

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Odessa National University of Technology
Vinnytsia National Technical University
P.N. Platonov Institute of Computer Engineering, Automation,
Robotics and Programming**

**INFORMATION TECHNOLOGIES AND
AUTOMATION– 2024**

***PROCEEDINGS
OF THE XVII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE***



OCTOBER 31 - NOVEMBER 1, 2024

Odesa

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації,
робототехніки та програмування ім.П.Н.Платонова**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І
АВТОМАТИЗАЦІЯ – 2024»**

***МАТЕРІАЛИ
XVII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ***



31 ЖОВТНЯ - 1 ЛИСТОПАДА 2024 р.

м.Одеса

**ПРЕЗИДІЯ ТА ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ
PRESIDIUM AND ORGANIZING COMMITTEE OF THE CONFERENCE**

**ГОЛОВА ПРЕЗИДІЇ
CHAIRMAN OF THE PRESIDIUM**

Богдан Єгоров, Президент ОНТУ, академік НААН України, д.т.н., професор

**ЧЛЕНИ ПРЕЗИДІЇ
MEMBERS OF THE PRESIDIUM**

Надія Дец, к.т.н., доцент, в.о.ректора Одеського національного технологічного університету

Ольга Ольшевська, к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи і міжнародних зв'язків Одеського національного технологічного університету.

**ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ
CHAIRMAN OF THE ORGANIZING COMMITTEE**

Сергій Котлик, к.т.н., доц. каф. ІТтаКБ, ОНТУ

**ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ ОРГКОМІТЕТУ
DEPUTY CHAIRMAN OF THE ORGANIZING COMMITTEE**

Виктор Хобін – д.т.н., професор кафедри АТІтаРС ОНТУ

**ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ
MEMBERS OF THE ORGANIZING COMMITTEE**

Panagiotis Tzionas, prof. (Thessaloniki, Greece)

Qiang Huang, prof. (Los Angeles C.A., USA)

Yangmin Li, prof (Macao, China)

Артеменко С.В., проф., (Одеса, Україна)

Романюк О.Н., проф. (Вінниця, Україна)

Грабко В.В., проф. (Вінниця, Україна)

Жученко А.І., проф. (Київ, Україна)

Ладанюк А.П., проф. (Київ, Україна)

Лисенко В.Ф., проф. (Київ, Україна)

Любчик Л.М., проф. (Харків, Україна)

Палов І., проф. (Русе, Болгарія)

Стовкова В.Д., доц. (Тракия, Болгарія)

Суслов В., доц. (Кошалін, Польща)

Артем'єв П., проф. (Ольштин, Польща)

Судацевські В., доц. (Кишинів, Молдова)

Аманжолова С., доц. (Алмати, Казахстан)

Інформаційні технології і автоматизація – 2024 / Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 31 жовтня - 1 листопада 2024 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2024 р. – 847 с.

Збірник включає матеріали доповідей учасників конференції, які об'єднані за тематичними напрямками конференції.

Збірник буде корисним як для фахівців і працівників фірм, зайнятих в області ІТ та автоматизації, так і для викладачів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками і спеціальностями програмного забезпечення, обчислювальної техніки і автоматизованих систем, прикладної математики та обробки інформації, буде корисним професіоналам з комп'ютерного моделювання та розробки комп'ютерних ігор.

Результати досліджень у збірнику представляють собою своєрідний зріз сучасного стану справ в перерахованих галузях знань, який може допомогти як фахівцям, так і студентам університетів скласти загальну картину розвитку інформаційних технологій та пов'язаних з ними питань.

Наукові праці згруповані за напрямками роботи конференції та наведені в алфавітному порядку прізвищ авторів.

Матеріали (тези доповідей) друкуються в авторській редакції. Відповідальність за якість та зміст публікацій несе автор.

Матеріали подано українською та англійською мовами.

Головний редактор збірника Сергій Котлик

Information Technologies and Automation - 2024 / Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Odessa, October 31 - November 1, 2024. - Odessa, ONUT Publishing House, 2024 – 847 p.

The collection includes materials of reports of conference participants, which are united by thematic areas of the conference.

The collection will be useful for professionals and employees of companies engaged in the field of IT, as well as for teachers, masters and students of higher education institutions studying in the areas and specialties of computer software and automated systems, applied mathematics and information processing, will be useful to professionals on computer modeling and development of computer games.

The results of research in the collection are a kind of slice of the current state of affairs in these areas of knowledge, which can help both professionals and university students to get a general picture of the development of information technology and related issues.

Scientific papers are grouped by areas of the conference and are listed in alphabetical order of the authors.

Materials (abstracts) are published in the author's edition. The author is responsible for the quality and content of publications.

Materials are submitted in Ukrainian and English.
Editor-in-Chief of the collection Sergii Kotlyk.

УДК 621.391

C-RAN І SDN ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗВИТКУ 5G/6G МЕРЕЖ: АРХІТУКТУРА ТА ВИКЛИКИ

Савченко Р. О., Колтаков О.А. (roman.savchenko1@nure.ua, oleksandr.koltakov@nure.ua)
Харківський національний університет радіоелектроніки (Україна)

Інтеграція хмарних радіомереж (C-RAN) та програмно-конфігурованих мереж (SDN) вирішує проблеми традиційних RAN-архітектур. C-RAN дозволяє централізувати обробку сигналів та спільно використовувати обчислювальні ресурси між базовими станціями. SDN забезпечує автоматизоване управління радіочастотним спектром і дозволяє адаптувати мережу до змінних умов трафіку. Використання когнітивного радіо, Dynamic Spectrum Sharing та Carrier Aggregation підвищує ефективність мережі. Основними перевагами є гнучкість, масштабованість та економія інфраструктурних ресурсів. Основним викликом є необхідність у високошвидкісних фронтхол-з'єднаннях і підвищені вимоги до кібербезпеки. C-RAN вже успішно застосовується в 4G та 5G мережах, забезпечуючи підтримку технологій Massive MIMO та mmWave. У майбутньому C-RAN стане основою для 6G мереж, відповідаючи вимогам розумних міст та середовищ з великою кількістю IoT-пристроїв.

У традиційній архітектурі радіодоступу (RAN) мережа складається з базових станцій (Base Stations, BS) та базових комутаційних одиниць (Baseband Units, BBU), які розміщені безпосередньо біля кожної базової станції. Такий розподілений підхід призводить до дублювання обладнання та обмеженої гнучкості у використанні ресурсів, особливо при зростанні навантаження та кількості користувачів. Кожна базова станція має власну BBU, що обробляє

радіосигнали, виконуючи функції модуляції, кодування та декодування на фізичному та каналному рівнях.

Different Types of Deployment Options

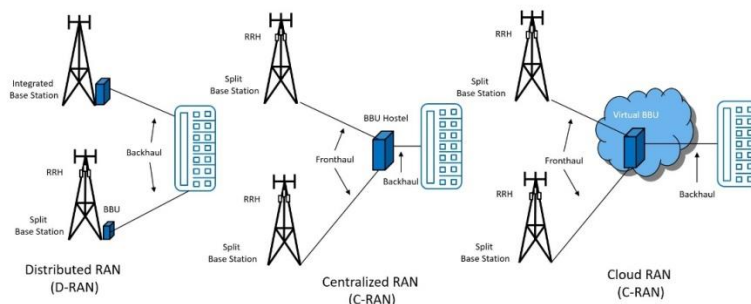


Рисунок 1 - Різні типи архітектур RAN – розподілена, централізована та хмарна

C-RAN радикально змінює цю архітектуру шляхом централізації BBU в хмарних дата-центрах, відомих як пул BBU. Це дозволяє спільно використовувати обчислювальні ресурси між різними базовими станціями, оптимізуючи їхнє використання відповідно до поточних потреб мережі. Відтак, фронтхол (Fronthaul) — високошвидкісний з'єднання між Remote Radio Heads (RRH) та централізованими BBU — стає ключовим елементом C-RAN, забезпечуючи передачу радіосигналів та даних з мінімальною затримкою та високою пропускну здатністю. Крім того, централізоване управління в C-RAN сприяє підвищенню ефективності обслуговування. Оператори можуть швидко здійснювати налаштування та оновлення мережі без необхідності фізичного доступу до кожної базової станції, що підвищує загальну продуктивність та знижує час простою. Також централізована координація між базовими станціями дозволяє зменшити інтерференцію та покращити якість зв'язку, що особливо важливо в густонаселених районах з високою щільністю користувачів.

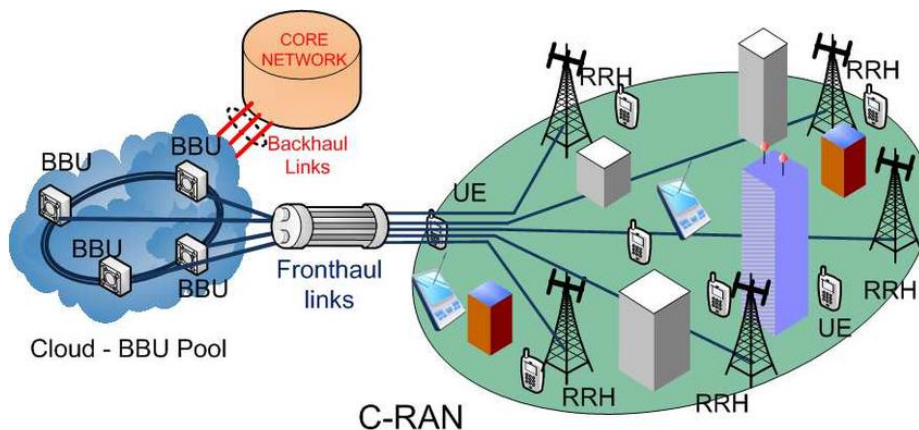


Рисунок 2 – Архітектура C-RAN

У сучасних умовах зростання попиту на мобільний зв'язок та розвиток технологій, таких як IoT та відеострімінг, операторам доводиться працювати зі збільшеним обсягом трафіку та ефективно розподіляти радіочастотні ресурси. Однак збільшення використання радіочастотного спектра призводить до виникнення численних викликів, серед яких зростаюча інтерференція, обмеженість спектра, потреба в адаптації до динамічних навантажень та підтримка високих рівнів якості обслуговування (QoS). Програмно-конфігуровані мережі (SDN) дозволяють операторам вирішувати ці виклики, пропонуючи централізоване та гнучке управління мережею. Завдяки SDN оператори отримують можливість у реальному часі контролювати та оптимізувати розподіл радіочастотних ресурсів, зменшуючи інтерференцію та підвищуючи пропускну здатність мережі. Гнучке управління спектром за допомогою технологій Dynamic Spectrum Sharing та когнітивного радіо дозволяє динамічно адаптуватися до змінних умов та максимізувати ефективність

використання частот. Крім того, SDN спрощує управління мережевими ресурсами завдяки автоматизації процесів. Це дозволяє мінімізувати час реагування на зміну навантажень, оптимально використовувати наявний спектр та підтримувати високий рівень QoS для різних видів трафіку. Технологія network slicing дає змогу створювати віртуальні підмережі з різними характеристиками, що відповідають вимогам конкретних сервісів або користувачів, забезпечуючи стабільну роботу навіть у пікові моменти.

Завдяки оркестраторам досягається гнучкість та можливість інтеграції мережесих функцій в програмно-конфігуровані мережі. У архітектурі C-RAN оркестратор керує розподілом обчислювальних ресурсів централізованих базових комутаційних одиниць (BBU) між віддаленими радіоголовками (RRH). Це дозволяє динамічно перерозподіляти потужності на основі поточного стану мережі та запитів користувачів. Завдяки інтеграції з SDN оркестратор також може забезпечувати ефективну маршрутизацію даних через різні сегменти мережі та здійснювати автоматичне масштабування мережі під час додавання нових базових станцій.

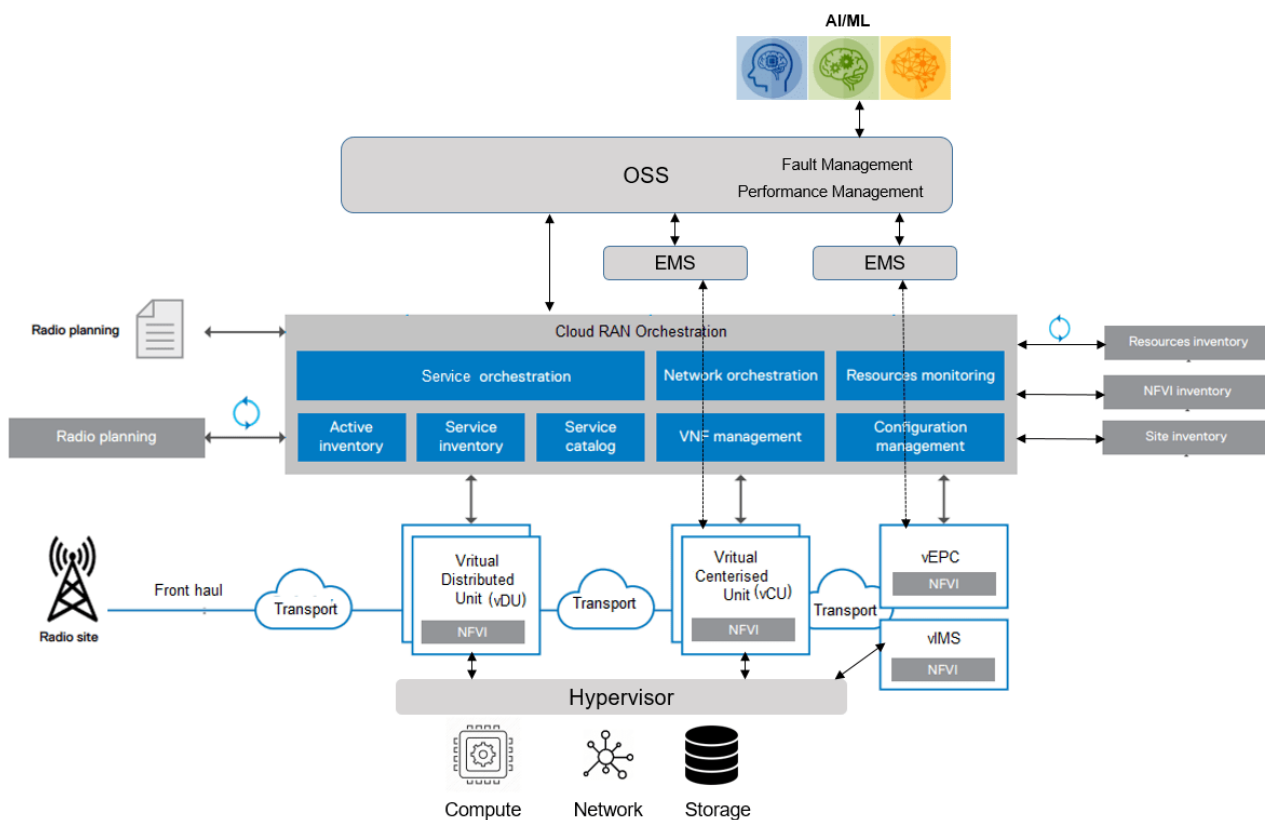


Рисунок 3 – Схема та функції оркестратора в програмно-конфігурованих мережах

Cloud Radio Access Network (C-RAN) та програмно-конфігуровані мережі (SDN) є стратегічним напрямом у розвитку сучасних мобільних мереж, спрямованим на підвищення ефективності управління ресурсами та забезпечення гнучкості й масштабованості. Ця архітектура дозволяє централізувати обробку даних у хмарних середовищах, що сприяє раціональному використанню обчислювальних потужностей та зниженню інфраструктурних витрат. У свою чергу, SDN забезпечує адаптивне управління радіочастотними ресурсами та автоматизацію процесів керування, що підвищує продуктивність мережі й оптимізує розподіл спектра в умовах змінних навантажень. Поєднання цих технологій стане ключовою основою для розгортання адаптивних, масштабованих і продуктивних мереж нового покоління, що здатні задовольнити потреби зростаючого цифрового суспільства й забезпечити основу для розвитку інноваційних сервісів у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Checko et al., "Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 405–426, 2015.
2. A. Gudipati, D. Perry, L. E. Li, and S. Katti, "SoftRAN: Software Defined Radio Access Network," in *Proc. ACM HotSDN*, pp. 25-30, 2013.
3. X. Costa-Pérez et al., "Radio Access Network Virtualization for Future Mobile Carrier Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 7, pp. 27–35, 2013.