УДК 621.385.12 **DOI:** 10.31673/2412-9070.2020.026199

Я. А. КРЕМЕНЕЦЬКА, канд. техн. наук;
А. О. МАКАРЕНКО, доктор техн. наук, доцент;
В. І. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук;
С. В. МОРОЗОВА, ст. викладач,
Державний університет телекомунікацій, Київ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ, ЩО ОХОПЛЮЮТЬ МІЖДИСЦИПЛІНАРНІ ГАЛУЗІ, ЗОКРЕМА РОЗРОБЛЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЗДОРОВ'Я

Розглянуто пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних технологій у міліметровому діапазоні хвиль. Проаналізовано затребувані мережні послуги, що охоплюють такі міждисциплінарні галузі, як волоконно-ефірна архітектура мереж, оптоелектронні методи формування радіосигналів, системи моніторингу здоров'я і доставляння ліків на базі мереж рухливих об'єктів і внутрішньоклітинних нанобіосенсорних мереж. Основою майбутнього розвитку телекомунікацій передбачається реалізація нових засобів у сфері охорони здоров'я, системах безпеки, керування роботизованими механізмами, безпілотним автотранспортом, у сфері дистанційної освіти, розваг і дозвілля. Розглянуто сучасні проекти досліджень, спрямовані на розроблення нових технологій у діапазоні понад 90 ГГц для бездротових систем зв'язку з пропускною здатністю, порівнянною з волоконно-оптичними системами, для реалізації нових застосувань, зокрема системи моніторингу і діагностики здоров'я на основі носильних нанобіосентизувальних мереж. Виокремлено напрямки подальших досліджень щодо реалізації таких систем. Проаналізовано передбачувану архітектуру для наномережі охорони здоров'я. Зазначено, що сучасні дослідження охоплюють теоретичні основи механізмів зв'язку між нанопристроями, сучасне розроблення антен, тканини людини і моделювання каналів, проектування систем екологічного, епідеміологічного, охорони здоров'я, зокрема медичного моніторингу здоров'я. Показано, що екологічний і епідеміологічний моніторинг, так само, як і моніторинг стану здоров'я на базі наукових досягнень і досліджень у сфері медичних електронних технологій, телекомунікацій, а також освіти є пріоритетом у міждисциплінарних дослідженнях, на базі якого потрібна підготовка фахівців наступних поколінь.

Ключові слова: міліметрові хвилі; телекомунікаційні технології; 5G; міждисциплінарні дослідження; технології моніторингу здоров'я; наномережі.

ВСТУП

Розвиток телекомунікаційних технологій наступних поколінь спрямовано на створення комплексних систем, а також додатків, послуг у різних сферах, наприклад відео високої чіткості 4K, 8K, 3D-відео, голограми; послуги віртуальної реальності (*Virtual Reality*, **VR**); послуги Інтернету речей (IoT); послуги на основі масового підімкнення пристроїв: енергетика, транспорт, охорона здоров'я, торгівля, громадська безпека, промисловість. Під час карантину більш затребуваними стали спеціалізовані мережні послуги додатків для дистанційного навчання і занять спортом тощо. Нові додатки «killer apps» для 5G (що перебувають у стадії розроблення [1]) потребують таких параметрів якості обслуговування і необхідних характеристик підімкнення, як гарантована пропускна здатність, пікова швидкість передавання даних, покриття, надійність і мережна затримка.

Розроблення технічних вимог для спеціалізованих додатків є важливою частиною їх реалізації. Висока пропускна здатність і миттєвий відгук (режим реального часу) мають стати ключовими чинниками успішного розвитку хмарних послуг, а також стають основою майбутнього розвитку нового застосування у сфері охорони здоров'я, системах безпеки, керування роботизованими механізмами, безпілотним автотранспортом, у сфері дистанційної освіти, розваг і дозвілля.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Гібридні телекомунікаційні технології і міждисциплінарні дослідження в міліметровому діапазоні

Телекомунікаційні технології в міліметровому діапазоні хвиль (ММД, більш як 24 ГГц) розглядаються як ключове вирішення, здатне підтримувати пропускну здатність у кілька гігабіт за секунду для покоління 5G (у системах покоління 6G у діапазоні 0,1…10 ТГц передбачається пропускна здатність від десятків до сотень гігагерц). Найближчими роками очікується масове розгортання безпроводових пристроїв, оснащених модулями TX/RX 60 ГГц, працюючих у стандартах IEEE 802.15.3c і IEEE 802.15.3ad. Унаслідок дуже великих втрат у тракті (поглинання в атмосфері, слабкі прояви дифракційних механізмів поширення) передбачено передавання на відстані від

© Я. А. Кременецька, А. О. Макаренко, В. І. Кравченко, С. В. Морозова, 2020

кількох до десятків метрів. Доступність зв'язку за великої щільності користувачів і високих швидкостях можуть забезпечити гібридні технології в міліметровому діапазоні, які охоплюють міждисциплінарні сфери, такі як волоконно-ефірна архітектура мереж, оптоелектронні методи формування і модуляції радіосигналів, формування вузьконапрямленого випромінювання у ФАР гібридними оптоелектронними методами [2]. Для реалізації технології 5G (і наступних поколінь) у центрі дослідження безпроводових технологій Нью-Йоркського університету (NYU) під керівництвом Теодора Раппапорта проводяться експериментальні дослідження. Вивчаються ефекти поширення хвиль у ММД (28, 38, 60, 73, 100 та 140 ГГц) для різних сценаріїв за умов щільної міської забудови, а також усередині і поза приміщеннями. Моделюються втрати в зонах прямої видимості і поза цими зонами для стільників різних розмірів [3]. У Нью-Йоркському університеті в лабораторії ультраширокосмугових нанотехнологій і мереж (UBNANO) проводяться дослідження в діапазоні 0,1…1 ТГц, зокрема розробляються системи моніторингу здоров'я і доставляння ліків на базі мереж рухливих об'єктів і внутрішньоклітинних нанобіосенсорних мереж в інфрачервоному і видимому оптичному діапазонах. Один із проектів — це «Wearnet: smart health monitoring & diagnosis system based on wearable nano-biosensing networks» (укр. «Інтелектуальна система моніторингу і діагностики здоров'я на основі нанобіосенсорних мереж із рухливими об'єктами») [4]).

У фінському університеті Аалто (Aalto-universitetet) у департаменті електроніки і наноінженерії здійснюються передові дослідження щодо телекомунікацій ММД [5]. Тут увагу сфокусовано на багатоелементних антенних решітках, зокрема масивних MIMO, на радіочастотних вимірах для об'єктів радіолокацій і сценаріїв стільникового рухливого зв'язку, дослідженнях впливу антен на характеристики радіолінії для нового застосування 5G (і наступних поколінь), а також для медичних сценаріїв мобільного зв'язку. Виконуються експериментальні дослідження характеристик антен і каналів ММД, приймально-передавальних пристроїв у режимі реального часу, а також широкосмугові універсальні програмно-конфігуровані радіопристрої ММД [6].

В Інституті електротехніки і обчислювальної техніки університету Оттави (Канада) розміщено всесвітньо визнаний дослідницький центр у сфері фотоніки для телекомунікацій [7]. У ньому проводяться передові дослідження на основі міждисциплінарного підходу щодо штучного інтелекту, змішаної реальності, IoT, робототехніки, технологій для охорони здоров'я і доповненої реальності, зокрема технології моніторингу здоров'я та інші відповідні додатки.

Досягнення у сфері електроніки, фотоніки, нанопристроїв, систем безпроводового зв'язку дали можливість розробити компактні переносні (носильні) пристрої із подальшим застосуванням їх у галузях охорони здоров'я і медицини задля забезпечення більш швидкої і точнішої діагностики захворювань порівняно з традиційними технологіями. Нові послуги, системи розширеного моніторингу здоров'я і діагностики можуть бути реалізовані на основі телекомунікаційних систем і мереж у міліметровому діапазоні з використанням гібридних технологій. Екологічний і епідеміологічний моніторинг, а також моніторинг стану здоров'я на базі наукових досягнень і досліджень у сфері медичних електронних технологій, телекомунікацій, зокрема освіти, є пріоритетом у міждисциплінарних дослідженнях, на основі якого планується підготувати наступне покоління фахівців.

Проблеми реалізації і реальний стан досліджень наступних поколінь зв'язку

Сьогодні залишається багато проблем реалізації мереж 5G. У 2020 році з'явилися мережі 5G тільки для комерційного використання для стаціонарних мостових з'єднань. Передбачається, що мережі 5G будуть широко розгорнуті після 2020 року: ера технологій 5G проіснує ще до 2030-х років, перш ніж їх зрештою буде реалізовано [8; 9]. Виниклі світові проблеми висувають більш злободенні і пріоритетні завдання для телекомунікацій у галузях охорони здоров'я, а також дистанційної освіти. Сучасні питання, обговорювані на наукових конференціях, перейшли в такі напрямки: «Які проблеми можуть бути непереборними для 5G?» Чи зобов'язують вони появу нової парадигми як 6G?», «Які застосування стануть ключовими бізнес-драйверами для мереж за межами 5G?», «Чи перебувають 6G на перетині штучного інтелекту і 5G? (маючи уявлення про те, що штучний інтелект можна використовувати не лише для керування і оптимізації мережі)» тощо. Рівень невизначеності в майбутньому дедалі зростає навколо телекомунікаційної галузі, що зумовлено швидкими технологічними, нормативними змінами і змінами попиту споживачів. Також необхідно зважати на те, що безперечним показником ступеня соціального розвитку суспільства є забезпечення людей високим рівнем медичного обслуговування.

Пріоритет методів оброблення сигналів ММД

Збільшення пропускної здатності телекомунікаційних систем здійснюється здебільшого за двома ключовими підходами: ускладнення методів оброблення сигналів і розширення смуги

передавання. До методів ускладнення обробления сигналу належать, наприклад, багатовимірні види модуляції, спектральні і просторові методи (MIMO-технологія), методи мультиплексування, які також є спектрально-ефективним вирішенням. Другий шлях — розширення спектрального ресурсу до частот міліметрового 30…300 ГГц (у майбутньому і терагерцового діапазону 0,3…3 ТГц). Проте з підвищенням робочої частоти збільшуються шуми сигналу, які вносяться передавальним модулем. Особливо це позначається на фазових і частотних спотвореннях високочастотного сигналу ММД. Для спектрально-ефективних методів QAM-модуляції (особливо багатопозиційних) передусім зростають вимоги щодо стабільності частоти і рівня фазового шуму. Оптоелектронні методи формування і модуляції сигналів ММД мають нижчі шумові характеристики порівняно з електронними, проте мають обмеження за вихідною потужністю, дискретністю перебудови частоти, ширини радіоканалу і іншими характеристиками генерованих сигналів. У разі використання багатопозиційних QAM і OFDM-систем також потрібний високий пік-фактор (PAPR) сигналу, для якого потрібне підвищення лінійного діапазону використовуваних підсилювачів у тракті передавання, а також розрядності ЦАП/АЦП, що є обмежувальними чинниками для пристроїв у ММД. Нині експериментально здобуто для швидкостей більш як 10 Гбіт/с з модуляцією 16-QAM відстаней передавання від кількох сантиметрів до кількох метрів [2].

Також на відміну, наприклад від дециметрового діапазону, сигналам ММД притаманні ефекти розсіяння, перевипромінювання в атмосфері, багатопроменевого поширення, під час яких відбуваються спотворення сигналу ММД. Моделювання каналів ММД з урахуванням таких ефектів поширення перебуває у стадії розроблення. Методи формування вузьконапрямленого випромінювання у ФАР мають реалізацію на цьому етапі тільки на основі аналогової фотоніки [10]. Для методів модуляції сигналів ММД можливо ефективним вирішенням є менш складні види, зокрема частотна маніпуляція (англ. *Frequency shift keying*, **FSK**), амплітудна маніпуляція (англ. *Amplitude shift keying*, **ASK**), двопозиційна маніпуляція (англ. *On-off keying*, **OOK**) і фазо-імпульсна модуляція (англ. *Pulse position modulation*, **PPM**). Для терагерцового діапазону (0,1…10 ТГц) на основі аналізу експериментальних вимірів для наномашинних мереж зв'язку (не більш як кілька метрів) запропоновано як спосіб модуляції найпростіший метод «увімкнення-вимкнення» (*on-off keying*, **OOK**) на фемтосекундних імпульсах [11]. У роботі [12] показано, що фазові і частотні спотворення, що вносяться високочастотними несучими, ефективно зменшуються з використанням методу послаблення на основі аналогового пілот-сигналу.

На початку 2017 року було розгорнуто шість проектів для розроблення нових технологій у діапазоні понад 90 ГГц для безпроводових систем зв'язку з пропускною здатністю, порівнянною з волоконно-оптичними системами, для реалізації нових методів використання. У інноваційному проекті «Terranova» [13] планується розширити якість безпроводових ліній зв'язку на основі волоконно-оптичних систем із застосуванням частоти, вищої за 275 ГГц. Розроблення проекту засновані на безпроводових інтерфейсах терагерцового діапазону і їх інтеграції з фотонними компонентами. Це означає надійне з'єднання з надзвичайно високими швидкостями передавання даних у режимі терабіт за секунду і майже «нульовою затримкою» для мереж 5G (і наступних поколінь).

Мета проекту DREAM [14] (діапазон частот 130…174,8 ГГц) ґрунтується на енергоефективному і кремнієвому аналоговому вхідному модулі приймача BiCMOS, який працює в діапазоні D і забезпечує економічно ефективне розгортання стільникових мереж, інтегрованих із безшовною технологією з волоконно-оптичними системами і антенними решітками з керуванням променем для реалізації концепції мережі 5G в реалістичному середовищі.

Для реалізації телекомунікаційних систем у ММД передбачаються нові підходи для побудови і моделювання, що враховують унікальні властивості поширення хвиль у відкритих і закритих середовищах, ефективність використання гібридних технологій, фазові спотворення, нелінійність характеристик приймально-передавального обладнання, динамічні обмеження, які можуть стати перепоною практичного використання спектрально-ефективних модуляцій на ММД.

Системи ММД моніторингу здоров'я і діагностики захворювань на основі носильних нанобіосенсорів

Значні досягнення в галузях електроніки, фотоніки, технологій безпроводового зв'язку дали можливість розробити компактні носильні пристрої з додатками в різних сферах, таких як здоров'я і медицина. Але з огляду на їх потенційні перспективи наявні носильні пристрої здатні вимірювати лише кілька параметрів (наприклад, пульс, дихання, температуру, кров'яний тиск). Нанотехнології уможливлюють розроблення мініатюрних давачів, які можуть безпрецедентно точно виявляти різні типи подій, пов'язані зі здоров'ям людини, на нанорівні. Системи in-vivo nanosensing, які можуть працювати в організмі людини в режимі реального часу, було запропоновано як спосіб забезпечити швидшу і точнішу діа-

гностику захворювань порівняно з традиційними технологіями. Але незважаючи на перспективи, у наявних системах є кілька обмежень — це вартість і громіздкість існуючих портативних систем, що обмежують їх вплив на реальний світ. Метою проекту UBNANO [4] є розроблення інтелектуальної системи обслуговування для розширеного моніторингу здоров'я і діагностики захворювань на основі носильних мереж нанобіосенсорів. Система складається з трьох елементів: 1) наноплазмового біочіпа, який має бути імплантований під шкіру і призначений для реагування на біомаркери; 2) носильна смарт-смуга, об'єднана нанофотонними пристроями для збудження і вимірювання імплантата; 3) програмна платформа для оброблення виміряних сигналів, отримання інформації і постановки діагнозу (рис. 1).

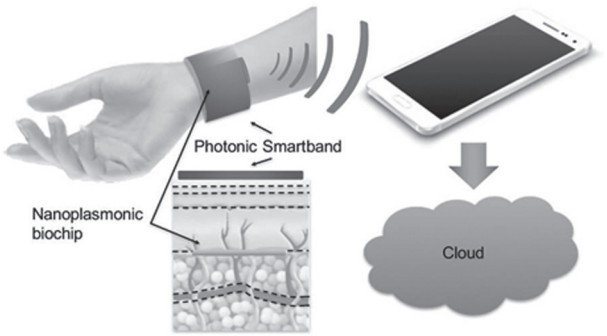

Рис. 1. Розумна система моніторингу і діагностики здоров'я на основі носильних нанобіосинтезувальних мереж [4]

Очікується, що завдяки об'єднанню зусиль у міждисциплінарних галузях електроніки і передових біомедичних пристроїв, цей проект дасть можливість створити системи моніторингу здоров'я. Важливо також зазначити, що інтеграція досліджень і промисловості з освітою є пріоритетом у цій міждисциплінарній діяльності, яка готуватиме наступне покоління студентів-учених. Проектом керує міждисциплінарна група дослідників з Університету Буффало за участю факультетів електротехніки, хімічної і біомедичної інженерії та ортопедії. Проект охоплює чотири взаємозв'язані напрямки досліджень. Перший напрямок спрямовано на розроблення технології наноплазмового біосинтезування на основі розумної системи охорони здоров'я. Це включає в себе наноплазмовий біочіп, що імплантується, а також оптичні наноджерела і нанофотодетектори, вбудовані в носильний пристрій. Другий напрямок скеровано на розроблення програмних алгоритмів для динамічного калібрування і роботи з наноджерелами, збору і подальшого оброблення виміряних сигналів на нанофотодетекторах із урахуванням внутрішньоканального безпроводового каналу, отримання діагностичної інформації і забезпечення безпеки. Третю спрямованість зосереджено на оптимізації наноплазмового біочіпа на біологічні тканини, розроблення методів регенерації біочіпа для продовження роботи імпланта, оброблення і поширення конфіденційних даних, пов'язаних із здоров'ям користувачів.

Дослідницька фінська група Університету Аалто [5] «Міліметрова хвиля» і «Техніка ТГц» ставить своєю метою пошук застосування «killer apps» для терагерцового випромінювання. Поточні проекти охоплюють розроблення фотонних компонентів на основі оптоелектронних методів перетворення зі зниженням частоти, квазіоптичних методів вимірювання в смузі від 325 до 500 ГГц. Одним із основних напрямків роботи є медична візуалізація, де формуються системи, які створюють чутливі і специфічні просторово-часові карти вмісту води в тканинах. Ці карти використовуються для раннього виявлення і постійного моніторингу захворювань і патологій.

Використовуючи біонанодавачі в медицині, можна реалізувати систему моніторингу електронної охорони здоров'я, а також системи доставляння електронних ліків [4] за допомогою нанороботів. Кінцева мета полягає в тому, щоб під'єднати наномережу до мережі Інтернет, за допомогою якої електронне життя і електронне здоров'я можуть бути реалізовані [6] (рис. 2).

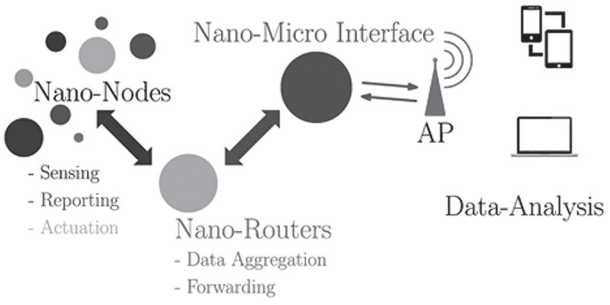

Рис. 2. Передбачувана архітектура для наномережі охорони здоров'я

Розвиток нових матеріалів, зокрема графену і вуглецевих нанотрубок, які можуть працювати на терагерцових частотах, відкриває нові можливості для застосування цих нанопристроїв усередині тіла.

Наномережі мають широкий спектр застосування і можуть бути в основному поділено на такі групи: екологічні, біомедичні, військові і промислові. Таким чином, можна зазначити, що дослідження охоплюють теоретичні основи механізмів зв'язку між нанопристроями, сучасні розроблення антен, тканини людини і моделювання каналів, проектування систем екологічного, епідеміологічного і охорони здоров'я, зокрема медичного моніторингу здоров'я.

ВИСНОВКИ

Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних технологій охоплюють міждисциплінарні

галузі, такі як волоконно-ефірна архітектура мереж, оптоелектронні методи формування радіосигналів, системи моніторингу здоров'я. В основі майбутнього розвитку з'являються нові підходи до застосування у сфері охорони здоров'я, системах безпеки, керування роботизованими механізмами, безпілотним автотранспортом, у сфері дистанційної освіти, розваг і дозвілля. Для реалізації таких систем у перспективі потрібне вирішення таких завдань:

- аналіз особливостей і переваг, обмежувальних чинників і методів їх компенсації під час застосування хвиль міліметрового діапазону в наступних поколіннях телекомунікаційних систем;
- аналіз методів і підходів у процесі математичного моделювання радіоканалів у міліметровому діапазоні;
- аналіз гібридних технологій, що сприяють реалізації і підвищенню ефективності застосування міліметрового діапазону в телекомунікаційних системах;
- розроблення і обґрунтування застосування фотонних (оптоелектронних) методів формування, модуляції і передавання радіочастотного сигналу міліметрового діапазону з урахуванням шумових і обмежувальних характеристик електричних і оптичних компонентів (міждисциплінарна галузь);
- розроблення квазіоптичної моделі радіоканалу в ММД, яка може бути використана для розрахунку інтерференційних завад, втрат сигналу в багатопроменевих моделях поширення з урахуванням розбіжності випромінювання, множинного віддзеркалення і дифракції, а також ефектів поглинання сигналу в різних середовищах;
- розроблення інтегрованої волоконно-ефірної архітектури мережі з дистанційним частотним перетворенням, з поляризаційним і спектральним мультиплексуванням каналів для безшовної інтеграції мереж HetNet із високою пропускною здатністю, порівнянною із швидкістю передавання у волоконно-оптичних мережах;
- розроблення математичної моделі, що описує закономірності оптоелектронного формування випромінювання в ММД хвиль із високим коефіцієнтом посилення для ФАР з урахуванням оптичних і електричних шумів;
- розроблення напрямків подальших досліджень телекомунікаційних систем ММД у сфері створення компактних носильних медичних пристроїв із додатками для контролю здоров'я;
- розроблення мініатюрних давачів, здатних виявляти різні типи подій, пов'язані зі здоров'ям людини в режимі реального часу; розроблення технічних вирішень екологічного і епідеміологічного моніторингу, а також рекомендацій щодо підвищення їх ефективності;
- створення освітньої програми і інформаційної бази для студентів і фахівців у галузі міждисциплінарних технологій, зокрема волоконно-оптичні технології, електротехніка, телекомунікаційні системи зв'язку, радіотехнології, технології охорони здоров'я, віддаленого моніторингу в режимі реального часу тощо.

Список використаної літератури

1. ***2020*** *Telecommunications Industry Outlook [Електронний ресурс] // Deloitte. URL: https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/telecommunications-industry-outlook.html*

2. ***Yu J., Li X., Zhou W.*** *Tutorial: Broadband fiber - wireless integration for 5G+ communication // APL Photon. 2018. Vol. 3, no. 11.*

3. ***NYU*** *WIRELESS Industrial Affiliates Program [Електронний ресурс] // NYU WIRELESS. URL: https://wireless.engineering.nyu.edu/*

4. ***Projects*** *[Електронний ресурс] // Laboratory. URL: https://unlab.tech/projects/*

5. ***Aalto*** *University [Електронний ресурс] // Aalto University. URL: https://www.aalto.fi/en*

6. *Järveläinen J., Haneda K. and Karttunen A. Indoor propagation channel simulations at 60 GHz using point cloud data // IEEE Trans. Antennas Propag. Oct. 2016. Vol. 64, no. 10. P. 4457–4467.*

7. ***University*** *Ottawa [Електронний ресурс] // uOttawa. URL: https://www.uottawa.ca/en*

8. ***5G*** *[Електронний ресурс] // CNet explore. URL: https://www.cnet.com/news/5g*

9. ***Scattering*** *mechanisms and modeling for terahertz wireless communications / S. Ju, S. Shah, M. Javed [et all.] // IEEE International Communications Conference (ICC), Shanghai, May. 2019. P. 1–7.*

10. ***Millimeter-wave*** *communications: Physical channel models design considerations antenna constructions and link – budget / I. A. Hemadeh, K. Satyanarayana, L. Hanzo, M. El-Hajjar // IEEE Commun. Surveys Tuts. 2nd Quart. 2018. Vol. 20, no. 2. P. 870–913.*

11. ***Stochastic*** *Interference Modeling and Experimental Validation for Pulse-based Terahertz Communication / Z. Hossain, C. Mollica, J. Federici, J. M. Jornet // IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 18, no. 8. P. 4103–4115.*

12. ***Demonstration*** *of analog millimeter - wave fronthaul link for 64-QAM LTE signal transmission/ J. Chen, B. E. Olsson, J. Hansryd, I. Gerszberg // IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015 - Fall), Boston, MA, 2015, P. 1–5.*

*13. **White** papers [Електронний ресурс] // Terranova. URL: https://ict-terranova.eu/*

*14. **D-band** Radio solution Enabling up to 100 Gbps reconfigurable. Approach for Meshed beyond 5G networks [Електронний ресурс] // Dream. URL: http://www.h2020-dream.eu/*

Я. А. Кременецкая, А. А. Макаренко, В. И. Кравченко, С. В. Морозова

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА, ОХВАТЫВАЮЩИЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ОБЛАСТИ, ВКЛЮЧАЯ РАЗРАБОТКИ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ

Рассмотрены приоритетные направления развития телекоммуникационных технологий в миллиметровом диапазоне волн. Проанализированы востребованные сетевые услуги, которые охватывают междисциплинарные области, такие как волоконно-эфирная архитектура сетей, оптоэлектронные методы формирования радиосигналов, системы мониторинга здоровья и доставки лекарств на базе сетей подвижных объектов и внутриклеточных нанобиосенсорных сетей. Основой будущего развития телекоммуникаций предполагается реализация новых применений в сфере здравоохранения, системах безопасности, управления роботизированными механизмами, беспилотным автотранспортом, в сфере дистанционного образования, развлечений и досуга. Рассмотрены современные проекты исследований, которые направлены на разработку новых технологий свыше 90 ГГц для беспроводных систем связи с пропускной способностью, сравнимой с волоконно-оптическими системами, для реализации новых приложений, в том числе системы мониторинга и диагностики здоровья на основе носимых нанобиосентизирующих сетей. Выделены направления дальнейших исследований в области реализации таких систем. Проанализирована предполагаемая архитектура для наносети здравоохранения. Отмечено, что современные исследования охватывают теоретические основы механизмов связи между наноустройствами, современные разработки антенн, ткани человека и моделирование каналов, проектирование систем экологического, эпидемиологического, здравоохранительного, в том числе медицинского мониторинга здоровья. Показано, что экологический и эпидемиологический мониторинг, а также мониторинг состояния здоровья на базе научных достижений и исследований в области медицинских электронных технологий, телекоммуникаций, включая образование, является приоритетом в междисциплинарных исследованиях, на базе которого необходима подготовка специалистов следующих поколений.

Ключевые слова: миллиметровые волны; телекоммуникационные технологии; 5G; междисциплинарные исследования; технологии мониторинга здоровья; наносети.

Y. A. Kremenetskaya, A. O. Makarenko, V. I. Kravchenko, S. V. Morozova

MILLIMETER WAVE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES COVERING INTERDISCIPLINARY AREAS, INCLUDING HEALTH MONITORING DEVELOPMENTS

The paper considers the priority areas for the development of millimeter wave telecommunication technologies. The network services in demand, which cover interdisciplinary areas, such as fiber-ether network architecture, optoelectronic methods for generating radio signals, health monitoring and drug delivery systems based on mobile networks and intracellular nano-biosensor networks, are analyzed. The basis for the future development of telecommunications is the implementation of new applications in healthcare, security systems, control of robotic mechanisms, unmanned vehicles, in the field of distance education, entertainment and leisure. Modern research projects that are aimed at developing new technologies over 90 GHz for wireless communication systems with a bandwidth comparable to fiber-optic systems for implementing new applications are considered. Including health monitoring and diagnosis systems based on wearable nanobiosensing networks. The directions of further research in the field of the implementation of such systems are highlighted. The proposed architecture for the health care network is analyzed. It was highlighted that modern research covers the theoretical foundations of the mechanisms of communication between nanodevices, modern development of antennas, human tissue and channel modeling, design of environmental, epidemiological, and public health systems, including medical health monitoring. It has been shown that environmental and epidemiological monitoring, as well as health monitoring based on scientific achievements and research in the field of medical electronic technologies, telecommunications, including education, is a priority in interdisciplinary research, on the basis of which it is necessary to train the next generations of specialists.

Keywords: millimeter waves; telecommunication technologies; 5G; interdisciplinary research; health monitoring technologies; nanoscale networks.