

ПІДХОДИ ДО ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

Кременецька Я.А., Морозова С.В., Андрєєва Н.О.

Державний університет телекомунікацій, Україна

E-mail: ya.cremen@ukr.net, svmorozova@ukr.net,

nataliiandreeva55@gmail.com

Approaches to physical modeling of millimeter-wave communication channel

A quasi-optical multi-beam loss model is proposed that takes into account the divergence of millimeter-wave radiation at a constant aperture of the receiving antenna, channel loss (gain) associated with reflection, absorption, diffraction effects that are typical of the urban scenario. And it is also proposed to take into account in the radio channel models the noise associated with the millimeter-wave generation method.

Освоєння радіотехнологій міліметрового діапазону (ММД) хвиль є важливою ланкою в розвитку 5 G (і наступних поколінь), в мобільному стільниковому зв'язку, в «Інтернеті речей», в системах зв'язку з використанням безпілотних літальних апаратів і т.д. Дослідження в області створення моделей енергетичного покриття і вибір методу модуляції сигналів ММД є основоположними для проектування таких систем. Розробка точних моделей поширення необхідна для довгострокового розвитку майбутніх бездротових систем ММД, особливо в мобільній індустрії. Наприклад, для реалізації мобільних систем ММД у міському сценарії найбільш перспективним рішенням є використання модуляції однієї несучої, часове та просторове розділення каналів, яке може реалізовуватися у багатопробієвих ширококутових антенних решітках з високим динамічним діапазоном. Тому розуміння особливостей просторових та часових завмирань (англ. fading) багатопробієвих амплітуд, оцінки втрат та шумів сигналів ММД є важливим для проектування та реалізації майбутніх телекомунікаційних систем [1].

Основні моделі, розроблені дослідницькими групами (5GCM, mmMAGIC, METIS, 3GPP TR 38.901,...) для діапазону 0.5-100 GHz можна розділити на два типи: ймовірнісні моделі LOS Probability, що не залежать від частоти, та моделі, наближені для втрат у вільному просторі, що визначаються формулою Фрііса, – CI (Close-in Model) [1]. В роботі [1] вказано, що нові моделі поширення для ММД повинні наближатися до фізичних. Для малих розмірів стільників 30-150 м, які будуть застосовуватися для мобільних технологій 5 G [1], а також всередині приміщень, потрібно враховувати, наприклад, окремі дифракції та відбивання, а також точну геометрію забудови. Також важливим є те, що на відміну від, наприклад від дециметрового діапазону, основним механізмом поширення ММД є не дифракція, а відбивання, поглинання та розсіювання. Довжина ММД 1-10 мм та вузька ширина променів зменшують розміри випромінюючих та приймаючих елементів фазованої антенної решітки (ФАР), а також розміри масиву ФАР [2].

При квазіоптичному підході до аналізу енергетичного бюджету та втрат радіосистем ММД можливо використання конусоподібної моделі випромінювання антени, яка використовується для розрахунку оптичних відкритих систем:

$$P_{TX} = P_{RX} \frac{4\pi d^2 PL_{am}(f, d)}{D_{TX} A_{RX}} \quad (1)$$

де P_{TX}, P_{RX} - потужність передавача та прийнятого сигналу відповідно, A_{RX} — площа плоскої апертури використання поверхні; D_{TX} коефіцієнт спрямованої дії, пов'язаний з коефіцієнтом підсилення співвідношенням (k - апертурний коефіцієнт), $D_{TX} = G_{TX}/k$; $PL_{am}(f, d)$ - поглинання сигналу в атмосфері, що залежить від частоти несучої, гідро метеорів і відстані між передавачем та приймачем.

Такий підхід вважається найбільш реалістичним для визначення спрямованості випромінювання антен ММД, в якому передбачається використання ФАР з великою кількістю випромінюючих елементів. Також формулу (1) можна використовувати і для багатопрменевої моделі [3]:

$$P_{RX} = \frac{P_{TX} D_{TX} A_{RX}}{4\pi r^2} \times \sum_j \left(\prod_m p_m(\theta_j) \frac{|\Gamma_m(\theta_{mj})|^2}{\rho_m} \prod_n p_n(\theta_j) |\Gamma_n(\theta_{nj})|^2 \prod_l p_l(\theta_j) \frac{|D(\theta_{lj})|^2}{\rho_l} \right), \quad (2)$$

де $\rho_m, \rho_l > 1$ - коефіцієнти, що визначають надлишок шляху променів при відбиваннях і дифракції; $p(\theta_j)$ – ймовірність відповідного процесу для певних умов; Γ, T, D – коефіцієнти відбивання, пропускання та дифракції відповідно.

Для аналізу бюджету радіосистем потрібно визначити необхідну потужність сигналу у приймачі, тобто чутливість приймача: $P_{RX-sens} = P_S (N_{int} + N_{TX} + N_{RX}) / N$, де P_S / N означає необхідне відношення несучої до шуму для демодуляції. N_{RX} - втрати сигналу у приймачі, N_{int} - інтерференційні завади, які визначаються як сума шумів, пов'язаних із завадами від інших каналів зв'язку N_K , шумів, пов'язаних з молекулярним розсіюванням у атмосфері та розсіюванням на неоднорідностях (турбулентності) в атмосфері N_{scatt} , втрати (підсилення) сигналу, пов'язані з явищами дифракції та відбивання на перешкодах (властивих, наприклад, міській забудові) N_{NLOS} . N_{TX} - шум джерела сигналів, який враховує не тільки тепловий шум, але й інші складові, пов'язані зі способом генерації сигналів. Так, для реалізації систем ММД, передбачається використання інтеграції радіо та оптичних технологій. Такі системи називають радіоефірними системами (англ. Radio over fiber, RoF) [4]. Системи RoF мають переваги у порівнянні з електронними системами за способом формування та модуляції інформаційних сигналів (конвертації міліметрових хвиль в оптичному діапазоні, формуванню діаграм спрямованості фотонними методами у ФАР, частотне мультиплексування радіоканалів та передача сигналів через оптичне волокно на великі відстані (десятки кілометрів) до віддаленої Базової станції або Дата-центру (рис.1).

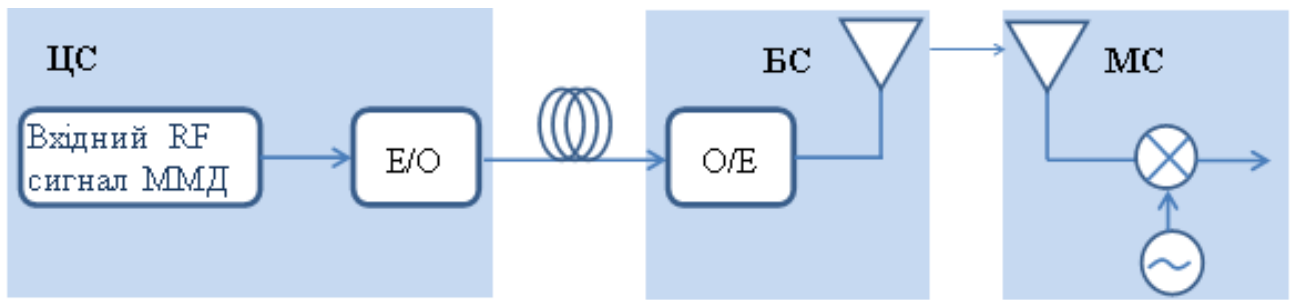


Рис.1. Структура радіоканалу ММД для мобільної системи з використанням технології RoF; ЦС- центральна станція, БС - базова станція, МС - мобільна станція

Основні складові компоненти RoF: волоконно-оптичні лінії, лазери, модулятори, локальні низькочастотні генератори, підсилювачі, фотодетектори, що працюють у певних діапазонах частот (смугах), характеризуються потужністю корисного сигналу та характерних шумів :

$$\sigma_{\text{noise}}^2 = \sigma_{\text{thermal}}^2 + \sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{RIN}}^2 + \sigma_{\text{sig-ASE}}^2 + \sigma_{\text{ASE-ASE}}^2$$

(σ_{thermal} , σ_{shot} - тепловий та дробовий шуми відповідно; σ_{RIN} - флуктуації оптичної інтенсивності лазера; $\sigma_{\text{sig-ASE}}$ та $\sigma_{\text{ASE-ASE}}$ - шуми оптичного підсилювача, в якому крім шуму підсиленого сигналу також присутній підсилений шум спонтанного випромінювання, який генерується всередині самого підсилювача.

Інтерференційним завадам присвячено багато теоретичних досліджень. Проте шуми джерела сигналів σ_{noise}^2 ММД можуть бути порівняні з інтерференційними завадами. Тому аналіз показників шумів та відношення сигнал/шум потребує подальшого вивчення.

Фотонні методи формування, передачі та розподілу сигналів ММД є перспективним рішенням для телекомунікаційних систем 5G та наступних поколінь. Для проектування та реалізації телекомунікаційних систем ММД, можливо, потрібні нові підходи у розрахунках, наближені до фундаментальних фізичних особливостей поширення, випромінювання та формування сигналів.

Література

1. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks-with a focus on propagation models/T. S. Rappaportat, et. al.// IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Ukraine, Kyiv, 2017, 18 ст.
2. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки / Р.С. Хансен– М: Техносфера, 2012. – 560 с.
3. Quasi-optical approach to the analysis of the energy model of millimeter wave propagation and antenna characteristics/ Y.A Kremenetskaya., I.O. Liskovskiy, E.R. Zhukova // presented at the IEEE XI International Conference on Antenna Theory and Techniques, 2017, 4 ст.
4. Urick V.J. Fundamentals of Microwave Photonics / V.J. Urick, K.J. Williams, J.D. McKinney. - NJ, USA, NJ: Wiley, 2015 – 488 с.