

УДК 621.396.946

**РОЗГОРТАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ НА БАГАТОСМУГОВИХ
ВУЛИЦЯХ З МУЛЬТИЗВ'ЯЗКОМ ВСЕРЕДИНИ І МІЖ RAT З
ВИКОРИСТАННЯМ МІЛІМЕТРОВИХ ТА СУБМІЛІМЕТРОВИХ
ХВИЛЬ**

Лютий А.О.

e-mail: artem.liutyi@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. ІКІ ім В.В. Поповського,
м. Харків, Україна

To mitigate the impact of disruptions caused by dynamic blockage of propagation paths in millimeter-wave (mmWave) systems, 3GPP has proposed multi-connectivity, where user equipment (UE) supports simultaneous connection to both a sub-6 GHz base station (BS) and a mmWave BS. We consider one of the most challenging prospective deployments—deployment on multi-lane streets with multi-connectivity within and between RATs.

Технології безпроводового зв'язку в міліметровому діапазоні (mmWave) відіграють ключову роль у розвитку сучасних мобільних мереж, сприяючи їх переходу до стандартів п'ятого покоління (5G) і шостого в подальшому. Хоча процес стандартизації нової радіотехнології (NR) майже завершений 3GPP, однією з основних дослідницьких задач залишається оптимізація систем NR для різних сценаріїв розгортання.

Завдяки роботі в широкій доступній смузі пропускання, системи міліметрових хвиль здатні забезпечити надзвичайно високу пропускну здатність на повітряному інтерфейсі, що робить їх ідеальними для ресурсоемних додатків. Це включає в себе такі сервіси, як доповнена та віртуальна реальність, потокові ігри та відео високої роздільної здатності. Однак такі системи мають значну вразливість до блокування сигналу між базовою станцією (БС) і користувацьким обладнанням (UE). Це блокування може бути спричинене не лише великими статичними об'єктами (наприклад, будівлями), а й меншими динамічними перешкодами, такими як людські тіла або транспортні засоби [1,2]. Дослідження показують, що загасання сигналу через людське тіло може перевищувати 15 дБ, а при перешкодах, спричинених транспортними засобами, втрати досягають 40 дБ. Унаслідок цього зв'язок між UE та БС тимчасово втрачається, що призводить до відключень.

Щоб компенсувати такі перебої, 3GPP запропонував механізм багатозв'язності (multi-connectivity), який дозволяє UE підтримувати одночасні з'єднання з кількома базовими станціями та динамічно перемикатися між ними у разі втрати сигналу. Окрім підтримки мультизв'язності всередині однієї технології радіодоступу (RAT), 3GPP також передбачає можливість одночасної роботи з кількома RAT.

Наприклад, UE може підтримувати декілька активних з'єднань із різними базовими станціями mmWave, а також додаткове підключення до мікрохвильової БС у діапазоні до 6 ГГц, яка покриває ту ж саму територію. У цьому випадку, навіть якщо щільність розміщення БС mmWave недостатня для мінімізації ризику відключень, користувацький трафік може бути тимчасово переадресований на БС в діапазоні до 6 ГГц, яка значно менш чутлива до блокування сигналу.

Такий підхід допомагає підвищити надійність з'єднання та забезпечити стабільність обслуговування навіть у складних міських умовах, де наявність численних перешкод є неминучою.

Розглянемо спільну систему міліметрових хвиль і sub-6 ГГц, показану на рис. 1, з декількома БС міліметрового діапазону в зоні покриття однієї БС sub-6 ГГц. У розглянутих умовах вуличного розгортання передбачається, що БС міліметрового діапазону встановлюються по обидва боки вулиці, наприклад, на ліхтарних стовпах або стінах будівель.

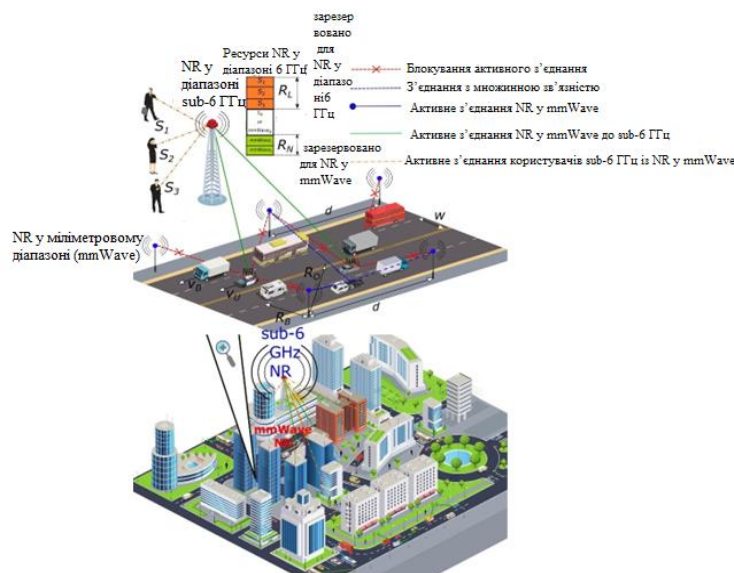


Рис. 1. Вуличне розгортання базових станцій до 6 ГГц/ммХвилі.

На рис. 1 видно вуличне розгортання БС де відстань між БС з міліметровими хвилями вздовж однієї сторони становить d , і вони розташовані по різні боки, утворюючи рівнобедрені трикутники, тобто зсунуті на половину відстані d між двома послідовними БС з міліметровими хвилями. Потужність, що випромінюється БС мм-хвилі та БС до 6 ГГц, вважається постійною і дорівнює $P_{T,N}$ та $P_{T,L}$, відповідно.

Вважається, що вулиця має N смуг руху, де N - парне число. Напрямок руху "верхніх" і "нижніх" $N/2$ смуг протилежний. Ширина кожної смуги постійна і дорівнює w . Для визначення характеристик відмов, які є вхідною інформацією для процесу обслуговування дорожнього руху на БС мм-хвилі

та до 6 ГГц, випадковим чином позначено транспортний засіб у дорожньому русі. Цей транспортний засіб називається *позначеним* транспортним засобом. Швидкість позначеного транспортного засобу приймається рівною v_U . Висота БС, пов'язаної з позначеним транспортним засобом, є постійною, h_U . Швидкість інших транспортних засобів вважається постійною, v_B . У цьому дослідженні не враховано "товщину" транспортних засобів, представляючи їх як двовимірні об'єкти (прямокутники) у площині, перпендикулярній до площини дороги і розташованій на центральній лінії кожної смуги. Довжина та висота є дискретними випадковими величинами і характеризуються кумулятивними функціями розподілу (CDF), $FL,B(x)$ та $FH,B(x)$, відповідно. Центри сторін прямокутника організовують пуассонівський процес з інтенсивністю λ_B .

У розглянутому розгортанні шлях поширення сигналу прямої видимості (LoS) між БС з міліметровими хвилями і UE, встановленими на транспортних засобах, може бути заблокований іншими транспортними засобами. За результатами вимірювань перешкод на частотах mmWave, передбачається, що блокування лінії зв'язку автомобілями призводить до додаткового погіршення якості на 30 дБ.

Модель поширення UMi 3GPP в міських забудовах, а також втрат на блокування дозволяє виділити три зони навколо БС з міліметровими хвилями (рис. 1). У першій зоні, визначеній радіусом RB , втрати при поширенні є такими, що UE не відчуває умов відключення, навіть коли він заблокований. У другій зоні, обмеженій радіусами RB та RO , $RO > RB$, UE відчуває відключення тільки тоді, коли шлях LoS заблокований. Нарешті, відключення відбувається навіть у неблокованих умовах для UE, розташованих далі, ніж RO . Ці радіуси можуть бути розраховані за допомогою моделі поширення та припущення про додаткові втрати 30 дБ, спричинені блокуванням.

Список використаних джерел:

1. Коляденко Ю.Ю., Лютий А.О. Модель систем зв'язку 6G за умов спільного використання міліметрових та субміліметрових радіохвиль. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку" 14 березня 2024 року, м. Харків. С. 172 -174. <https://nangu.edu.ua/uploads/files/Zbirnyk%20tez%20MNPk%2014.03.2024.pdf>
2. М. Гапеєнко та ін., "Про часові ефекти мобільних блокаторів у міських сценаріях стільникового зв'язку міліметрового діапазону", *IEEE Transactions on Vehicle Technology*, vol. 66, no. 11, pp. 10124-10138, Листопад 2017.