

ТЕХНОЛОГІЇ НАДЩІЛЬНИХ МЕРЕЖ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто особливості побудови мереж зв'язку п'ятого і наступних поколінь і визначено функціональні параметри пристроїв інфраструктури мереж рухомого зв'язку 5G.

Ключові слова: МІМО, радіо інтерфейс, показник ефективності, рухомий зв'язок, передача даних, діапазон частот, пропускна здатність.

Abstract

Features of construction of communication networks of the fifth and following generations are considered and functional parameters of devices of infrastructure of networks of mobile communication 5G are defined.

Keywords: MIMO, radio interface, efficiency indicator, mobile communication, data transmission, frequency range, bandwidth.

Вступ

Новий радіо інтерфейс 5G, включаючи більш широкі смуги частот, багатоантенні системи massive MIMO (mMIMO) з можливістю адаптивної зміни діаграми, діапазон міліметрових хвиль (MMX, mmWave), а також нова архітектура мережі радіодоступу (МРД) 5G, в тому числі, безпосередній радіозв'язок один з одним D2D (Device-to-Device) в надщільних МРД UDN (Ultra Dense Network), відкривають як нові можливості, так і породжують нові проблеми і завдання для мережевого позиціонування. Дані обставини вимагають вдосконалення відомого в багатопозиційних системах пасивної радіолокації (БПСР) комплексу моделей і методів визначення місця розташування (ВМР) в нових умовах функціонування МРД 5G і, таким чином, виділяють мережеве позиціонування 5G як новий науковий напрям досліджень.

Використання даних про місцезнаходження (МЗ) пристроїв сприяє реалізації нових механізмів встановлення і ведення радіозв'язку на основі геолокації; в зарубіжній літературі даний підхід отримав назву LAC (Location-Aware Communication). Відомим прикладом LAC є маршрутизація в само організованих МРД на основі МЗ сусідніх ретрансляторів. Відносно новим прикладом геолокації в когнітивних МРД є сумісне використання спектра первинними і вторинними джерелами радіовипромінювання (ДРВ) за рахунок їх попереднього позиціонування для виключення перешкод. В останні роки друге дихання знайшли дослідження, присвячені на основі позиціонування LAB (Location-Aware Beamforming), що особливо актуально для просторового ущільнення SDMA (Space-Division Multiple Access) в мережах UDN при переході в діапазон MMX з мініатюризацією пристроїв massive MIMO. Таким чином, в МРД 5G мережеве позиціонування буде вже не тільки однією з додаткових послуг, а засобом досягнення якісно нового рівня функціонування мережі. Викладені обставини дозволяють розглядати позиціонування в мережах п'ятого і наступних поколінь, як предмет дослідження, з двох сторін: по-перше, як цільове завдання безпосереднього географічного ВМР мережевих пристроїв в МРД; по-друге, як інструмент підвищення ефективності побудови та функціонування МРД на основі даних про МЗ пристроїв.

На сьогоднішній день МРД, принципом їх побудови, використання і особливостей функціонування, як об'єкту дослідження, присвячене достатню кількість фундаментальних і прикладних дослідчих робіт вітчизняного і зарубіжного походження [1-4].

Тому в частині розробленості теми дослідження можна констатувати наступні передумови для протиріччя гносеологічного характеру. З одного боку, є досить зрілий методологічний апарат

постановки і рішення задач ВМР пристроїв з використанням теорії БПСР. З іншого боку, на рубежі чергового десятиліття при переході до мереж п'ятого покоління і новий радіо інтерфейс, і нова архітектура МРД 5G відкривають принципово нові можливості для мережевого позиціонування, яких не було в мережах попередніх поколінь:

а) на порядок ширші смуги частот від сотень МГц до десятків ГГц дозволяють істотно підвищити точність збору і кореляційної обробки первинних ДМ і РДМ вимірювань;

б) поширення багато-антенних систем з числом елементів від десятків до тисяч дозволяють набагато більше широко використовувати кутомірний метод вимірювання не тільки в обладнанні БС, але і в портативних пристроях;

в) умови надщільного розподілу в МРД з щільністю до 1 пристрою на 1 м² обумовлюють необхідність переходу від площинних до просторового оцінювання координат;

г) можливість безпосереднього радіозв'язку пристроїв один з одним сприяють розвитку систем кооперативного позиціонування в умовах мережевої самоорганізації.

Метою роботи є розробка моделей і методів, сценаріїв і рішень для надщільного використання телекомунікаційних пристроїв в мережах п'ятого і наступних поколінь.

Результати дослідження

Вимоги до ключових показників ефективності KPI (Key Performance Indicators) мереж 5G / IMT-2020 визначені в 3GPP TR 38.913 [5]:

а) пікова швидкість передачі даних: в каналі вниз (DL) 20 Гбіт / с; в каналі вгору (UL) 10 Гбіт / с;

б) пікова спектральна ефективність: DL - 30 біт / с / Гц; UL - 15 біт / с / Гц;

в) наскрізна затримка на рівні користувача (user plane latency): 4 мс в UL / DL для послуг типу eMBB, 0,5 мс для послуг типу URLLC в UL / DL; наскрізна затримка на рівні управління (control plane latency) 10 мс; надійність передачі даних (вірогідність втрати пакета): 10⁻⁵ для пакета 32 байт з наскрізною затримкою в мережі в 1 мс для послуг URLLC;

г) щільність підключених пристроїв: 1 млн на 1 км²;

д) термін роботи батареї пристрою: 10 - 15 років для пристроїв IoT / M2M / D2D;

е) швидкість пересування абонентського пристрою - до 500 км / год; безперервне обслуговування при хендвері.

Таким чином, можна констатувати, що необхідні показники мережі KPI, досягнення яких дозволяє віднести її до 5G, говорить про:

а) збільшення пропускної здатності в 10 разів;

б) зростання спектральної ефективності до 3 разів;

в) зменшення наскрізної затримки передачі в 10 разів до 1 мс;

г) збільшення кількості пристроїв, що підключаються в соті в 10-100 разів - до 10⁶ на 1 км²;

д) збільшення часу автономної роботи пристроїв IoT / M2M / D2D – до 10 років.

По специфікаціях 3GPP діапазони 5G / IMT-2020 розділені на два піддіапазонна (Frequency Range) FR1 (450-6000 МГц) і FR2 (24,25 - 52,6 ГГц), а документами GSMA - на 3 групи [19, 20]: нижче 1 ГГц (частотний діапазон FR1), в смузі 1 - 6 ГГц (частотний діапазон FR1) і понад 6 ГГц (частотний діапазон FR2).

Для збільшення пропускної здатності мереж 5G / IMT-2020 доцільно застосовувати такі нові способи його виділення і використання [6]:

1. Licensed-Assisted Access (LAA) заснований на застосуванні ділянок неліцензованого спектра з вільним доступом для формування вторинних несучих SCC (Secondary Component Carrier) в груповому агрегованому сигналі [7].

2. Licensed Sharing Access (LSA) заснований на спільному використанні ділянок ліцензованого спектру, виділених операторам, для реалізації якого в мережах 5G / IMT-2020 буде використовуватися новий функціональний мережевий елемент - спектральний менеджер HSM (Horizontal Spectrum Manager).

На відміну від МРЗ попередніх поколінь (2G, 3G, 4G), для кожного з яких розроблявся новий радіо інтерфейс, в 5G / IMT-2020 планується застосовуватись як новий радіо інтерфейс NR (New Radio), так і існуючий LTE-A, в ході еволюції наближається за характеристиками до NR. Новий радіо інтерфейс NR спочатку розроблявся для більш високих швидкостей передачі, менших затримок і більш ефективного використання частотного ресурсу за рахунок [1]: сигналів з більшою шириною спектра;

мінімальних затримок на радіо інтерфейс за допомогою збільшення частоти проходження часових слотів; адаптивного до навантаження часового дуплексу; більш ефективних завадостійких кодів; активних / адаптивних антенних систем (ААС) з великою кількістю елементів, вузькою діаграмою спряваності антени (ДСА) і високою просторовою вибірковістю; індивідуальних сценаріїв використання смуги каналу NR для терміналів різних типів.

З точки зору оператора мережа 5G / IMT-2020 повинна забезпечувати [2]: реалізацію послуг з різноманітними вимогами до мережі; автоматичне конфігурування послуг, віртуальних і фізичних ресурсів і їх моніторинг; підтримку великої кількості виділених мереж, в тому числі для надання послуг IoT; гарантовану якість обслуговування; ефективне використання мережевих ресурсів, включаючи радіочастотний спектр (РПС) і пропускну здатність (ПЗ).

Технологічно забезпечення перерахованих вимог оператора в мережах 5G / IMT-2020 має досягатися за допомогою таких нових підходів:

а) програмно-визначених мереж SDN (Software-Defined Networks - мережа передачі даних, в якій рівень управління мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно) з переходом від використання обладнання до використання програмного забезпечення, включаючи реалізацію функцій обробки даних і сигналізації, конфігурація послуг, віртуальних і фізичних ресурсів мережі;

б) хмарних обчислень (Cloud Computing) з перенесенням процедур складної обробки і зберігання великих обсягів даних в центри обробки даних (ЦОД), що забезпечують емуляцію мережевих елементів за допомогою IaaS (Infrastructure as a Service) «Інфраструктури як послуги»;

в) чіткого логічного відділення функцій рівня управління від рівня даних користувача, що дозволить незалежно один від одного розвивати і масштабувати програмні та фізичні ресурси, пов'язані з цими рівнями;

г) логічних мережевих шарів, які дозволяють автоматизувати конфігурування мережевих ресурсів і адаптувати архітектуру мережі до вимог послуг;

д) впровадження технологій віртуалізації NFV (Network Functions Virtualization - віртуалізація фізичних мережевих елементів, коли мережеві функції виконуються програмними модулями, що працюють на серверах і віртуальних машинах в них);

е) реалізації функцій зберігання і надання контенту для послуг, чутливих до затримок, в тому числі, пограничних обчислень MEC (Mobile Edge Computing).

Використання мережі ВОЛЗ (волоконно-оптичних ліній зв'язку) в тракці між обладнанням віртуального кластера БС і виносними радіо модулями RRH малих сот дозволяє реалізувати архітектуру хмарної МРД C-RAN (рисунок 1).

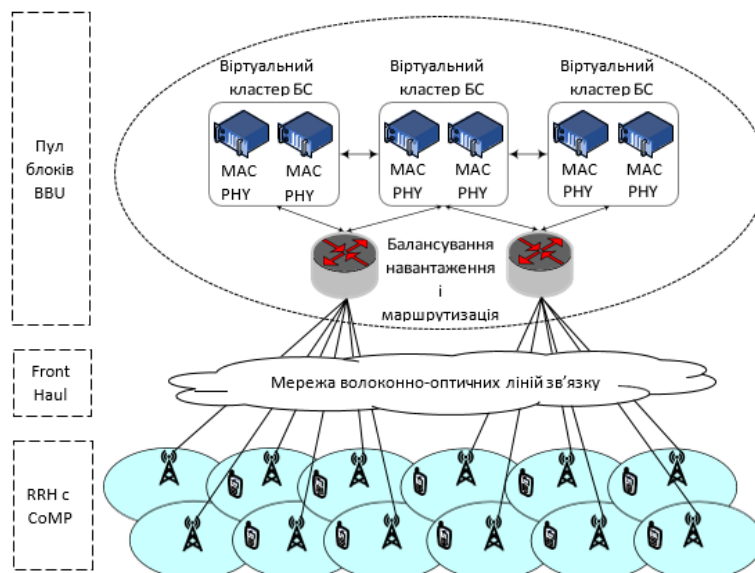


Рис. 1. Архітектура C-RAN для мереж радіо доступу 5G

Хмарна мережа радіо доступу C-RAN (Cloud Radio Access Network) реалізує нові підходи хмарних обчислень і SDN на рівні МРД і опорної мережі по високо швидкісному каналі передачі «сирих»

даних від радіо модуля (аж до квадратурних складових) в ЦОД, де виконується їх обробка; термін Fronthaul визначає інтерфейс між базовими блоками BBU (Base band unit) і видалених ними виносними радіо модулями RRU (Remote Radio Unit). Якщо Fronthaul визначає радіолінії на рівні МРД (БС-АТ, АТ-АТ), то Backhaul визначає радіолінії між БС і між БС і опорним мережевим обладнанням. При над- щільному розташуванні БС принципово іншу роль починають грати опорні мережі; це можуть бути мережі діапазону ММХ; більш того, сама границя між опорними і МРД починає стиратися [6]. С-RAN покликана впоратися зі зростаючими вимогами нових швидкостей передачі в МРД 5G. Концепція С-RAN передбачає централізовану обробку для кількох сотень сигналів і дозволяє підвищити продуктивність за рахунок координації між сотами CoMP, а також оптимізувати експлуатацію витрат за рахунок об'єднання апаратних ресурсів підсистеми радіо доступу.

Поділ шарів в 5G разом з С-RAN дозволяє програмно централізувати управління мережею, а також віртуалізувати фізичні мережеві ресурси при багаторазовому зростанні трафіку на рівні мережі радіо доступу.

Нові діапазони частот і способи їх використання в мережах 5G є об'єктивною необхідністю збільшення пропускної спроможності і числа пристроїв на призначеному для користувача рівні і призводять до принципово новим підходом побудови, функціонування та управління мережею на технічному рівні.

Висновки

Сукупність нових технічних можливостей мереж 5G і потреб народного господарства дозволяє розглядати мережі п'ятого покоління як інфраструктурну основу цифрової економіки та цифрової трансформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зарипова Э.Р. Анализ производительности сетей подвижной связи / Э.Р. Зарипова, Е.В. Маркова, Ю.В. Гайдамака. – Москва: РУДН, 2019. – 111 с
2. Гольдштейн Б.С. Инфокоммуникационные сети и системы / Б.С. Гольдштейн. – Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2019. – 208 с.
3. Лихтциндер Б.Я. Беспроводные сенсорные сети / Б.Я. Лихтциндер, Р.В. Киричек, Е.Д. Федотов, Е.Ю. Голубничая, А.А. Кочуров. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2019. – 236 с.
4. Пармонов А.И. Математические модели в сетях связи. Часть 1 / А.И. Пармонов, М.А. Маколкина, Р.В. Киричек, А.И. Выборнова, Е.Г. Богданова. – Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2019. – 111 с.
5. Самуйлов К.Е. Сети и телекоммуникации. Учебник и практикум / К.Е. Самуйлов, И.А. Шалимов, В.В. Василевский, Н.Н. Васин, Д.С. Кулябов, А.В. Королькова. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 363 с.
6. Yang H.-C. Advanced Wireless Transmission Technologies / H.-C. Yang, M.-S. Alouini. – Cambridge University Press, 2020. – 416 p.
7. Dahlman E. 5G NR. The Next Generation Wireless Access Technology. 2nd Edition / E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold. – Academic Press, 2021. – 608 p.

Варгатюк Ганна Леонідівна — аспірант групи АС-20, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

Урсан Максим Іванович — аспірант, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

Куцолабський Віталій Павлович — студент групи ТКС – 20 м, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Васильківський Микола Володимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ТКСТБ, заступник декана факультету ІРЕН, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Varhatiuk Hanna L. - Department of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : annaantonuik@gmail.com

Ursan Maxim I. - Department of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : annaantonuik@gmail.com

Kutsolatsky Vitalii P. - student of TKS group - 20 m, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: *Vasykivskyi Mykola V.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com