

МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖ

Rudenko N.V., Lutsiuk I.V. Methods of building fifth generation networks based on existing networks. This article discusses the development of a new approach to the creation of fifth generation (5G) communication networks. Various methods are used for this, such as teletraffic theory, mass service theory, optimization theory and simulation modeling. The basic idea is to use additional routers to create a network of D2D (Device-to-Device) connections, which allows for improved network efficiency.

In addition, the article discusses methods of network clustering for better management and distribution of resources, as well as methods of choosing the location and number of transit nodes for optimal organization of the communication network. These studies are important for the further development of 5G technologies and ensuring better and more reliable communication in the future.

Keywords: 5G, MIMO, data transmission, base station, interference tolerance, bandwidth, mass service theory, optimization, simulation modeling.

Руденко Н.В., Луцюк І.В. Методи побудови мереж п'ятого покоління на основі існуючих мереж. Стаття присвячена розробці нового підходу до створення мереж зв'язку п'ятого покоління (5G) з урахуванням проблем відсутності вільних частот для цієї технології. Застосовуються різні методи, такі як теорія телетрафіка, теорія масового обслуговування, теорія оптимізації та імітаційне моделювання. Основною концепцією є використання додаткових маршрутизаторів для формування мережі D2D (Device-to-Device) з'єднань, сприяючи підвищенню ефективності мережі.

Стаття також розглядає методи кластеризації мережі для оптимального управління та розподілу ресурсів, а також стратегії вибору місця розташування та кількості транзитних вузлів з метою оптимізації організації мережі зв'язку. Ці дослідження є ключовими для подальшого розвитку технологій 5G та забезпечення високоякісного та надійного зв'язку в майбутньому.

Ключові слова: 5G, MIMO, передача даних, базова станція, завадостійкість, пропускна спроможність, теорія масового обслуговування, оптимізація, імітаційне моделювання.

Вступ

Внаслідок стійкого розвитку телекомунікаційних технологій та зрослої потреби в безперервному та високопропускному інтернет-зв'язку, п'яте покоління мобільних мереж (5G) стало предметом глибокого дослідження та розробки. Однак ефективний перехід до нових 5G-мереж вимагає докладного вивчення методів їх побудови та оптимізації, з особливим акцентом на проблеми відсутності вільних частот для 5G технології [1].

Один із ключових викликів у впровадженні технології 5G полягає у здатності інтегрувати її в існуючу інфраструктуру мобільних мереж, що базується на попередніх поколіннях. Це завдання передбачає розробку методів та стратегій для оптимального використання наявних ресурсів та успішного впровадження нових можливостей, що пропонує 5G [2-3].

У даній статті детально вивчено різноманітні методи побудови мереж п'ятого покоління на основі існуючих структур з урахуванням нагострених проблем відсутності вільних частот для 5G. Автори аналізують теоретичні підходи, такі як теорія телетрафіка та теорія масового обслуговування, використовуючи також методи оптимізації та імітаційного моделювання для створення оптимальних стратегій розширення та оптимізації 5G-мереж [8].

Аналіз досліджень і публікацій. Методи побудови мереж п'ятого покоління на базі існуючих мереж для подолання недостатності частотного діапазону в 5G вивчаються у контексті забезпечення ефективного підключення інтернету речей (IoT) до мобільних мереж. Проблема в обмеженому частотному діапазоні для 5G вимагає нових стратегій для забезпечення надійної передачі даних у режимі реального часу та управління системами IoT [1-3].

Наприклад, висота, на яку піднімаються деякі IoT-пристрої, може призводити до труднощів у забезпеченні прямої видимості (LoS - Line of Sight) до численних стільникових веж, ускладнюючи процес прийому та передачі сигналів Command & Control (C&C), що може впливати на звичайних користувачів мережі [4].

Для подолання цих труднощів, розглядаються технічні рішення, що вже були визначені у стандартах 4G LTE та 5G NR. Ці рішення включають підтримку підключення кількох IoT-пристроїв, використання перевернутих стільникових базових станцій, технології масивних MIMO та альтернативні безстільникові архітектури. Однак слід враховувати, що впровадження таких рішень може потребувати значних інвестицій для короткострокової модернізації існуючих мереж [6].

Дослідження в даній області визначає стратегії оптимізації та розширення частотного спектру для забезпечення стійкості і ефективності 5G мереж у контексті високого обсягу підключених IoT-пристроїв [8].

Мета дослідження. Вивчити характеристики та можливості існуючих мереж, таких як 4G LTE, та з'ясувати їхні переваги та обмеження щодо підтримки вимог 5G.

Виклад основного матеріалу досліджень

У минулому столітті мережі зв'язку для загального користування розвивалися крок за кроком. Мережі були спрямовані переважно на передачу голосу, і їхній внесок у суспільний розвиток був обмеженим [1].

Перший значущий зміни у розвитку мереж для загального користування стався при переході від комутації каналів до комутації пакетів, що сприяло появі стільникових мереж рухомого зв'язку та Інтернету в 90-х роках. Це призвело до концепції конвергенції, де мережі мали здатність передавати різноманітні дані, такі як голос, дані та відео, за однаковими правилами на базі комутації пакетів [2].

З переходом до наступного покоління мереж (NGN) відкрилася можливість розвитку електронного суспільства та збільшення ролі інформаційно-комунікаційних технологій у суспільному розвитку [3].

З розвитком безпроводових технологій зростає швидкість передачі даних, мобільність, охоплення та спектральна ефективність. Технології 1G і 2G використовують комутацію каналів, тоді як 2.5G і 3G використовують комутацію каналів і пакетів, а наступні покоління від 3.5G використовують комутацію пакетів. Поряд із цими факторами, він також розрізняє ліцензований спектр і неліцензований спектр. Усі нові покоління використовують ліцензований спектр, тоді як Wi-Fi, Bluetooth і WiMAX використовують неліцензований спектр. Огляд бездротових технологій, що розвиваються, наведено нижче. Перше покоління було оголошено на початку 1980-х років і має швидкість передачі даних до 2,4 Кбіт/с. Основними абонентами були Advanced Mobile Phone System, Nordic Mobile Telephone і Total Access Com-munication System. Він має багато недоліків, таких як пропускна здатність нижче номінальної, безрозсудна передача, нижчі голосові асоціації та відсутність безпеки, оскільки голосові дзвінки зберігалися та відтворювалися на радіовежах, через що підвищується вразливість цих дзвінків від небажаного прослуховування третьою стороною [4]. Друге покоління було представлено наприкінці 1990-х років. Цифрова технологія використовується в мобільних телефонах 2-го покоління. Глобальні системи мобільного зв'язку (GSM) були першою системою 2-го покоління, яка використовувалася для голосового зв'язку і мала швидкість передачі даних до 64 Кбіт/с. Батарея мобільного телефону 2G працює довше через низьку потужність радіосигналів. Він також надає такі послуги, як служба коротких повідомлень та електронна пошта. Важливими видатними технологіями були GSM, множинний доступ із кодовим розділенням каналів (CDMA) і IS-95 [4]. Покоління 2.5G зазвичай підписується на систему стільникового зв'язку 2-го покоління, об'єднану з послугами загального пакетного радіозв'язку (GPRS), а інші зручності не мають. зазвичай використовують у мережах 2G або 1G. Система 2.5G зазвичай використовує системні рамки 2G, але вона застосовує комутацію пакетів разом із комутацією каналів і має швидкість

передачі даних до 144 Кбіт/с. Основними технологіями 2.5G були GPRS, Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE) і CDMA 2000 [4]. Покоління 3G було створено наприкінці 2000 року та надає швидкість передачі до 2 Мбіт/с. Системи третього покоління поєднують високошвидкісний мобільний доступ до послуг на основі Інтернет-протоколу (IP). Окрім швидкості передачі, було зроблено нетрадиційне вдосконалення для підтримки якості обслуговування. Додаткові зручності, як-от глобальний роумінг і покращена якість голосу, зробили 3G оновленим поколінням. Основним недоліком телефонів 3G є те, що вони вимагають більше енергії, ніж більшість моделей 2G. Разом з тим, плани мережі 3G дорожчі, ніж 2G [4]. Оскільки 3G передбачає впровадження та використання технологій Wideband CDMA, Universal Mobile Telecommunications Systems і CDMA 2000, технології, що розвиваються, такі як High Speed Up-link/Downlink Packet Access і Evolution-Data Optimized створили проміжне бездротове покоління між 3G і 4G. називається 3.5G з покращеною швидкістю передачі даних 5-30 Мбіт/с(рис.1) .

У 21 столітті спостерігався розвиток сенсорних пристроїв, які швидко стали доступні для широкого користувача, і це привело до розвитку бездротових сенсорних мереж та концепції Інтернету речей. Також, самоорганізовані мережі стали досліджуваним напрямом для подальшого розвитку мереж зв'язку[7].

На сьогоднішній день передбачено широке впровадження мереж п'ятого покоління (5G) в телекомунікаційних системах. Мережі 5G розглядаються як ключовий компонент цифрової економіки, об'єднуючи мобільні та фіксовані мережі зв'язку. Вони мають надавати високі швидкості доступу, наближати хмарні обчислення до користувачів та є основою для розвитку цифрової економіки за стандартом IMT 2020. Втім, перед впровадженням технології 5G користувачам необхідно модернізувати існуючі основи, враховуючи проблеми відсутності вільних частот для 5G.

Мережі 5G відзначаються здатністю надавати послуги з низькими затримками, відкриваючи можливості для тактильного Інтернету та революціонізуючи розробку та надання послуг. Однак для досягнення цих цілей потрібно модернізувати існуючі технології та стратегії проектування бездротових мереж.

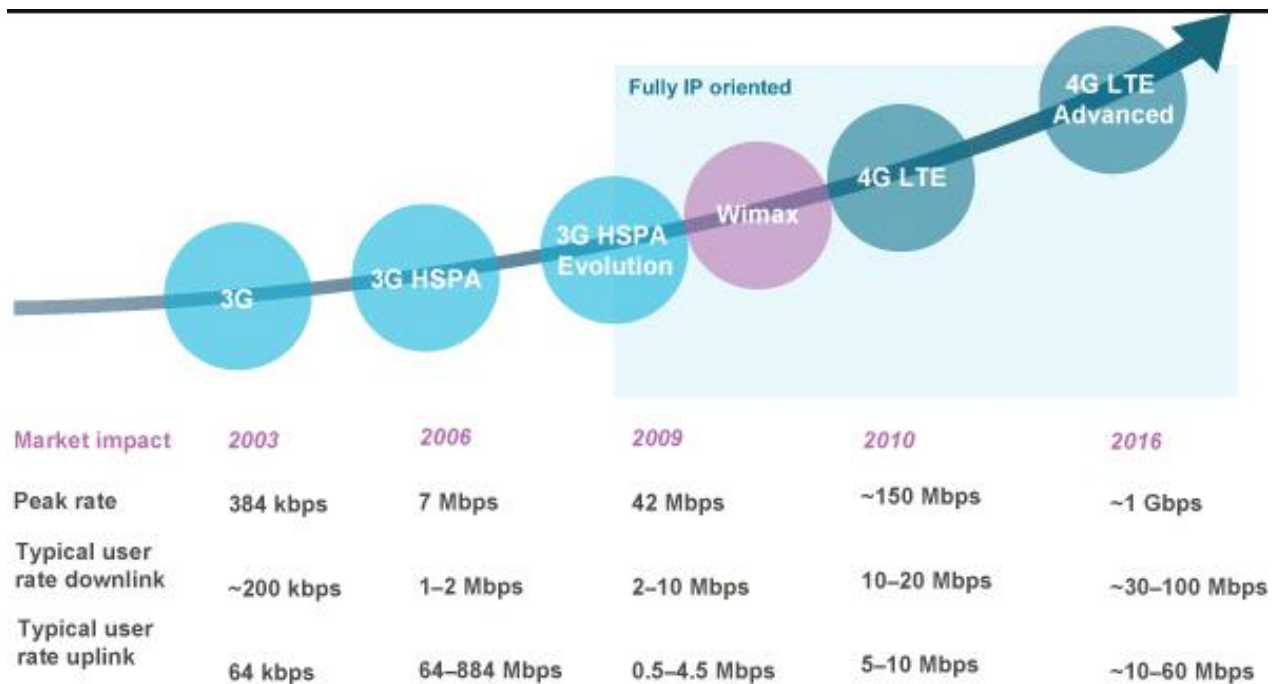


Рис. 1. Еволюція безпроводових технологій

Пропонується нова техніка проектування архітектури бездротових мереж 5G з використанням massive MIMO та великих антенних масивів для зменшення втрат сигналу через стіни будівель. Такий підхід покращує енергоефективність та ефективність спектра, але вимагає значних витрат на інфраструктуру.

У новій архітектурі мережі 5G зазначено взаємодію між різними технологіями, такими як massive MIMO, мережі когнітивного радіо та Інтернет речей. Ця архітектура раціоналізує різні функціональні завдання та дозволяє високу швидкість передачі даних для послуг передачі даних з помітно зниженою витратою сигналу.

Підвищений попит на швидкі та надійні мережі 5G породжує серйозні виклики, особливо пов'язані з обмеженою кількістю вільних частот. Частотний ресурс є обмеженим, а вже існуючі мережі попередніх поколінь, а також інші служби, вже використовують більшість доступних діапазонів. Це створює необхідність в пошуку ефективних методів використання обмежених ресурсів для задоволення потреб 5G.

Однією з можливих стратегій вирішення проблеми відсутності вільних частот є реконфігурація вже використовуваних частотних діапазонів. Це може включати перегляд виділених частот для інших служб та використання більших частотних діапазонів, які раніше можливо були вважені менш придатними для телекомунікацій. Такий підхід вимагає тщательного аналізу та координації між різними службами для максимальної ефективності використання частот.

Ще однією перспективною технікою є використання технологій множинного використання спектру, що дозволяє ефективно використовувати частоти, які раніше були використані іншими службами. Це дозволяє 5G ділити спектр із іншими технологіями, що може значно полегшити питання обмеженості частотного ресурсу.

Окрім технічних аспектів, необхідно також розвивати нові стратегії та технології для оптимізації використання частот. Розробка нових методів, які дозволяють максимально використовувати обмежені частоти, є ключовим завданням для подолання викликів, пов'язаних із відсутністю вільних частот для 5G.

Для досягнення цілей 5G, нам потрібно радикально змінити стратегію проектування бездротової мережі, щоб відповісти на вимоги користувачів і подолати виклики, які ставляться перед 5G системою. Дослідження показали, що більшість користувачів бездротового зв'язку проводять в приміщенні близько 80% часу, і лише 20% - на дворі. В сучасній архітектурі бездротової мережі в місцях, де користувачі перебувають в приміщенні, сигнали від зовнішньої базової станції повинні пройти через стіни, що призводить до втрат сигналу, зменшення спектральної ефективності, швидкості передачі даних та енергоефективності бездротового зв'язку. Для подолання цього виклику було запропоновано нову техніку проектування архітектури бездротової мережі 5G.[7] За допомогою цієї техніки втрати сигналу через стіни будівлі значно зменшаться. Цю ідею підтримує масивна технологія MIMO, у якій розташовано географічно розподілені масиви антен, які мають десятки або сотні антенних блоків. Для побудови великої мережі massive MIMO базові станції на вулиці обладнані великими антенними масивами, а деякі з них розподілені навколо гексагональної комірки та підключені до базової станції оптичними волоконними кабелями, сприяні технологіями massive MIMO. Користувачі, які перебувають поза приміщеннями, зазвичай обладнані певною кількістю антенних блоків, але за умови співпраці може бути створений великий віртуальний антенний масив, який, спільно з антенними масивами базової станції, формує віртуальні massive MIMO зв'язку. Далі, кожна будівля буде обладнана великими антенними масивами для зв'язку з зовнішніми базовими станціями за допомогою лінійної видимості. Точки бездротового доступу всередині будівлі підключені до великих антенних масивів через кабелі для спілкування з користувачами всередині. Це значно підвищує енергоефективність, середню пропускну здатність, швидкість передачі даних та спектральну ефективність системи, але за рахунок збільшених витрат на інфраструктуру. З впровадженням такої архітектури користувачі всередині будівлі матимуть можливість спілкуватися лише з точками бездротового доступу всередині будівлі [4].

Користувачі мобільних станцій мають високу швидкість передачі даних для послуг передачі даних з помітно зниженою витратою сигналу. Оскільки архітектура 5G мобільних мереж складається лише з двох логічних шарів: радіомережі та хмари мережі. Різні типи компонентів, які виконують різні функції, складають радіомережу. Хмара віртуалізації мережевих функцій включає в себе сутності користувача та контрольного плану, які виконують вищі функціональні завдання, пов'язані з користувачем та контрольним планом відповідно. Спеціальна функціональність мережі, надана як сервіс (ХaaS), надасть послуги за потреби, і пул ресурсів - це один з прикладів. ХaaS є зв'язком між радіомережею та хмарою мережевої функціональності. Архітектура мобільних мереж 5G пояснена в [5, 8]. Вона має однакове значення як для фронт-енда, так і для мережевої зв'язності. У цій статті запропоновано загальну архітектуру мобільної мережі 5G, яка пояснює взаємозв'язок між різними новими технологіями, такими як масиви МІМО, мережі когнітивного радіо, мережі малих і статичних малинівих станцій. В цій запропонованій архітектурі мережі 5G також враховані концепція безпосередньої взаємодії пристроїв, точки доступу малих станцій та Інтернет речей (рис. 2).

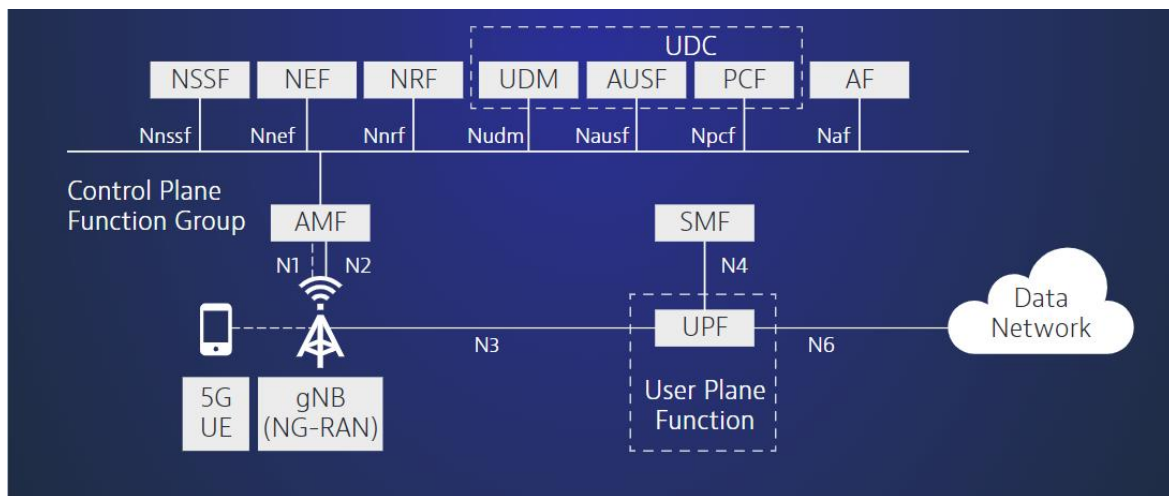


Рис. 2. Загальна архітектура стільникової мережі 5G

На підставі запропонованої архітектури можна розробити ефективну мережу 5G з урахуванням сучасних вимог та стандартів.

Висновки

Розробка мереж п'ятого покоління - це велике виклик для галузі зв'язку та ІКТ в цілому. Побудова мереж, які відповідають вимогам 5G, вимагає як модернізації існуючих мереж, так і впровадження нових технологій. Однак ці зусилля варті, оскільки мережі 5G відкриють нові можливості для сучасного суспільства та господарства, дозволяючи розвивати такі нові сфери, як автономні автомобілі, медичні технології та багато інших. Разом із зростанням кількості підключених пристроїв та застосунків, 5G має стати рушійною силою цифрового перетворення та розвитку сучасного суспільства. Незважаючи на труднощі впровадження, ці мережі обіцяють надавати нам неймовірні можливості в майбутньому.

Список використаної літератури:

1. 5G and Beyond: Fundamentals and Standards: Al-Dulaimi, A., Cosmas, J., & Al-Raweshidy, H. (Eds.). (2021). 5G and Beyond: Fundamentals and Standards. CRC Press.
2. 5G and Satellite Spectrum, Standards, and Scale: Corcoran, G., & Naderi, M. (2021). 5G and Satellite Spectrum, Standards, and Scale. Artech House.
3. 5G and IoT: Technology, Applications, and Security: Kumar, R., & Singh, B. (Eds.). (2021). 5G and IoT: Technology, Applications, and Security. Springer.

4. 5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management: Chih-Lin I., Han, S., Xu, Z., & Pan, Z. (2021). 5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management. Wiley.

5. 5G Technology: 3GPP New Radio: Holma, H., Toskala, A., & Nakamura, T. (2019). 5G Technology: 3GPP New Radio. Wiley.

6. Sharma, S. K., Care, C. M., & Le, L. B. (2017). Internet of Things (IoT) and Data Analytics Handbook. John Wiley & Sons.

7. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology: Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2018). 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. Academic Press.

8. 5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components: Abd-Elhamid, M., El-Hajjar, M., & Hanzo, L. (2018). 5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components. Springer

Автори статті

Руденко Наталія - кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Луцюк Іван - студент, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Authors of the article

Rudenko Natalia - Candidate of Science (technic), associate professor, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

Lutsiuk Ivan - student, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.