути досягнута наприклад за рахунок того, що радіосигнал в модулі регулювання затримкою буде проходити по лінії, яка містить в своєму складі феритовий матеріал, вміщений в змінне магнітне поле. Під впливом магнітного поля змінюється магнітна проникність феритового матеріалу [8]. Оскільки швидкість поширення радіохвиль обернено пропорційна кореню квадратному із величини магнітної проникності [8,9], то здійснюючи регулювання напруженістю зовнішнього магнітного поля, можна регулювати швидкість поширення радіохвилі через феритовий матеріал. Зміна довжини шляху поширення радіосигналу може бути виконана або за рахунок безпосередньої зміни геометричних розмірів модуля регулювання затримкою, або за рахунок введення в модуль регулювання затримкою набору трактів поширення радіосигналу різної довжини та здійснення комутації цих трактів таким чином, щоб радіосигнал проходив по черзі через один тракт даного набору.

Для виконання пошуку сигналів від даного ретранслятора може бути запропонована наступна послідовність дій. Задають номер  $r$  ретранслятора та номер  $s$  космічного апарату супутникових ра-

діонавігаційних систем, сигнал якого повинен шукатись серед сигналів ретранслятора. Вибирають функцію  $\psi_{ir}(t)$  зміни параметрів ретрансльованого сигналу з набору відповідних функцій заданих для даного ретранслятора. Задають функцію  $t'(t)$ , яка відтворює залежність моментів часу випромінювання навігаційних радіосигналів космічного апарату з номером  $s$  в залежності від часу прийому сигналів в навігаційній апаратурі користувача шляхом вибору частоти формування цієї послідовності, вибору величини зміщення часу початку формування цієї послідовності та вибором функції  $t''(t)$ , яка описує зміну в часі аргументу функції  $\psi_{ir}(t''(t))$ . Здійснюють формування копії псевдо випадкової послідовності  $C/A_s(t'(t))$  космічного апарату з номером  $s$ . Обчислюють кореляцію даної послідовності із сигналами, які випромінюють ретранслятори. Процес вибору функцій  $\psi_{ir}(t'')$  та  $t'(t)$  закінчують тоді, коли або буде досягнуто максимум кореляції (тобто буде виявлений сигнал), або будуть проаналізовані всі можливі варіанти зміни функцій  $\psi_{ir}(t'')$  та  $t'(t)$  (тобто, буде встановлено, що сигнал відсутній). В разі якщо сигнал даного космічного апарату не буде знайдено з використанням функції  $\psi_{ir}(t'')$ , то вибирають наступну функцію із заданого для ретранслятора набору функцій. В разі якщо сигнал буде виявлено, то виконують обробку цього сигналу та визначають псевдовідстань, доплерівське зміщення частоти та значення функції  $\psi_{ir}(t''(t))$  в момент прийому сигналів. Отримані величини використовують для визначення параметрів руху користувача.

Для полегшення розділення в навігаційній апаратурі користувача сигналів від різних ретрансляторів, в апаратуру ретрансляторів можна додатково ввести модулі керування потужністю, поляризацією та зміщенням частоти ретрансльованого радіосигналу (використання зміщення частоти не повинно приводити до розширення частотного діапазону, в якому здійснюється ретрансляція сигналів). Регулювання потужністю сигналів ретрансляторів для полегшення їх розділення може бути використане наступним чином. Для кожного ретранслятора задається проміжок часу, на якому потужність сигналу від даного ретранслятора буде перевищувати потужність сигналів від інших ретрансляторів. В навігаційній апаратурі користувача пошук сигналів космічних апаратів серед сигналів ретрансльованих деяким ретранслятором виконують на тому проміжку часу, на якому потужність сигналу цього ретранслятора перевищує потужність сигналів від інших ретрансляторів. Ще одним засобом полегшення розділення сигналів є застосування поляризаційного розділення випромінювальних антен ретрансляторів [8, 10]. В цьому випадку навігаційну апаратуру користувача доцільно побудувати з декількох модулів, кожен з яких настроєний на прийом та обробку сигналів певної поляризації, яка співпадає з поляризацією якого-небудь ретранслятора (кожен модуль буде складатись з антенного блоку, блоку аналогового перетворення сигналів та блоку цифрової обробки

сигналів). Також може бути застосований прийом частотного рознесення сигналів ретрансляторів, за умови, що це частотне рознесення сигналів не призведе до розширення частотної смуги, яку займають сигнали ретрансляторів. В цьому випадку навігаційна апаратура користувача повинна мати для кожного зміщення частоти свій блок аналогового перетворення сигналів. Слід зазначити, що жоден з цих заходів не забезпечує повного розділення сигналів ретрансляторів, а дозволяє лише підвищити потужність прийнятого сигналу даного ретранслятора в порівнянні з сигналами інших ретрансляторів, тобто ці операції можуть розглядатись лише як допоміжними операції; їх призначення - забезпечити можливість організувати в навігаційній апаратурі користувача канали обробки сигналів, настроєних на сигнали певного ретранслятора, і в яких буде забезпечено суттєве підвищення рівня сигналів даного ретранслятора на сигналами інших ретрансляторів.

Апаратура ретрансляторів, включно із модулем регулювання затримкою радіосигналів апаратури ретрансляторів, модулем регулювання потужністю радіосигналів, модулем регулювання несучої частоти та модулем регулювання поляризацією, може бути побудована на базі вже існуючих технічних засобів.

Для випадку, коли для розділення сигналів ретрансляторів використовують лише операції варіювання затримкою та потужністю радіосигналів, навігаційна апаратура користувача може бути побудована, наприклад, наступним чином. Апаратуру будують з двох модулів обробки сигналів і центрального процесора: перший модуль призначений для здійснення безпосереднього прийому радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем; другий модуль призначений для здійснення прийому радіосигналів космічних апаратів супутникових радіонавігаційних систем, які були ретрансльовані ретрансляторами; центральний процесор здійснює керування пошуком та обробкою навігаційних радіосигналів в першому та другому модулях, та виконує визначення параметрів руху користувача за результатами роботи цих модулів. Для побудови першого модуля може бути використана вже наявна на ринку навігаційна апаратура користувача. Другий модуль також може бути побудований на основі апаратури першого модуля з доробкою антенного, аналогового блоків та блоку цифрової обробки сигналів. Антенний блок повинен забезпечувати прийом сигналів від ретрансляторів, які будуть розташовані під відносно невеликим кутом місця (на відміну від антен традиційної навігаційної апаратури, яка здійснює прийом сигналів від космічних апаратів, які мають досить високий кут місця). При побудові аналогового блоку необхідно враховувати перенос частоти ретрансльованих сигналів, причому він може бути побудований на основі подібного блоку першого модуля. При розробці блоку цифрової обробки сигналів необхідно враховувати можливу наявність зміни кодової фази та фази несучої на інтервалі обробки сигналів. В зв'язку з цим блок цифрової обробки сигналів може бути побудований, наприклад, на основі ци-

фрової системи входження в зв'язок по частоті з лінійною частотною модуляцією, описаною в [11, стор.100-102] Програмне забезпечення центрального процесора може бути побудовано шляхом модифікації програмного забезпечення традиційного навігаційного приймача з урахуванням особливостей обробки ретрансльованих радіосигналів.

В разі застосування додаткових операцій поляризації та зміщення частоти ретрансльованих сигналів другий модуль навігаційної апаратури користувача необхідно будувати з підмодулів, кожен з яких забезпечує підвищення відношення сигнал-шум для радіосигналів, які ретранслює лише один ретранслятор, і зниження цього відношення для сигналів від інших ретрансляторів. Кожен з цих підмодулів повинен здійснювати прийом сигналів тої поляризації, яка встановлена для даного ретранслятора (в разі якщо здійснюється поляризація ретрансльованих сигналів) та виконувати фільтрацію сигналів з урахуванням зміщення частоти, встановленого для даного ретранслятора (в разі якщо здійснюється зсув частоти ретрансльованих сигналів). Кожна з цих операцій може бути реалізована на тому рівні техніки який вже існує за нашого часу.

Таким чином, апаратура ретрансляторів та навігаційна апаратура користувача можуть бути побудована на вже існуючий за нашого часу елементній базі.

Список літератури:

1. Б.Гофманн-Веленгоф, Г.Ліхтенеггер, Д.Коллінз, "Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика", Київ, "Наукова думка", 1996р.

2. В.С.Шебшаевич, П.П.Дмитриев, П.П.Иванцевич и др. "Сетевые спутниковые радионавигационные системы", - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1993 г.

3. Патент №69794А Україна // МПК<sup>7</sup> G01S5/00,5/02 // Спосіб визначення параметрів руху користувача за сигналами супутникових радіонавігаційних систем // Верещак О.П., Нестерович А.Г., Піскорж В.В., Рудіч О.В.

4. Elliot D. Kaplan. "Understanding GPS. Principles and Applications". ARTECH HOUSE, INC., 1996.

5. Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment / Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). Rockwell Int. Corp.,2000.

6. Глобальная навигационная спутниковая система "ГЛОНАСС". Интерфейсный документ (Четвертая редакция), Москва, Координационный научно-информационный центр, 1998г.

7. В.И.Крылов, В.В.Бобков, П.И.Монастырный, "Вычислительные методы", т.1, Изд. "Наука", М.: 1976г.

8. Г.Т. Марков, "Антенны", Государственное энергетическое издательство, Москва, Ленинград, 1960.

9. Г.А.Зисман, О.М.Тодес, "Курс общей физики", т.2. Изд. "Наука", М. 1972.

10. Л.Н.Захарьев, А.А.Леманский, В.И.Турчин, Н.М.Цейтлин, "Методы измерения характеристик антенн СВЧ", М., "Радио и связь", 1985.

11. М.И.Жодзишский, Р.Б.Мазепа, Е.П.Овсянников и др. "Цифровые радиоприемные системы: Справочник", М., "Радио и связь", 1990.