

УДК 621.396.946

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ПРОМЕНЮ У ЗАДАЧАХ ПРОСТОРОВОГО ДОСТУПУ В МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НАСТУПНИХ ПОКОЛІНЬ

Літвінов І.О.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Москалець М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. ІКІ ім. В.В. Поповського,
м. Харків, Україна
e-mail: ivan.litvinov@nure.ua,
mykola.moskalets@nure.ua

An analysis of the beamforming method of base station antennas in 5G mobile communication systems, which implements spatial access of mobile users, was carried out. Problematic tasks related to the active use of spatial parameters in the group of mobile users of the 5G mobile communication system are outlined. The main aspects of the implementation of beamforming technology of base station antennas in the tasks of spatial access for next-generation mobile communication networks are considered.

1. Технологія формування променя антенною базової станції мережі мобільного зв'язку «Beamforming»

Beamforming (формування променів) – технологія, що використовується в безпроводових інфокомунікаційних системах, включаючи мережі 5G, з метою покращення якості зв'язку та ефективності використання радіочастотних ресурсів. Основна ідея beamforming полягає в управлінні сигналами, що передаються і приймаються з декількох антен, таким чином, щоб вони взаємодіяли один з одним і створювали вузькоспрямовані просторові промені. Принцип роботи «beamforming» заснований на явищі інтерференції хвиль. Коли сигнали від різних антен збігаються у певній точці у просторі, їх хвилі можуть посилювати чи послаблювати одне одного залежно від фазових співвідношень між ними. Використовуючи цей ефект, система може формувати просторові промені, спрямовані до певних користувачів, і мінімізувати інтерференцію з іншими пристроями (рис.1).

Надширокополосні частоти 5G працюють на міліметровій довжині хвиль (mmWave) радіоспектра, що є частиною того, що дозволяє надширокополосним мережам 5G передавати так багато даних на революційних швидкостях. Оскільки міліметрові хвилі можуть бути більш вражені загасанням із-за змішуваних об'єктів, а міліметрові хвилі не проникають через стени та інші перешкоди так само легко, як спектр низьких і середніх частот, який використовується для додатків 4G і DSS, то формування променя може допомогти створити більш надійну динаміку підключення.

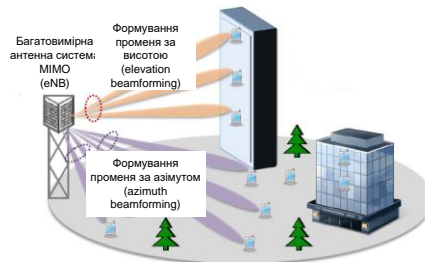


Рисунок 1 – Модель формування променя «Beamforming» на основі багатовимірної антенної системи Massive MIMO [1]

Ще одним рішенням проблеми поширення з mmWave є наша можливість використовувати переваги рознесення та мультиплексування, що отримуються від передачі на основі MIMO, для забезпечення більш високої пропускної здатності та більш надійного прийому сигналу на приймальній стороні, що призводить до загального покращення досвіду користувача. Для реалізації технології формування променя «beamforming» використовуються алгоритми, які визначають вагові коефіцієнти і фазові здвиги для кожної антени, таким чином, щоб сигнали від різних антен сумувалися конструктивно в напрямку інтересу користувача і деструктивно в інших напрямках. Це дозволяє підвищити якість зв'язку, збільшити пропускну здатність і підвищити енергоефективність системи.

Для розрахунку оптимальних вагових коефіцієнтів, що задовольняють декількома критеріями або обмеженнями, різні адаптивні алгоритми вже розроблені. Після обчислення вагового вектора w , що відповідає за формування ДС, фільтр просторових частот для всіх напрямків представляється діаграмою випромінювання антени (діаграмою спрямованості) за допомогою виразу

$$P(\theta) = |w^H(\theta)a(\theta)|^2. \quad (1)$$

У виразі (1) $P(\theta)$ є середня вихідна потужність просторового фільтра при надходженні окремого сигналу одиничної потужності під кутом θ [2]. За наявності відповідного контролю величини і фази w головний лепесток ДС буде спрямований на джерело корисного сигналу, а нулі (в ідеальному випадку) - у напрямку завадових сигналів.

Цифрова технологія формування променя «beamforming» обробляє сигнали на рівні базової смуги, використовуючи цифрові процесори і перетворювачі аналогового сигналу в цифровий і навпаки (ADC і DAC). Цифровий «beamforming» дозволяє більш гнучко керувати формуванням променів і працювати з декількома частотами одночасно, що забезпечує більш високу продуктивність та ефективність, однак, вимагає великих обчислювальних потужностей і складності обладнання [1,2].

Технологія «Beamforming» також тісно пов'язана з іншими ключовими технологіями у мережах 5G, такими як Massive MIMO та міліметрові

хвилі. У системах Massive MIMO, що використовують велику кількість антен, «beamforming» є основним інструментом для управління просторовими ресурсами та забезпечення високої пропускну здатності. Міліметрові хвилі, з їх короткою довжиною хвилі і високою пропускну здатністю, можуть забезпечити дуже вузькоспрямовані промені, що дозволяє ефективно використовувати «beamforming» для покращення зв'язку та боротьби з загасанням сигналу.

2. Задачі та етапи реалізації технології формування променя «Beamforming»

Схема організації формування променя «Beamforming» включає ряд етапів, а саме:

- виявлення викличного сигналу мобільної станції (МС), прийнятого по широкому променю діаграми спрямованості антени базової станції (БС);

- процедура ідентифікації, автентифікації і прийом запиту від МС на використання радіоресурсу,

- визначення кількості запитів випромінювань, які надійшли від інших МС і знаходяться в межах поточного променю;

- визначення напрямку приходу викличного сигналу МС;

- формування вузького променя за необхідним напрямом;

- вирішення колізії, якщо буде виявлено два або більше викличних сигналів МС в межах одного променю діаграми спрямованості антенної решітки базової станції.

Ідея просторово доступу полягає в тому, що весь фізичний простір, в якому може поширюватися корисний сигнал, ділиться на досить вузькі сектори (при 2-мірному просторі) або стерadianи (у 3-мірному), в межах кожного з яких можлива незалежна одночасна передача сигналів від базової станції мобільним користувачам в тому самому спектрі частот. Таким чином, при утворенні таких секторів або стерadianів можна в N разів використати радіочастотний ресурс. Все це реалізується з використанням N -елементної багатопроменевої антени, що дозволяє паралельно в тому самому спектрі обслуговувати N -абонентських станцій.

Список використаних джерел:

1. Оцінка продуктивності алгоритмів адаптивного формування променю smart-антени для систем мобільного зв'язку 5G / О.В. Андрущенко, І.М. Шумков, М.В. Москалець // Матеріали восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (EMC-2022)». Харків, ХНУРЕ, 2022. С. 01-04.

2. Koliadenko, Y., Moskalets, M., Badieiev, V., Savchenko, R. Method Radio Resource Allocation in Cognitive Radio Network. Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 809. Springer, Cham.