

АНАЛІЗ ВТРАТ СИГНАЛУ В РАДІОКАНАЛАХ МЕРЕЖ 5G/6G В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Мобільні системи зв'язку п'ятого та шостого поколінь (5G/6G) відкривають новий етап розвитку бездротових технологій, забезпечуючи рекордну швидкість передавання даних і мінімальну затримку сигналу. Проте стабільність роботи таких мереж у міському середовищі значно знижується через багатопроменеве поширення, поглинання та відбиття хвиль. У цій роботі виконано аналітичну оцінку втрат сигналу в радіоканалах 5G і 6G із застосуванням моделей COST 231 та Okumura-Hata. Проведено порівняння частотних діапазонів 3,5 ГГц і 100 ГГц, досліджено вплив елементів міської інфраструктури на затухання сигналу та оцінено ефективність технологій Massive MIMO, Beamforming і малопотужних сот у компенсації втрат. Отримані результати дозволяють сформулювати підходи до проектування енергоефективних мереж нового покоління в урбанізованих умовах.

Ключові слова: 5G, 6G, радіоканал, урбанізація, втрати сигналу, Massive MIMO, Beamforming

Abstract

The fifth and sixth generation (5G/6G) mobile communication systems mark a new stage in wireless technology, providing record data rates and ultra-low latency. However, signal stability in dense urban environments is challenged by multipath propagation, absorption, and reflection. This paper presents an analytical assessment of signal loss in 5G and 6G radio channels using COST 231 and Okumura-Hata propagation models. A comparative analysis for 3.5 GHz and 100 GHz frequency bands was conducted, investigating the impact of urban infrastructure on path loss and evaluating the efficiency of Massive MIMO, Beamforming, and small-cell deployment in loss compensation. The obtained results provide a basis for designing energy-efficient next-generation networks in urban areas.

Keywords: 5G, 6G, radio channel, urban environment, signal loss, Massive MIMO, Beamforming

Вступ

Розгортання мобільних систем 5G і майбутніх 6G є одним із найважливіших напрямів розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Ці стандарти забезпечують надвисокі швидкості передавання даних, малі затримки та підтримку великої кількості одночасних підключень. Водночас забезпечення стабільної якості сигналу в умовах міської забудови залишається складною науково-практичною задачею через багатопроменеві ефекти, дифракцію, поглинання та відбиття від будівель. Метою роботи є оцінка втрат потужності сигналу в радіоканалах мереж 5G/6G у міських умовах і визначення ефективності сучасних технологій, спрямованих на підвищення енергетичної стійкості каналу.

Результати дослідження

Для аналітичного оцінювання параметрів поширення хвиль використано моделі COST 231 та Okumura-Hata, які враховують тип забудови, висоту антен і відстань між передавачем і приймачем. Розрахунки проводилися для частот 3,5 ГГц (характерної для 5G) і 100 ГГц (для 6G) при відстані 200 м між антенами [1, 3, 4].

Втрати сигналу у вільному просторі визначалися за формулою

$$L = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

де L – рівень затухання (дБ), f – частота (МГц), d – відстань (км).

Подальші поправки на умови міської забудови враховувалися відповідно до моделей COST 231 та Okumura-Hata. Також оцінювалися вплив коефіцієнта відбиття, ефективної площі антен і параметрів багатопроменевого середовища. На основі отриманих значень проведено оцінку відношення сигнал/шум (SNR) та ефективності методів його підвищення [1, 2, 4, 5].

Розрахунки показали, що при частоті 3,5 ГГц втрати сигналу становлять близько 100 дБ, тоді як при 100 ГГц — до 135 дБ. Вищі частоти характеризуються сильнішим ослабленням через меншу довжину хвилі, що сприяє поглинанню енергії матеріалами будівель і атмосферними втратами [2,3].

Технології Beamforming і Massive MIMO дають змогу ефективно компенсувати частину втрат за рахунок просторового спрямування сигналу та використання багатопроменевої передачі. При застосуванні цих технологій рівень сигналу може збільшуватися на 15–20 дБ, а середня пропускна здатність — на 60–80 % [1, 5].

Для покращення покриття в міських районах доцільним є впровадження малих сот (Small Cells), які зменшують середню довжину каналу та знижують затухання. Додатково, використання інтелектуальних відбивних поверхонь (RIS) у 6G дозволяє формувати адаптивні маршрути сигналу, мінімізуючи вплив перешкод і зон тіней [1, 3].

Висновок

Порівняльний аналіз продемонстрував, що зі зростанням частоти робочого діапазону суттєво знижується запас потужності сигналу, особливо при збільшенні кількості відбиттів і перешкод. В умовах міської забудови основний вплив на параметри радіоканалу мають коефіцієнт ослаблення, рівень шуму та багатопроменевість.

Використання комбінації Massive MIMO, Beamforming, малих сот і RIS дозволяє забезпечити стабільний рівень сигналу навіть при високих частотах, що підтверджує перспективність цих технологій для архітектури 6G. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні енергоефективних мереж нового покоління в умовах щільної міської забудови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Andrews J. G., Buzzi S., Choi W., Hanly S. V., Lozano A., Soong A. C. K., та ін. *What will 5G be?* // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — 2014. — Vol. 32, No. 6. — P. 1065–1082. — DOI: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
2. Rappaport T. S., Sun S., Mayzus R., Zhao H., Azar Y., Wang K., Wong G. N., Schulz J. K., Samimi M., Gutierrez F. *Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work!* // IEEE Access. — 2013. — Vol. 1. — P. 335–349. — DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2260813.
3. Akyildiz I. F., Kak A., Nie S. *6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems* // IEEE Access. — 2020. — Vol. 8. — P. 133995–134030. — DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3010896.
4. Tse D., Viswanath P. *Fundamentals of Wireless Communication*. — Cambridge: Cambridge University Press, 2005. — 585 p. — ISBN 0-521-84527-4.
5. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. — Oxford: Academic Press / Elsevier, 2018. — 468 p. — ISBN 978-0-12-814323-0.

Харжевський Олександр Олегович – студент групи РТ-23б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: sasaharzevskij@gmail.com

Науковий керівник: Кичак Василь Мартинович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Kharzhevskiy Oleksandr Olegovich – student of group RT-23b, Faculty of Information and Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sasaharzevskij@gmail.com

Academic supervisor: Vasyl Martynovyuch Kychak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.