



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142478** (13) **U**
(51) МПК
H04B 7/185 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

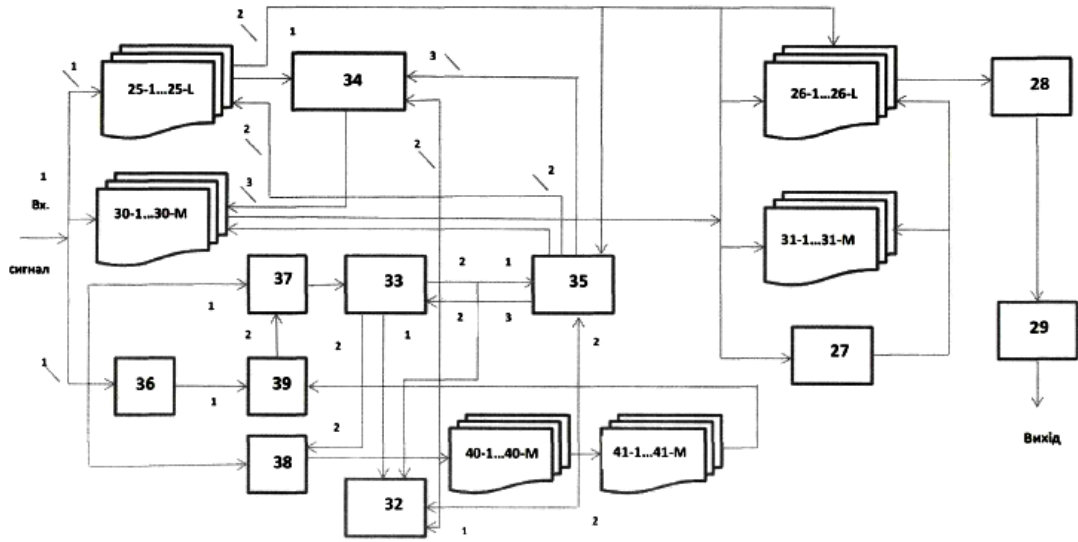
(21) Номер заявки: u 2019 11325	(72) Винахідник(и): Сайко Володимир Григорович (UA), Домрачев Володимир Миколайович (UA), Наритник Теодор Миколайович (UA), Сивкова Наталія Максимівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 21.11.2019	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2020	(73) Власник(и): КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА, вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2020, Бюл.№ 11	

(54) СИСТЕМА НИЗЬКООРБІТАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ІЗ МІЖСУПУТНИКОВИМИ КАНАЛАМИ ЗВ'ЯЗКУ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ

(57) Реферат:

Система низькоорбітального супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону містить штучні супутники Землі, кожен з яких функціонує на навколоземній орбіті і оснащений бортовими ретрансляторами, міжсупутниковий зв'язок, мережу наземних станцій зв'язку і управління штучними супутниками Землі, угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система), що включає угруповання кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), при цьому функції кореневого супутника виконують міні- або мікросупутники, які пов'язані в кільцеву мережу лініями зв'язку між супутниками, а функції супутників-ретрансляторів - кубсати. Додатково введено угруповання супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника, що являє собою синхронно випромінюючі просторово-рознесені малопотужні передавальні пристрої з коефіцієнтом просторової кореляції менше 0,3 та приймальні пристрої терагерцового діапазону.

UA 142478 U



Фиг. 2

Корисна модель належить до області мобільних телекомунікацій, а саме до систем супутникового зв'язку, і може бути використана для забезпечення зв'язку низькоорбітальних космічних апаратів з наземними станціями та користувачами супутникових послуг.

5 Потреба надання інформації по каналу зв'язку ведучого супутника абонентам, що дислокований на території, покритій веденим супутником, координати якого можуть бути в сусідній точці, виникає в результаті необхідності надання інформації таким абонентам. Це також
приводить до розширення кількості обслуговуваних абонентів джерелом інформації, підключеного до каналу ведучого супутника. Дану операцію технічно забезпечують міжсупутникові канали зв'язку між низькоорбітальними супутника, між низько- та
10 високоорбітальними ретрансляторами, між високоорбітальними ретрансляторами супутникових систем.

Відомий патент RU 2549832 "Способ космической связи", МПК H04В 7/185, опубл. 10.03.2014, який включає два і більше геостационарних супутників зв'язку, міжсупутникові двосторонні лінії зв'язку, наземні пункти зв'язку та командно-вимірвальні пункти [1]. Спосіб
15 полягає в тому, що ведені супутники обладнують апаратурою радіонавігації і системою навігації та управління рухом. Управління веденими супутниками і контроль над їх технічним станом виконуються за допомогою ведучого супутника, що знаходиться постійно в зонах видимості хоча б одного наземного командно-вимірвального пункту і наземного пункту зв'язку - антипода адресним наземним пунктам зв'язку.

20 Відомий спосіб передбачає виконання наступних операцій: встановлення на супутниках комплектів приймально-передавальної апаратури, апаратури радіонавігації, програмного забезпечення; проведення планування та реєстрацію робочих позицій, планування польотного завдання; виведення веденого супутника на розрахункову довготу; проведення траєкторних вимірювань та розрахунку і реалізація попереднього плану корекцій приведення супутника на
25 задану орбітальну позицію.

За допомогою апаратури радіонавігації і бортових систем, яка включає комплекс алгоритмічних програм щодо забезпечення польоту супутника, які відповідають за автономну "посадку" веденого супутника на задану орбітальну позицію і утримання його на цій позиції протягом заданого часу або протягом терміну активного існування. Управління веденим
30 супутником і контроль над його технічним станом проводять за допомогою ведучого супутника.

Для функціонування відомої системи радіонавігації і передачі інформації, яка базується на апаратурі радіонавігації, необхідно створити канал передачі даних або канал зв'язку.

Недоліком відомого рішення є те, що такий канал при використанні стандартної частоти в супутниковій системі при обслуговуванні міжсупутникового зв'язку може впливати на інші канали
35 зв'язку і спотворювати сигнал та відповідно впливати на якість передачі.

Найближчим аналогом до пропонованої корисної моделі є технічне рішення в патенті [2], в якому система низькоорбітального супутникового зв'язку представляє угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система) з архітектурою "розподіленого супутника", та яка включає угруповання кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів
40 (ведених). Навколо кожного кореневого супутника формується мікроугруповання супутників-ретрансляторів, яке називається "розподілений супутник". Функції кореневого супутника в вибраній фазовій точці орбітальної площині робочої орбіти виконують міні- або мікросупутники, а функції супутників-ретрансляторів - кубсати. Кореневі супутники пов'язані між собою в кільцеву мережу високошвидкісними лініями зв'язку між супутниками. Геометричний розмір
45 "розподіленого супутника" - область навколо кореневого супутника радіусом приблизно 1 км. Це означає, що кубсати здійснюють груповий політ на відстані не більше 1 км від кореневого супутника. Космічний сегмент LEO-системи складається з декількох орбітальних площин, що мають однакову кількість розподілених супутників, однаковий спосіб, і відрізняються довготою висхідного вузла. У кожній орбітальній площині розподілені супутники рівномірно розміщені з
50 однаковою відносною істинною аномалією при цьому кожен розподілений супутник пов'язаний з двома сусідніми розподіленими супутниками в своїй орбітальній площині і з двома найближчими розподіленими супутниками в двох сусідніх орбітальних площинах - по одному в кожній орбітальній площині.

Недоліком відомого рішення є те, що у ньому не наведена архітектура міжсупутникового каналу зв'язку, що не можливо оцінити його технічні характеристики та відповідно технічні
55 можливості системи низькоорбітальної супутникового радіозв'язку для надання якісних послуг в інтегрованих мережах зв'язку 5G та IoT.

Для рішення задачі з підвищення завадостійкості радіоканалу на приймальній стороні найбільш близьким до пропонованого рішення є пристрій прийому багатопроменевих сигналів,
60 описаний в патенті RU № 2120180 [3], що містить L однопроменевих приймачів, M пристроїв

множення, приймач пошуку, блок управління, блок визначення вагових коефіцієнтів і суматор, перший і другий входи кожного однопроменевого приймача і приймача пошуку одночасно є сигнальними входами пристрою, треті їх входи з'єднані з виходом блока управління, що забезпечує синхронну роботу приймачів, вихід значень вирішальної функції пошуку приймача пошуку з'єднаний зі входом блока управління, вихід кожного з L однопроменевих приймачів з'єднаний з відповідними входами блока визначення вагових коефіцієнтів, виходи значень вагових коефіцієнтів якого з'єднані з другими входами M пристроїв множення, причому виходи кореляційних відгуків про інформаційні символи L однопроменевих приймачів з'єднані з першими входами M пристроїв множення, виходи яких є виходами м'яких рішень про інформаційні символи і з'єднані з відповідними входами суматора, вихід суматора є виходом об'єднаних м'яких рішень про інформаційні символи.

Недоліком даного пристрою прийому багатопроменевого сигналу з кластерної структурою є низька ефективність - при значній часовій відстані між тимчасовими положеннями (затримками) опорних сигналів сусідніх однопроменевих приймачів кластера. Крім того, спостереження за кластером променів основане на спостереженні за основним променем кластера. Однак під час стеження за тимчасовим положенням (затримкою) основного променя кластера можливо завмирання сигналу цього променя, так що його потужність виявиться менше потужності сигналів інших променів кластера. Це призводить до похибки стеження і, як наслідок, до енергетичних втрат.

Задачею запропонованої корисної моделі є удосконалення системи низькоорбітального супутникового зв'язку для надання якісних послуг в інтегрованих мережах зв'язку 5G та IoT.

Поставлена задача вирішується тим, що в систему низькоорбітального супутникового зв'язку, яка містить штучні супутники Землі, кожен з яких функціонує на навколоземній орбіті і оснащений бортовими ретрансляторами, міжсупутниковий зв'язок, мережу наземних станцій зв'язку і управління штучними супутниками Землі, угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система), яке включає угруповання кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника формується мікроугруповання супутників-ретрансляторів, а функції кореневого супутника в вибраній фазовій точці орбітальної площині робочої орбіти виконують міні- або мікросупутники, які пов'язані в кільцеву мережу лініями зв'язку між супутниками, при цьому функції супутників-ретрансляторів – кубсати, додатково введено угруповання супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника, яке являє собою синхронно випромінюючі просторово-рознесені малопотужні передавальні пристрої з коефіцієнтом просторової кореляції менше 0,3 та приймальні пристрої терагерцового діапазону.

Технічний результат, на отримання якого направлена корисна модель, - удосконалення шляхом збільшення дальності зв'язку та підвищення завадостійкості міжсупутникового каналу системи низькоорбітальної супутникового радіозв'язку за допомогою комплексу супутникового зв'язку з декількома передавальними та прийомними антенами, який реалізує складання потужностей декількох малопотужних передавачів терагерцового діапазону в просторі допоміжного мікроугруповання супутників-ретрансляторів та надвисокошвидкісну передачу заданого обсягу інформації по окремо організованих високошвидкісних радіоканалах, рознесених по частоті і в просторі. Кожен окремий радіоканал встановлений на супутнику-ретрансляторі та забезпечує передачу виділеної ділянки інформації. Розподіл потоків інформації здійснює кореневий супутник, який отримує повний інформаційний потік або від свого корисного навантаження (наприклад, апаратури дистанційного зондування Землі), або по міжсупутникових каналах ретрансляції. Після розподілу інформаційних потоків по супутниках-ретрансляторах передача здійснюється строго синхронно відповідно до певного алгоритму.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями фіг. 1 та 2:

На фіг. 1 де зображена схема реалізації запропонованої системи низькоорбітальної системи супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону. На ній:

1, 2 - кореневий супутник,

3, 4, 5, 6, 7, 8 - супутники-ретранслятори мікроугруповання А,

9, 10 - розподілений супутник мікроугруповання А,

11, 12 - фідерні лінії мікроугруповання А,

13 - зона обслуговування системи супутникового зв'язку,

14, 15 - фідерні лінії мікроугруповання Б,

16, 17 - розподілений супутник мікроугруповання Б,

18, 19, 20, 21, 22, 23 - супутники-ретранслятори мікроугруповання Б,

24 - міжсупутникова лінія терагерцового зв'язку між розподіленими супутниками.

На фіг. 2 зображена схема реалізації приймального пристрою прийому багатопроменевих сигналів запропонованої системи низькоорбітальної системи супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону. На ній:

25-1-25-L - приймачі даних, 26-1-26-L - пристрої множення, 27 - схема визначення вагових коефіцієнтів, 28 - суматор, 29 - вирішальна схема, 30-1-30-M - приймач кластера, 31-1-31-M - пристрої множення, 32 - схема виявлення та аналізу кластера променів, 33 - приймач пошуку, 34 - комутатор, 35 - блок управління, 36 - детектор виявлення багатоканального сигналу, 37 - пристрій віднімання, 38 - пристрій віднімання, 39 - пристрій переключення, 40-1...40-M - багатоканальний оптимальний інтерполятор сигналу і-го променя на основі оновлюючого процесу, 41-1...41-M - багатоканальний підсилювач.

Схема функціонування "розподіленого супутника" в складі низькоорбітальної системи супутникового зв'язку працює наступним чином.

Інформаційним та інтелектуальним ядром розподіленого супутника є кореневий супутник 1, 2. Супутник-ретранслятор 3, 4, 5, 6, 7, 8 розподіленого супутника 9, 10 мікрогрупування А формують промінь/промені користувачів з обмеженою зоною обслуговування. Сукупність променів, які формуються супутниками-ретрансляторами, складають зону обслуговування 13 LEO-системи. Вимоги по інтегральній зоні обслуговування LEO-системи (географічна зона обслуговування) визначають вимоги до кількості розподілених супутників в системі в цілому. Супутник-ретранслятор 3, 4, 5, 6, 7, 8 розподіленого супутника 9, 10 мікро-угрупування А випромінює в промені користувачів цифровий потік відповідного формату і приймає цифровий потік відповідного формату від кінцевого користувача.

Фідерні лінії 11, 12, 14, 15 забезпечують з'єднання кореневого супутника з супутниками-ретрансляторами і призначені для передачі транспортного цифрового потоку відповідного формату до кінцевих користувачів та до розподіленого супутника 16, 17 мікрогрупування Б відповідно. Фідерна лінія 11, 12, 14, 15 між кореневим супутником і супутником-ретранслятором є внутрішньою лінією зв'язку між супутниками в складі розподіленого супутника. Ця лінія - комбінована радіолінія, яка забезпечує дуплексну передачу інформації, вимір похилої дальності і взаємного куткового положення між кореневим супутником 1, 2 і супутниками-ретрансляторами 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 23.

Розподілені супутники 16, 17 в LEO-системі пов'язані між собою міжсупутниковими лініями терагерцового зв'язку 24, які за допомогою модулів кореневих супутників 1, 2 формують магістральну мережу LEO-системи. Кожен розподілений супутник пов'язаний з двома сусідніми розподіленими супутниками в своїй орбітальній площині і з двома найближчими розподіленими супутниками в двох сусідніх орбітальних площинах - по одному в кожній орбітальній площині. У складі розподіленого супутника функції підтримки лінії зв'язку між супутниками покладені на кореневий супутник 1, 2, який оснащений модулями фідерних ліній 11, 12, 14, 15 та відповідними високочастотними приймально-передавачами супутників-ретрансляторів мікрогрупування А, Б.

Після розподілу інформаційних потоків по супутниках-ретрансляторах 18, 19, 20, 21, 22, 23 розподіленого супутника 16, 17 мікрогрупування Б по команді координуючого передавача супутника-ретранслятора передача здійснюється строго синхронно (відповідно до певного алгоритму) випромінювання з однаковою потужністю некорельованими надширокосмуговими сигналами через свою антену, які складаються у просторі за потужністю. У просторі сигнали складаються некогерентним чином, завдяки чому потужність сигналу на вході приймача (приймальні пристрої супутників-ретрансляторів 19, 22) дорівнює сумі потужностей сигналів, що дійшли від кожного з передавачів супутника-ретранслятора 18, 19, 20, 21, 22, 23. Кореневий супутник 1, 2 безперервно контролює сигнали в межах зони покриття супутника і визначає напрямки передачі та приходу сигналів.

Даний спосіб реалізується наступним чином. Якщо $z_1(t)$, $i = 1, \dots, N$ - некорельовані сигнали, тоді енергія сумарного сигналу дорівнює інтегралу від суми потужностей окремих сигналів:

$$E = \sum_{i=1}^N \left(\int z_i^2(t) dt \right) \quad (1)$$

Розрахунок енергії імпульсного поля надширокосмугового сигналу у вигляді послідовності імпульсів IR-UWB сигналів оснований на обліку тривалості імпульсу τ і частоти повторення імпульсів f_{ki} , IR-UWB сигналів має вигляд [4]:

$$P_{ki} = \Pi \tau N f_{ki} \quad (2)$$

де P_{ki} - спектральна щільність енергії поля, f_p - ширина спектра, утвореного імпульсом, N - кількість імпульсів в пакеті.

Тоді після відповідних перетворень маємо наступну залежність:

$$P_{ki} = \frac{30PG\tau Nf_{ki}}{r^2 120\pi f_p}, \quad (3)$$

де P - потужність, що підводиться до антени, G - коефіцієнт посилення передавальної антени, r - відстань від джерела випромінювання.

Таким чином, збільшення енергії сумарного сигналу еквівалентно збільшенню дальності зв'язку міжсупутникового каналу системи низькоорбітального супутникового радіозв'язку, в якому як переносник інформації застосовується імпульсний надширококусовий сигнал, як було згадано вище, аналог передбачає...

Для підвищення завадостійкості лінії міжсупутникового зв'язку при прийомі багатопроменевого сигналу у відомий пристрій прийому багатопроменевих сигналів [3], який було згадано вище, що містить L приймачів даних 25-1-25-L і відповідно їм схем множення 26-1-26-L, схему визначення вагових коефіцієнтів 27, кожен вихід якої з'єднаний з відповідним їй помножувачем 26-1-26-L, суматор 28 і вирішальну схему 29, вхід якої з'єднаний з виходом суматора 28, а вихід є виходом пристрою. Пристрій містить також M приймачів кластерів променів 30-1-30-M і відповідно їм пристрої множення 31-1-31-M, схему 32 виявлення і аналізу кластера променів, приймач 33 пошуку, комутатор 34 і блок управління 35, при цьому перші входи кожного приймача даних 25-1-25-L, кожного приймача кластера променів 30-1-30-M одночасно є входами пристрою, другий їх вхід з'єднаний з відповідними їм першими виходами блока 35 управління, третій вхід кожного приймача кластера променів 30-1...30-M з'єднаний з відповідним йому виходом комутатора 34, перші входи якого з'єднані з відповідними їм першими виходами кожного приймача даних 25-1-25-L другий вхід - з першим виходом схеми виявлення і аналізу кластера променів 32, а третій вхід - з другим виходом блока управління 35, третій вихід якого з'єднано відповідно з другим входом приймача пошуку 33, при цьому перший вихід приймача пошуку 33 з'єднаний з другим входом схеми 32 виявлення і аналізу кластера променів, другий вихід приймача пошуку з'єднаний з першим входом блока управління 35 і першим входом схеми виявлення і аналізу кластера променів 8, другий вихід схеми виявлення і аналізу кластера променів 8 з'єднаний з другим входом блока управління 11, другий вихід кожного приймача даних 32-1-32-L одночасно з'єднаний з відповідними йому входом схеми визначення вагових коефіцієнтів 27 і помножувачем 26-1-26-L, вихід кожного приймача кластера променів 30-1...30-M одночасно з'єднаний з відповідними йому входом схеми визначення вагових коефіцієнтів 3 і пристроями множення 31-1...31-M. Крім того, вихід кожного пристрою множення 26-1...26-L і 31-1...31-M з'єднаний з відповідним йому входом суматора 28, додатково введені: пристрій 37 віднімання з'єднаний з входом приймача 33 пошуку, перший вихід якого підключений до схеми 32 виявлення і аналізу кластера променів, а другий - до другого входу пристрою 38 віднімання, вихід якого підключений до входу послідовно з'єданого багатоканального 40-1...40-M оптимального інтерполятора сигналу i -го променя на основі оновлюючого процесу, багатоканального 41-1...41-M підсилювача і пристрою 39 переключення, вихід якого підключений до другого входу пристрою 37 віднімання, детектор виявлення 36 багатоканального сигналу, вхід якого та входи пристроїв 37 та 38 віднімання одночасно є входами пристрою, вихід детектор виявлення 36 багатоканального сигналу з'єднаний з першим входом пристрою 39 переключення.

Пристрій прийому багатопроменевих надширококусових сигналів, представлений на фіг. 2, працює наступним чином.

Вхідний сигнал надходить на входи L -приймачів даних 25-1-25-L і на входи пристроїв віднімання 37, 38 схеми обробки багатопроменевого сигналу. При відсутності додаткових променів пристрій 39 переключення розімкнутий і пристрій 37 віднімання працює як лінійний підсилювач. При появі сигналів додаткових променів спрацьовує детектор 36 багатопроменевого сигналу, і до пристрою 37 віднімання через пристрій 15 переключення і багатоканальний 41-1...41-M підсилювач підключається багатоканальний 40-1...40-M оптимальний інтерполятор сигналу i -го променя на основі оновлюючого процесу, який формує копію завади. Тим самим з вхідного процесу видаляється сигнал неосновного променя, що створює умови для ефективної роботи пристроїв подальшої обробки корисного сигналу. Наявність детектора 36 багатопроменевого сигналу і керованого пристрою 39 переключення робить пристрій обробки адаптивним.

З виходу схеми обробки багатопроменевий сигнал надходить на вхід приймача пошуку 33, при цьому кожен приймач даних обробляє окремий промінь (один з L -променів). Вихідні сигнали приймачів даних 25-1-25-L надходять на схеми множення 26-1-26-L, де множаться на вагові коефіцієнти, які формує блок визначення вагових коефіцієнтів 27 таким чином, що більшому

сигналу відповідає більший коефіцієнт. Потім вихідні сигнали схем множення підсумовуються суматором 28 і подаються на вхід вирішальної схеми 29, яка приймає рішення про прийняте інформаційному сигналі, і вихід якої є виходом пристрою. Приймач пошуку 33 послідовно переглядає інтервал багатопроменевого, при цьому на кожному кроці проводиться операція виявлення сигналу. Максимальний з виявлених сигналів надходить на блок управління 35, де порівнюється з мінімальним вихідним сигналом відповідного приймача даних. Якщо максимальний сигнал приймача пошуку 33 більше мінімального вихідного сигналу одного з приймачів даних, то цей приймач даних переходить на обробку променя, виділеного приймачем пошуку. Для цього блок управління 35 видає на відповідний приймач даних 25-1...25-L сигнал, по якому здійснюється перебудова цього приймача, що забезпечує прийом виділеного променя.

Після захоплення приймачем даних 25-1-25-L сигналу окремого променя проводиться перевірка наявності у нього кластера променів. Для цього блок управління 35 видає на приймач пошуку 33 послідовність команд, які задають тимчасові зрушення. При кожному зсуві відбувається накопичення сигналу в кореляторі приймача пошуку 33.

У схемі виявлення і аналізу кластера променів 8 вихідні значення кореляторів приймача пошуку 33 порівнюються з порогом, сформованим в приймальнику пошуку 33. Перевищення порога означає виявлення сигналу.

Якщо виявлено кластер Q променів, то схема виявлення та аналізу кластера променів видає на блок управління 35 сигнал виявлення кластера променів, а на комутатор 34 його розмір.

За сигналом виявлення кластера променів блок управління 35 встановлює комутатор 34 таким чином, що опорні сигнали з приймача даних 25-1-25-L, щодо опорного сигналу якого виявлено кластер променів, надходять на М-приймачів кластера променів 30-1-30-M. Причому кожному виявленому кластеру променів відповідає опорний сигнал приймача даних, за часом ці сигнали збігаються.

Вихідні сигнали приймачів кластера променів 30-1-30-M множаться на вагові коефіцієнти, які формуються таким чином, що більшому сигналу відповідає більший коефіцієнт. Потім вихідні сигнали підсумовуються суматором 28 і подаються на вхід вирішальної схеми 29.

Особливістю отриманої схеми обробки багатопроменевого сигналу є компенсація сигналів, що заважають, в кожному каналі. Для сигналу основного променя будуть сигнали, які заважають, що пройшли канали поширення з відбитками, а при обробці затриманих сигналів, що заважають, буде сигнал основного променя. Відмінність запропонованого рішення від [5], в даному випадку компенсатор завад використовує не фільтраційні, а інтерполяційні оцінки.

Результати моделювання запропонованої схеми обробки багатопроменевого сигналу показали, що використання такого алгоритму обробки сигналу дозволяє підвищити точність фільтрації приблизно на 20 % при відношенні сигнал/шум=0 дБ і на 90-100 % при відношенні сигнал/шум=10 дБ в широкому діапазоні зміни тимчасової затримки сигналу в і-му промені, обумовлена збільшенням шляху поширення.

Дійсним технічним рішенням для збільшення дальності зв'язку міжсупутникового каналу терагерцового діапазону системи низькоорбітальної супутникового радіозв'язку використаний новий тип побудови надшвидкісних широкосмугових передаючих пристроїв супутників-ретрансляторів, який реалізує складання потужностей декількох малопотужних передавачів системи радіозв'язку терагерцового діапазону в просторі допоміжного мікрогрупування супутників-ретрансляторів. При цьому забезпечуються встановлені обмеження на спектральну потужність випромінювання надширокосмугових сигналів для використання в системах супутникового зв'язку і відповідно норми електромагнітної сумісності, а також забезпечується динамічне управління інтегральною зоною обслуговування та відповідно збільшення зони покриття інформаційними послугами абонентів супутникових систем, що також підвищує гнучкість і ефективність використання радіочастотного ресурсу. Крім того, запропоноване технічне рішення створення такого розміщеного корисного навантаження, дозволяє підвищити пропускну здатність міжсупутникового зв'язку. При цьому, час передачі заданого обсягу інформації t буде визначається виразом:

$$t = M / v_i, \quad (4)$$

де M - вихідний обсяг файлів даних, v_i - швидкість передачі і-го супутника-ретранслятора, і - число супутників-ретрансляторів в кластері,

Сумарна швидкість передачі інформації буде збільшена пропорційно числу супутників-ретрансляторів, що входять в кластер.

Технічне рішення дозволяє підвищити завадостійкість та збільшити дальність зв'язку, а завдяки надійній передачі даних збільшується ємність супутникових низькоорбітальних систем. Запропоноване рішення забезпечує функціонування міжсупутникових ліній зв'язку не тільки в

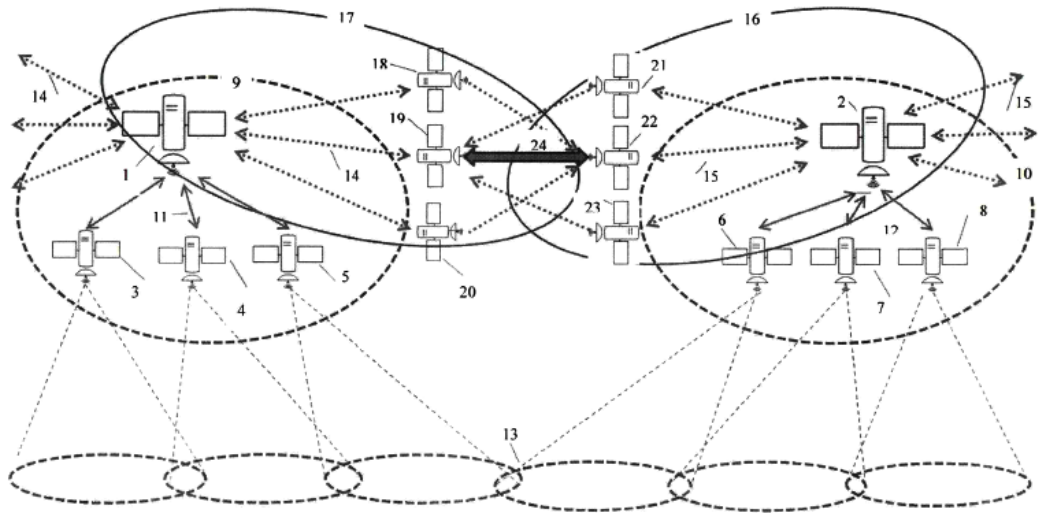
традиційних смугах частот 23, 59 ГГц, але і в перспективних від 100 до 300 ГГц. що дозволяє значно збільшити пропускну здатність низькоорбітальної супутникової системи радіозв'язку для забезпечення послуг мобільних мереж 5G та IoT.

Джерела інформації:

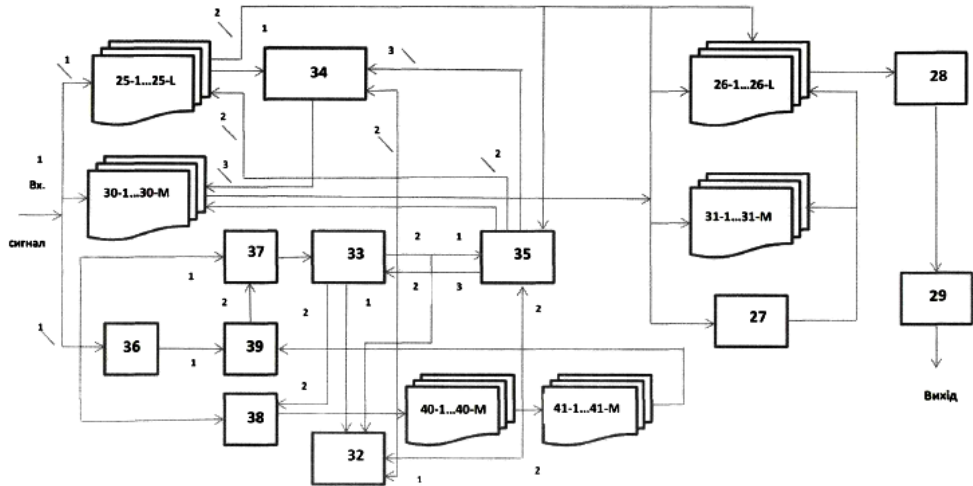
- 5 1. Патент RU 2549832, МКИ H04B 7/185. Способ космической связи, опубл. 27.02.2007, аналог.
2. Патент України на корисну модель № 134409, МКИ H04B 7/185. Система низькоорбітального супутникового зв'язку. Дата публікації 10.05.2019. - Бюл. № 9/2019, найближчий аналог.
- 10 3. Патент RU № 2120180. Способ приема многолучевых сигналов и устройство для его реализации /Гармонов А.В., Табацкий В.Д. Дата публикации патента 10.10.1998.
4. Добыкин В.Д. Радиоэлектронная борьба: силовое поражение радиоэлектронных систем. М: Вузовская книга, 2007. - 468 с.
- 15 5. Быховский М.А. Применение многоканальных компенсаторов помех в системах связи //Радиотехника, 1984, № 12. С. 9-16.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 20 1. Система низькоорбітального супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону, яка містить штучні супутники Землі, кожен з яких функціонує на навколоземній орбіті і оснащений бортовими ретрансляторами, міжсупутниковий зв'язок, мережу наземних станцій зв'язку і управління штучними супутниками Землі, угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система), що включає угруповання коренових (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), при цьому функції кореневого
- 25 супутника виконують міні- або мікросупутники, які пов'язані в кільцеву мережу лініями зв'язку між супутниками, а функції супутників-ретрансляторів - кубсати, яка **відрізняється** тим, що додатково введено угруповання супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника, що являє собою синхронно випромінюючі просторово-рознесені малопотужні передавальні пристрої з коефіцієнтом просторової кореляції менше 0,3 та
- 30 приймальні пристрої терагерцового діапазону.
2. Система низькоорбітального супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону за п. 1, яка **відрізняється** тим, що надвисокошвидкісна передача заданого обсягу інформації здійснюється строго синхронно відповідно до певного алгоритму по окремо організованих високошвидкісних радіоканалах, рознесених по частоті та в просторі, при
- 35 цьому розподіл потоків інформації здійснює кореневий супутник, який отримує повний інформаційний потік або від свого корисного навантаження або по міжсупутникових каналах ретрансляції.
3. Система низькоорбітального супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону за п. 1, яка **відрізняється** тим, що приймальні пристрої супутників-
- 40 ретрансляторів містять L приймачів даних, L пристроїв множення, схему визначення вагових коефіцієнтів, суматор, вирішальну схему, M приймачів кластера, M пристроїв множення, схему виявлення та аналізу кластера променів, приймач пошуку, комутатор, блок управління, детектор виявлення багатоканального сигналу, пристрій віднімання, пристрій переключення, M багатоканальних оптимальних інтерполяторів сигналу i-го променя на основі оновлюючого
- 45 процесу, M багатоканальних підсилювачів.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601