

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РАДІОЗАВАД НА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ 5G І МОЖЛИВОСТІ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Статтю присвячено аналізу впливу радіозавад на мережі мобільного зв'язку 5-го покоління та варіанти мінімізації їх впливу. Мережі 5G розглядаються як мережі високошвидкісні та високонавантажені, саме тому стабільність та продуктивність є критично необхідною для ефективного надання послуг у мережах мобільного зв'язку нового покоління, що зі свого боку досягається через боротьбу з ефектами радіозавад на мережу або мінімізацію їх впливу. Репрезентовано огляд сучасних досліджень та технологій, спрямованих на виявлення та усунення радіозавад у мережах мобільного зв'язку 5-го покоління. Також розглянуто перспективи та майбутні напрями досліджень у цій сфері та може бути цінним джерелом інформації для фахівців у галузі безпроводових комунікацій.

Ключові слова: 5G мережа; радіозавада; якість обслуговування; виявлення радіозавад; мінімізація; оптимізація ресурсів.

Вступ

Стрімкий розвиток сфери надання послуг, зменшення цифрового розриву та діджиталізація всіх сфер життя є тенденцією прогресу сьогодення, що, безумовно, є стимулом для розвитку радіозв'язку в усіх його проявах, зокрема еволюції мереж мобільного зв'язку. Як показує кон'юктура часу, стабільний та ефективний мобільний зв'язок є життєво необхідним як за умов цивільного життя, так і під час війни.

Глобалізація технологій, їх масштабування, розвиток штучного інтелекту та переосмислення системи надання цифрових послуг спонукає до виникнення та збільшення кількості нових підходів та методів організації мережі мобільного зв'язку, що також виводить цю мережу на інший рівень, де надання послуги передавання голосу є лише однією з багатьох функцій такої мережі. Для ефективного подолання сучасних викликів удосконалюються наявні мережі та створюються нові. Сьогодні найбільш перспективною є мережа мобільного зв'язку 5-го покоління, яка є однією з найважливіших інфраструктур для розвитку безпроводового зв'язку та Інтернету речей (IoT).

Проте впровадження мереж 5G потребує розв'язання численних технічних викликів, зокрема впливу радіозавад на якість обслуговування.

У цій статті розглядатимемо проблему впливу радіозавад у мережах мобільного зв'язку 5-го покоління та визначатимемо можливості їх мінімізації, а також дослідимо можливі вирішення для підвищення завадостійкості мереж 5G.

Основна частина

Необхідність виникнення технологій 5-го покоління полягає в тому, що сучасні мережі не можуть у повному обсязі забезпечити виконання потреб абонентів, тоді як оператори мобільного зв'язку зіткнулися з обмеженою гнучкістю наявних мереж, зростанням складності в обслугову-

ванні зі збільшенням вартості даних мереж тощо [1].

Сектором радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-R) було виокремлено три основні групи послуг, які мають забезпечуватись мережами мобільного зв'язку 5-го покоління. До них належать:

- удосконалений рухомий широкосмуговий зв'язок (eMBB);
- великомасштабні системи міжмашинного зв'язку (mMTC);
- наднадійне передавання даних із малою затримкою (URLLC).

Кожен із наведених типів послуг має відповідні вимоги до їх застосувань та реалізації, які викладені у відповідних рекомендаціях ITU-R [2].

Оскільки поняття радіозавад є комплексним і вони мають негативний вплив на низку показників параметрів якості, у цій статті будуть освітлені основні з них:

- вимоги до швидкості передавання даних (20 Гбіт/с);
- вимоги до затримки в мережі (< 1 мс).

З огляду на те, що для ефективної побудови та використання мережі потрібно брати до уваги всі вимоги до даної мережі, аби забезпечити реалізацію показників параметрів якості максимально близьких до заявлених, перед операторами мобільного зв'язку та установами контролю стоїть задача в правильному оцінюванні електромагнітної обстановки, виборі необхідних підходів та методів для розгортання мережі, розумінні технологій, що будуть застосовуватися, а також в оцінюванні факторів, що можуть мати негативний вплив на мережу ззовні. До останніх віднесемо, зокрема, і вплив радіозавад на мережу мобільного зв'язку.

Зважаючи на широкий спектр послуг, що пропонуються в 5G, різні частотні діапазони, підходи та технічні рішення до організації мережі, а також на велику кількість технологій, яку матиме

мережа такого рівня, перед розробниками постає завдання в кваліфікованій розбудові та впровадженні, адже мережа має бути стійка не тільки до завад ззовні, а й не створювати завади всередині самої системи.

Як було вже зауважено, вплив радіозавад має комплексний характер, оскільки причиною незадовільного значення показників параметрів якості можуть бути одночасно завади від різних джерел. Саме тому варто розуміти природу їх походження, характер впливу, систематичність і періодичність прояву. Тільки беручи до уваги наведене та розуміючи причинно-наслідковий зв'язок завада/вплив, з'являється можливість мінімізувати чи навіть усунути негативну дію завади.

Насамперед вартими уваги є завади, які виникають систематично та періодично, адже їх прояв є закономірним або передбачуваним та є можливість відслідкувати характер їх впливу на систему. До таких завад належать деякі природні завади, наприклад шум (термічний або електронний), який є результатом фізичних процесів, що відбуваються в обладнанні та мають сталу природу, а отже, їх можна моделювати та враховувати в проектуванні систем зв'язку, або радіозавади, що виникають із певною регулярністю або на основі певного циклу (доплерівський ефект) і їх можна відслідкувати через певні закономірності. Також до таких завад належать і штучні завади від стаціонарних об'єктів (підсилювачів мобільного зв'язку, промислових об'єктів тощо).

Наведений тип завад характеризується такими поняттями, як передбачуваність або прогнозованість.

Окремо пропонується розглядати завади, що мають нерегулярний вплив, скажімо імпульсні завади, прикладом яких є блискавка, або завади, виникнення яких неможливо попередньо передбачити. Такий тип завад має бути оцінений заздалегідь, до розбудови мережі, адже частину з них можна мінімізувати вже на етапі проектування, наприклад створити умови, в яких обладнання буде відповідати параметрам електромагнітної сумісності (ЕМС). До завад неперіодичного характеру також належить дія атмосферних явищ або завади, пов'язані з багатопроменевим поширенням сигналу.

Окремим типом штучних завад, що не мають систематичного характеру, можна назвати спрямовані випромінювання або створення електромагнітної обстановки, за яких обладнання абонента чи оператора не може функціонувати із заявленим рівнем показників якості мережі. Зокрема, до таких завад можна віднести дію радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Наступним кроком нашого дослідження буде визначення кореляції дії радіозавади та значення

показників параметрів якості мережі, тобто встановлення зв'язків типу завада/вплив.

Для обчислення швидкості передавання даних у мережі скористаємося формулою Шеннона:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{I+N} \right), \quad (1)$$

де C — максимальна інформаційна пропускна здатність каналу, біт/с; B — ширина смуги каналу, Гц; S — рівень корисного сигналу, дБ; I — рівень інтерференції (завад), дБ; N — рівень шуму, дБ.

З наведеної формули випливає, що максимальна швидкість передавання даних напряму залежить від рівня SINR. Отже, чим більший рівень інтерференції та шуму в системі, тим нижча швидкість передавання даних у цій системі. Це зумовлено тим, що чим більший рівень шуму та інтерференції, тим більше значення коефіцієнта бітових помилок (BER), а отже, абонент або обладнання оператора отримує певну кількість неправильних бітів, які потрібно відправити повторно, що впливає на загальну швидкість передавання даних.

Далі пропонується встановити залежність затримки в мережі від дії радіозавад.

Сумарна затримка в мережі визначається як сукупність таких різних показників:

- затримка передавання — час, потрібний на відправлення біта даних від відправника до першого маршрутизатора або комутатора в мережі;
- затримка оброблення в мережному обладнанні — час, необхідний для оброблення даних у мережному обладнанні;
- затримка у черзі — час, на який пакет даних залишається у черзі на маршрутизаторі або комутаторі;
- затримка передавання в каналі — час, який потрібно пройти сигналу через фізичний канал передавання (радіоефір, оптоволокну тощо);
- затримка в маршрутизації — час, необхідний для визначення оптимального маршруту передавання даних через мережу.

Оскільки в цій статті затримка передавання даних розглядається в парадигмі радіозавад, доцільно буде брати до уваги тільки затримку передавання в каналі, адже саме під час цього процесу дані є найбільш уразливими до дії завад.

Для розрахунку часу затримки в каналі передавання скористаємося формулою:

$$t = S/v. \quad (2)$$

З огляду на наведену формулу для оцінювання часу затримки ми маємо зважати на шлях, який проходить сигнал від передавача до приймача. А оскільки сигнал у просторі поширюється не тільки прямолінійно, а можливе відбиття від різних поверхонь (багатопроменеве поширення), шлях, який проходить один і той самий сигнал може бути одночасно різним і прийматися приймачем зі зсувом у часі.

Отже, обладнання декодування обробляє одну й ту саму частку інформації кілька разів, проте із різницею в часі, що спричинює спотворення початкового сигналу.

Такий ефект призводить до того, що приймальне обладнання вже не може якісно обробити інформацію, зумовлюючи підвищення кількості втрачених бітів, що також збільшує час затримки, адже для відновлення втрачених бітів потрібне повторне їх відправлення.

Основною тенденцією сьогодення у сфері мобільного зв'язку є так звана оптимізація ресурсів, тобто ефективне використання обмежених ресурсів, зокрема:

- радіочастотного спектра;
- конструкції антен;
- регулювання потужності передавання;
- упровадження новітніх інструментів аналітики.

Далі пропонується розглянути ключові аспекти оптимізації ресурсів: використання антенних систем нового покоління, упровадження машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування стану мережі й адаптивне налаштування мережі в реальному часі.

Як було зазначено, на якість отриманого сигналу впливає можливість приймальної частини якісно декодувати вихідний сигнал, що за реальних умов ускладнюється умовами навколишнього середовища, зокрема й через багатопроменеве поширення сигналів. Для мінімізації цих впливів потрібно використовувати нові технічні рішення, які вдосконалюватимуть або змінюватимуть процес передавання на фундаментальному рівні. Для досягнення цієї мети запропоновано використання кількох антен на приймання та передавання, тобто використання технології MIMO.

Реалізація такої технології дає змогу отримати поліпшення завдяки рознесеному прийманню, компенсуючи втрату інформації через багатопроменеве поширення, адже обладнання декодування не спотворює сигнал, накладаючи той самий біт один на одного.

Наступним кроком удосконалення розглядуваної технології є впровадження MassiveMIMO, яка реалізується використанням значно більшої кількості антен на приймальному боці, ніж на боці передавача, що уможливує реалізацію більшої кількості напрямків передавання сигналу, підвищення ефективності використання радіочастотного спектра, зменшення міжсимвольної інтерференції тощо [3].

Важливим аспектом ефективного використання радіочастотного ресурсу є дотримання електромагнітної сумісності та електромагнітної обстановки в ефірі. Для реалізації цього пропонується використовувати фазові антенні решітки. Прин-

цип дії цієї технології полягає у застосуванні великої кількості антен у межах одного масиву. Кожен елемент такого масиву може випромінювати енергію зі зсувом за фазою відносно іншого. Таким чином, формуються інтерференційні максимуми та мінімуми, що дає можливість спрямовувати більшу частину енергії випромінювання в певний напрямок, а отже, зменшується засмічення ефіру щодо інших пристроїв та мінімізується можливість створення завад елементами системи одне одному.

Важливим аспектом побудови мережі є започаткування такої мережі, яка буде не тільки заздалегідь захищеною від впливу радіозавад, а й матиме механізми швидкого реагування та керування мережею в режимі реального часу, адже, як було зазначено, виникнення деяких типів завад неможливо передбачити заздалегідь, а отже, неможливо спрогнозувати їх негативний вплив на мережу.

Для виконання цього завдання пропонується впровадження в мережу системи штучного інтелекту, машинного навчання та введення автоматизації процесів. Такий підхід дасть змогу розподіляти ресурси мережі задля подолання виниклих завад.

Автоматизація та штучний інтелект уможливають проведення радіомоніторингу та керування мережею в режимі реального часу, тоді як алгоритми машинного навчання можуть виявляти радіозавади, включно зі спектральним сплеском чи завадою у смузі зв'язку. Після виявлення радіозавади система може автоматично перелаштувати параметри мережі для забезпечення найкращої якості обслуговування. Також штучний інтелект дасть змогу аналізувати наявні обсяги даних, прогнозувати майбутній стан мережі та вживати запобіжних заходів щодо їх виникнення.

Висновки

У статті було розглянуто вплив радіозавад на якість обслуговування в мережах мобільного зв'язку 5-го покоління та можливості їх мінімізації. Мережі 5G є важливим кроком у розвитку безпроводового зв'язку і потребують збільшеної стійкості та ефективності надання висошвидкісних та високонавантажених послуг.

Аналізуючи показники якості в мережах мобільного зв'язку 5-го покоління, було встановлено, що радіозавади мають вплив на такі параметри, як швидкість передавання даних та затримка в мережі. Розглянуто фізичні процеси, які лежать в основі впливу радіозавад.

Було встановлено, що одним із ключових способів мінімізації впливу радіозавад у мережах мобільного зв'язку 5-го покоління є використання технологій MIMO та MassiveMIMO, а також застосування антенних решіток, що дає змогу поліп-

шити якість сигналу, зменшити інтерференцію та ефективно керувати напрямком передавання сигналу. Крім того, автоматизація та використання штучного інтелекту допомагають виявляти та усувати радіозавади в реальному часі.

Оптимізація ресурсів є ще однією важливою стратегією для забезпечення стабільності та продуктивності мереж 5G.

Загалом, розвиток мереж мобільного зв'язку 5-го покоління потребує комплексного підходу до керування радіозавадами та оптимізації ресурсів. Ці технології та методи дадуть змогу забезпечити надійний та швидкий безпроводовий зв'язок,

що є ключовим для сучасного цифрового суспільства.

Список використаної літератури

1. Ярош В. О. Аналіз принципів упровадження мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління в телекомунікаційні системи України. 2020.

2. Report ITU-R M.2410-0, Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). 2017.

3. National Instruments. Overview of massive MIMO for NR. 3GPP TDocs TSG RAN WG1, Nanjing, China, Tech. Rep. R1-164117.2016

V. Yarosh

ANALYSIS OF THE IMPACT OF RADIO INTERFERENCE ON THE QUALITY OF SERVICE IN 5G NETWORKS AND THE POSSIBILITY OF THEIR MINIMIZATION

This article is devoted to the analysis of the impact of radio interference on fifth-generation mobile communication networks and options for minimizing their impact. 5G networks are considered high-speed and high-load networks, which is why stability and performance are critical for effective service delivery in next-generation mobile networks, which in turn is achieved by combating or minimizing the effects of radio interference on the network. The article presents an overview of modern research and technologies aimed at detecting and eliminating radio interference in fifth-generation mobile communication networks. The article also considers the prospects and future directions of research in this field and is a valuable source of information for professionals in the field of wireless communications.

Keywords: 5G network; radio interference; quality of service; detection of radio interference; minimization; optimization of resources.

