

ЗАДАЧА РОЗПОДІЛУ АБОНЕНТСЬКОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ БАЗОВИМИ СТАНЦІЯМИ З ПІДТРИМКОЮ SDR

Сформульована задача розподілу навантаження мережі між базовими станціями з підтримкою SDR, в основі якої лежить визначення оптимальної кількості абонентів для передачі даних з використанням кожної з технологій WiMAX, Wi-Fi, GSM і LTE, при заданій кількості БС та абонентів з фіксованою технологією. Вирішення задачі дозволить здійснювати автоматичний перехід між технологіями, відповідно до інформації про завантаженість мережі.

Ключові слова: хмарна мережа радіодоступу, програмно-визначене радіо, технологія SDR, розподіл навантаження

Вступ. Швидке розростання і віртуалізація безпроводових мереж змінили політику мобільних мереж таким чином, щоб допомогти провайдерам перейти від власних апаратних і програмних платформ до відкритої економічно ефективної та гнучкої мобільної екосистеми. На сьогоднішній день інноваційні локальні сервіси можуть ефективно створюватись у хмарному середовищі за рахунок використання існуючої інфраструктури. Наслідком цього процесу стала поява технології RANaaS (Radio Access Network as a Service), яка представляє собою хмарну мережу радіодоступу, що поставляється в якості послуги. RANaaS надає гетерогенну віртуалізовану і багатокористувацьку мережу радіодоступу, відповідно до принципів Cloud (спільне використання інфраструктури, еластичність, оплата за вимогою).

За декілька останніх десятиліть мережа радіодоступу (RAN – Radio Access Network) еволюціонувала від аналогових до цифрових блоків обробки сигналу, в яких компоненти апаратного забезпечення замінені гнучкими і багаторазовими програмно визначеними функціями. В технології програмно визначеного радіо (SDR – Software Defined Radio) усі функції працюють на універсальному процесорі (GPP – General Purpose Processor) і потребують лише аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворень, підсилювачів потужності і антен, тоді як для звичайних мереж система базується на спеціально програмованих апаратних засобах (наприклад ASIC, ASIP, або DSP [1]) та відповідному програмному забезпеченні. Таким чином, гнучкість, яку пропонує SDR, покращує життєвий цикл сервісу та міжплатформенну переносимість за рахунок більш низької потужності та обчислювальної ефективності.

Віртуальна мережа радіодоступу розширює цю гнучкість завдяки віртуалізації середовища виконання. Таким чином, радіо функції стають прикладними програмами загального призначення, які працюють поверх віртуального середовища і взаємодіють з фізичними ресурсами або безпосередньо, або шляхом повної чи часткової емуляції апаратного рівня. Таке віртуалізоване програмно визначене радіо може надаватись в якості сервісу і керуватись за допомогою хмарного контролера [2].

Поява на ринку технологій мобільного зв'язку 5G очікується у 2020 році. Передбачається, що мережі мобільного зв'язку, побудовані на основі технологій 5G, забезпечуватимуть передачу даних зі швидкістю понад 10 Гбіт/с. Інфраструктура мереж 5G буде будуватись на основі хмарних технологій – як в мережах радіодоступу Cloud RAN з програмно-визначеним радіо SDR, так і в базовій мережі Cloud CN (Cloud Core Network) з програмно-визначеною інфраструктурою SDN (Software Defined Network) [3]. Тому підвищення ефективності роботи мережі радіодоступу на базі SDR є досить актуальною задачею.

Огляд технології SDR. На сьогоднішній день одним з завдань, що стосується мережі RAN, є знаходження способу оптимального використання та керування обмеженим спектральним ресурсом. В щільно розгорнутих безпроводових мережах з мобільними вузлами та обмеженим спектром досить складними завданнями є розподіл радіоресурсу, здійснення хендоверу, керування інтерфейсом та балансування навантаження між сотами. Використання хмарної мережі радіодоступу з програмно визначеною радіомережею SDR дозволить вирішити цю проблему.

SoftRAN являє собою програмно визначену платформу управління для мереж радіодоступу, яка абстрагує усі базові станції у локальній географічній області у вигляді великої віртуальної базової станції, що складається з центрального контролера і радіо елементів (індивідуальних фізичних базових станцій) [4].

Технологія SDR передбачає, що усі радіоприймачі реалізуються у програмному забезпеченні, яке виконується на спільній апаратній платформі. SDR в поєднанні з технологією хмарних обчислень змінить інфраструктуру мережі безпроводового доступу, дозволивши спільне використання обчислювальних ресурсів і цифрову обробку сигналів [5].

Основна різниця між програмно визначеним і апаратним радіо полягає у використанні на стороні користувача пристрою для сканування доступних смуг частот та в інтегруванні всіх технологій в одному інтерфейсі. Це означає, що користувач може використовувати лише один пристрій для прийому сигналів WiMAX, Wi-Fi, GSM або LTE. Правила використання вбудовуються в чіп, таким чином користувач може використовувати смугу частот відповідно до встановлених норм. Хоча кожен сигнал має різні методи кодування та аналізу, він вимагає завантаження останніх стандартних модулів для нормального прийому та розпізнавання радіосигналів. Таким способом можна скоротити витрати та заощадити простір. З точки зору управління, керування апаратним радіо є гнучким, так як можна управляти лише з'єднаннями та змінювати налаштування TCP/IP і прикладні програми. На противагу цьому, діапазон керування SDR може охоплювати фізичний рівень (рис. 1) [6].

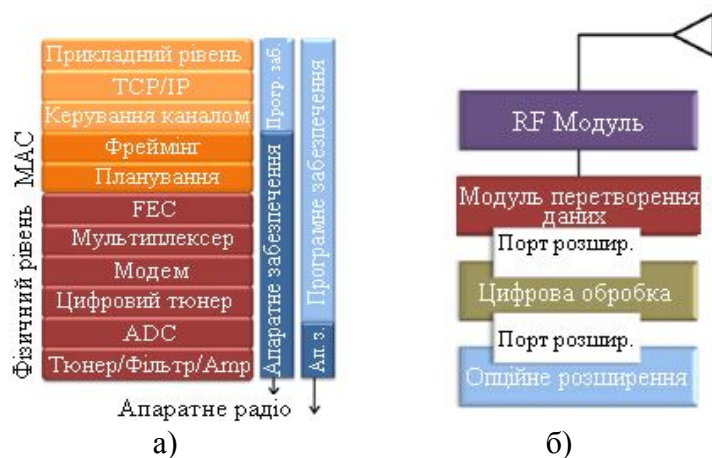


Рис. 1. Основні принципи керування: а) апаратним радіо, б) програмним радіо
 MAC (Media Access Control) – рівень керування доступом до середовища;
 FEC (Forward Error Correction) – завадостійке кодування;
 ADC (Analog-to-Digital Converter) – рівень перетворення аналогового сигналу на цифровий;
 RF (Radio Frequency) Модуль – радіочастотний модуль для передачі даних.

Задача ефективного керування спектральним ресурсом є досить складною. На сьогоднішній день багато сервісів, пристроїв та спеціальних протоколів мають власний виділений діапазон частот. Які не перетинаються у програмному просторі. Вдосконалення мережі 5G повинно базуватись на спільному або повторному використанні частотного спектра. Використання програмно визначеного радіо дозволить динамічно розрізняти перешкоди і накладання.

У мережі 5G зв'язок між спектром і потоком стане більш очевидним, так як повторне використання спектру може зменшити навантаження, розподіляючи трафік між різними

частотними діапазонами. Іншими словами, коректний розподіл потоків між смугами частот дозволяє зменшити конкуренції між спектрами та уникнути перевантаження смуги пропускання. Очікується, що SDR буде враховувати результати моніторингу при сприйнятті частотного спектру або перемиканні діапазонів.

Метод автоматичного вибору технології абонентської БС для хмарної мережі радіодоступу (C-RAN). Впровадження технології SDR у мобільні мережі нового покоління та зростаючі вимоги до пропускної здатності в мережах радіодоступу RAN стали основною рушійною силою у розвитку нової парадигми мережі RAN – хмарної мережі радіодоступу C-RAN. Така інноваційна архітектура значно знижує витрати телекомунікаційних компаній та дозволяє більш повно використовувати мережеві ресурси.

На відміну від класичної концепції базової станції, яка розглядає БС як систему з'єднаних радіоблоків RRH (Remote Radio Head) і модулюючого блоку BBU (Baseband Unit), C-RAN представляє собою систему віддалених RRH, з'єднаних за допомогою ліній з високою пропускною здатністю, які управляються з єдиної централізованої точки (хмари), яка відповідає за всі задачі обробки BBU на широкій географічній площі. Всі процеси обробки сигналу на всіх рівнях перенесені із соти у віддалене місце – у хмарне середовище. Блок RRH у соті, як і раніше, відповідає за передачі радіосигналу. Інтерфейс між модулями RRH та BBU називається CPRI (Common Public Radio Interface). На рис. 2 зображено архітектуру мережі C-RAN.

C-RAN складається з трьох основних частин (рис. 2):

- 1) хмарне середовище реального часу для централізованої обробки: зменшує сайт базових станцій, споживання енергії та вартість CAPEX/OPEX;
- 2) оптична транспортна мережа з високою пропускною здатністю: адаптується під динамічне навантаження мережі;
- 3) розподілені віддалені радіоблоки RRU (Remote Radio Unit): спільна багатоточкова обробка.

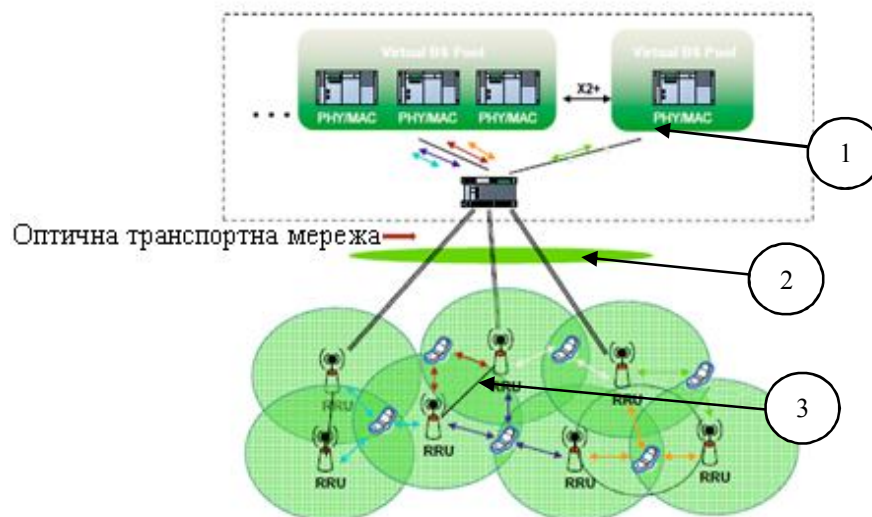


Рис. 2. Архітектура мережі C-RAN

PHY (Physical layer) – фізичний рівень; Virtual BS Pool – набір віртуальних базових станцій

Так як усі модулюючі функції обробки більше не знаходяться у соті, вони потребують значно менше енергозатрат, що знижує їх вартість. Це дає можливість збільшувати густоту розміщення блоків RRH у певних районах. В перше чергу це стосується районів міста з високим навантаженням трафіку. Через невелику відстань між RRH вони можуть використовуватись в якості універсального рішення для різних стандартів LTE, що робить процес обробки заявок значно простішим і дешевшим [7].

Інша важлива концепція, яка використовується в C-RAN – це віртуалізація ресурсів. Тепер усі обчислювальні ресурси знаходяться у віртуальних базових станцій (ВБС) з пулу

(загального набору). Віртуалізація відбувається шляхом переходу від спеціалізованих апаратних платформ, на базі яких працюють сучасні базові станції до програмованих платформ з широкою сферою призначення – до програмно визначеного радіо. Всі функції SDR реалізовані за допомогою програмного забезпечення на процесорі GPP або на вбудованих системах DSP/FPGA (Digital Signal Processor – цифровий сигнальний процесор/Field-Programmable Gate Array – пристрій з програмованою логікою).

Сучасні базові станції виконують обробку сигналів за допомогою різних технологій (WiMAX, Wi-Fi, GSM або LTE). Основна перевага використання технології SDR полягає у тому, що користувач може використовувати один пристрій для прийому різних типів сигналів. При цьому перемикання між різними технологіями відбувається автоматично без участі користувача. При підключенні до відповідної базової станції вбудований у пристрій чіп самостійно розпізнає, який тип сигналу і на якій частоті він повинен прийняти.

Використання технології SDR для хмарної мережі радіодоступу дозволить програмувати віртуальні базові станції таким чином, щоб вони могли автоматично виконувати перехід від однієї технології до іншої. При цьому враховуються дані моніторингу про завантаженість певної ділянки мережі. Такий автоматичний перехід дозволить оптимізувати використання обчислювальних ресурсів віртуальних базових станцій та збільшити ефективність обробки потоку.

На рис. 3 зображено приклад використання технології SDR для здійснення автоматичного вибору технології абонентської базової станції.

Підвищення ефективності такої мережі полягає у оптимальному розподілі навантаження між базовими станціями з технологією SDR. Основною метою даної роботи є підвищення ефективності роботи мережі на базі технології SDR за рахунок планування роботи системи керування потоками заявок. Балансування навантаження відбувається шляхом автоматичної зміни кількості абонентів, що передають інформацію по тій чи іншій технології. Критерієм ефективності є оцінка середнього значення довжини черги.

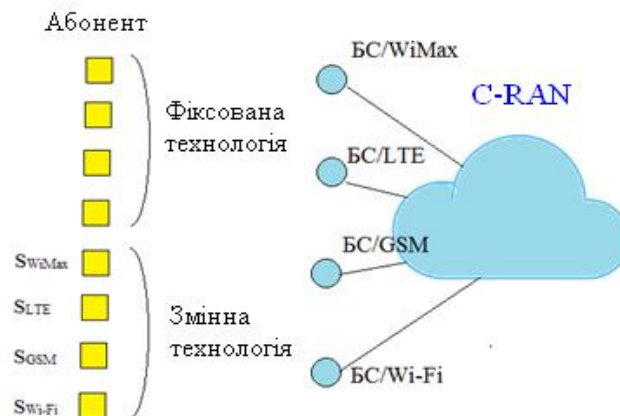


Рис. 3. Використання SDR для автоматичного вибору технології БС S_{WiMax} , S_{LTE} , S_{GSM} та S_{Wi-Fi} – абоненти, які передають дані за відповідними технологіями

Задача забезпечення хендоверу в описуваній мережі C-RAN забезпечується завдяки постійному обміну аутентифікаційною інформацією між сусідніми сотами, як показано на рис. 4. Впроваджується спеціальний аутентифікаційний модуль для моніторингу і прогнозування місцезнаходження користувачів та готуються відповідні соти перед прибуттям користувача, що гарантує безперебійну аутентифікацію під час хендоверу. За допомогою фільтру TFT (Traffic Flow Template), що представляє собою шаблон потоку трафіка, та відповідної інформації про якість обслуговування модуль АНМ (Authentication handover module) збирає безпечну контекстну інформацію SCI (Secure context information) і передає її усім сотам, які знаходяться на шляху користувача (від соти А до В і С – рис. 4).

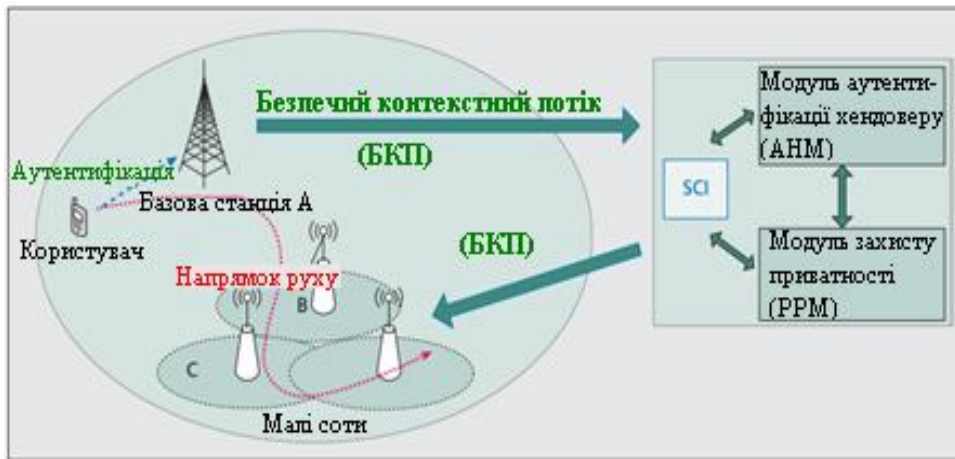


Рис. 4 Забезпечення хендоверу в мережі C-RAN

Відповідні точки доступу сот готують ресурси для забезпечення плавного переходу користувачів. Конкретні атрибути користувача, включаючи ідентифікатор, місце розташування, напрямок, час проходження та характеристики фізичного рівня, повинні розглядатись як надійна SCI для забезпечення безпечного хендоверу у мережах 5G замість використання комплексних криптографічних механізмів.

У якості некриптографічного методу атрибути користувача можуть спростити процедуру аутентифікації, забезпечивши унікальний відбиток конкретного пристрою без додаткового апаратного забезпечення та витрат на додаткові обчислювальні операції [8]. Таким чином, ми можемо розподіляти абонентів між технологіями в межах спільної віртуальної базової станції, що розміщується у хмарі і обслуговує точки доступу різних технологій.

Розрахунок пропускної здатності мережі C-RAN. Виконаємо оцінку пропускної здатності мережі C-RAN з урахуванням даних про спектральну ефективність соти для усіх технологій (рис. 5).

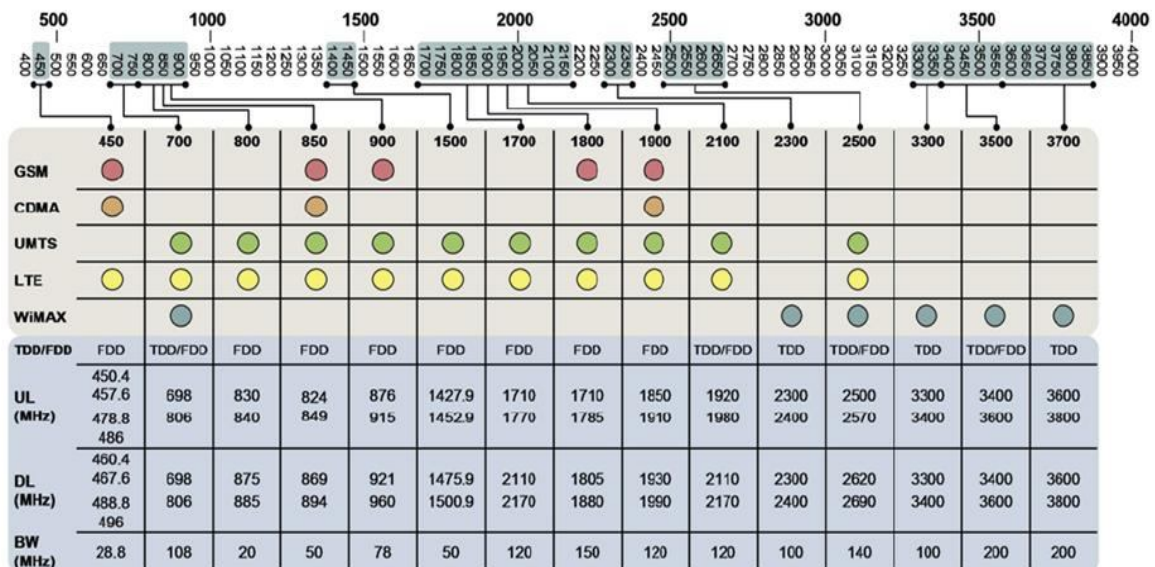


Рис. 5 Ю Спектральні ефективності соти для різних технологій

- UL (Uplink) – висхідна лінія зв’язку: від наземного терміналу (абонента) до базової станції;
- DL (Downlink) – нисхідна лінія зв’язку: від базової станція до абонента;
- BW (Bandwidth) – ширина спектру сигналу;
- TDD (Time Division Duplex) – часовий рознос вхідного і вихідного каналу;
- FDD (Frequency Division Duplex) – частотний рознос вхідного і вихідного каналу.

Для оцінки пропускної здатності і ємності мережі використаємо дані про середні значення спектральної ефективності однієї соти мереж WiMAX, Wi-Fi, GSM і LTE і розрахуємо середню пропускну здатність соти базової станції:

$$R_{FDD} = S_{FDDaverage} \times W, \text{ Мбіт/с } ,$$

де $S_{FDDaverage}$ – спектральна ефективність, біт/с/Гц; W – ширина каналу, МГц.

Далі розрахуємо сумарну пропускну здатність мережі у напрямку до абонента:

$$R_{NW} = R_{eNB} \times N_{eNB}, \text{ Гбіт/с } ,$$

де R_{eNB} – середня пропускну здатність БС, Мбіт/с; N_{eNB} – кількість БС.

Розрахунок середнього трафіку абонента в години найбільшого навантаження (ГНН) проводиться за формулою:

$$R_{BH} = \frac{T_m \times N_{bit}}{N_d \times N_{BH} \times t_h}, \text{ Кбіт/с } ,$$

де T_m – кількість трафіку, яку витрачає користувач за місяць; N_{bit} – кількість біт в 1 байті;
 N_d – кількість днів в місяці; N_{BH} – кількість годин найбільшого навантаження;
 t_h – кількість секунд в годині, с.

Середній трафік абонента на лінії «вниз» в ГНН:

$$R_{DL} = R_{BH} \times S_{DL}, \text{ Кбіт/с } ,$$

де S_{DL} – частина трафіку, що приходить на лінію «вниз».

Ємність мережі (кількість абонентів) складає: $N_{sub} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$.

Для розрахунків використовувались статистичні дані про кількість трафіку, що передається за місяць з використанням кожної технології. Розглянуто приклад для 40 базових станцій (по 10 на кожну технологію). Результати розрахунків викладені в табл. 1

Табл. 1

Технологія	WiMax	Wi-Fi	GSM	LTE
Середня пропускну здатність, Мбіт/с	3,75	2,7	0,5	2,5
Середня швидкість в години навантаження, Кбіт/с	594	442	225	298
Максимальна ємність мережі, аб.	2568	2459	487	753

В подальшому планується розв'язати задачу оптимально розподілу навантаження між базовими станціями з технологією SDR. Використання таких базових станцій дозволить виконувати автоматичний перехід між технологіями WiMAX, Wi-Fi, GSM і LTE, відповідно до завантаженості певних ділянок мережі. Задача оптимального розподілу навантаження між базовими станціями зводиться до визначення оптимальної кількості абонентів, які передають дані з кожною технологією при заданій кількості БС та абонентів з фіксованою технологією.

Постановка задачі. Відомо: кількість базових станцій, які підтримують кожен технологію; кількість фіксованих абонентів кожної технології. Розрахувати: ємність мережі для кожної технології.

Оптимальна кількість абонентів для кожної технології, отримана в результаті розв'язку задачі, дозволить здійснювати автоматичний перехід між технологіями, відповідно до завантаженості мережі.

Висновки. В статті проаналізовано основні перспективи розвитку мережі RAN. Розглянуто можливість використання хмарної мережі радіодоступу з програмно визначеною радіомережею SDR для вирішення проблеми використання та керування обмеженим спектральним ресурсом. Досліджено, що використання технології SDR для хмарної мережі радіодоступу дозволить програмувати віртуальні базові станції таким чином, щоб вони могли автоматично виконувати перехід від однієї технології до іншої.

Сформульовано задачу оптимально розподілу абонентського навантаження між базовими станціями з технологією SDR. Поставлена задача дозволить виконувати автоматичний перехід між технологіями передачі даних, відповідно до інформації про завантаженість мережі.

Список використаної літератури

1. Schliebusch O. Application Specific Processors for Flexible Receivers / O. Schliebusch, G. Ascheid, A. Wiefierink, R. Leupers, H. Meyr // In Proc. of National Symposium of Radio Science (URSI), Poznan (Poland), April 2005.
2. Open Air Interface Cloud RAN (C-RAN). 5G software alliance for democratising wireless innovation [Електронний ресурс] // – Режим доступу : http://www.openairinterface.org/?page_id=466.
3. Тихвинский В. О. Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания / В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка // Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 37-46.
4. Gudipati A. Lucent SoftRAN: Software Defined Radio Access Network / A. Gudipati, D. Perry, Li Erran Li, S. Katti // Hong Kong, HotSDN'13. – 2013. – №13. – PP. 25-30.
5. Gomez-Miguel I. Deployment and management of SDR cloud computing resources: problem definition and fundamental limits / I. Gomez-Miguel, V. Marojevic, A. Gelonch // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2012. – No. 10. – PP. 58-64.
6. Cho H. Integration of SDR and SDN for 5G / H. Cho, Ch. F. Lai, H. Ch. Chao // IEEE Access Journal. – 2014. – PP. 1196-1204.
7. Hadzialic M. Cloud-RAN: Innovative radio access network architecture / M. Hadzialic, B. Dosenovic, M. Dzaferagic, J. Musovic // Conference Elmar Zadar, Croatia. – 2013. – PP. 35-41.
8. Duan X. Authentication handover and privacy protection in 5G hetnets using software-defined networking / X. Duan, X. Wang // IEEE communication magazine. – 2015. – Vol. 53. – No. 4. – PP. 28-35.

Автори статті

Скулиш Марія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського». Тел. +38-050-607-42-29. E-mail: mskulysh@gmail.com.

Заставенко Анна Анатоліївна – аспірант кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського». Тел. +38-063-726-57-04. E-mail: annpost777@mail.ru.

Authors of the article

Skulysh Mariia Anatoliivna – candidate of sciences (technical), associate professor of information and telecommunication networks department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute". Tel. +38-050-607-42-29. E-mail: mskulys h@gmail.com.

Zastavenko Anna Anatoliivna – post graduate student of information and telecommunication networks department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute". Tel. +38-063-726-57-04. E-mail: annpost777@mail.ru.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор Л. С. Глоба
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»

Дата надходження
в редакцію: 25.09.2016 р.