



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 134409

(13) U

(51) МПК

H04B 7/185 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2018 13061**

(22) Дата подання заявки: **29.12.2018**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.05.2019**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.05.2019, Бюл.№ 9**

(72) Винахідник(и):

**Наритник Теодор Миколайович (UA),
Сайко Володимир Григорович (UA),
Авдєєнко Глеб Леонідович (UA),
Казіміренко Валерій Якович (UA),
Сарапулов Сергій Вікторович (UA)**

(73) Власник(и):

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО",
просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)**

(54) СИСТЕМА НИЗЬКООРБІТАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

(57) Реферат:

Система низькоорбітального супутникового зв'язку 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. Угрупування низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система) включає угрупування кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника формується мікрогрупування супутників-ретрансляторів, а функції кореневого супутника в обраній фазовій точки орбітальної площині робочої орбіти виконують міні- або мікросупутники, які пов'язані в кільцеву мережу високошвидкісними лініями зв'язку між супутниками, причому функції супутників-ретрансляторів - кубсати.

UA 134409 U

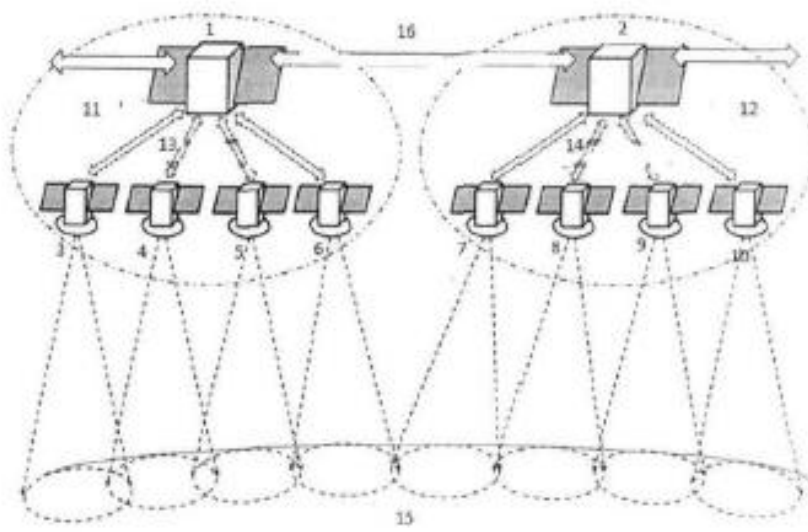


Fig. 1

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 дислоковані 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.

10 Відомий патент RU 2549832 "Способ космической связи", МПК H04B 7/185, опубл. 10.03.2014, який містить два і більше геостационарних супутники зв'язку, міжсупутникові двосторонні лінії зв'язку, наземні пункти зв'язку та командно-вимірювальні пункти [1]. Спосіб 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

15 хоча б одного наземного командно-вимірювального пункту і наземного пункту зв'язку - антипода адресним наземним пунктам зв'язку.

Відомий спосіб включає 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 траскторних вимірювання та розрахунок і реалізація попереднього плану корекцій приведення супутника на задану орбітальну позицію.

20

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 супутником і контроль над його технічним станом проводять за допомогою ведучого супутника.

25

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

30 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 зв'язку і спотворювати сигнал та відповідно впливати на якість передачі.

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є аналог за патентом RU 2486674 [2], в якому використовують зв'язок низькоорбітальних космічних апаратів з наземною станцією, що забезпечує підвищення якості та надійності зв'язку.

35

Для цього визначають просторове положення низькоорбітального космічного апарату за даними щонайменше однієї супутникової системи позиціонування, виконують відповідну передачу в вибраному широкому промені на супутник-ретранслятор реєстраційного сигналу на здійснення зв'язку, що містить інформацію про становище цього космічного апарату, і визначають вузький керований промінь супутника-ретранслятора, в зоні покриття якого знаходиться космічний апарат, для передачі інформації в вузькому керованому промені.

40

Відоме технічне рішення, дозволяє в деякій мірі розширити територію обслуговування системою та реалізувати прийнятну якість передачі інформації.

Недоліком такого технічного рішення є складність реалізації ресурсу різних супутникових систем, суттєве підвищення вартості за рахунок використання значної кількості супутників, постійної потреби у визначенні взаємної дислокації супутників низькоорбітальних космічних апаратів. При цьому розширення території обслуговування із прийнятною імовірністю необхідної якості передачі суттєво зменшується оскільки в каналі передачі використовують супутники, які постійно рухаються відносно геостационарного супутника із значною швидкістю і на значних відрізках території. При цьому розмір території обслуговування не збільшується досить значно через вихід низькоорбітального супутника із зони покриття геостационарного супутника.

45

50

Задачею пропонованої корисної моделі є розширення зони покриття інформаційними послугами абонентів супутникового зв'язку.

Поставлена задача вирішується тим, що при використанні запропонованої системи низькоорбітального супутникового зв'язку, яка передбачає проведення, щонайменше, одного сеансу зв'язку між, щонайменше, одним кореневим (ведучим) низькоорбітальних космічним апаратом і щонайменше однієї наземною станцією, через мікрогрупування низькоорбітальних супутників-ретрансляторів системи зв'язку і щонайменше одним користувачем послуг супутникового зв'язку, при цьому супутник-ретранслятор формує промінь / промені користувачів з обмеженою зоною обслуговування. Сукупність променів, які формуються супутниками-

60

ретрансляторами, складають зону обслуговування LEO-системи. Вимоги по інтегральній зоні обслуговування LEO-системи (географічна зона обслуговування) визначають вимоги до кількості розподілених супутників в системі в цілому. Супутник-ретранслятор випромінює в промені користувачів цифровий потік відповідного формату і приймає цифровий потік

5 відповідного формату від кінцевого користувача.

Запропонована система низькоорбітального супутникового зв'язку представляє угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система) з архітектурою "розподіленого супутника", яка включає угруповання кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених). Навколо кожного кореневого супутника формується мікроугруповання супутників-ретрансляторів, яке називається "розподілений супутник". Функції кореневого супутника в обраній 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 "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 однаковою відносною істинною аномалією.

20 Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де

Фіг. 1 - Схема реалізації запропонованої системи.

Фіг. 2 - Схема функціонування "розподіленого супутника" в складі низькоорбітальної системи супутникового зв'язку.

На кресленні фіг. 1 представлено зображення схеми низькоорбітальної системи супутникового зв'язку, де

1,2 - Кореневий супутник.

3,4,5,6,7,8,9,10 - Супутники-ретранслятори.

11,12 - Розподілений супутник.

13,14 - Фідерні лінії.

15 - Зона обслуговування системи супутникового зв'язку.

16 - Лінія зв'язку між розподіленими супутниками.

На фіг. 2 представлена схема функціонування "розподіленого супутника" в складі низькоорбітальної системи супутникового зв'язку, де

1,2 - Кореневий супутник.

35 3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18 - SDR модуль.

19,20 - Маршрутизатор.

21, 22, 23, 24 - Фідерні лінії.

25, 26 - Обчислювальне ядро.

27, 28 - Модулі між супутникового зв'язку.

40 29 - Лінія зв'язку між розподіленими супутниками.

30,31,32,33 - Супутник-ретранслятор.

34,35,36,37 - Передавач фідерної лінії.

38,39,40,41 - Високочастотний передавач.

42,43,44,45,46,47,48,49 - Приймальний пристрій та конвертор.

45 50,51 - Модулі фідерних ліній.

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. Маршрутизатор 19, 20 корисного навантаження кореневого супутника 1,2 забезпечує маршрутизацію інформаційних потоків відповідно до статичних і динамічних таблиць маршрутизації.

Розподілені супутники 1,2 в LEO - системі пов'язані між собою лініями зв'язку між супутниками 29, які за допомогою модулів 3...6, 11...14 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 50, 51 та відповідно чотирма модулями програмно конфігуруючого радіо 7...10, 15...18 (SDR модуль) і відповідними високочастотними приймача-передавача 34,35,38,39,42,43,44,45,36,37,40,41, 46,47,48,49 (ВЧ модуль). Приклад

реалізації ВЧ - модулів наведено в [3]. SDR-модулі забезпечують формування транспортного цифрового потоку для передачі інформації в магістральній мережі LEO-системи в променях зв'язку між супутниками. Приклад реалізації SDR- модуля наведено в [4].

5 Супутник-ретранслятор 30, 31, 32, 33 формує промінь/промені користувачів з обмеженою зоною обслуговування. Сукупність променів, які формуються супутниками-ретрансляторами, складають зону обслуговування LEO-системи. Вимоги по інтегральній зоні обслуговування LEO-системи (географічна зона обслуговування) визначають вимоги до кількості розподілених супутників в системі в цілому. Супутник-ретранслятор 30,31 (32,33) випромінює в промені користувачів цифровий потік відповідного формату і приймає цифровий потік відповідного формату від кінцевого користувача. Приклад реалізації супутника-ретранслятора наведено в [5].

10 У пропонованій системі є окремий Обчислювач 25, 26, який виконує необхідні обчислення для забезпечення функціонування всіх систем в межах зони обслуговування "розподіленого супутника".

15 Інформаційні потоки, призначені для передачі в променях користувачів, формуються маршрутизатором 19, 20 і передаються на інтерфейси SDR - модулів 7...10, 15...18 фідерних ліній 21, 22, 23, 24. Фідерні лінії 21, 22, 23, 24 забезпечують з'єднання кореневого супутника з супутниками-ретрансляторами і призначені для передачі транспортного цифрового потоку відповідного формату до кінцевих користувачів, і цифрового потоку відповідного формату від кінцевих користувачів. Фідерна лінія 21, 22, 23, 24 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 кутового положення між кореневим супутником і супутниками-ретрансляторами 30,31,32,33.

25 Дійсним технічним рішенням для зменшення взаємних завад між угрупованням корневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), які знаходяться в радіусі приблизно 1 км, та відповідно мінімізації спотворень інформаційного сигналу при реалізації міжсупутникового зв'язку дану лінію (радіоканал) створено в неліцензійному частотному (наприклад в терагерцовому 140 ГГц) діапазоні [6]. Крім цього він додатково дозволяє мінімізувати розмір антен такого широкосмугового каналу та спрощує функціонування цих супутникових систем. Даний спосіб реалізується наступним чином.

Відношення $P_t / P_r = (4 \pi)^2 (d)^2 / G_r \lambda^2$ (рівняння Фрііса) характеризує зміну рівня сигналу при проходженні його по каналу зв'язку у вільному просторі (каналі міжсупутникового зв'язку), де:

P_t - потужність сигналу передавальної антени;

P_r - потужність сигналу, що надходить на вхід власне приймача після приймальної антени;

35 G_r та G_t -- коефіцієнти підсилення відповідно приймальної та передавальної антен;

d_n - відстань між передавальною та приймальною антенами;

λ - довжина робочої хвилі передавача.

40 При використанні частотного діапазону 140 ГГц довжина хвилі складе 0.21см і основні втрати потужності при ізотропному розповсюдженні хвиль має вираз $16\pi^2 d_n^2 / \lambda^2$. Тому при використанні антен із коефіцієнтом підсилення 50дБ P_r - потужність сигналу, що надходить на антену приймача сигнал на трасі $d_n=1$ км зменшується на величину біля 135 дБ ($3,16 \cdot 10^{13}$ разів).

45 Тоді при загальному підсиленні передавальної та приймальної антен 100дБ на відстані $d_n=1$ км рівень ізотропного сигналу зміниться приблизно в $10^{10} / 3,16 \cdot 10^{13} = 3,1 \cdot 10^{-4}$ разів (44,8 дБ).

При ізотропному рівні на вході передавальної антени 100мВт на виході каналу (вході приймального каналу) маємо 0,03 мВт.

50 Як відомо для радіотелекомунікаційних систем терагерцового діапазону досягнене значення узагальненого енергетичного показника є коефіцієнт системи, рівний відношенню вихідної потужності передавача до мінімально допустимої (порогової) потужності корисного сигналу на вході приймача (реальна чутливість приймача) при $BER=10^{-3}$, в межах 90 дБ [7].

Таким чином, в запропонованому рішенні терагерцовий радіоканал забезпечує міжсупутниковий зв'язок з запасом по потужності 45,2 дБ, а також - високу надійність функціонування терагерцової лінії для міжсупутникового зв'язку.

55 На космічних апаратах для створення каналів в терагерцовому діапазоні необхідно розмістити апаратуру перенесення частотного гігагерцового діапазону в терагерцовий частотний діапазон 42,43,44,45, 46,47,48,49 та антени передачі інформації в терагерцовому діапазоні по каналу міжсупутникового зв'язку 21,22, 23,24.

60 Результати пошуку аналогів з метою виявлення ознаки, що збігається з відмітною і функціонально самостійною ознакою пропонованої системи - моніторинг технічного стану

спутника-ретранслятора і управління супутником-ретранслятором за допомогою іншого супутника по терагерцовому каналу, показали, що ця ознака не йде явно з рівня техніки.

Порівняльний аналіз запропонованого рішення з прототипом дозволяє зазначити, що операції запропонованого способу відрізняються від операцій прототипу наступним чином.

5 У найближчому аналогу технічне рішення включає формування геостационарним супутником-ретранслятором фіксованої зони видимості (зони обслуговування) для функціонування строго обмеженої кількості низькоорбітальних супутників, що покривають всю видиму підсупутникову область.

10 У запропонованому способі навколо кожного кореневого супутника формується мікрогрупування супутників-ретрансляторів, яке називається "розподілений супутник". Супутник-ретранслятор формує промінь / промені користувачів з обмеженою зоною обслуговування. Сукупність променів, які формуються супутниками - ретрансляторами, складають зону обслуговування LEO-системи. Вимоги по інтегральній зоні обслуговування LEO-системи (географічна зона обслуговування) визначають вимоги до кількості розподілених супутників в системі в цілому. Це дозволяє забезпечити динамічне управління інтегральною зоною обслуговування та відповідно забезпечити збільшення зони покриття інформаційними послугами абонентів супутникових систем, що також підвищує гнучкість і ефективність використання радіочастотного ресурсу.

20 В запропонованій системі, на відміну від найближчого аналога, забезпечується розширення зони покриття інформаційними послугами абонентів супутникового зв'язку. Крім цього архітектура "розподіленого супутника" забезпечує використання платформи мікросупутників масою до 100 кг і нано-супутників масою до 10 кг та створює умови для зниження вартості низькоорбітального інформаційно-телекомунікаційної системи, а рознесення функціональних елементів цільової корисного навантаження системи за кількома фізично відокремленими елементами дозволяє спростити відновлення працездатності системи і створити умови для вдосконалення системи в процесі експлуатації.

Джерела інформації:

30 1. Патент RU 2549832, H04B 7/185. Способ космической связи / Афанасьев С. М, Анкудинов А. В. Патентообладатель "Информационные спутниковые системы" имени академика М.Ф. Решетнева. опубл. 27.02.2007. аналог.

2. Патент RU 2486674, H04B 7/185. Способ спутниковой связи, система спутниковой связи и бортовой радиотехнический комплекс низькоорбитального космического аппарата / Татарников А. В., Стругов С. А., Каменев А. Г., Ефимов А. Г. Патентообладатель Закрытое акционерное общество "Меркурий" (RU). заявл. 18.04. 2012; опубл. 27.06.2013 Бюл. № 18. Найближчий аналог.

3. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи. М.: Горячая линия - Телеком, 2012. - 244 с.

40 4. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 372 с.

5. LEO Vantage 2 Satellite, <http://spaceflight01.com/meteor-m-2-l/leo-vantage-2>.

45 6. Патент України на корисну модель №93139, Україна. Канал передачі даних в терагерцовому діапазоні з пропускну здатністю більше 1 Гбіт/с. / Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Радзіховський В.В., Кузьмін С.Є. Заявник і патентовласник НТУУ "КПІ"; дата публікації 14.10.2014 р., Бюл.№8 з пріоритетом від 25.02.2014 р.

7. Кравчук С.О., Наритник Т.М. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону. Монографія. - Житомир: ФОП "Євенок О.О.", 2015.-208 с

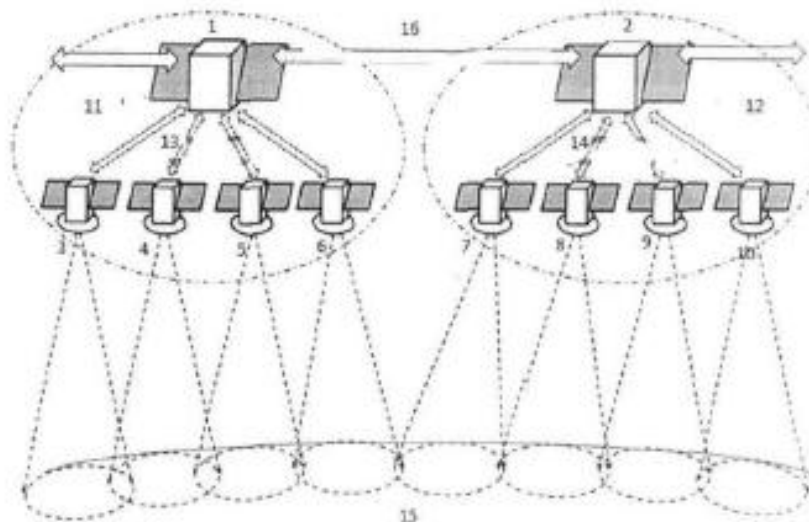
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

50

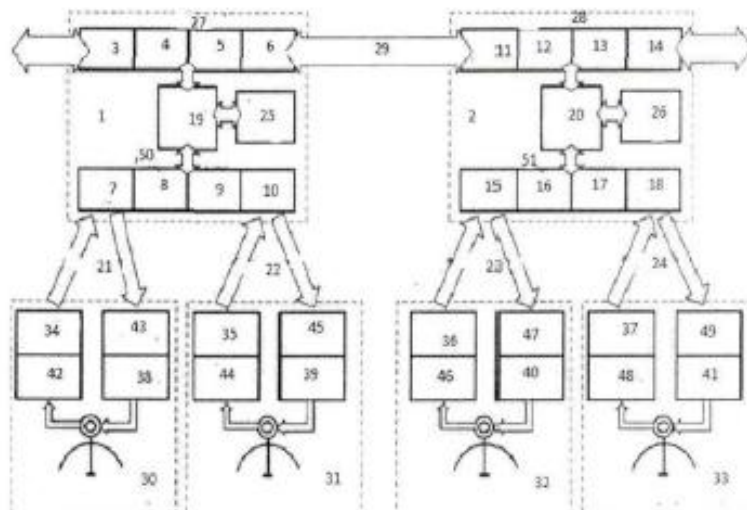
1. Система низькоорбітального супутникового зв'язку, що містить штучні супутники Землі, кожен з яких функціонує на навколосупутниковій орбіті і оснащений бортовими ретрансляторами, міжсупутниковий зв'язок, мережу наземних станцій зв'язку і управління штучними супутниками Землі, яка **відрізняється** тим, що угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (LEO-система) включає угруповання кореневих (ведучих) супутників та супутників-ретрансляторів (ведених), навколо кожного кореневого супутника формується мікрогрупування супутників-ретрансляторів, а функції кореневого супутника в обраній фазовій точці орбітальної площині робочої орбіти виконують міні- або мікросупутники, які пов'язані в кільцеву мережу високошвидкісними лініями зв'язку між супутниками, причому функції супутників-ретрансляторів

60 - кубсати.

2. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що розмір "розподіленого супутника" - область навколо кореневого супутника радіусом складає приблизно 1 км.
3. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що космічний сегмент LEO-системи складається з декількох орбітальних площин, що мають однакову кількість розподілених супутників з однаковою відносною суттєвою аномалією і відрізняються довготою висхідного вузла, 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.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Юкін

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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