

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РАДІОКАНАЛІВ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

Носков В.І.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: nvi2010@ukr.net

ESTIMATION OF POTENTIAL POSSIBILITIES FOR 5G MOBILE NETWORKS RADIOCHANNELS

The report is devoted to results of studies such key indicators (KPI) of the 5G mobile radio access network (IMT-2020), as the bandwidth of radio channels, delay and spectral efficiency. The 5G radio network uses the modern technologies such as OFDM with subcarrier modulation from BPSK to QAM256, antenna systems based on the principle of massive MIMO and with the function of beamforming in the direction of user concentration, interference-resistant coding and other techniques used in modern digital radio systems. The purpose of the research was trying to find the potential possibilities of the 5G radio channel concerning bandwidth, delay and spectral efficiency.

Доповідь присвячена результатам досліджень таких ключових показників (KPI) мережі радіодоступу мобільного зв'язку 5G (IMT-2020), як перепускна здатність радіоканалів, затримка та спектральна ефективність. В радіомережі 5G використовуються такі новітні технології як OFDM з модуляцією піднесучих 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 досліджень було намагання знайти потенційні можливості радіоканалів мережі 5G відносно перепускної здатності, затримки та спектральної ефективності.

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). 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:

$$R_{\text{пik}} = 10^{-6} \sum_{j=1}^J (\vartheta_{\text{Layers}}^{(f)} \times Q_m^{(f)} \times f^{(f)} \times R_{m.LDPC} \times \frac{N_{PRB}^{BW(f),\mu} \times 12}{T_S^{\mu}} \times (1 - OH^{(j)})), \quad (1)$$

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

$Q_m^{(f)}$ – кратність модуляції QAM; $f^{(f)} = 1; 0,8; 0,75; 0,4$ – масштабуючий коефіцієнт; $\mu = 0; 1; 2; 3$ – номер смуги частот однієї піднесучої – 15, 30, 60, 120 кГц, відповідно; $T_S^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \times 2^\mu}$ – середня тривалість символу OFDM у субкадрі відповідно до номеру смуги частот однієї піднесучої; $N_{PRB}^{BW(f),\mu}$ – максимальна кількість ресурсних блоків у смузі 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 смузі частот, залежить від смуги частот однієї піднесучої (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, МІМО 8x8, різних смуг піднесучої та загальних смуг частот, що використовуються в мережі. Результати розрахунків наведені у вигляді графіків на рис. 1.

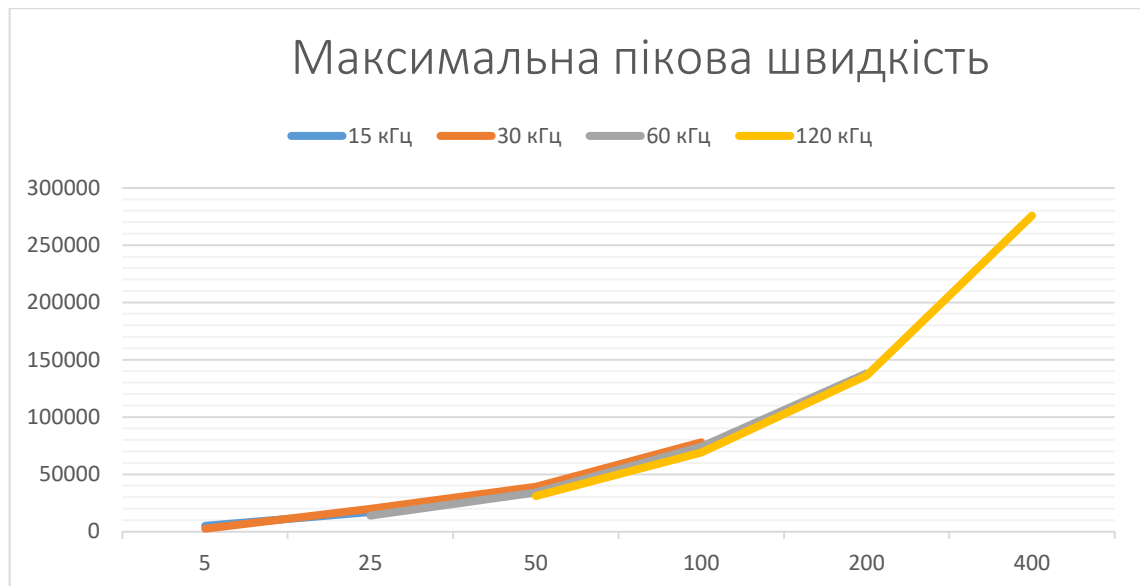


Рис. 1. Залежність максимальної пікової швидкості (Мбіт/с) для QAM256 від смуги піднесучої та загальної смуги частот.

Максимальна пікова швидкість передачі становить 275 Гбіт/с і досягається при використанні смуги піднесучої 120 кГц, кількості піднесучих 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-пакету, до моменту коли приймач успішно приймає IP-пакет і доставляє пакет на верхній рівень. Для розрахунку затримки використовувалась методика та модель, що наведена в [3]. Модель для розрахунку наведена рис. 2.

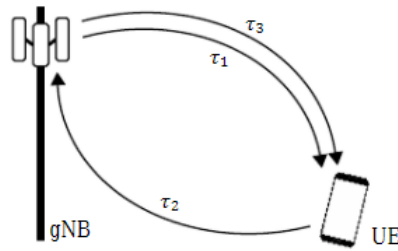


Рис. 2. Модель для розрахунку затримки

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; $\tau_1 = t_{gNB,tx} + t_{FA1} + t_{TTI} + t_{UE,rx}$; $t_{gNB,tx} = \frac{\max(N_2(2048+144)*k*2^{(-\mu)*T_C})}{2}$ - тривалість обробки пакетів в базовій станції; t_{FA1} - 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:

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

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 DL- 50 МГц	
		η_p SISO (без MIMO)	η_p MIMO	η_p SISO (без MIMO)	η_p MIMO
	15	5,7	45,5	5,8	46,2
	30	5,6	44,5	5,7	45,5
	60	5,3	42,5	5,6	44,5

Література

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