УДК 621.396.43

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ В ТРАНСПОРТНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НАСТУПНИХ ПОКОЛІНЬ

Наритник Т.М., Авдєєнко Г. Л., Єрмаков А.В.,Лутчак О.В.
НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського
e-mail:director@mitris.com

Analysis of terahertz range telecommunication systems usage for the next generation of transport distribution networks

This paper studies the main trends and prospects of transport distribution networks development (Mobile backhaul) and the possibilities of using fixed wireless communication systems in the terahertz range to build 4G and 5G mobile networks. Designed and experimentally investigated radio communication system of terahertz range (130-134 GHz) with application to build high-speed (over 1 Gbit/s) transport distribution networks is described.

На даний момент часу в світі йде процес освоєння терагерцового діапазону частот. І однією із перспективних сфер застосування терагерцових технологій є системи телекомунікацій [1-4]. Зокрема, провідними науково-технічними школами світу створюються принципово нові за габаритами, завадостійкістю та енергоефективністю пристрої суб- та терагерцового діапазону для транспортних мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління (4G/LTE та 5G), для високошвидкісної передачі відеосигналів високої та надвисокої чіткості, для радіорелейних систем прямої видимості та радарів для високоточного виявлення і розпізнавання малорозмірних швидкісних цілей і сенсорів для отримання більш точної та детальної оперативної інформації про стан контрольованого об'єкта або місцевості.

Відомо, що для технологій стільникового зв'язку LTE і 5G потрібна величезна смуга частот, а тому поширення цих технологій стримується дефіцитом вільного радіоспектру. Одним з рішень для побудови мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) є використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону та перехід на малі стільники (мікростільники, піко- і фемтостільники), які являють собою базові станції з обмеженим діапазоном дії і які встановлюються для розширення зони покриття базових станцій макрорівня. Маючи невелику дальність передачі, ці малі стільники дозволять задіяти технології багаторазового використання частот для більш ефективного витрачання доступного спектру.

Системи малих стільників також називаються гетерогенними мережами або HetNets з часом можуть стати основою стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G). Малі стільники можуть працювати в терагерцовому діапазоні, що дозволить отримати радіоспектр, необхідний для розширення зони покриття Метою даної роботи є аналіз основних тенденцій та перспектив розвитку транспортних розподільчих мереж (Mobile backhaul) та можливостей

використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв'язку 4G та 5G.

Класична транспортна мережа оператора мобільного зв'язку складається з двох основних сегментів [4]:

- розподільної мережі (backhaul), що зв'язує базові станції (BTS) з контроллерами (BSC) і центрами комутації мобільного зв'язку (MSC);
- магістральної мережі (backbone), що забезпечує високошвидкісний транспорт між центрами комутації MSC.

У ієрархії телекомунікаційних мереж (рис.1) мережі backhaul займають позицію проміжної ланки ("середньої милі") між базовою мережею (Core Network) і мережею доступу. Швидке зростання трафіку мобільних мереж при переході до нових високошвидкісних мереж 4G і 5G є одним з головних спонукальних мотивів для операторів для збільшення інвестицій в розвиток мережі backhaul.

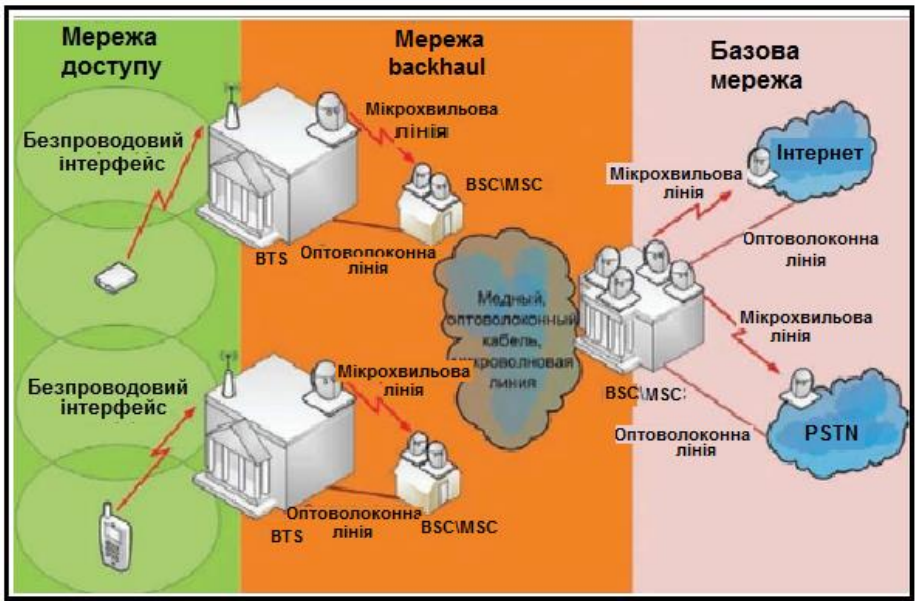

Рис. 1. Ієрархія мереж: мережа доступу, мережа backhaul і базова мережа.

В умовах швидкого зростання трафіку мобільної передачі даних і розвитку мереж 4G/LTE та 5G, оператори активно продовжують модернізувати свої розподільні транспортні мережі. Зокрема, наявна тенденція заміни радіорелейних ліній (РРЛ) на волоконно-оптичні лінії зв’язку (ВОЛЗ) в тих місцях, де це можливо, а там де немає такої можливості, на зміну застарілим радіорелейним лініям приходять сучасні високошвидкісні РРЛ [5]. Крім того, разом з модернізацією устаткування змінюється і сама технологія підключення каналів зв'язку до базових станцій – відбувається перехід від традиційних TDM-каналів до виділених Ethernet каналів, що дозволяє ефективніше використати смугу пропускання транспортної мережі і забезпечує можливість подальшого розвитку мережі. Стратегія розвитку мереж стільникового зв’язку припускає переважний розвиток мереж backhaul на основі РРЛ, устаткування яких підтримують високошвидкісні IP- технології.

Актуальність мереж 5G у порівнянні з мережами 4G базується на вирішенні сучасних проблем підвищеної потреби в радіолініях з високою пропускною здатністю за рахунок використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку (рис.2), які працюють переважно на малих відстанях (1-2 км).

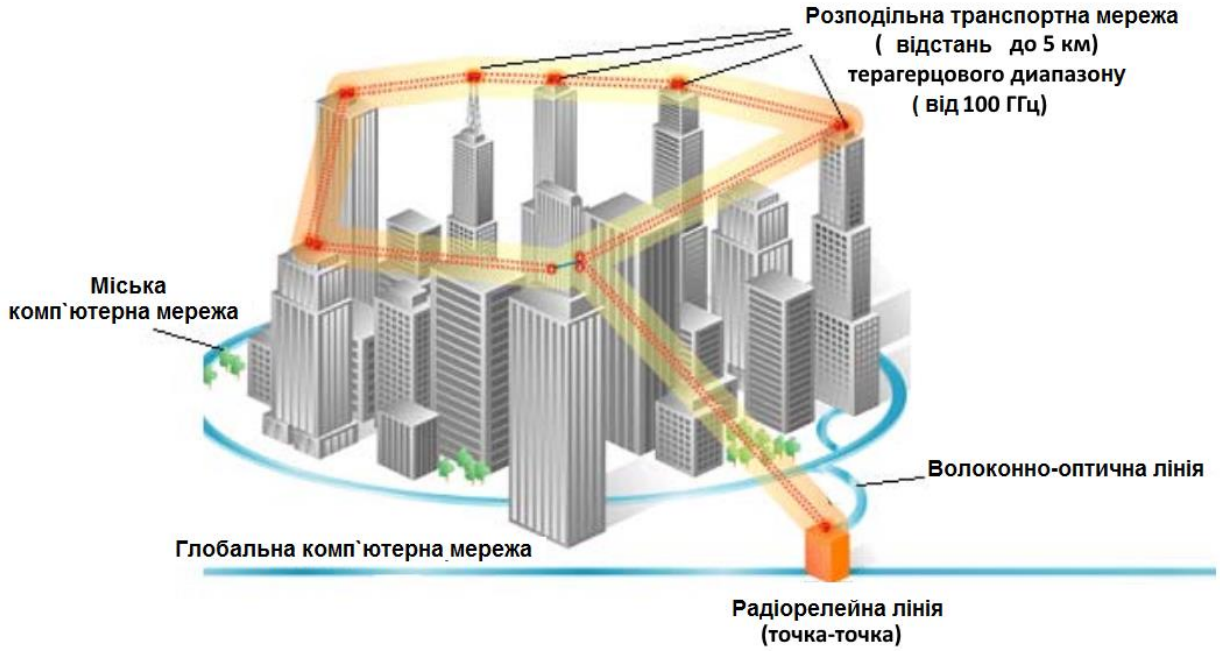

Рис.2. Приклад використання терагерцового діапазону
в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку.

В даний час в Україні для роботи систем фіксованого бездротового зв'язку фіксованої служби виділені і використовуються окремі смуги частот в діапазоні від 60 МГц до 95 ГГц з урахуванням умов їх використання. Постановою Кабінету Міністрів України №838 від 05.09.2012р. до Плану використання радіочастотного ресурсу України (розділ II - перспективні технології) внесена радіотехнологія радіорелейного зв'язку в діапазонах частот 94,1-100 ГГц; 102-105 ГГц; 106,5-109,5ГГц; 111,8-113ГГц; 130-134ГГц; 141-148,5 ГГц, тобто і в терагерцовому діапазоні. Тому, сьогодні перед розробниками телекомунікаційних систем стоїть завдання створення ефективних і доступних за вартістю апаратних засобів, які працюють на частотах терагерцового діапазону. Один з варіантів досягнення терагерцових частот полягає в множенні робочих частот міліметрового діапазону. Але цей метод обмежує вихідну потужність приладів і відношення сигнал-шум, що отримується. Крім того, пристрої займають відносно велику площу і мають велику масу. Ці недоліки та обмеження в певній мірі перешкоджають широкому освоєнню суб- і терагерцового діапазонів довжин хвиль.

В Україні приймальний та передавальний тракти такої радіорелейної системи терагерцового діапазону були побудовані на базі спеціально розроблених функціональних вузлів, модульне виконання яких з максимальним використанням сучасних мікросхем забезпечило компактність конструкції цих трактів [6-9]. При проведені досліджень було отримано

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

Таким чином, вперше в практичному плані в Україні виготовлено та проведено експериментальні дослідження лабораторного зразка цифрової симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону у складі: приймальний та передавальний радіотракти в діапазоні частот 130-134 ГГц, цифрові модеми з пропускною канальною здатністю до 1200 Мбіт/с для можливого її подальшого використання в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку.

Незважаючи на зростання популярності ВОЛЗ, мікрохвильове устаткування продовжить домінувати в розподільних транспортних мережах. Завдяки активному розгортанню мереж 4G та 5G швидко ростиме і ринок устаткування терагерцових хвиль як в сегменті макростільників, так і малих стільників.

Література

1. «РТИ» ведет принципиально новые разработки в области обработки информации [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://vpk.name/news/118789_rti_vedet_principialno_novyie_razrabotki_v_oblasti_obrabotki_informacii.html.
2. M.Ye Ilchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, & O.I. Belous. Terahertz range telecommunication systems// Telecommunications and Radio Engineering, 70(16):1477-1487 (2011).
3. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Шелковников Б.Н., Христенко В.И. Радиотелекоммуникационные системы терагерцового диапазона// Электроника и связь.-2011.-№3.-с.205-210.
4. Нарытник Т.Н., Домрачева Е.А., Казимиренко В.Я. Анализ эффективности использования миллиметрового диапазона электромагнитных волн для передачи данных // Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.-К.:НТУУ «КПІ», 2014,с. 134-136.
5. PPC Alcoma AL80GE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://watson-telecom.ru/radiodostup/ppc/alcoma-al80ge.html
6. T.M. Narytnyk, O.V. Lutchak, S.O. Osypchuk, L.O. Uryvskyi Criteria and Algorithms for Shaping of the Signal-Code Sequences on the Basis of Wi-Fi Technology at Deployment of the Terahertz Band Telecommunication System Telecommunications and Radio Engineering Vol. , 2015, Number 74 (2) PP.1823-1839.
7. Наритник Т.М., Осипчук С.О. Уривський Л.О. Реалізація концепції створення програмно-визначених радіосистем терагерцового діапазону на основі технології Wi-Fi//Цифрові технології . №18- 2015.-С.7-20.
8. Наритник Т.М., Авдєєнко Г. Л., Набока Б.Ю., Дослідження багатоканальних сигналів цифрового телебачення DVB - C при їх передаванні по приймально-передавальному тракту терагерцового діапазону Цифрові технології. - 2016. - № 19.
9. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н., Кузьмин С.Е., Лутчак А.В Проектирование передающего и приемного радиотрактов радиорелейных систем терагерцового диапазона //Электросвязь.-№2.-2016.-С.42-49.