

УДК 621.398.96

В. Г. САЙКО, доктор техн. наук, професор;

Т. М. НАРИТНИК, канд. техн. наук, доцент, директор Інституту електроніки та зв'язку УАН;

В. Я. КАЗІМІРЕНКО, канд. техн. наук, доцент;

Л. В. ДАКОВА, ст. викладач;

Л. М. ГРИЩЕНКО, здобувач;

В. І. КРАВЧЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ТРАНСПОРТНИХ РАДІОМЕРЕЖ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Розглянуто головні технічні аспекти побудови та проблеми впровадження мереж зв'язку 4G і 5G. Наведено результати дослідження та розробки телекомунікаційних систем радіозв'язку терагерцового діапазону в транспортних мережах нового покоління.

Ключові слова: гетерогенна мережа; терагерцовий діапазон; мережі LTE-Advanced; мережі стільникового зв'язку 4G і 5G.

ВСТУП

Найближчим часом технічні вирішення, які забезпечать плавний перехід до мереж 3G і LTE-Advanced високої ємності, допоможуть операторам мобільного зв'язку задовольнити швидко зростаючий попит на мобільні сервіси. Така інноваційна конвергенція макростільників і міських стільників, що дістала назву *гетерогенної мережі*, розглядається як вельми приваблива для організації останньої милі безпроводового доступу в умовах щільної міської забудови. Проте ця топологія мережі радіодоступу призвела до появи низки запитань, пов'язаних із транспортуванням трафіку.

Мета цієї статті — висвітлення результатів розробки інноваційного способу транспортування трафіку при побудові гетерогенних мереж 4G і 5G із використанням розподілених транспортних радіомереж терагерцового діапазону.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Особливості технічних аспектів побудови мереж зв'язку 4G і 5G та проблеми їх впровадження

Мережі LTE-Advanced. Мобільний зв'язок 4G розвиває ідеї та технології, які вже застосовуються в стандартах 3G. Проте з розвитком цих технологій знайшла своє втілення і низка оригінальних ідей. Головна відмінність технологій 4G від технологій попередніх поколінь полягає в тому, що швидкість передавання даних від базової станції перевищує 100 Мбіт/с [1; 2]. Слід також зазначити, що існує лише одна альтернатива LTE-Advanced — нові версії WIMAX, але більшість операторів у всьому світі надають перевагу LTE/LTE-Advanced. Цей вибір має просте пояснення: приклад ефективного співіснування мереж 3G із мережами стільникового зв'язку 2G, що забезпечило створення інтегрованих мереж, дав поштовх до гармонійного співіснування систем LTE із системами обох попередніх поколінь — 3G і 2G. Так, багатомодові пристрої здатні працювати як у мережах LTE, так і в мережах 3G, або мати набір режимів LTE/3G/2G — залежно від кон'юнктури ринку. Завдяки стандарту LTE з'явилась нова технологічна платформа радіозв'язку, яка дозволяє операторам досягати вищої пікової пропускної здатності порівняно зі стандартом HSPA+, використовуючи для цього набагато ширші смуги пропускання.

Головна мета LTE полягає в забезпеченні абонентів послугами радіодоступу надзвичайно високої продуктивності з одночасним гарантуванням повної мобільності абонента під час його пересування зі швидкістю автомобіля. Згідно з концепцією подальшого розвитку радіотехнологій незабаром оператори зможуть легко переводити свої мережі та своїх користувачів із платформи HSPA на стандарт LTE. По суті, стандарт LTE є черговим етапом еволюційного розвитку стільникової технології, що бере свій початок від GSM і має такі ключові пункти, як EDGE, UMTS, HSPA і HSPA+. Архітектура мережі LTE/LTE-Advanced повністю відповідає мережі IP і також призначена для забезпечення голосового зв'язку в режимі комутації пакетів.

В основу стандарту LTE покладено [1]:

- ♦ метод мультиплексування з ортогональним розділенням частот (OFDM);
- ♦ антенні системи з рознесеним прийманням і рознесеним передаванням (*MultipleInput, MultipleOutput* — MIMO);

© В. Г. Сайко, Т. М. Наритник, В. Я. Казіміренко, Л. В. Дакова, Л. М. Грищенко, В. І. Кравченко, 2016

♦ особливу архітектуру ядра мережі, розроблену консорціумом 3GPP для стандарту LTE і відому під назвою *System Architecture Evolution (SAE)*.

Головні переваги стандарту LTE такі:

- швидкість передавання даних досягає 50 Мбіт/с для лінії вгору (від абонента до базової станції) і 100 Мбіт/с для лінії вниз (від базової станції до абонента);
- забезпечується підтримка з'єднань для абонентів, що рухаються зі швидкістю до 300 км/год;
- зона покриття однієї БС — до 30 км у штатному режимі, але в нижчих частотних діапазонах можлива робота зі стільниками радіусом понад 100 км;
- підтримуються робочі канали шириною 1,4; 3; 5; 10; 15 і 20 МГц.

Мережі 5G. Технологія стільникового 4G зв'язку ще лише набирає обертів, а вчені та розробники телекомунікаційного устаткування вже активно розгорнули роботу над наступним поколінням стільникового зв'язку 5G. І хоча практична реалізація концепції 5G перебуває на початковій стадії, усе ж зрозуміло, що має бути дотримано принципів природного розвитку попередніх систем і розробки нових технологій безпроводового зв'язку.

За оцінками експертів, покоління 5G має стати відповіддю на виклики сьогодення, забезпечивши:

- зростання пропускної здатності більш ніж у 1000 разів;
- значне підвищення швидкості передавання даних принаймні до 1 Гбіт/с;
- можливість підімкнення до мережі значно (у 10–100 разів) більшої кількості різноманітних кінцевих пристроїв;
- різке (у 10 разів) зниження енергоспоживання всіх пристроїв.

Для досягнення цих цілей необхідно:

- розробити нові підходи до використання радіочастотного спектра;
- створити принципово нове радіочастотне і комутаційне устаткування;
- реалізувати нові принципи щодо архітектури та організації мереж;
- істотно вдосконалити управління трафіком.

Стільниковий зв'язок виник з огляду на побажання користувачів звільнитися від жорсткої прив'язки терміналу користувача до конкретної точки. Якщо в перших поколіннях стільникового зв'язку домінував голосовий трафік, то згодом його дедалі впевненіше почав витісняти трафік даних. На зміну обміну інформацією між людьми прийшов обмін інформацією між людиною і машиною, що спонукало до створення стільникових мереж нових поколінь. Людство рухається до інформаційного суспільства, де переважає міжмашинний обмін, і мережі зв'язку 5G мають відповідати цій новій історичній парадигмі (рис. 1).

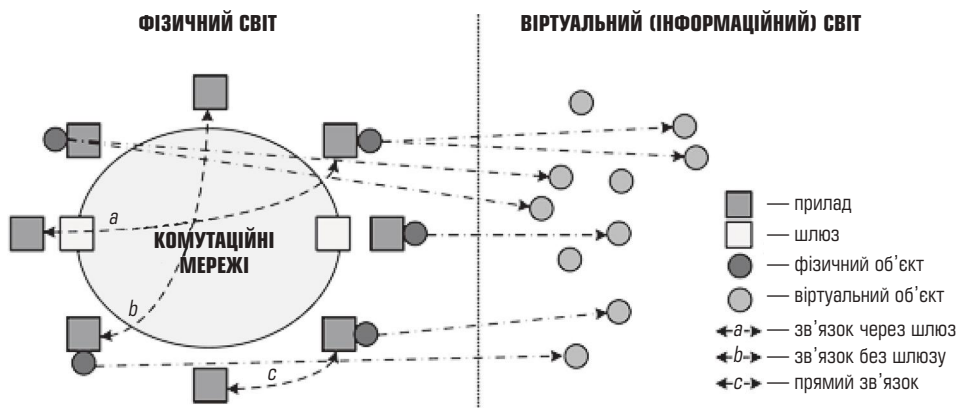


Рис. 1. Взаємозв'язок між фізичним і віртуальним світом (Джерело: МСЕ-т У.2060)

Сектор стандартизації Міжнародного союзу електрозв'язку на початку 2011 року розглянув можливість заміни концепції NGN концепцією розумних всепроникаючих мереж (*Smart Ubiquitous Networks — SUN*), яка включає в себе інтернет речей IoT, мережу NGN, модернізовану до рівня підтримки міжмашинних комунікацій (*Machine Oriented Communications — MOC*), наномережі, транспортні мережі VANET і мережі машина — машина M2M (*Machine-to-Machine*).

У загальному випадку під *інтернетом речей* розуміють сукупність різноманітних пристроїв, датчиків, пристроїв, об'єднаних у мережу за допомогою будь-яких доступних каналів зв'язку, що використовують різні протоколи взаємодії і єдиний протокол доступу до глобальної мережі [3]. У ролі глобальної мережі для інтернету речей нині виступає мережа Інтернет. Іншими словами, інтернет речей можна розглядати як мережу мереж, в якій невеликі малозв'язані мережі являють собою складові більших мереж. Прогноз розвитку світового ринку інтернету речей на 2010–2020 роки подано на рис. 2.

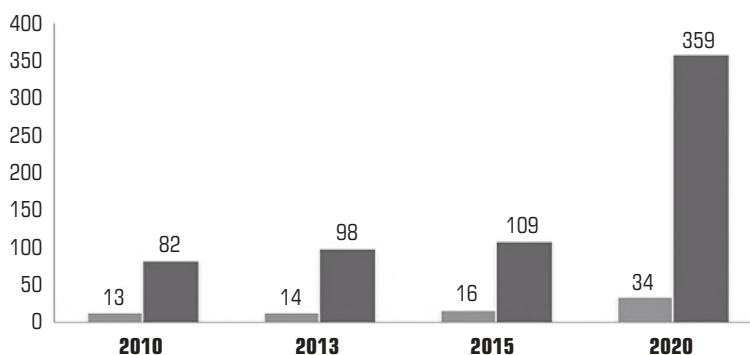


Рис. 2. Діаграма розвитку світового ринку інтернету речей на 2010–2020 рр.: зростання кількості підмічених прикладів, млрд (темні стовпчики) та їхньої вартості, млрд дол. (світлі стовпчики) (Джерело: j'son&partnersconsulting, 2013)

Варто зазначити, що широкому впровадженню інтернету речей перешкоджають численні технічні та організаційні проблеми, пов'язані, зокрема, зі стандартизацією. Єдиних стандартів для інтернету речей досі немає. Це, вочевидь, ускладнює інтеграцію пропонованих на ринку вирішень і багато в чому стримує появу нових. До чинників, що вповільнюють розвиток інтернету речей, слід віднести неврегульованість переходу від існуючої версії IP до нової, 6-ї його версії. На заваді стає необхідність великих фінансових витрат з боку телекомунікаційних операторів і провайдерів послуг на відповідну модернізацію мережного устаткування.

Основні тенденції розвитку мереж стільникового зв'язку нового покоління в Україні

Упровадження мобільного зв'язку за стандартом UMTS HSPA+, що виступає як представник так званого 3.75G, передбачає, здавалося б, перехід на 4G. Проте деякі експерти пропонують відразу перейти на 5G, «перестрибнувши» через 4G. Їхня позиція навряд чи виправдана. Адже мережа LTE далеко ще не вичерпала свій ресурс. Саме тепер відбувається цілковите впровадження цієї технології, коли виробники пристроїв починають включати її підтримку не тільки у флагманські, а й у бюджетні пристрої. Згідно з прогнозом Ericsson Mobility Report щодо розвитку мобільних технологій у світі, кількість абонентів, які використовують LTE, тільки в 2020 році зрівняється з кількістю 3G-користувачів (рис. 3).

Не можна не брати до уваги й таких фактів. Глобальна громадська організація 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*), що планує вихід нових стандартів, очікує на появу 5G до кінця 2016 року, але перші повноцінні комерційні мережі 5G з'являться тільки в 2019-му. Таким чином, 5G отримає серйозну частку на ринку років через п'ять. А в 2017 році ще, вочевидь, не буде достатньої кількості пристроїв, які підтримують 5G. Тому цілком виправдано запускати в Україні LTE, тим більше, що для цього є всі передумови.

Ще один важливий аспект проблеми полягає в складності охоплення 5G-зв'язком великих територій. Для значного збільшення швидкості передавання даних знадобляться набагато більші діапазони частот. Логічний вихід із цієї ситуації забезпечується переходом в область десятків гігагерц, тобто в терагерцовий діапазон.

У цьому діапазоні можна отримати швидкості понад 1 Гбіт/с за дуже малої затримки [4–6].

Параметри затримки відповідають радіочастотам, використовуваним сьогодні для транспортування трафіку, і задовольняють найжорсткіші вимоги угод про рівень обслуговування (SLA) з транспортування трафіку мереж 2G, 3G і 4G/LTE. Висока ємність діапазону дозволяє застосовувати його для кінцевих малих стільників та для агрегації кількох малих стільників у різних мережних топологіях. Окрім того, вузька діаграма спрямованості в зазначеному діапазоні полегшує боротьбу із завадами в неліцензованих діапазонах.

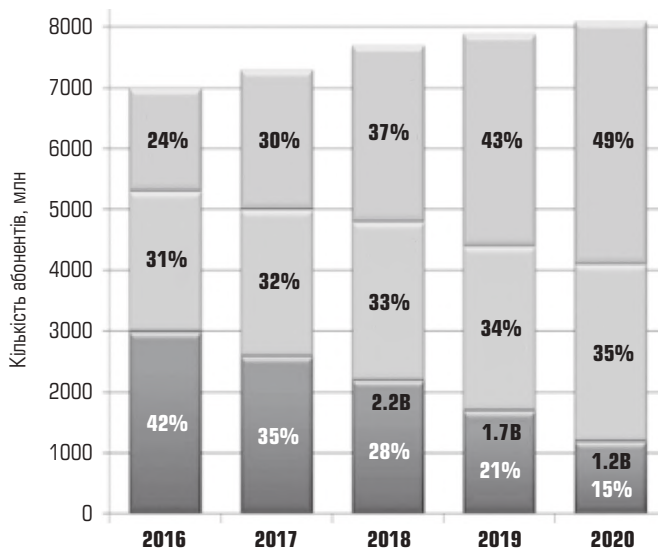


Рис. 3. Динаміка світового ринку мобільних технологій: LTE (■), HSPA (■), GSM (■)

Тому сьогодні розробників цікавить побудова мереж мобільного зв'язку 5G із використанням телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону та перехід на малі — мікро-, макро- та фемтостільники, які являють собою базові станції з обмеженим діапазоном дії і встановлюються для розширення зони покриття базових станцій макрорівня [4–8]. Маючи невелику дальність передавання, ці малі стільники дозволяють задіяти технології багаторазового використання частот для більш ефективного використання доступного спектра. Системи малих стільників — так звані гетерогенні мережі, або HetNets, незабаром можуть стати основою стільникового зв'язку 5G.

Проте конвергенція мікростільників і міських стільників поставила перед розробниками низку питань, пов'язаних із транспортуванням трафіку. Щоб збільшити абонентську ємність саме там, де це необхідно, для розміщення малих стільників використовуються відповідні об'єкти вуличної інфраструктури, але так, аби малий стільник не порушував естетику міського простору. Нарешті, прокладання нового оптичного кабелю для транспортування трафіку до цих важкодоступних місць навряд чи буде економічно виправдане.

Одним із поширених способів транспортування трафіку міських стільників є використання оптимізованих безпроводових пристроїв, які доставляють трафік до найближчої макростільникової щогли. Не можна не наголосити, що труднощі практичної реалізації даного напрямку дали поштовх до розробки нового покоління малогабаритних безпроводових систем, котрі використовують неліцензовані частотні діапазони, відмінні від ліцензованих частотних діапазонів, традиційно задіяних для транспортування трафіку макростільників.

Транспортна мережа BACKHAUL із використанням радіорелейної системи терагерцового діапазону

При переході до високошвидкісних мереж HSPA+ і 4G/LTE розподільні транспортні мережі (*Mobile Backhaul*) часто стають «слабкою ланкою» мережної інфраструктури.

Класична транспортна мережа оператора мобільного зв'язку складається з двох основних сегментів:

- розподільної мережі (backhaul), що зв'язує базові станції з контролерами і центрами комутації мобільного зв'язку (*Mobile Switching Center* — MSC);

- магістральної мережі (backbone), що забезпечує високошвидкісний транспорт між центрами комутації.

В ієрархії телекомунікаційних мереж мережі backhaul займають позицію проміжної ланки («середньої милі») між базовою мережею (Core Network) і малими підмережами «на краю» усієї мережі (рис. 4).

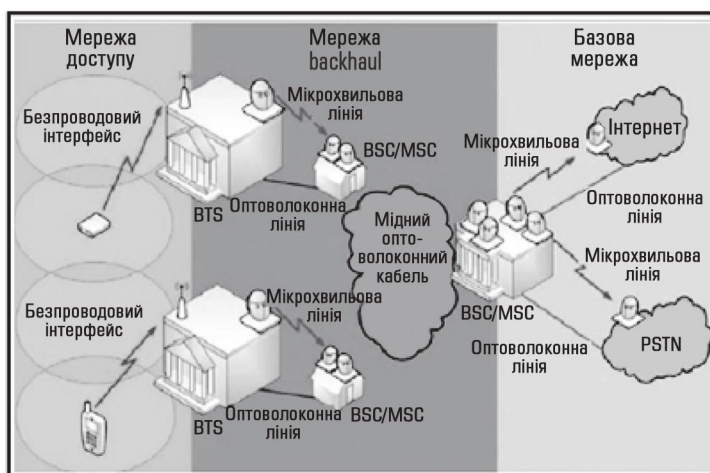


Рис. 4. Ієрархія мереж: мережа доступу, мережа backhaul і базова мережа

Із удосконаленням технологій радіодоступу (від мереж попереднього покоління і 3G до мереж 4G) вузькі щодо пропускної здатності ділянки мереж зміщуються від радіоінтерфейсу в бік транспортної розподільної мережі. Швидке зростання трафіку мобільного широкосмугового доступу (ШСД) при переході до нових високошвидкісних мереж HSPA і LTE є одним із головних спонукальних мотивів для операторів мобільного зв'язку стосовно збільшення інвестицій у мережі backhaul.

Основним технологічним трендом при домінуванні трафіку даних над голосовим трафіком є перехід від технологій із комутацією каналів (TDM) до технологій із комутацією пакетів (Carrier Ethernet,

IP/MPLS). Оператори, що будують мережі 4G/LTE, також надають перевагу оптиці та активно під'єднують базові станції згідно з IP.

В умовах швидкого зростання трафіку мобільного передавання даних і розвитку мереж 4G/LTE оператори, працюючи над поліпшенням якості зв'язку, активно продовжують модернізувати свої розподільні транспортні мережі. Зокрема, простежується тенденція заміни РРЛ на ВОЛЗ у тих місцях, де це можливо, а там, де такої змоги немає, на зміну застарілим радіорелейним лініям приходять сучасні високошвидкісні РРЛ. Окрім того, разом із модернізацією устаткування змінюється і сама технологія надання каналів зв'язку до базових станцій — здійснюється перехід від традиційних каналів TDM до виділених Ethernet каналів, що дозволяє ефективніше використовувати смугу пропускання транспортної мережі, сприяючи подальшому розвитку мережі (наприклад, упровадженню технологій HSPA і LTE).

Більшість базових станцій підімкнено по РРЛ, тоді як закуповуване останнім часом новітнє радіорелейне устаткування дозволяє здійснити плавний перехід від TDM-каналів до IP-каналів.

Стратегія припускає переважний розвиток мереж backhaul на основі РРЛ, устаткування яких підтримують високошвидкісні IP-технології.

Завдяки активному розгортанню мереж LTE швидко розвиватиметься і ринок устаткування міліметрових хвиль — у сегменті як макро-, так і малих стільників. У загальному обсязі ринку Mobile Backhaul зростатиме частка устаткування для малих стільників, що розгортаються поза приміщеннями (outdoor).

Нині в Україні для роботи систем фіксованого безпроводового зв'язку фіксованою службою виділено і використовуються окремі смуги частот у діапазоні від 60 МГц до 95 ГГц. Постановою Кабінету Міністрів України від 05.09.2012 р. №838 до Плану використання радіочастотного ресурсу України (розділ II — перспективні технології) внесено радіотехнологію радіорелейного зв'язку в діапазонах частот 94,1...100; 102...105; 106,5...109,5; 111,8...113; 130...134; 141...148,5 ГГц, тобто в терагерцовому діапазоні.

З огляду на те, що багато смуг частот, нижчих за 6 ГГц, останнім часом розглядаються для розвитку мереж мобільного безпроводового радіодоступу (передусім стільникових мереж сухопутної рухомої служби), мережі систем фіксованого безпроводового зв'язку з цих смуг по змозі виводяться. Тому перспективний розвиток систем фіксованого безпроводового зв'язку, а також оцінювання їхньої потреби в частотному ресурсі доцільно здійснювати в діапазоні радіочастот понад 6 ГГц.

Найбільш затребуваний напрямок розвитку послуг із використанням систем фіксованого радіозв'язку полягає в застосуванні систем фіксованого радіозв'язку в транспортних мережах, що належать інфраструктурі рухомого зв'язку. Зазначені транспортні мережі активно розвиваються внаслідок зростання обсягу даних, необхідних для передавання в таких мережах. При цьому розвиток мереж рухомого зв'язку зумовив збільшення кількості радіорелейних ліній в багатьох діапазонах частот. Що ж до мереж 5G, то вони мають посприяти задоволенню зростаючих потреб у радіолініях із високою пропускною здатністю, причому передусім за рахунок використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку (рис. 5), що працює переважно на малих відстанях.

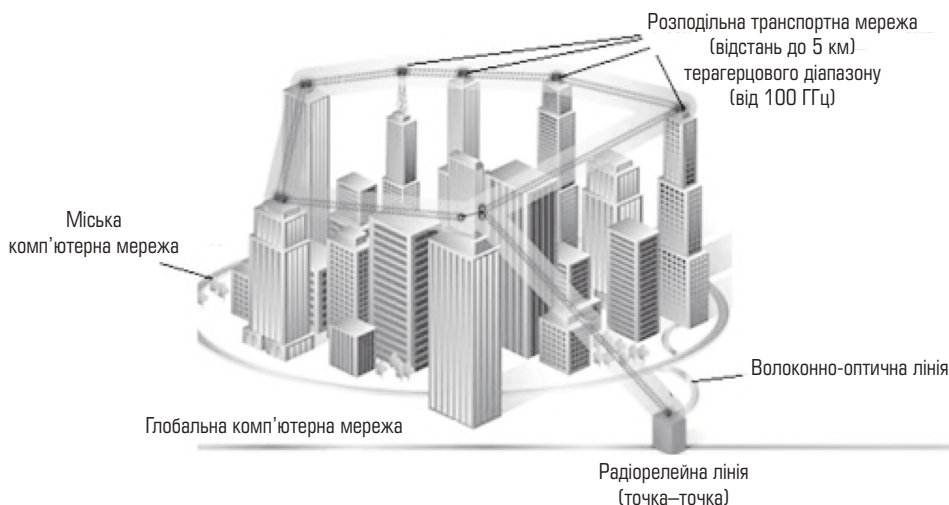


Рис. 5. Приклад використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку

Розглядаючи зв'язок між макростільниками та малими (мікро-, піко-, фемто-) стільниками, які перебувають у зоні дії цих макростільників, говорять про *umbrella* стільники. Малі стільники покривають місця з більшою щільністю абонентів на території макростільника, підвищуючи пропускну здатність мережі. Макростільники покривають місця з меншою щільністю абонентів, використовуючи при цьому більшу потужність передавачів і збільшуючи до 10 км радіус покриття. Umbrella стільник сприяє зменшенню кількості процедур передачі обслуговування при високій швидкості переміщення мобільних станцій між малими стільниками завдяки агрегації трафіку від багатьох абонентів малих стільників для подальшого передавання в мережу комутації за допомогою транспортної мережі backhaul із використанням радіорелейної системи терагерцового діапазону [4].

З урахуванням зазначених тенденцій розвитку сучасних широкосмугових мереж мобільного зв'язку 4G і 5G було спроектовано й експериментально досліджено радіоканал зв'язку терагерцового діапазону (130...134 ГГц), придатний для побудови високошвидкісних (понад 1 Гбіт/с) транспортних розподільних мереж [5–8].

Приймальний і передавальний тракти такої радіорелейної системи було побудовано на базі спеціально розроблених функціональних вузлів, модульне виконання яких із максимальним використанням монолітних мікросхем забезпечило компактність конструкції трактів (рис. 6).



Рис. 6. Зовнішній вигляд підсилювача триміліметрового діапазону довжини хвилі (ліворуч) та приймального (передавального) тракту (праворуч)

Здобуті результати: пропускна здатність каналу — до 1200 Мбіт/с при значенні ймовірних бітових помилок BER не більш ніж 10^{-6} ; дальність зв'язку в нормальних умовах — у межах 1 км; коефіцієнт підсилення системи — на рівні 50 дБ.

Таким чином, уперше було проведено експериментальні дослідження спеціально виготовленого лабораторного зразка цифрової симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону, що включає в себе приймальний

і передавальний радіотракт в діапазоні частот 130...134 ГГц, цифрові модеми з пропускною каналною здатністю до 1200 Мбіт/с.

Характеристики цієї системи підтверджують доцільність її подальшого використання в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку.

ВИСНОВКИ

Мікрохвильове устаткування, незважаючи на популярність ВОЛЗ, і надалі домінуватиме в розподільних транспортних мережах. Завдяки активному розгортанню мереж LTE швидко зростатиме ринок устаткування терагерцових хвиль у сегменті як макро-, так і малих стільників.

Сьогодні перед розробниками телекомунікаційних систем постає завдання створення ефективних і доступних за вартістю апаратних засобів, які працюють на частотах терагерцового діапазону. Один із варіантів досягнення терагерцових частот полягає в множенні робочих частот за схемами міліметрового діапазону. Але цей метод обмежує не лише вихідну потужність приладів, а й отримуване відношення сигнал/шум. Окрім того, відповідне обладнання достатньо громіздке й важке, що перешкоджає широкому освоєнню терагерцового діапазону довжин хвиль.

Список використаної літератури

1. Сайко, В. Г. Системи бездротового цифрового радіозв'язку нового покоління: монографія / В. Г. Сайко.— К.: ПП «Золоті ворота», 2011.— 300 с.
2. Ільченко, М. Ю. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу / М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук.— К.: Наук. думка, 2009.— 312 с.
3. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый.— СПб.: БХВ-Петербург, 2013.— 160 с.
4. Пресс-релиз «Транспортные сети Backhaul для сетей широкополосной мобильной связи: тенденции и перспективы развития в России и в мире [Електронний ресурс] / J'son&PartnersConsulting.— Режим доступу: http://www.json.ru/files/reports/2013-09-04_Mobile_backhaul_MW_RU.pdf.
5. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона / [М. Е. Ильченко, Т. Н. Нарытник, Б. Н. Шелковников, В. И. Христенко] // Электроника и связь.— 2011.— №3.— С. 205–210.
6. Кравчук, С. О. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону: монографія / С. О. Кравчук, Т. М. Нарытник.— Житомир: ФОП «Євенок О. О.», 2015.— 208 с.
7. Патент на корисну модель 104299, Україна, Н 04 В 7/165. Канал безпроводового широкосмугового абонентського доступу до інформаційних ресурсів із використанням каналу терагерцового діапазону / [Т. М. Нарытник, В. Г. Сайко, В. Я. Казіміренко, О. В. Лутчак].— Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ».— Заявл. 25.06.2015.— Опубл. 25.01.2016; Бюл. № 2.
8. Сайко, В. Г. Результаты исследования основных тенденций развития и возможностей использования систем радиосвязи терагерцового диапазона в рамках построения сетей мобильной связи 4G и 5G / В. Г. Сайко // Региональный семинар МСЭ для стран СНГ и Грузии «Тенденции развития конвергентных сетей: решения пост-NGN, 4G и 5G», 17–18 ноября 2016 года: доклады.— К.: ГУТ, 2016.— С. 100–103.

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

В. Г. Сайко, Т. Н. Нарытник, В. Я. Казимиренко, Л. В. Дакова, Л. Н. Грищенко, В. И. Кравченко
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАДИОСЕТЕЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Рассмотрены важнейшие технические аспекты построения и проблемы внедрения сетей связи 4G и 5G. Приведены результаты исследования и разработки телекоммуникационных систем радиосвязи терагерцового диапазона в транспортных сетях нового поколения.

Ключевые слова: гетерогенная сеть; терагерцовый диапазон; сети LTE-Advanced; сети сотовой связи 4-го и 5-го поколения.

V. H. Saiko, T. M. Narytnik, V. Ya. Kazimirenko, L. V. Dakova, L. M. Hryshchenko, V. I. Kravchenko
**USING OF DISTRIBUTED TRANSPORT RADIO NETWORKS OF THE TERAHERTZ RANGE UNDER
THE NEW GENERATION MOBILE NETWORKS CONSTRUCTION**

The features of the technical aspects of the 4th and 5th generations communication networks constructions and the problem of their implementation have been considered. The results of the research and development of terahertz range telecommunication radio systems using in the new generation transport networks have been shown.

Keywords: heterogeneous network; terahertz range; LTE-Advanced networks; the 4th and 5th generation cellular communication networks.

УДК 004.055

В. В. ВИШНІВСЬКИЙ, доктор техн. наук, професор;

Г. І. ГАЙДУР, канд. техн. наук, доцент;

К. П. СТОРЧАК, канд. техн. наук, доцент;

Є. В. ПРИЛЕПОВ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Розглянуто світові тенденції розвитку мережних технологій, а також проблеми, пов'язані зі стрімким зростанням трафіку та неоптимальним використанням мережних ресурсів. Проведено аналіз існуючих мережних програмно-конфігурованих та Ethernet-комутаторів і дано опис їхніх основних функцій. Розкрито ключові переваги програмно-конфігурованих мереж, зокрема на базі технології SDN, а саме: їхній вплив на централізоване управління, розподіл ресурсів, політику безпеки, енергозбереження та на реалізацію нових мережних функцій.

Ключові слова: SDN; OpenFlow; QoS; API; програмно-конфігуровані мережі; енергозбереження; централізоване управління; переспрямування трафіку; комутатор; відмовостійкість; якість обслуговування; моніторинг.

Вступ

Сьогодні, як і багато років поспіль, стрімко зростає кількість мережних додатків і пристроїв, що супроводжується розширенням прав користувачів, які отримують можливість під'єднання до мережі Інтернет та до своїх власних мереж. Чим більше з'єднань у мережі, тим вища складність сеансів зв'язку, установлюваних між різними учасниками сесій. Machine-to-Machine (M2M) [1], Unified Communications (UC) [2], Next Generation Networks (NGN) і Internet of Things (IoT) [3] — усе це приклади того, як світ глобалізується і як завдяки телекомунікаціям люди стають ближчі один одному.

Аналіз публікацій

Новітні технології з'являються щодня, створюючи небачені раніше виклики комунікаційній інфраструктурі, передусім щодо обсягу обміну даними. Це, у свою чергу, вимагає радикального підвищення пропускної здатності існуючих мереж завдяки додаванню більших каналів зв'язку або транспортного обладнання для максимального

використання наявних ресурсів. Водночас вимоги користувачів щодо якості надаваних послуг лише посилюються. Адже кожен користувач може потребувати різноманітного набору послуг, що постачаються з тієї чи іншої сукупності мереж, аби взяти участь в одній гетерогенній сесії QoS — множинної якості обслуговування.

Зі зростанням кількісних показників навантаження на мережі ускладнилися завдання керування мережами — збільшився їх перелік, зросла значущість і посилилась критичність, причому на тлі радикального підвищення вимог до безпеки й надійності. Мережі будуються на базі пристроїв, які постійно ускладнюються, оскільки змушені підтримувати все більше розподілених стандартних протоколів (сьогодні кількість активно використовуваних протоколів і їх версій перевищила 600), із задіянням закритих (пропрієтарних) інтерфейсів. За таких умов провайдери не мають змоги оперативно вводити нові сервіси, а виробники мережного обладнання не здатні швидко модернізувати свою продукцію для задоволення вимог замовників. Зрештою підтримка та управ-