

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕЗДРОТОВОЇ СИСТЕМИ 5G ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Kravchenko V.I., Neima I.V., Shulga O.A., Ivanets Y.V. 5G wireless work research under different environmental conditions.**

The huge increase of the data traffic was exited the borne of 5th Generation (5G) mobile communication system looking at 10 Gbps data rate and around 1ms latency. As the cellular data demand increasing, the actual 3 GHz spectrum band becoming so crowded. This leads to look for a new allocated mobile communication frequency bands that can offer a broadband amount of spectrum. In 5G mobile system the ultra-wide millimeter wave (mmWave) spectrum will be adopted. mmWave frequency band starting from 30 GHz to 300 GHz, constitutes a substantial portion of the unused frequency spectrum, which is an important resource for future wireless communication systems in order to fulfill the exponential demand of capacity. In this paper, we provide a survey on the mm-Wave frequency band general characteristics and its main challenges; we also state the required technologies that were necessary for making 5G system as a real and efficient solution.

**Key words:** 5G, Millimeter Wave Communications, Path Loss, Beamforming, Small Cells, Massive-MIMO, FBMC, Device-To-Device (D2D) Communication

**Кравченко В.І., Нейма І.В., Шульга О.А., Іванець Ю.В. Дослідження роботи бездротової системи 5G при різних умовах навколишнього середовища.**

Величезний приріст трафіку даних припинився завдяки системі мобільного зв'язку 5-го покоління (5G), яка використовує швидкість передачі даних 10 Гбіт/с і затримку близько 1 мс. Із збільшенням попиту на дані стільникового зв'язку фактична смуга спектра 3 ГГц стає переповненою. Це призводить до пошуку нових виділених смуг частот мобільного зв'язку, які можуть запропонувати широкосмуговий обсяг спектру. У мобільній системі 5G буде прийнятий ультраширокий міліметровий хвильовий (mmWave) спектр. Частотний діапазон хвиль, починаючи від 30 ГГц до 300 ГГц, замінює значну частину невикористаного частотного спектру, який є важливим ресурсом для майбутніх систем бездротового зв'язку для задоволення експоненціального попиту на потужність. У цій роботі ми пропонуємо опис загальних характеристик частотного діапазону міліметрової хвилі та її основних завдань; ми також констатуємо необхідні технології, необхідні для того, щоб зробити систему 5G як реальне та ефективне рішення.

**Ключові слова:** 5G, міліметрові хвильові комунікації, втрата тракту, формування променя, малі клітини, Massive-MIMO, FBMC, комунікація між пристроєм (D2D).

**Кравченко В.И., Нейма И.В., Шульга А.А., Иванец Ю.В. Исследование работы беспроводной связи 5G при различных условиях окружающей среды.**

Огромный прирост трафика данных прекратился благодаря системе мобильной связи 5-го поколения (5G), которая использует скорость передачи данных 10 Гбит/с и задержку около 1 мс. С увеличением спроса на данные сотовой связи фактическая полоса спектра 3 ГГц становится переполненной. Это приводит к поиску новых выделенных полос частот мобильной связи, которые могут предложить широкополосный объем спектра. В мобильной системе 5G будет принят ультраширокий миллиметровый волновой (mmWave) спектр. Частотный диапазон волн, начиная от 30 ГГц до 300 ГГц, заменяет значительную часть неиспользованного частотного спектра, который является важным ресурсом для будущих систем беспроводной связи для удовлетворения экспоненциального спроса на мощность. В этой работе мы предлагаем описание общих характеристик частотного диапазона миллиметровой волны и ее основных задач; мы также констатируем необходимые технологии, необходимые для того, чтобы сделать систему 5G как реальное и эффективное решение.

**Ключевые слова:** 5G, миллиметровые волновые коммуникации, потеря тракта, формирования луча, малые клетки, Massive-MIMO, FBMC, коммуникация между устройством (D2D).

© Кравченко В.І., Нейма І.В., Шульга О.А., Іванець Ю.В., 2019

## Вступ

Феноменальний успіх мобільних систем зв'язку дзеркально відображається швидкими темпами інноваційних технологій. З другого покоління (2G) система мобільного зв'язку дебютувала у 1992 році. Система 3G, вперше запущена в 2001 р. Бездротова мобільна мережа перетворилася від чистої системи телефонії до мережі, яка може транспортувати багатий мультимедійний вміст. 4G система або довгострокова еволюція – просунута (LTE-A) запроваджена в 2011 році, яка налагодила широкосмуговий зв'язок (1 Гбіт/с) через використання Massive MIMO та ортогональних мультиплексування частотного поділу (OFDM) технологій [1].

У цьому контексті очікується, що технології бездротового зв'язку 5-го покоління (5G) досягнуть в 1000 разів більшого обсягу мобільних даних на одиницю площі, в 10-100 разів більшу кількість підключених пристроїв та швидкість передачі даних користувача, в 10 разів більший термін служби акумулятора та дуже скорочена затримка. Хоча для мереж 4G очікується, що середня швидкість передачі даних для одного користувача становитиме 1 Гбіт/с, постулюється, що швидкість передачі даних в комірці порядку 10 Гбіт/с буде ключовим атрибутом мережі [2-4]. У стільниковому діапазоні частоти системи нижче 6 ГГц широко використовуються, що ускладнює операторам отримати більш широкі діапазонні дані. Крім того, 5G мобільна бездротова система наступного покоління очікується, що розміщення буде значно більшим кількісним з бездротовими з'єднаннями для кращої підтримки існуючої та нової програми, в тому числі багато машинних програм (M2M) які вимагають більш жорсткої якості обслуговування (QoS), включаючи кращу затримку, надійність та більш високу енергоефективність. Наприклад, бездротовий зв'язок, що підтримує смарт підключені машини для безпеки дорожнього руху, дистанційний моніторинг, і контроль у режимі реального часу повинен задовольняти дуже суворий характер обмеження затримки та надійності. Крім того, бачення гіперпов'язаного світу з мільярдами бездротових зав'язків, де весь світ, люди та речі можуть бути з'єднані між собою безпроводним зв'язком в так званій (IoT) [4, 7]. Зв'язок міліметрової хвилі - це є перспективна технологія для майбутньої мобільної 5G системи, яка може забезпечити швидкість передачі даних на рівні Гбіт/с в широкій смузі частот від 30 ГГц до 300 ГГц, тому він значно менший від довжини хвиль, починаючи від 1 мм до 100 мм, поки частоти 4G мають довжину хвиль, яка становить десятки сантиметрів. Втрата шляху для міліметрової хвилі є основоположним і може обмежити поширення. У бездротовій мережі інженерне суспільство, поширило міф про те, що атмосфера та дощ складають неприємні умови для розповсюдження міліметрової хвилі. 14 липня 2016 року FCC проголосувала за прийняття нової міліметрової хвилі в ліцензованих діапазонах, а саме 28 ГГц (27,5-28,35 ГГц), 37 ГГц (37-38,6 ГГц), 39 ГГц (38,6-40 ГГц) для підтримки проекту 5G.

## 1. Технічні вимоги до системи 5G

Академія та галузі погоджують наступні технічні вимоги до 5G бездротової мережі.

- Охоплення та швидкість передачі даних: 5G повинно зберігати підключення до Інтернету в будь-який час і в будь-якому місці з мінімальними даними про досвід передплатників швидкість від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с.
- Затримка: вимога затримки в кінці очікується, що 5G становитиме 1-5 мс.
- Підключені пристрої: мережа 5G матиме можливість інтегрувати багато підключених пристроїв, щільність цих пристроїв буде збільшуватися в 100 разів, при цьому трафік щільність зросте в 1000 разів порівняно з бездротовою мережею 4G.
- Кілька технологій радіодоступу: 5G мережа не вважається заміною існуючій бездротовій мережі. Вона буде побудована на сучасних бездротових технологіях, таких як: GSM, 3G, HSPA, 4G (LTE-A) та бездротовий зв'язок (Wi-Fi).

Енерго та економічна ефективність: бездротові 5G мережі повинні бути створені для задоволення потреб програм.

## 2. Проведення пропagaції міліметрових хвиль

Найбільш важливі завдання, що впливають на експлуатацію діапазону мм-хвиль для системи мобільного зв'язку 5G, показані на рис. 1 і можуть бути узагальнені наступним чином:

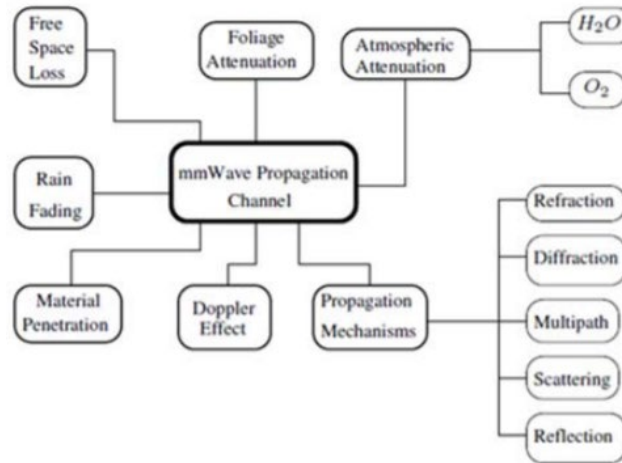


Рис. 1. Основні проблеми з розповсюдженням у мм-хвилі

Втрати шляху для мм-хвиль значні і можуть обмежити поширення. Два типи шляху:

Перший тип - модель втрати вільного простору.

Другий тип - міська модель мікроелемент (UMi) великомасштабна модель втрат шляху.

Модель вільних втрат простору (FSPL) Наприклад, втрата вільного простору між двома комунікаційними ізотропними антенами розділені на відстань  $d$  в кілометрах (км) і робота на частоті  $f$  в МГц задається [3].

$$FSPL_{dB} = 32.4 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad (1)$$

Рівняння (1) можна сформулювати так:

$$FSPL_{dB} = 92.4 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad (2)$$

де  $L_{FSL}$  втрата вільного простору в дБ,  $F_c$  є несуча частота в ГГц;  $d$  - відстань LOS між передавачем і приймачем в км.

Це означає високу  $L_{FSL}$  при надходженні несучої частоти смугу частот хвилі мм в порівнянні з діапазон sub-3 ГГц. Втрата вільного простору між передавальною та приймальною антеною зростає з частотою несучої  $f_c$ . Всенаправлена втрата тракту приблизно на 20 дБ вище на частотах мм-хвиля щодо поточної мобільної частоти на відстанях, важливих для малих комірок як проілюстровано тут на рис. 2, використовуючи (2) для випадку 30 ГГц і 3 ГГц відповідно. Однак, тому що зменшеної довжини хвилі ця втрата може бути повністю компенсуватися пропорційним збільшенням у посиленні антени без збільшення фізичної антени, розмір який можна досягти, використовуючи масивну техніку антенного та променевого формування [5].

Широкомасштабний шлях міських мікроелементів (UMi) модель втрат. Загальна модель втрати контуру (CI) UMi враховує частотну залежність втрати шляху шляхом використання опорної відстані на основі Закон Фріса подано [7].

$$PL^{CI}(f_c, d_{3D})[dB] = FSPL(f_c, 1m) + 10n \log_{10}(d_{3D}) + x_{\sigma}^{CI} \quad (3)$$

де  $x_{\sigma}^{CI}$  це тінь, що згасає (СФ), тобто моделюється як нульова середня Гауссова випадкова величина при стандартному відхиленні в дБ,  $n$  - втрата шляху показник (PLE),

знайдений мінімізацією помилок вимірювані дані до (2),  $d_{3D} > 1m$ , FSPL ( $f$ ; 1m) - втрата вільного простору (FSPL) на частоті  $f_c$  в ГГц на 1 м і обчислюється:

$$FSPL(f_c, 1m) = 20 \log_{10}\left(-\frac{4\pi f_c \times 10^9}{c}\right) = 32.4 + 20 \log_{10}(f_c)[dB] \quad (4)$$

де  $c$  - швидкість світла,  $3 \times 10^8$  м/с.

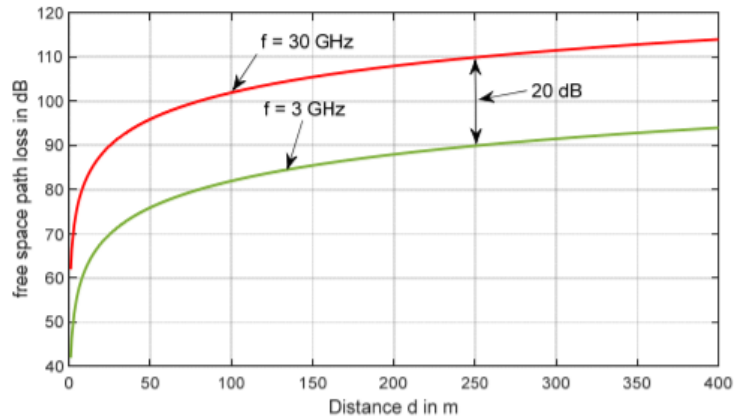


Рис. 2. Втрата вільного простору

За допомогою (4) зрозуміло, що (3) можна представити як наведено у (5) та (6) нижче, щоб представити міську мікро (UMi) модель втрати тракту для зовнішніх та вуличний каньйон для сценаріїв LOS та NLOS відповідно. Ці рівняння справедливі для діапазон частот між 6 ГГц і 100 ГГц.

$$PL_{LOS} = 32.4 + 21 \log_{10} d_{3D} + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma} \quad (5)$$

$$PL_{NLOS} = 32.4 + 31.7 \log_{10} d_{3D} + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma} \quad (6)$$

де  $f_c$  - несуча частота в ГГц ( $6 < f_c < 100$  ГГц),  $d_{3D}$  - відстань від вершини UE до вершини BS у метрах, як показано на рисунку рис. 3. Коефіцієнт затінення представлений символом  $x_{\sigma}$  це є Гауссова змінна із середнім нулем і стандартне відхилення  $\sigma=3.78$  та  $\sigma=8$  для LOS та NLOS відповідно.

Вищевказана модель СІ пов'язана з втратою шляху частота до фізичної втрати шляху вільного простору на 1м згідно рівняння вільного простору Фріса і має показано, що вона була міцною і точною в різних сценарії.

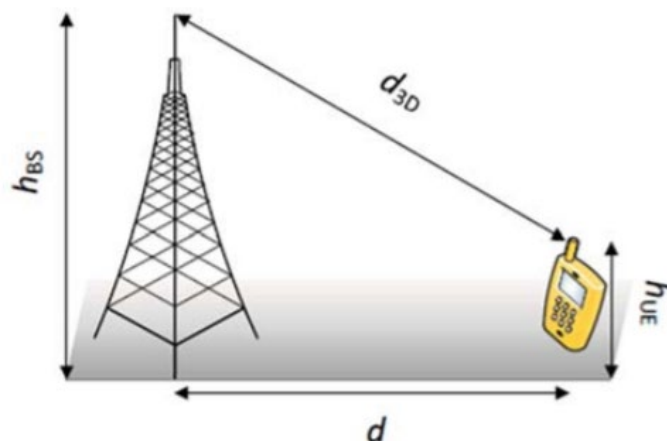


Рис. 3. Посилання на відстані для UMi

Послаблення дощу. У сильний дощ можлива передача сигналу міліметрової хвилі зазнає серйозного ослаблення, оскільки краплі дощу є близькі за розміром довжини радіохвиль і, отже, призводить до розсіювання. За дуже сильних опадів 25 мм/год, загасання на 28 ГГц має ослаблення 6 дБ/км [8].

Однак ослаблення дощу зменшиться до приблизно  $(6/1000) \times 200 = 1,2$  дБ, якщо зони покриття комірок знаходяться в радіусі 200м. Очевидно, ослаблення дощу може дати незначний вплив на розповсюдження хвиль на 28 ГГц до 38 ГГц для малих комірок.

Атмосферна абсорбція. Загальновідомо, що кисень і вода пари (H<sub>2</sub>O) мають вплив на атмосферу. На рис. 4 представлено атмосферне поглинання характеристики по частоті для міліметрової хвилі поширення в дБ/км. Ослаблення, пов'язане з атмосферним поглинанням яке становить 0,012 дБ, понад 200 м при 28 ГГц і 0,016 дБ, понад 200 м на 38 ГГц. У межах від 70-100 ГГц і 125-160 ГГц також мають невеликі втрати.

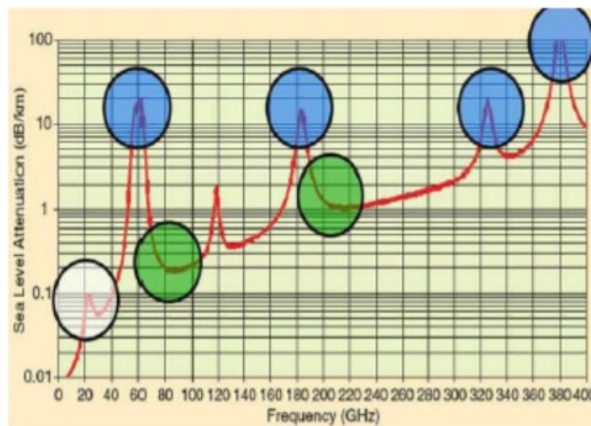


Рис. 4. Атмосферне поглинання електромагнітних хвиль на рівні моря

Через значне загасання атмосфери (20 дБ/км), угода про 60 ГГц повинна призначається для малої дальності (декілька метрів) в приміщенні застосування.

Massive MIMO - це використання декількох антен на обох передавач і приймач для підвищення мобільності продуктивність системи. Системи MIMO завоювали підвищену увага завдяки їх здатності до посилення спектральної ефективності та покращення ємність. Як правило, чим більше антен передавач/приймач встановлять разом, тим більше шляхів сигналу та краща надійність зв'язку та швидкість передачі даних [9]. Методи Massive MIMO були раніше представлений у поточному мобільному телефоні 4G систем [28].

Massive MIMO - це підтримка збільшення антенних масивів, більше елементів, ніж у системах, що побудовані в даний час, наприклад, 100 антен і більше.

Massive MIMO також називають масштабною антенною системою, large MIMO, hyper MIMO і fulldimension MIMO, і це буде вести шлях до 5G стільникової системи [10]. Рис. 5a показує, що FD-MIMO залежить від 3D-форматування променя в порядок управління промінням у тривимірному просторі. Рис. 5b показує налаштування Massive MIMO розробленого для цілей вимірювання і включає його компактний круговий масивний масив MIMO із 128 антенних портів.

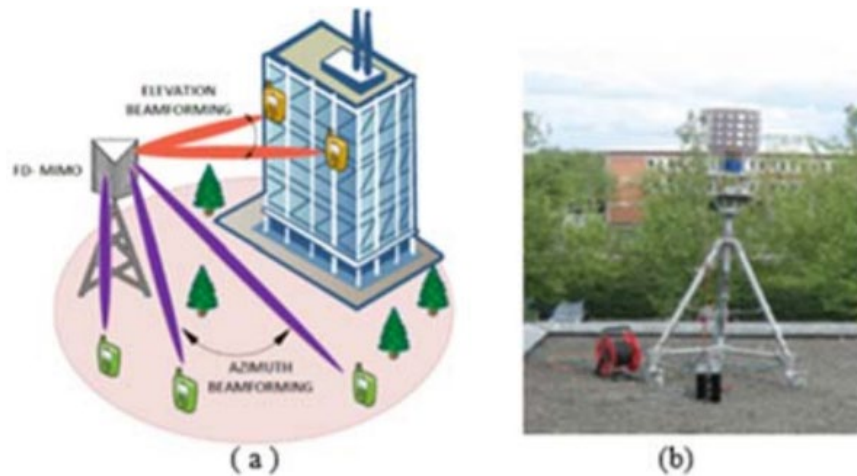


Рис. 5. (a) FD-MIMO, (b) Massive MIMO

### Висновки

Міліметрова хвиля була прийнята як технологія для мобільних систем 5G. Ця технологія забезпечує швидкість передачі даних на багато більше Гбіт/с в діапазон частот від 30 ГГц до 300 ГГц.

У цій роботі було зосереджене опитування встановлені на викликах міліметрової хвилі і основні технології, необхідні для включення 5G мобільної системи для ефективного використання цієї смуги. Високі втрати на шляху, загасання атмосфери, дощі ослаблення та обмежена продуктивність пристрою ймовірно, основні перешкоди для встановлення практичних схеми та системи на частотах міліметрової хвилі.

Але з іншого боку, величезна доступна пропускна здатність, менший розмір антени, точніша роздільна здатність і проникаюча здатність за допомогою тонких матеріалів унікальної якості, які роблять системи міліметрових хвиль привабливими. Антена з фазовою решіткою з кремнію в міліметровій хвилі була активною дослідницькою сферою в минулі декілька років. Перший фазовий масив із силіконовою фазовою антеною з приєднаними на мікросхемі антенами вже була розроблений і виготовлений на частоті 110 ГГц і була реалізована в 0,18 мкм SiGe BiCMOS технології.

Ми робимо висновок, що хоча системи мм-Вт мають все направлену втрату шляху, яка становить 20 дБ, що гірше ніж у фактичних 3 ГГц, використання невеликих розмірів комірок у міських умовах на порядку 200 м в поєднанні з антенною решіткою техніка брусового формування здатна повністю компенсує втрати, тому 5G мобільна система це буду працювати.

### Список використаної літератури

1. A. Hashimoto, et al., "Roadmap of IMT advanced development," IEEE Microwave magazine, vol. 9, pp. 80-88, 2008.
2. G. R. MacCartney and T. S. Rappaport, "Rural macrocell path loss models for millimeter wave wireless communications," IEEE journal on selected areas in communications, vol. 35, pp. 1663-1677, 2017.
3. I. A. Hemadeh, et al., "Millimeter-wave communications: physical channel models, design considerations, antenna constructions, and link-budget," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, pp. 870-913, 2018.
4. S. V. K. Kumar and T. V. Poornima, "A Study of Wireless Mobile Technology," International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 4, pp. 470-474, 2014.

5. T. S. Rappaport, et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," IEEE Access, vol. 1, pp. 335-349, 2013. 4
6. S. Sun, et al., "Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5G wireless communications," IEEE transactions on vehicular technology, vol. 65, pp. 2843-2860, 2016.
7. S. Sun, et al., "Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5G wireless communications," IEEE transactions on vehicular technology, vol. 65, pp. 2843-2860, 2016.
8. F. C. C. (FCC), "Millimeter wave propagation: spectrum management implications," Bulletin, vol. 70, pp. 1-24, 1997.
9. A. Marcano, "Capacity Dimensioning for 5G Mobile Heterogeneous Networks," 2018.
10. Z. Pi and F. Khan, "A millimeter-wave massive MIMO system for next generation mobile broadband," in 2012 Conference Record of the Forty Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (ASILOMAR), 2012, pp. 693-698.

*Автори статті*

**Кравченко Владислав Ігорович** - кандидат технічних наук, зав. кафедри кафедри мобільних та відео інформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Нейма Ігор Володимирович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Шульга Олександр Андрійович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Іванець Юрій Вікторович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

*Authors of the article*

**Kravchenko Vladyslav Ihorovych** – candidate of Science (technic), Head of Department of Information and communications technology, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Neima Ihor Volodymyrovych** – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Shulga Oleksandr Andriyovych** – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Ivanets Yuriy Viktorovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 11.10.2019 р.

Рецензент: д.т.н., доцент А.О. Макаренко