УДК 621.396.662.072.078
В. Б. ТОЛУБКО, доктор техн. наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій;
Л. Н. БЕРКМАН, доктор техн. наук, професор, проректор з навчально-наукової роботи Державного університету телекомунікацій;
С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, професор, директор ННІТІ Державного університету телекомунікацій, Київ

Ефективна транспортна мережа п'ятого покоління мобільного зв'язку (IMT-2020)

Проаналізовано технічні проблеми щодо створення мобільної мережі 5-го покоління (5G) і запропоновано підхід до їх розв'язання на основі використання наносупутників та розроблених методів оптимального прийому неортогональних багатопозиційних сигналів.

Ключові слова: мобільна мережа; супутники; сигнали Сузір'я; технології; мережа 5G; універсальний транслятор; транспортна мережа; демодулятор.

Вступ

Технічна платформа стрімкого розвитку всіх сфер діяльності людства — високошвидкісний доступ до мережі Інтернет і забезпечення віртуального спілкування осіб будь-коли і в будь-якій точці земної кулі.

При цьому насамперед ідеться про подолання обмежень, притаманних сучасним мобільним мережам 4G на базі LTE.

Головні технічні проблеми, що постають при створенні мобільної мережі 5G, полягають, по-перше, у формуванні транспортної мережі, яка дозволить подолати проблему доступності послуг для абонентів поза великим містом, а по-друге, у забезпеченні якості ультращільної мережі. Перша проблема розв'язується на основі використання наносупутників, а друга — за допомогою методів оптимального прийому неортогональних багатопозиційних сигналів.

Створювані наносупутники матимуть масу від 5 до 50 кг і будуть трохи більші від футбольного м'яча і використовуватимуться здебільшого для телекомунікаційних потреб. Фактично ці «ліліпути» являтимуть собою різновид телекомунікаційних супутників 5-го покоління, що функціонуватимуть на базі інтернет-протоколу.

Основна частина

Покоління 5G поєднує в собі системи передавання голосу, відео та даних, уможливлюючи також ретрансляцію сигналу. У НАСА прогнозують, що величезна кількість таких супутників при їх виведенні на орбіту дістане назву ***Сузір'я*** і буде задіяна для підтримки новітніх телекомунікаційних і мережних систем.

Сузір'я забезпечить насамперед глобальне космічне базування нової високошвидкісної мережі для сучасних телекомунікацій і спостережень за нашою планетою.

Ключова проблема полягає в досягненні якомога більшої території покриття такими мережами.

Проблему площі покриття розв'язують учені багатьох дослідницьких центрів по всьому світу. Одним із підходів до її вирішення може стати революційна мережа 5G, розробка якої здійснюється в промислових лабораторіях США. Умовно нова мережа називається ***5G Nancore***. Ця мережа буде новим словом у передаванні даних і гарантуватиме свою доступність по всій земній кулі. І все це станеться за рахунок виведення базових станцій за межі земної атмосфери. Уже відомо, що головну функцію щодо прийому та передавання даних візьмуть на себе наносупутники, які вже запускаються на земну орбіту. Вони будуть оснащені універсальними трансляторами, які забезпечать особливо стабільний і високоякісний зв'язок.

Такі мініатюрні супутники будуть на кілька порядків дешевші від сучасних супутників зв'язку, що не може не позначитися на їхній кількості. Залежно від потреб користувачів нової мережі на орбіту будуть запущені супутники абсолютно різних розмірів і маси:

- фемтосупутники — пристрої зв'язку масою менш як 100 г;
- пікосупутники — пристрої, легші за 1 кг;
- наносупутники — пристрої масою до 10 кг;
- мікросупутники — пристрої масою до 50 кг.

Нова мережа 5G буде надзвичайно надійна і дешева, а доступ до неї можна буде отримати не тільки у великому промисловому центрі, а й посеред океану. Можливо, ця диво-мережа стане згодом такою ж звичною, як і сучасні безпроводові мережі.

Отже, ідеться не про що інше, як про глобальну захищену й уніфіковану широкосмугову мережу передавання даних, завдяки якій на ринку зв'язку матимемо:

- ♦ захищені безпроводові служби даних (wireless data services);
- ♦ глобальні віртуальні приватні мережі (VPN);
- ♦ можливість проведення фінансових операцій із мобільних телефонів;

© В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, С. В. Козелков, 2016

♦ мобільний cloud computing.

Мережа 5G включатиме в себе основні компоненти:

1) технологічні розробки компанії *Machine-to-Machine Intelligence* (***M2mi***) *Corp.*, названі *універсальним транслятором*;

2) транспортну мережу на базі угруповання наносупутників, що їх розробляє НАСА.

Створюються, зокрема, технології, призначені для забезпечення середовища, в якому мобільні пристрої бесшовно взаємодіють один з одним в єдиному просторі без втручання людини і без використання телекомунікаційного чи інтернет-з'єднання, лише за принципом mesh поверх Wi-Fi. Система 5G поєднуватиме в собі системи передавання голосу, відео, даних на основі IP і Wi-Fi, а також інтелект machine to machine.

Розробники стверджують, що пропоноване вирішення матиме безшовну захищеність, швидкісну й мережну гнучкість та стійкість. Більш того, M2mi уніфікує інфраструктуру 5G за допомогою власного програмного забезпечення, яке виступає в ролі автономного універсального міжмашинного транслятора.

Мережа 5G буде реалізована на основі транспортної групи низькоорбітальних наносупутників, кількість яких може бути досить велика. Відповідне угруповання забезпечить глобальне космічне покриття на базі високошвидкісної мережі для новітніх телекомунікацій.

Варто наголосити, що вирішення M2mi Corp. дозволять одразу здійснити перехід від мереж 3G до мереж 5G, які базуються одночасно на кількох передових технологіях. Передусім це ***Cloud computing*** — група технологій, що демонструє необмежені можливості інформаційних технологій і має навіть більший вплив, ніж свого часу електронний бізнес.

Cloud computing (хмарні, або захмарні, обчислення) — термін, що охоплює, зокрема, концепцію надання ПО як послуги (*software-as-service*, **SAAS**), передбачаючи використання віддалених сховищ даних і орендування ПО (*Application Service Providers*, **ASP**). Загалом ідеться про надання масштабованих інформаційних ресурсів як сервіс для численних зовнішніх клієнтів із використанням інтернет-технологій. Як інформаційні ресурси можуть розглядатися програмні продукти, дисковий простір чи процесорний час. Завдяки Cloud computing обмежені в ресурсах IT-компанії отримують власні бізнес-додатки і поштові сервери, реально володіючи при цьому тільки доступом до інтернету. Cloud computing зводить витрати на модернізацію і підтримку складної IT-інфраструктури до звичайної передплати потрібної послуги — це може бути обслуговування CRM або корпоративний поштовий сервер.

Подальший розвиток концепції дозволить сформувати новий рівень відносин між провайдерами послуг і їх споживачами, забезпечивши останнім можливість користуватися сервісом, не переймаючись тим, в який спосіб він функціонує.

До зазначених передових технологій належить ***Grid computing*** — надання обчислювальних ресурсів і пристроїв масової пам'яті за аналогією до постачання електроенергії на базі єдиної енергосистеми. Очікуваний ефект досягається з використанням складного механізму кластеризації інтернет-ресурсів, що, у свою чергу, гарантує гетерогенність, розширюваність, динамічність і адаптивність надаваних ресурсів.

До переліку новітніх технологій у сфері телекомунікацій належить і ***Semantic Web*** (Web 3.0), що дає змогу відстежувати поточний стан інтелектуальної обробки електронних документів зі створенням семантичного інтероперабельного (здатного до взаємодії) середовища для інтелектуальних програм. Semantic Web передбачає об'єднання різних видів відомостей в єдину структуру, де кожному елементу «людської» інформації відповідатиме машинний код у вигляді спеціального смислового тега (метадані). Усі теги мають становити єдину ієрархічну структуру RDF, на основі якої і функціонуватиме Semantic Web.

Спинимося докладніше на деяких аспектах супутникових технологій, що їх буде покладено в основу транспортної мережі.

Супутниковий транспорт

Використання M2mi має на меті створення «нової економіки» в космічній індустрії за рахунок революційного класу нано- та пікосупутників, які радикально знижують вартість космічних польотів і збільшують кількість запусків.

Нанотехнології

Перспективними для космічної техніки є наноматеріали, які поєднують у собі високу твердість, міцність і пластичність, що недосяжно в матеріалах, побудованих зі «звичайних» мікрочастинок.

MEMS-технології

Завдяки цим технологіям можуть бути створені абсолютно нові мікросистеми, покладені в основу гнучких компонентів безпроводових пристроїв, що мають дуже малі розміри, забезпечуючи недосяжну раніше продуктивність і тісну інтеграцію з пасивними радіоелементами, застосовуваними в зазначених пристроях.

Переваги «супутникового наносередовища»

Використання надмалих КА забезпечує:

• мобільність, простоту експлуатації та універсальність;

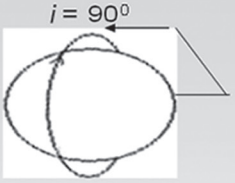
- значне здешевлення космічних польотів;
- зниження ризику великих фінансових втрат у разі аварії;
- істотне зростання кількості запусків;
- можливість швидкого запуску за запитом;
- можливість реалізації концепції щодо створення багатосупутникових орбітальних угруповань, які підтримують безперервне глобальне покриття Землі, маючи високу живучість і надійність;
- простоту управління.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ МЕРЕЖНИХ СПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Типи орбіт

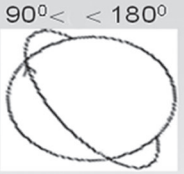
Екваторіальна
$i = 0^0$

Полярна
$i = 90^0$

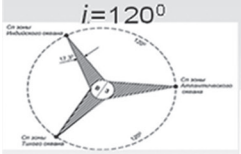


Пряма (рухається в напрямі обертання Землі)
$0^0 < i < 90^0$

Зворотна, або ретроградна (рухається проти обертання Землі)
$90^0 < \ < 180^0$



Геостаціонарна
$i = 120^0$



Класифікація орбіт

Форма	Періодичність	Нахил
Кругові Близькі до кругових Еліптичні Геостаціонарні Параболічні і гіперболічні	Синхронні Несинхронні	Прямі Зворотні Полярні Екваторіальні

ВИБІР ВИСОТИ ОРБІТИ

$$H_{1max} = \sqrt{\frac{D_{1max}^2}{4} + \left(R_z + h_{атм}\right)^2} - R_z, \qquad H_{2max} = \sqrt{D_{2}^{2}{}_{max} + R_z^2 + D_{2max} \times R_z \times \sin\delta_{min}} - R_z.$$

Тут використано такі позначення:

D_{max} – максимально можлива дальність зв'язку між КА мережі;

$R_z = 6371$ км – середній радіус Землі;

$h_{атм}$ – висота атмосферного шару, в якому відбувається найбільш сильне загасання радіовипромінювання, $h_{атм} \approx 100$ км;

тривалість сеансу зв'язку

$$\Delta t_{зв} \approx \frac{T}{\pi} \times \arccos\frac{\cos\varphi_3}{\cos\nu};$$

$$\varphi_3 = \arccos\left(\frac{R_z \times \cos\delta}{R_z + H}\right) - \delta_{min},$$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{a^3}{\mu_0}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{\left(R_z + H\right)^3}{\mu_0}},$$

$$\nu = \arccos\left(\frac{R_z \times \cos h_k}{R_z + H}\right) - h_k,$$

де T – період обертання КА;

μ_0 – гравітаційна стала Землі;

φ_3 – граничний центральний кут зони обслуговування;

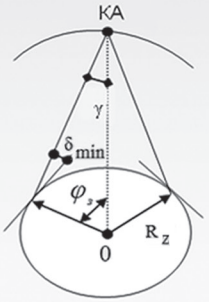
ν – кутова відстань від абонента до траси КА;

h_k – кутова висота кульмінації КА над горизонтом;

2γ – ширина діаграми спрямованості бортової апаратури КА;

δ_{min} – мінімальний кут піднесення КА над горизонтом, при якому можливий радіозв'язок.

Елементи землеогляду



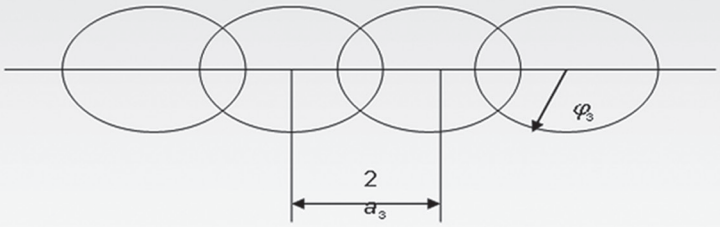
Тоді

$$\Delta t_{зв} = 2 \times \sqrt{\frac{(R_z + H)^3}{\mu_0}} \times \arccos \left\{ \frac{\cos\left[\arccos\left(\frac{R_z \times \cos\delta_{min}}{R_z + H}\right) - \delta_{min}\right]}{\cos\left[\arccos\left(\frac{R_z \times \cos h_k}{R_z + H}\right) - h_k\right]} \right\}.$$

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ОРБІТАЛЬНЫХ ГРУП

$$n_{min} = E\left[\frac{2\pi}{2\varphi_3}\right] + 1 \quad , \qquad a = \frac{2\pi}{2n_{min}} \quad .$$

де E[Z] - антье (найближче ціле від Z, що неперевищує його).



До визначення половини кутової відстані між підсупутниковими точками двох суміжних КА однієї площини

$$b = \arccos\left(\frac{\cos\varphi_3}{\cos a}\right);$$

$$m_{(1)} = E\left[\frac{\pi}{2b}\right] + 1;$$

$$N_{(1)} = m_{(1)} n_{min}.$$

Отже, упровадження технологій 5G доцільно здійснити на базі супутникової транспортної мережі.

Що ж до ***проблеми створення ультращільних мереж***, то вона розв'язується застосуванням неортогональних сигналів N-OFDM і Fast-OFDM. Проте для цих видів модуляції необхідно використовувати методи оптимального прийому, які дозволяють забезпечити необхідну вірогідність сигналу.

Наприкінці тактового інтервалу n на виходах кожної пари кореляційних фільтрів формуються два значення кореляційних інтегралів (X_{0n}, Y_{0n}) — проекцій вектора сигналу, прийнятого на тактовому інтервалі n, на опорні коливання:

$$\left.\begin{aligned} X_{0n}(t) &= \int_{(n-1)T}^{nT} X(t)\cos(\omega t + \varphi_0)dt; \\ Y_{0n}(t) &= \int_{(n-1)T}^{nT} X(t)\sin(\omega t + \varphi_0)dt. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Алгоритм оптимального прийому рівноймовірних сигналів Сузір'я кратності m для каналу з білим шумом формулюється в такий спосіб: рішення ухвалюється на користь сигналу $S_i(t)$, якщо для всіх $i \neq j$ виконується нерівність

$$\int_0^T [X(t) - S_i(t)]^2 dt < \int_0^T [X(t) - S_j(t)]^2 dt, \qquad (2)$$

де $X(t)$ — прийнятий сигнал; T — тривалість сигналу, або у стислій формі:

$$i := \arg\min\left[\int_0^T [X(t) - S_j(t)]^2 dt\right]_j, \quad j = \overline{1,m}. \qquad (3)$$

Для сигналів, поданих у вигляді проекцій на опорні гармоніки (1), вираз (3) набирає такого вигляду:

$$\left.\begin{aligned} i &= \arg\min\left[(X_{0n} - X_j)^2 + (Y_{0n} - Y_j)^2\right]; \\ X_j(t) &= \int_0^T S_j(t)\cos(\omega t + \varphi_j)dt; \\ Y_j(t) &= \int_0^T S_j(t)\sin(\omega t + \varphi_j)dt, \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

де X_j і Y_j — проекції всіх сигналів Сузір'я на опорні гармоніки.

Таким чином, для оптимального прийому можливе використання сигналів із виходів пари активних фільтрів без будь-яких додаткових перетворень.

Для схеми ухвалення рішень (СУР), що реалізує оптимальний прийом згідно з (4), необхідні зразки всіх сигналів Сузір'я (X_j, Y_j). Для формування зразків сигналів Сузір'я з прийнятого сигналу скористаємося методами приведення прийнятого сигналу до одного із сигналів Сузір'я (так званого пілот-сигналу) та усереднення його оцінки для компенсації впливу завад. Для цього, використовуючи значення сигналу $a_{n-1}\cos(\omega t + \Delta\varphi_{n-1})$, на користь якого демодулятором було ухвалено рішення на попередньому $(n-1)$-му тактовому інтервалі,

обчислюємо проекції X_1 та Y_1 пілот-сигналу згідно з виразом:

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}X_1 = X_{0n}\\ Y_1 = Y_{0n}\end{array}\right\} n = 1;\\ \left.\begin{array}{l}X_1 = \dfrac{a_{n-1}}{a_j}\left(X_{0n}\cos(\Delta\varphi_{n-1}) + Y_{0n}\sin(\Delta\varphi_{n-1})\right)\\ Y_1 = \dfrac{a_{n-1}}{a_j}\left(Y_{0n}\cos(\Delta\varphi_{n-1}) - X_{0n}\sin(\Delta\varphi_{n-1})\right)\end{array}\right\} n \neq 1,\end{array}\right\} \quad (5)$$

де a_j — амплітуди варіантів сигналів Сузір'я; $\Delta\varphi_{n-1}$ — різниця фаз між зразками приведеного сигналу і сигналу, на користь якого демодулятором було ухвалено рішення на тактовому інтервалі $n-1$.

Оскільки співвідношення амплітуд a_{n-1}/a_j і різниці фаз між пілот-сигналом та всіма іншими сигналами Сузір'я постійні і заздалегідь відомі, то схема виділення пілот-сигналу (СВПС) реалізується за допомогою таблиці пар значень $K1$ і $K2$ — приведених проекцій сигналу, на користь якого демодулятором було ухвалено рішення на тактовому інтервалі $n-1$, на пілотний сигнал. Вибір цих значень залежить від рішення, ухваленого демодулятором на попередньому тактовому інтервалі. Тоді вираз (5) набирає такого вигляду:

$$\left.\begin{array}{l}K1 = \dfrac{a_1}{a_{n-1}}\cos(\Delta\varphi_{n-1});\\ K2 = \dfrac{a_1}{a_{n-1}}\sin(\Delta\varphi_{n-1});\\ \left.\begin{array}{l}X_1 = X_{0n}\\ Y_1 = Y_{0n}\end{array}\right\} n = 1;\\ \left.\begin{array}{l}X_1 = K1X_{0n} + K2Y_{0n}\\ Y_1 = K1Y_{0n} + K2X_{0n}\end{array}\right\} n \neq 1.\end{array}\right\} \quad (6)$$

При реалізації на сучасних цифрових сигнальних процесорах обчислення кожної проекції може виконуватися однією операцією множення-додавання.

Зауважимо, що при демодуляції використовуються не абсолютні значення амплітуд сигналів, а їхні відношення, що не залежать від загасання сигналу. Далі значення (X_1, Y_1) усереднюються в суматорах — накопичувачах на M останніх тактових інтервалах методом зсувного вікна.

Дістати максимально правдоподібні оцінки (X_1, Y_1) із суміші сигналу з гауссівським шумом дозволяє таке усереднення:

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}\tilde{X}_1(n) = \dfrac{1}{n}\left[X_1 + \sum\limits_{i=1}^{n-1} X_1(i)\right]\\ \tilde{Y}_1(n) = \dfrac{1}{n}\left[Y_1 + \sum\limits_{i=1}^{n-1} Y_1(i)\right]\end{array}\right\} n \le M;\\ \left.\begin{array}{l}\tilde{X}_1(n) = \dfrac{1}{M}\left[X_1 + \sum\limits_{i=n-M}^{n-1} X_1(i)\right]\\ \tilde{Y}_1(n) = \dfrac{1}{M}\left[Y_1 + \sum\limits_{i=n-M}^{n-1} Y_1(i)\right]\end{array}\right\} n \ge M.\end{array}\right\} \quad (7)$$

Вочевидь, чим більша кількість M інтервалів усереднення, тим вища точність оцінки за умов стаціонарності ймовірнісних характеристик каналу на проміжку часу $\Delta t = M_n$. Узявши M, яке дорівнює кількості n тактових інтервалів, які пройшли після останньої зміни параметрів передавання, у результаті нескладних перетворень дістанемо ***рекурентний алгоритм роботи суматорів для каналу зі стаціонарними параметрами***:

$$\left.\begin{array}{l}\tilde{X}_1(n) = \left(1 - \dfrac{1}{n}\right)\left[X_1(n-1) + X_1\right];\\ \tilde{Y}_1(n) = \left(1 - \dfrac{1}{n}\right)\left[Y_1(n-1) + Y_1\right].\end{array}\right\} \quad (8)$$

За умов нестаціонарності параметри сигналів, більш віддалених один від одного за часом, менш корельовані, а отже, усереднення має здійснюватись із ваговими коефіцієнтами λ, залежними від часу, який минув від моменту тактового інтервалу: чим більше часу минуло, тим менша вага параметрів сигналу при усередненні (тобто $\lambda_i > \lambda_{i+k}$, $k = 1, 2, \ldots, n - i - 1$):

$$\left.\begin{array}{l}\tilde{X}_1(n) = \dfrac{1}{n}\left[\lambda_0 X_1 + \sum\limits_{i=1}^{n-1}\lambda_{n-1}\left[X_1(i)\right]\right];\\ \tilde{Y}_1(n) = \dfrac{1}{n}\left[\lambda_0 Y_1 + \sum\limits_{i=1}^{n-1}\lambda_{n-1}\left[Y_1(i)\right]\right].\end{array}\right\} \quad (9)$$

Зі значень усереднених проекцій пілот-сигналу, отриманих згідно з (8) чи (9) — залежно від характеристик каналу, формуються усереднені проекції X_j та Y_j всіх інших сигналів Сузір'я:

$$\left.\begin{array}{l}\tilde{X}_j = \dfrac{a_j}{a_1}\left[\tilde{X}_1\cos(\Delta\varphi_j) - \tilde{Y}_1\sin(\Delta\varphi_j)\right];\\ \tilde{Y}_j = \dfrac{a_j}{a_1}\left[\tilde{X}_1\sin(\Delta\varphi_j) + \tilde{Y}_1\cos(\Delta\varphi_j)\right].\end{array}\right\} \quad (10)$$

Оскільки співвідношення амплітуд a_j/a_1 пілотного і всіх інших сигналів Сузір'я та різниці фаз $\Delta\varphi_j$ між ними відомі, то (10) вироджується в такий спосіб:

$$\left.\begin{array}{l}X_j := \tilde{X}_1 K2_j - \tilde{Y}_1 K1_j;\\ Y_j := \tilde{X}_1 K1_j + \tilde{Y}_1 K2_j;\\ K1 := \dfrac{a_j}{a_1}\sin(\Delta\varphi_j);\\ K2 := \dfrac{a_j}{a_1}\cos(\Delta\varphi_j).\end{array}\right\} \quad (11)$$

де $K1$ і $K2$ — приведені проекції сигналу j на пілотний сигнал.

При цьому формувач проекцій зразків сигналів Сузір'я (X_j, Y_j) реалізується на цифровому сигнальному процесорі $2(j-1)$ операціями множення-додавання.

Висновки

Розв'язано проблему створення ефективної транспортної мережі на базі наносупутників і

здійснено аналіз методів побудови низькоорбітальних мережних супутникових систем передавання даних.

Запропоновано алгоритм розрахунку орбітальних груп і наведено методи оптимального прийому неортогональних багатопозиційних сигналів.

Список використаної літератури

*1. **Ким, А. В.** Новый мобильный горизонт: итоги MWC-13 / А. В. Ким, В. О. Тихвинский // Электросвязь.— 2013.— № 3.*

*2. **Тихвинский, В. О.** LTE World Summit-2013: на пути к 5G / В. О. Тихвинский, В. Я. Архипкин // Электросвязь.— 2013.— № 7.*

*4. **Niri, S. G.** Towards 5G / S. G. Niri // LTE World Summit-2013.*

*5. **Hardouin, E.** 5G: an operator's perspective / E. Hardouin // LTE World Summit-2013.*

*6. **Osseiran, A.** The 5G Mobile and Wireless Communications: Challenges and Scenarios / A. Osseiran // LTE World Summit-2013.*

*7. **Стеклов, В. К.** Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для вузів / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман.— К.: Техніка, 2002.— 848 с.*

*8. **Толубко, В. Б.** Формування багатопозиційного сигналу технологій 5G на базі фазорізницевої модуляції високого порядку / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, С. В. Козелков // Зв'язок.— 2016.— №4.— С. 5–7.*

*9. **Козелкова, Е. С.** Методика повышения качества моделирования многоспутниковой низкоорбитальной экологической системы ДЗЗ: монография.— К.: ЦНИИНиУ, 2005.— 120 с.*

Рецензент: доктор техн. наук, професор **В. А. Дружинін**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, С. В. Козелков

ЭФФЕКТИВНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ (IMT-2020)

Проанализированы технические проблемы, касающиеся создания мобильной сети 5-го поколения (5G) и предложен подход к их решению на основе использования наноспутников и разработанных методов оптимального приема неортогональных многопозиционных сигналов.

Ключевые слова: мобильная связь; спутники; сигналы Созвездия; технологии; сеть 5G; универсальный транслятор; транспортная сеть; демодулятор.

V. B. Tolubko, L. N. Berkman, S. V. Kozelkov

THE EFFECTIVE TRANSPORT FIFTH GENERATION MOBILE NETWORK (IMT-2020)

The technical problems with creating 5G mobile network are analysed as well as the approatch to solving them on the base of nanosatellites and by means of nonorthogonal multiposition signals optimal reception methods is proposed.

Keywords: mobile network; satellites; Constellation signals; technologies; 5G network; universal translator; transport network; demodulator.

УДК 621.396.6

М. М. СТЕПАНОВ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;
Державний університет телекомунікацій, Київ
Т. В. УВАРОВА, канд. техн. наук,
Національний університет оборони України, Київ

Розв'язання проблеми електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів систем мобільного зв'язку стандартів 4G і 5G

Розглянуто новітні тенденції розвитку телекомунікацій та вимоги до стандартів мобільного зв'язку 4-го і 5-го поколінь. Запропоновано математичну модель оцінювання стійкості функціонування систем мобільного зв'язку при електромагнітних взаємодіях радіоелектронних засобів (РЕЗ), що вводяться в систему, яка дозволяє розглядати точки рівноваги системи при взаємодії різних РЕЗ, а також аналізувати її поводження при конкретному виборі значень керуючих параметрів із урахуванням наявних ресурсів.

Ключові слова: стандарти мобільного зв'язку 4G і 5G; радіоелектронні засоби; електромагнітна сумісність.

Вступ

Сьогодні телекомунікаційна індустрія перебуває в перехідному стані, коли трансформація індустріальної епохи в епоху інформаційну практично закінчилась, а інформаційна епоха, тільки-но розпочавшись, перейшла до свого завершення, тобто час її розвитку попрямував до нуля (рис. 1).

© М. М. Степанов, Т. В. Уварова, 2016