

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РАДІОКАНАЛІВ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Тези на конференцію присвячені результатам досліджень таких ключових показників мережі радіодоступу мобільного зв'язку 5G (IMT-2020), як пропускна здатність радіоканалів, затримка та спектральна ефективність. Метою досліджень було намагання знайти потенційні можливості радіоканалів мережі 5G відносно перепускної здатності, затримки та спектральної ефективності.

Ключові слова: 5G, OFDM, MIMO, мобільна мережа доступу, швидкість передачі, завадостійке кодування, спектральна ефективність.

Abstract

The conference theses are dedicated to the research results of key performance indicators of the 5G mobile communication radio access network (IMT-2020), such as radio channel throughput, latency, and spectral efficiency. The aim of the research was to explore the potential capabilities of 5G radio channels in terms of throughput capacity, latency, and spectral efficiency.

Keywords: 5G, OFDM, MIMO, mobile access network, transmission speed, error-resistant coding, spectral efficiency.

Вступ

В радіомережі 5G використовуються такі новітні технології як OFDM з модуляцією носійних від BPSK до QAM256, антенні системи за принципом масивних MIMO та з функцією формування променів у напрямку концентрації користувачів, завадостійке кодування та інші техніки, які використовуються в сучасних цифрових радіосистемах.

Створення радіоканалів в мережі мобільного зв'язку 5G відбувається за рахунок використання сучасних технологій таких як OFDM та massive MIMO. Також оптимізовані фрейми та вдосконалений розподіл частотно-часових ресурсів як на Downlink, так і на Uplink. Все це відображено у специфікації радіоінтерфейсу 5G-NR (5G - New Radio).

Результати дослідження

Серед ключових показників якості радіоканалів значущими є пікова швидкість передачі, затримка та спектральна ефективність. Тому дослідження проводились саме для цих показників. Як рекомендовано в [1], оціночний розрахунок пікової швидкості в напрямку Downlink може проводитись за формулою:

$$R_{nik} = 10^{-6} \sum_{j=1}^j \left(g_{Layers}^{(f)} \cdot Q_m^{(f)} \cdot f^{(f)} \cdot R_{m.LDPC} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(f),\mu}}{T_S^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right), \quad (1)$$

де: j – кількість агрегованих компонентних несучих у смузі частот або комбінації смуг (максимум 16);

$R_{m.LDPC} = 948/1024$ – максимальна відносна швидкість завадостійкого кодування LDPC;

$g_{Layers}^{(f)}$ – максимальна кількість потоків від передавача базової станції gNB у напрямку терміналів користувачів;

$Q_m^{(f)}$ – кратність модуляції QAM;

$f^{(\mu)} = 1; 0,8; 0,75; 0,4$ – масштабуючий коефіцієнт;

$\mu = 0; 1; 2; 3$ – номер смуги частот однієї піднесучої – 15, 30, 60, 120 кГц, відповідно;

$T_S^\mu = 10^{-3} 14 \times 2^\mu$ – середня тривалість символу OFDM у субкадрі відповідно до номеру смуги частот однієї піднесучої;

$N_{PRB}^{BW(f),\mu}$ – максимальна кількість ресурсних блоків у смугі частот, що використовується;

ОН – частка часу, яка витрачається на службові дані у напрямку Downlink.

ОН = 0,14 для діапазону FR1 (450...6000 МГц) та 0,18 – для діапазону FR2 (24250... 52600 МГц).

Кількість ресурсних блоків, що можуть бути використані в смугі частот, залежить від смуги частот однієї носійної (SCS – Subcarrier Channel Space) та загальної смуги частот [2]. За формулою (1) виконані розрахунки максимальної пікової швидкості для максимальної кратності модуляції QAM256, яка дорівнює 8, MIMO 8x8, різних смуг носійної та загальних смуг частот, що використовуються в мережі.

Результати розрахунків наведені у вигляді графіків на рисунку 1.

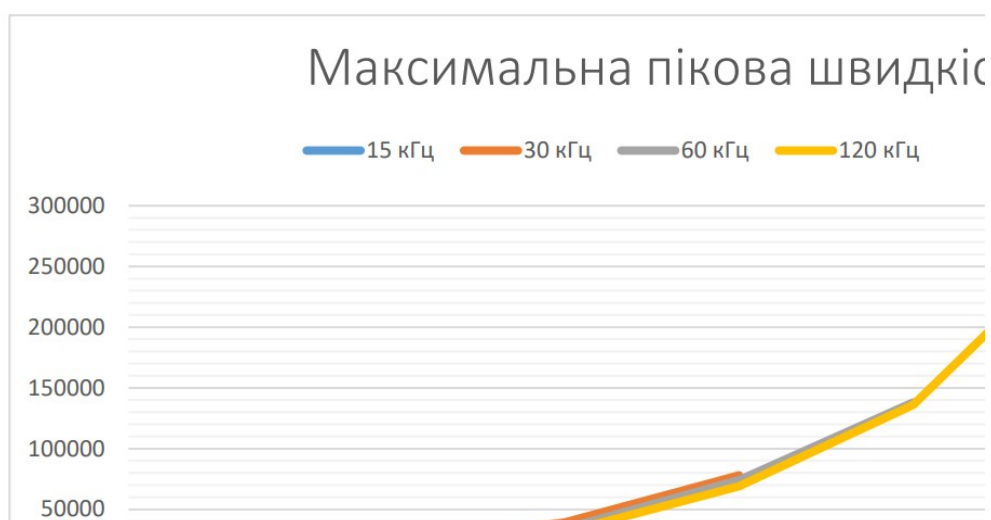


Рис. 1. Залежність максимальної пікової швидкості (Мбіт/с) для QAM256 від смуги носійної та загальної смуги частот

Максимальна пікова швидкість передачі становить 275 Гбіт/с і досягається при використанні смуги носійної 120 кГц, кількості носійних 16 і загальній смузі частот у 400 МГц. Затримка в передачі для площини користувача (UPL) визначається як затримка при передачі даних між gNB і UE (User Equipment), тобто час від моменту передачі IP-паketу, до моменту коли приймач успішно приймає IP-паket і доставляє паket на верхній рівень. Для розрахунку затримки використовувалась методика та модель, що наведена в [3]. Модель для розрахунку наведена на рисунку 2.

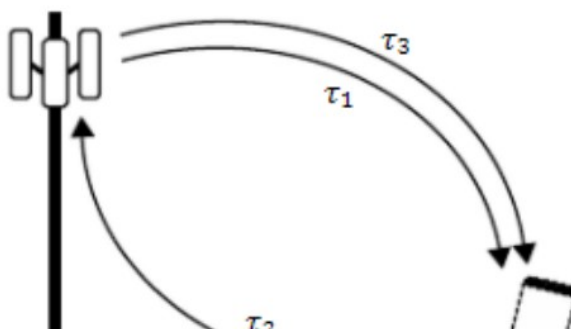


Рис. 2. Модель для розрахунку затримки

Затримка складається з безпосередньо затримки передачі (τ_1), запиту HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) (τ_2) і повторної передачі (τ_3) між обома об'єктами. Час затримки відповідно до наведеної моделі можна визначити за формулою:

$$\tau = \tau_1 + p(\tau_2 + \tau_3),$$

де p – вірогідність повторної передачі; $\tau_1 = t_{gNB,tx} + t_{FAI} + t_{TTI} + t_{UE,rx}$

$$t_{gNB,tx} = \frac{\max(N_2(2048 + 144) \cdot k \cdot 2^{(-\mu)} \cdot T_c)}{2} - \text{тривалість обробки пакетів в базовій станції};$$

t_{FAI} – час, необхідний для вирівнювання кадру або час очікування наступного доступного DL (Down Link) слоту;

t_{TTI} – час передачі даних;

$t_{UE,rx}$ – час обробки в UE.

Мінімальна затримка відповідає $p = 0$ і залежить від смуги частот піднесучої. Розрахунки дають наступні результати для різних SCS: 15кГц – 1,8мс; 30 кГц – 1,91мс; 60кГц – 2,08мс.

Пікова спектральна ефективність може бути розрахованою за наступною формулою:

$$\eta_p = \frac{\gamma_p}{\alpha \cdot BW},$$

де γ_p – пікова швидкість передачі;

α – коефіцієнт використання частотних ресурсів;

BW – смуга частот, що використовується в мережі.

Результати розрахунків η_p у біт/с/Гц наведені в таблиці:

Діапазон FR1	Ширина спектру піднесучої	Смуга DL- 25 МГц		Смуга
		η_p SISO (без MIMO)	η_p MIMO	η_p SISO (без MIMO)
	15	5,7	45,5	5,8
	30	5,6	44,5	5,7

Висновки

Отже, в радіомережі 5G використовуються такі новітні технології як OFDM з модуляцією носійних від BPSK до QAM256, антенні системи за принципом масивних MIMO та з функцією формування променів у напрямку концентрації користувачів, завадостійке кодування та інші техніки, які використовуються в сучасних цифрових радіосистемах. Метою дослідження було намагання знайти потенційні можливості радіоканалів мережі 5G відносно пропускної здатності, затримки та спектральної ефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Самолук І.А, Барась С.Т. Регенерація розширювального сигналу в пристрої кореляційної обробки Матеріали конференції LI Науково-технічна конференція факультету інформаційних електронних систем (2022), Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2022/paper/view/15303>.

2. 3GPP TS 38.306 version 15.15.0 Release 15. 5G; NR; User Equipment (UE) radio access capabilities – 2021.
3. 3GPP TS 38.101-1 version 15.5.0 Release 15. 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception – 2019.
4. 3GPP TR 37.910 version 16.1.0 Release 16. 5G; Study on self-evaluation towards IMT-2020 submission – 2020.

Самолук Ірина Анатоліївна — аспірант, спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tkp15b.samoliuk@gmail.com.

Барась Святослав Тадіонович — канд. техн. наук, професор кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: barasst03@gmail.com.

Samoliuk Iryna A. — graduate student, majoring in 172-telecommunications and radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tkp15b.samoliuk@gmail.com.

Baras Sviatoslav T. — candidate. Sc., Professor of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: barasst03@gmail.com.