

СТАНДАРТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖІ 5G І МОЖЛИВІСТЬ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

У роботі було досліджено архітектуру мережі 5G та запропоновано варіант системи моніторингу параметрів на базі SCOM. Дану систему можна використовувати для збору та аналізу інформації про продуктивність мережі, виявлення відхилень, сповіщення про них для своєчасного усунення. Були представлені технології для використання мобільної мережі стандарту 3 GPP п'ятого покоління. Були проаналізовані та запропоновані к впровадженню. Також були досліджені сучасні можливості мережі 5go покоління та технології для їх впровадження. В роботі проаналізовані та надані рекомендації до впровадження наступних серверів. 5G мережі дають змогу значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу (RAT), і за допомогою використання нових спектрів радіочастот 5G NR (New Radio). Для вирішення «Розумний будинок» (Smart Home) і «Розумна будівля» (Smart Building) доступний цілий спектр різних сервісів інтернету речей (IoT): відеоспостереження, управління та автоматизація побутової техніки, управління системами безпеки тощо. Сервіс віртуальної реальності VR (Virtual Reality) створює ілюзію переміщення людини в інший світ, впливаючи на органи чуття, перш за все на зір (VR-окуляри). Сервіс доповненої реальності AR (Augmented Reality) комбінує реальне оточення з віртуальними предметами. Ці сервіси призначені не лише для розваг, а й для науки. Мережа 5G, разом з технологією інтернету речей IoT, за допомогою промислових датчиків IIoT (Industrial Internet of things), а також за допомогою штучного інтелекту II (AI, Artificial Intelligence) здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. При цьому з'являється можливість в режимі реального часу аналізувати великі обсяги різноманітних даних (Big Data) як на основі отриманих висновків (insights), так і з використанням машинного та глибокого навчання (Machine learning, Deep learning). До цих програм можуть відноситися, наприклад, електронна медицина (e-Health), зв'язок при надзвичайних ситуаціях (Mission Critical Communication), тактильний інтернет (Tactile Internet) та інші. Безпілотний транспорт може використовуватись як частина послуги «Розумне місто», однак, може існувати і окремо. Також на платформі 5G можлива реалізація систем допомоги водієві ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems). Ключові слова: мобільна мережа, програмне забезпечення, середовище програмування, макро та мікро рівень, стандарти мобільних мереж, мережева архітектура, гіпервізор, моніторинг, автоматизація процесів.

Вступ. Сучасний світ вже неможливо уявити без інтернету, смартфона та інших гаджетів, які щільно увійшли в наше життя. Ці технології не лише роблять життя цікавішим але й використання інтернет-доступу дає можливість цілими підприємствами на видаленому доступі від об'єкту, моніторити стан нашого здоров'я та повідомляти лікаря заздалегідь як-що є загроза нашому життю, інтернет доступ робить можливим керування маніпуляторами, безпілотними об'єктами, дронами. Але технічні можливості мереж не мали не дозволяли нам цього, і лише мережі 5G централізованого типу згідно стандарту матимуть таку можливість, але для цього треба впровадити ряд технічних рішень.

Для коректної роботи мережі необхідно забезпечити постійний контроль за параметрами. На сьогоднішній день існує багато програмного забезпечення для моніторингу мереж, але якщо брати до уваги те, що 5G реалізується на віртуальних елементах, є доцільним використання компоненту SCOM для контролю параметрів та працездатності мережі та своєчасного усунення відхилень.

Мета і завдання виконання роботи. Дослідити архітектуру та функції мереж п'ятого покоління, розробити систему моніторингу параметрів мережі 5G.

Об'єкт дослідження – забезпечення контролю параметрів мережі 5G.

Предмет дослідження – центр моніторингу інцидентів з метою контролю параметрів та забезпечення безперервної роботи даної мережі.

Аналіз джерел. В статі [1] автор акцентує увагу на складну систему керування мобільною інфраструктурою яка складеться з багатьох інструментів та можливостей програмно-керованої мережі, але зовсім не зосереджена увага на низьку надійність мережі SDN

Багато проблем можливо вирішити за допомогою програмного забезпечення яке можливо встановити на прикладний рівень програмно-керованої мережі або 5G [2, 3].

За допомогою якого ми матимемо можливість керувати процесами та автоматизувати багато процесів мережі, в тому числі об'єднати існуючі моделі та функції.

За минулі 5 років на ринку відбулося величезна кількість злиттів / поглинань і багатообіцяючих інвестицій. Та сама обіцяна вендору незалежність давала надію на появу стартапів в одній з найскладніших сфер в ІТ - мережеві технології. Ще 15-20 років тому диктат ІТ-гігантів Cisco, Brocade, Juniper і тд здавався непорушним. SDN обіцяли значний перерозподіл ринку. Наші колеги з NFware підрахували, що тільки в 2015 році сфера SDN та NFV привернула понад \$ 600 млн інвестицій. [4]

А саме в комплексі ці моделі зможуть зменшити вартість та підняти показники мережі вилучив саме ті недоліки які не згадані в роботах на теми централізованих ПКМ.

На сьогодні багато великих корпорацій використовують технологію програмного забезпечення для керування проектами, такі як HP, Cisco, XeroX [5 - 7].

Але нажаль про системи керування комп'ютерною мережею поки що не згадуються не в вітчизняних ні в закордонних джерелах, мабуть тому що в децентралізованому вигляді це зробити дуже важко. Але на даний час ПКМ набувають велику популярність [8 - 10]

Виклад основного матеріалу статті

Дослідження архітектури мережі 5g. Необхідність впровадження мережі 5G

Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Основними функціями мереж 5G є:

Вдосконалений мобільний широкосмуговий доступ eMBB (enhanced MBW).

Надійні комунікації з низькою затримкою ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication).

Масивні міжмашинні комунікації Massive IoT / ПоТ, mMTC (massive Machine Type Communication).

На основі цих трьох функціональних особливостей будується все різноманіття послуг і можливостей мереж ІМТ2020 (5G). На рисунку нижче зображені найпоширеніші можливості [1]:

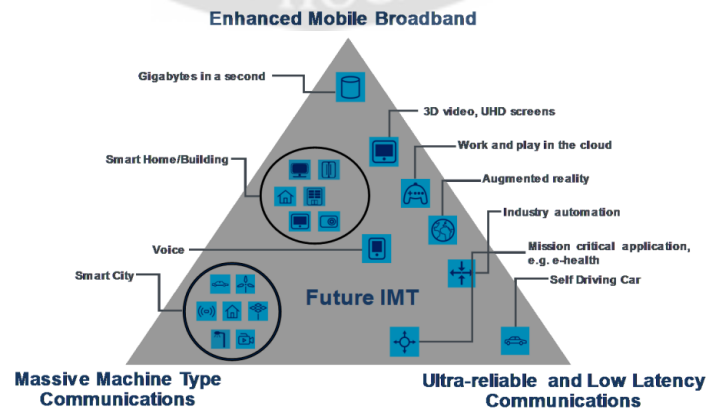


Рисунок 1 – Різноманіття функціональних можливостей мереж ІМТ2020 / 5G

Гігабайти в секунду. 5G мережі дають змогу значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу (RAT), і за допомогою використання нових спектрів

радіочастот 5G NR (New Radio). Користувач отримує змогу користуватись практично необмеженою пропускнуою смугою, яка може бути використана для домашнього використання, так і для підприємств (Immersive Telepresence, Industrial IoT та ін.).

Розумний будинок. Для вирішення «Розумний будинок» (Smart Home) і «Розумна будівля» (Smart Building) буде доступний цілий спектр різних сервісів інтернету речей (IoT): відеоспостереження, управління та автоматизація побутової техніки, управління системами безпеки тощо.

Розумне місто. Рішення «Розумне місто» - розширення функціоналу та спектру сервісів «Розумного будинку». Основними сервісами «Розумного міста» є: безпечне місто, електронний банкінг e-Bank, електронний уряд e-Government, електронна освіта e-Education, електронна охорона здоров'я e-Health, «розумні електромережі» Smart Grid, тощо .

Робота в хмарі. Сервіс дає можливість не просто зберігати дані в хмарному сховищі і вилучати їх звідти, а й використовувати прикладні програми, які працюють безпосередньо в хмарі. До того ж, з можливістю їх використання на будь-якому пристрої і з будь-якого місця. Також існує можливість використання інтерфейсів прикладного програмування API, через які хмарні сервіс-провайдери можуть надавати свої послуги абонентам оператора мережі 5G.

Доповнена і віртуальна реальність (AR/VR). Сервіс віртуальної реальності VR (Virtual Reality) створює ілюзію переміщення людини в інший світ, впливаючи на органи чуття, перш за все на зір (VR-окуляри). Сервіс доповненої реальності AR (Augmented Reality) комбінує реальне оточення з віртуальними предметами. Ці сервіси призначені не лише для розваг, а й для науки.

Промислова автоматизація. Мережа 5G, разом з технологією інтернету речей IoT, за допомогою промислових датчиків IIoT (Industrial Internet of things), а також за допомогою штучного інтелекту II (AI, Artificial Intelligence) здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. При цьому з'являється можливість в режимі реального часу аналізувати великі обсяги різноманітних даних (Big Data) як на основі отриманих висновків (insights), так і з використанням машинного та глибокого навчання (Machine learning, Deep learning).

Бізнес-критичні додатки (Mission Critical Applications). До цих програм можуть відноситися, наприклад, електронна медицина (e-Health), зв'язок при надзвичайних ситуаціях (Mission Critical Communication), тактильний інтернет (Tactile Internet) та інші.

Безпілотний транспорт (Driverless Vehicles). Безпілотний транспорт може використовуватись як частина послуги «Розумне місто», однак, може існувати і окремо. Також на платформі 5G можлива реалізація систем допомоги водієві ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems).

В загальному, мережа 5G вбирає в себе не тільки мобільні, але також і фіксовані послуги зв'язку, а також високошвидкісний доступ в інтернет з малою затримкою (див. рис. нижче), і, крім того, спеціалізовані та корпоративні мережі для вертикальних галузей економіки [2].

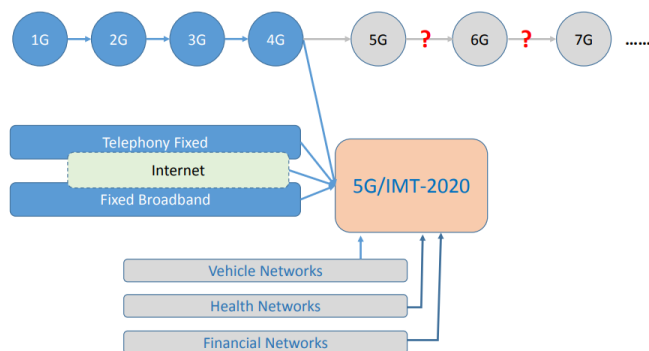


Рисунок 2 –Універсальність платформи 5G / IMT2020

У проектах «розумних міст» платформа 5G дозволить в режимі реального часу передавати інформацію з набагато більшого числа сенсорів на різних об'єктах. Старший

директор Qualcomm з продуктового менеджменту мобільних технологій Санджив Аталі (Sanjeev Athalye) відзначає, що можна буде розгорнути тисячу сенсорів замість сотні, для обслуговування яких буде достатньо меншої кількості базових станцій, ніж при існуючих нині мережах. Це можуть бути, наприклад, сенсори моніторингу стану об'єктів, сенсори «розумного освітлення» або сенсори звуку, встановлені з метою безпеки і дотримання порядку в місті. В останньому випадку сенсори можуть фіксувати підозрілі або занадто гучні звуки, і дана інформація буде автоматично передаватися в служби охорони правопорядку.

Сервіси 5G можуть бути застосовані і в медицині для організації віддаленого моніторингу стану пацієнтів. Лікар зможе оперативнo отримувати інформацію з спеціальних сенсорів і стежити за станом пацієнтів цілодобово.

Завдяки дуже низьким затримкам передачі даних 5G також дасть можливість для віддаленого проведення операцій за допомогою робота. Такий сервіс особливо актуальний для невеликих населених пунктів, де немає хірургів на місцях: керуючи маніпуляціями робота, операцію може провести фахівець, який перебуває в абсолютно іншому місці. За рахунок 5G такий сервіс можна буде розгорнути в бездротових мережах.

Практичні переваги 5G

Платформа мережі 5G надає для операторів значні переваги, що виражаються перш за все, в розширенні функціональних можливостей, збільшенні пропускної здатності мережі (performance) та підвищенні рівня задоволеності користувачів (User Experience). На малюнку нижче показані основні параметри мережі IMT2020 (5G), в порівнянні з показниками IMT-Advanced (4G), які дозволяють цього досягти.[3]

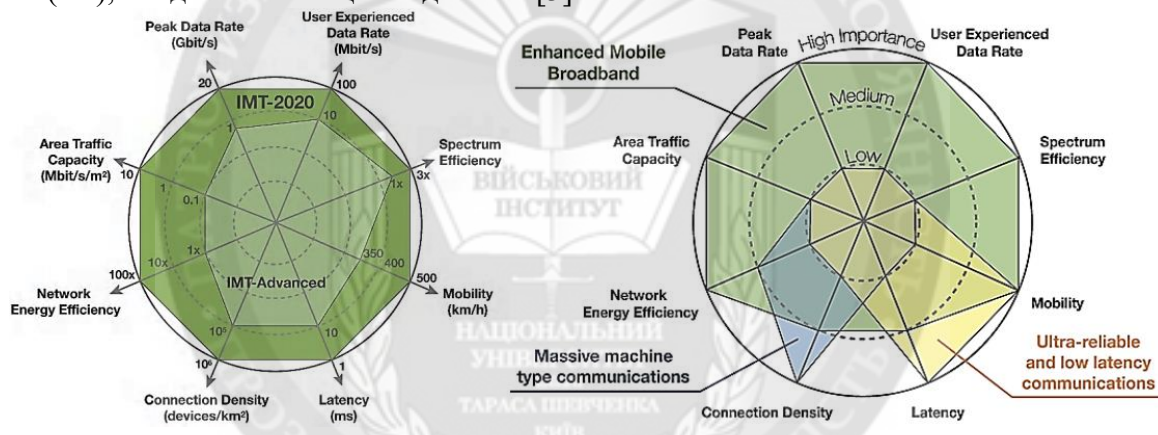


Рисунок 3 – Практичні переваги 5G

Рекомендація 3GPP TR 38.913 визначає наступні ключові показники мереж 5G:

Пікова швидкість: на лінії вгору (Uplink) 10 Гбіт / с (спектральна ефективність 15 біт / с / Гц); на лінії вниз (Downlink) 20 Гбіт / с (спектральна ефективність 30 біт / с / Гц);

Швидкість: може досягати 100 Мбіт / с і більше на одного користувача.

Ефективність використання спектру: кількість інформації, яку можна передати на одиницю частотного діапазону, в мережі 5G буде принаймні в 3 рази вище, ніж в 4G.

Мобільність користувача: швидкість, з якою може переміщатися користувач з терміналом 5G по площі покриття мережі без втрати хендоверу між базовими станціями, в мережі 5G досягає 500 км / год, що дає можливість користуватися послугами 5G в швидкісних поїздах.

Затримка в мережі 5G: знижується до 1 мс і менше, в той час як в мережі 4G можна досягти мінімум 10-мілісекунди затримки.

Щільність терміналів в мережі 5G підвищується і може досягати декількох мільйонів пристроїв на 1 кв. км (наприклад, сенсорів IoT).

Дані показники інколи є несумісними і навіть взаємовиключними. Тому різним пристроям в різні моменти часу будуть доступні тільки певні сервіси з певними показниками (в рамках концепції Network Slicing).

Частоти. Станом на 2019 рік 5G передбачається використовувати в різних спектрах радіочастот. Однак, в діапазоні до 6 ГГц, в тому числі виділеного під Wi-Fi діапазону 5 ГГц, поки існують серйозні проблеми з наявністю вільних частот. Виділення частот для 5G в спектрі до 6 ГГц вже погоджено на Всесвітній конференції радіозв'язку ВКР (WRC-15, World radiocommunication conference) в 2015 році.

Делегати Всесвітньої конференції радіозв'язку 2019 роки (ВКР-19) визначили додаткові смуги радіочастот для Міжнародного рухомого електрозв'язку (ІМТ), які сприятимуть розвитку мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G). [3]. При визначенні смуг частот 24,25-27,5 ГГц, 37-43,5 ГГц, 45,5-47 ГГц 47,2-48,2 і 66-71 ГГц для розгортання мереж 5G, ВКР-19 також вжила заходів для забезпечення належного захисту супутникової служби дослідження Землі (EESS). В цілому делегати конференції визначили 17,25 ГГц спектру для ІМТ в порівнянні з пропускною спроможністю 1,9 ГГц, доступної до проведення ВКР-19. Спектр в 14,75 ГГц був гармонізований у всьому світі, досягнувши 85% глобальної гармонізації.

Низькі частоти забезпечують гарне проникнення радіохвиль в приміщення, що дуже важливо для ІоТ. Особливо важливий діапазон 700 МГц, який призначений для систем зв'язку М2М, «розумного міста» і «розумних будинків». *Високочастотний спектр* необхідний мережам 5G для досягнення швидкості передачі даних до 20 Гбіт / с, зокрема, для надання послуг 3D-відео, AR / VR, хмарні сервіси для роботи та ігор та ін.

Технології 5G New Radio (5G NR)

Для того, щоб задовольнити всі зростаючі вимоги до мобільного зв'язку, для 5G були розроблені технології, об'єднані під загальною назвою «нове радіо 5G», 5G New Radio (5G NR).

Основні відмінні риси радіо-технології 5G NR :

Додавання нових діапазонів радіо-спектра, згідно з вимогами до швидкості передачі сигналів, числа пристроїв, зростання трафіку численних додатків 5G.

Оптимізована технологія OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів). Ця технологія вже була успішно застосована в 4G / LTE-A, а також в останніх версіях Wi-Fi.

Формування променів (Beamforming). Це технологія здатна реалізувати багато переваг 5G. Вона дає можливість направляти промінь радіохвиль від базової станції на певні пристрої, як рухомі, так і нерухомі, без впливу на інші промені, спрямовані на ті ж пристрої.



Рисунок 4 – Beamforming

MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO - Метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, який вже застосовувався в Wi-Fi і 4G, в 5G був значно вдосконалений, зокрема, в розрахованому на багато користувачів режимі MU-MIMO (Multi-User- MIMO) в базових станціях 5G gNodeB (gNB), антени яких складаються з матриці випромінюючих елементів. Це дає можливість посилювати рівень сигналу для конкретного користувача, в той же час мінімізуючи вплив даного сигналу на інших користувачів.

Технології спільного використання спектру (Spectrum sharing). Дуже часто спектри радіочастот не використовуються ефективно. Для вирішення цього завдання були розроблені технології Spectrum sharing.

Уніфікована міжчастотна взаємодія (Unified design across frequencies). Оскільки в 5G NR додано безліч нових частотних діапазонів, важливо забезпечити інтерфейс взаємодії при переході каналу з однієї частоти на іншу при хендовері між базовими станціями.

Small cells. Ущільнення мережевого покриття веде до того, що число базових станцій має збільшуватися. Тому було запропоновано рішення Small Cells - недорогі, прості в установці та обслуговуванні базові станції невеликої потужності. Їх можна розвішувати на щоглах вуличного освітлення, на стінах будинків та інших об'єктах. Мережа 5G здатна ефективно координувати їх роботу, перерозподіляючи навантаження між антенами (рис. 5).



Рисунок 5 – Рішення small cells (зліва), в порівнянні зі звичайною базовою станцією Macro BTS в мережі попередніх поколінь

Архітектура мережі 5G. Особливістю мережі 5G є те, що традиційне поняття «архітектура мережі», яка заснована на апаратних рішеннях, втрачає актуальність.

Тому 5G частіше називають не мережею, а системою, або «платформою», під якою мається на увазі платформа програмна, а не апаратна. Якщо мережі 1/2/3 / 4G будувалися на базі апаратних рішень (обладнання), то платформа 5G будується на базі програмних рішень, зокрема, програмної конфігурації мереж SDN (Software Defined Network), а також віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization).

Функції 5G реалізуються в віртуальних програмних функціях VNF (Virtual Network Function), які працюють в інфраструктурі NFV. У свою чергу, NFV реалізується у фізичній інфраструктурі дата-центрів (data center, DC, центр обробки даних, ЦОД), на базі стандартного комерційного обладнання COTS (Commercial Off The Shelf). Устаткування COTS включає лише три види стандартних, відносно недорогих пристроїв - сервер (обчислювальний пристрій), комутатор (мережевий пристрій) і система зберігання даних (пристрій зберігання).

Таким чином, обладнання традиційних мереж мобільного зв'язку замінюється на програмні модулі, які розташовані в дата-центрах на стандартних серверах і віртуальних машинах VM (virtual machines).

Для реалізації програмних функцій, крім віртуальних машин, також будуть використовуватися програмні контейнери (containers), а також програмна архітектура мікросервісів (microservice).

Розподілена архітектура мережі мобільного доступу D-RAN (Distributed RAN) в мережах 4G поступово еволюціонує до централізованої архітектури C-RAN (Centralized RAN).

В архітектурі 5G функції опорної мережі реалізуються в Central Cloud (Cloud RAN), на віртуальних машинах VM.



Рисунок 6 – Перехід до віртуальних платформі SDN / NFV в 5G (Джерело: HPE, TAdviser)

Важливу роль у розвитку мереж 5G грає також Edge Cloud, зокрема, технологія MEC (Mobile Edge Cloud), а також Fog Cloud.

Віртуалізація мережі на базі NFV / SDN необхідна також для логічного мережевого шарування (Network Slicing).

Технологія Network Slicing дозволяє на базі єдиного пулу мережевих ресурсів виробляти логічний поділ мереж для різних типів послуг 5G, яким потрібні різні технології радіодоступу RAT (Radio Access Technology), з різними характеристиками середовищ передачі даних. Це, наприклад, послуги:

Високоякісне відео UHD

Голосові послуги (5G Voice)

Інтернет речей з великою кількістю датчиків, сенсорів і виконавчих пристроїв (Massive IoT)

Інтернет речей для відповідальних додатків, таких, наприклад, як безпілотний транспорт (V2X), електронна медицина (Mission Critical IoT) і багато інших.

Всі ці послуги надаються на базі технології Network Slicing та працюють на єдиній фізичній інфраструктурі дата-центрів центральної та граничної хмари, а також «туманної» інфраструктури (Fog Computing), необхідної для Massive IoT і промислового інтернету речей IIoT (Industrial IoT).

Це дає можливість багаторазового використання створеної колись програмно-апаратної інфраструктури, а також гнучке перепризначення її наявних ресурсів. Крім того, такий підхід дозволяє знизити не тільки значні витрати на будівництво мережі, а й операційні витрати на її обслуговування.

Програмні модулі або мережеві функції мережі 5G

На рис. 2 зображена архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління [6].

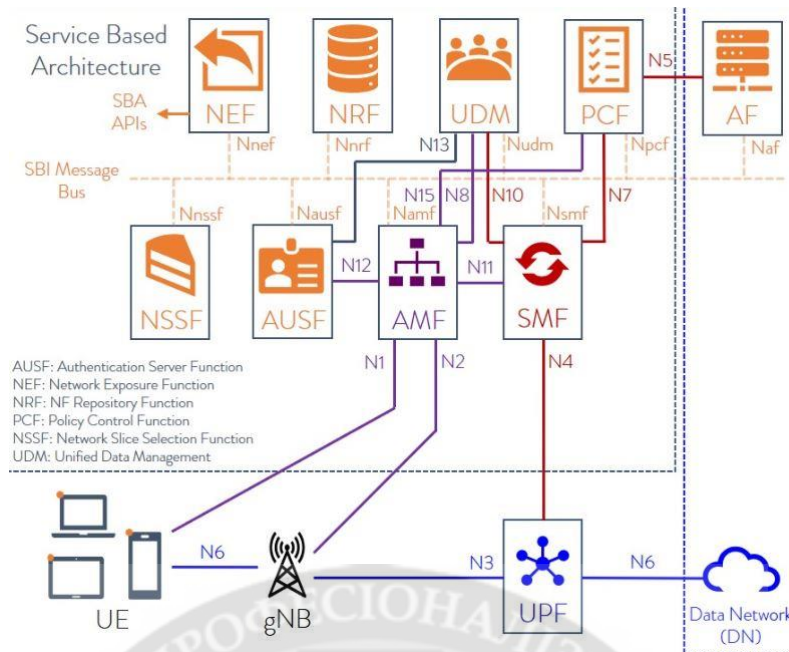


Рисунок 6 – Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережевих функцій

Функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function)

Функція управління доступом і мобільністю (AMF) забезпечує:

організацію інтерфейсів площини управління N1, N2;

організацію обміном сигналізації NAS через інтерфейс N1, шифрування і захист цілісності сигналізації NAS;

управління реєстрацією обладнання користувача (UE) в мережі і контроль можливих станів реєстрації (RM-DEREGISTERED, RM-REGISTERED);

управління з'єднанням між обладнанням користувача (UE) з мережею та контроль можливих станів з'єднання (CM-IDLE, CM-CONNECTED);

управління доступністю обладнання користувача (UE) в мережі в стані CM-IDLE;

управління мобільністю обладнання користувача (UE) в мережі в стані CM-CONNECTED;

передачу коротких повідомлень між обладнанням користувача (UE) і SMF;

управління службами визначення місця розташування;

передачу повідомлень між UE і функцією управління місцем розташування LMF (Location Management Function), а також між RAN і LMF;

виділення ідентифікатора потоку даних EPS (Evolved Packet System) для взаємодії з EPS;

взаємодія з невизначеними стандартами 3GPP мережами доступу за допомогою модуля взаємодії N3IWF (Non-3GPP InterWorking Function).

Також AMF може включати в себе підфункції управління безпекою, в т.ч. якірну функцію безпеки (SEAF), функцію управління контекстом безпеки (SCMF) і функцію управління політикою безпеки (SPCF).

Незалежно від кількості мережевих функцій, в мережі доступу 5G є тільки один екземпляр інтерфейсу сигналізації NAS між призначеним для користувача обладнанням і мережею, який термінується на одній з мережевих функцій, яка в свою чергу реалізує захист сигналізації NAS і управління мобільністю.

Функція управління сесіями (SMF - Session Management Function)

Функція управління сесіями зв'язку (SMF) забезпечує: управління сесіями зв'язку (створення, зміна та звільнення сесії, включаючи підтримку тунелю між мережею доступу (AN) і UPF);

розподіл та управління IP-адресами терміналів користувачів (UE);

вибір використовуваного шлюзу UPF;
організація взаємодії з функцією управління політиками (PCF);
управління роботою шлюзу UPF, в тому числі управління застосуванням політик QoS;
динамічне налаштування терміналів користувача за допомогою протоколів DHCPv4 (сервер і клієнт) і DHCPv6 (сервер і клієнт);
проксінг ARP (Address Resolution Protocol) запитів;
контроль та збір тарифікаційних даних та організація інтерфейсу з системою білінгу;
безперервність надання послуг SSC (Session and Service Continuity);
взаємодія з гостьовими мережами в рамках процедур роумінгу.

Функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function)

Функція передачі даних користувачів (UPF) забезпечує:
інтерфейс підключення до зовнішніх мереж передачі даних та до глобальної мережі Інтернет;

маршрутизацію та передачу пакетів даних користувачів;
буферизацію пакетів та ініціацію повідомлення терміналів користувачів (UE) про наявність даних для передачі по лінії вниз (DL);
маркування пакетів даних відповідно з необхідними параметрами QoS;
діагностику пакетів інформації (наприклад, виявлення додатків на основі шаблону потоку даних) і застосування мережеских політик відповідно до вказівки, сформованої PCRF;
надання звітів про використання трафіку;
проксінг ARP (Address Resolution Protocol) запитів.

Також UPF є точкою для підтримки мобільності як всередині однієї, так і між різними технологіями радіодоступу (якщо є).

Модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management)

Модуль управління даними користувачів (UDM) забезпечує:
управління даними профілів користувачів, включаючи зберігання та модифікацію переліку доступних користувачам послуг і відповідних їм параметрів;
управління ідентифікаторами користувачів (SUPI);
генерацію облікових даних аутентифікації 3GPP АКА;
авторизацію доступу на основі даних профілю користувача (наприклад, обмеження роумінгу);
управління реєстрацією користувача (тобто, зберігання обслуговуючого АМФ);
підтримку безперервності обслуговування / сеансу зв'язку, тобто зберігання призначених SMF / DNN для поточних сеансів зв'язку;
управління доставкою SMS повідомлень.

При цьому кілька різних UDM можуть обслуговувати одного і того ж користувача для різних транзакцій.

Уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository)

UDR здійснює зберігання різних абонентських даних і має прикладні інтерфейси Nudr з елементами доступу UDM FE, PCF FE, NEF FE.

Система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function)

Концепція побудови мережі 5G передбачає поділ мережеских функцій NF (Network Function) та систем зберігання даних, які обробляють ці функції (Storage). При цьому визначені системи зберігання і обробки як структурованих, так і неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function), тобто даних, які або не мають чітко визначеної структури, або даних, структура яких невідома. Мережескі функції NF взаємодіють з системами зберігання даних USDF - через інтерфейс N18.

Одним з способів застосування UDSF є збереження модулями управління доступом і мобільністю (AMF) поточних контекстів зареєстрованого обладнання користувача (UE). Дана інформація може бути використана для забезпечення безобривності абонентських сесій як при

плановому виведенні з сервісу одного з AMF групи моделей (AMF Set), так і при виникненні аварійної ситуації. В обох випадках резервний AMF буде працювати, використовуючи контексти, збережені попередником в UDSF.

Найбільш типовою реалізацією є поєднання на одній фізичній платформі системи зберігання неструктурованих даних (UDSF) та уніфікованої бази даних (UDR).

Типова структура організації UDR / UDSF зображена на рис. 7.

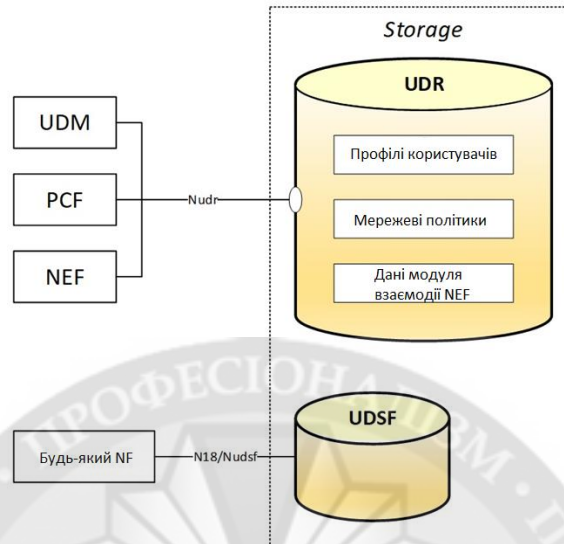


Рисунок 7 – Типова структура організації UDR / UDSF

Функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function)

Функція вибору мережевого шару (NSSF) забезпечує:

вибір необхідного набору мережевих шарів (Network Slices) в процесі реєстрації UE в мережі (в залежності від типу послуги, типу обладнання, його місця розташування і т.д.);

визначення модулів AMF, які будуть використовуватися для подальшого обслуговування UE або, на основі конфігурації, визначення переліку модулів AMF, шляхом запиту в NRF;

зберігання інформації про доступні мережеві шари (NSSAI - Network Slice Selection Assistance Information).

Функція управління політиками (PCF - Policy Control Function)

Функція управління політиками (PCF) в реальному часі формує та призначає обладнанню користувача певні політики, включаючи параметри якості обслуговування (QoS) та правила тарифікації. Так, для передачі того чи іншого типу трафіку можуть динамічно створюватися віртуальні канали з різними характеристиками. При цьому до уваги можуть прийматися вимоги сервісу, профіль, місцезнаходження, рівень завантаження мережі, обсяг спожитого трафіку і т.д. PCF звертається до UDR, що знаходиться в тій же PLMN, що і PCF.

Функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function)

Для взаємодії з опорною мережею 5G NEF дозволяє платформам і додаткам підписуватися на певні події, які генеруються різними елементами мережі, і надалі отримувати повідомлення про виникнення таких подій (див. рис. 5). наприклад:

- Loss of connectivity - детектування мережею втрати пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);

- UE reachability - відновлення пов'язаності з конкретним UE (детектується AMF);

- Location Reporting - звіти про місцезнаходження (детектується AMF);

- Change SUPI-PE association - зміна терміналу абонентом мережі = зміна зв'язку IMSI - IMEI (детектується UDM).

Дозволяє здійснювати провізнінг інформації по конкретним UE в мережі 5G.

Дозволяє управляти параметрами QoS і правилами тарифікації (PCC) з конкретних UE.

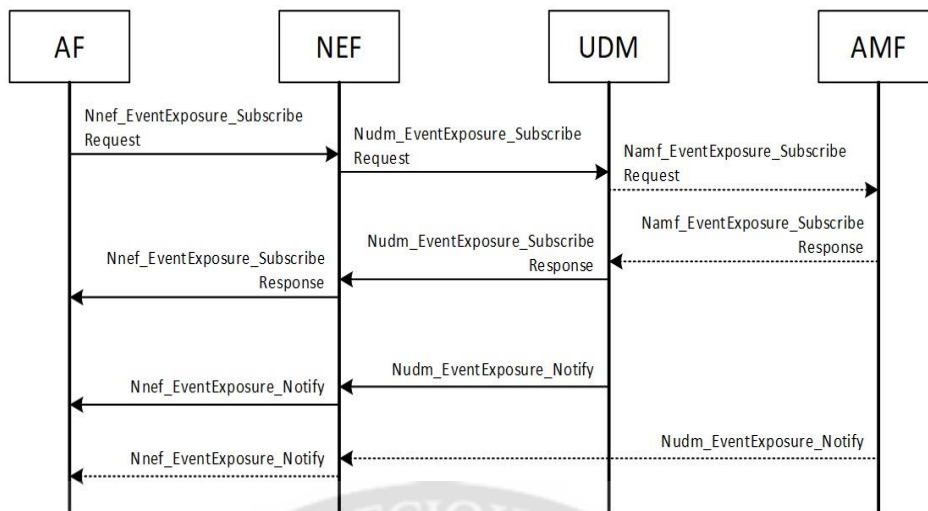


Рисунок 8 – Повідомлення про виникнення подій, створеними різними елементами мережі

NEF може підтримувати підмножину прикладних програмних інтерфейсів API. Це необхідно для взаємодії з різними елементами, платформами та додатками (або мережевими функціями NFs). Безпека взаємодії забезпечується за допомогою реалізованих NEF механізмів безпеки (включаючи аутентифікацію та авторизацію відповідних платформ і додатків). Таким чином, функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками є логічним продовженням елемента SCEF архітектури вузькосмугового інтернету речей (NB-IoT), анонсованого в релізі 13 3GPP.

NEF може зберігати інформацію, отриману від NFs, у вигляді структурованих даних в UDR, використовуючи стандартний інтерфейс Nudr, і в подальшому використати її її для трансляції іншим NFs, або з метою аналізу.

Сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function)

Сховище мережевих функцій (NRF) є еволюційним розвитком сервера доменних імен DNS. NRF забезпечує зберігання профілів всіх розгорнутих на мережі екземплярів мережевих функцій та вибір одного або декількох екземплярів в рамках процедури "NF Discovery Request" процесу управління абонентськими сесіями. При цьому кожна послуга мережі дозволяє при включенні повинна "прописати" в NRF свій статус, а також свої функціональні можливості і підтримувані опції.

Профіль екземпляра NF, який підтримується в NRF, включає наступну інформацію:

- ідентифікатор екземпляра яких мережевих функцій;
- тип мережевих функцій;
- ідентифікатор PLMN;
- ідентифікатор (и), що пов'язані з мережевим шаром, наприклад, S-NSSAI, NSI ID;
- FQDN або IP-адресу мережевої функції;
- інформація про ємності мережевих функцій;
- інформація про дозволені сервіси;
- імена підтримуваних сервісів;
- інформація про точки обміну інформацією для кожної підтримуваної служби;
- ідентифікація збережених даних / інформації;
- інші параметри сервісів, наприклад, DNN (Data Network Name), параметри інтерфейсів для повідомлень;
- рівень PLMN (NRF налаштований для роботи на всій PLMN);
- рівень мережевих шарів спільного використання (NRF налаштований таким чином, що він належить кільком мережевим шарам);

рівень мережевих шарів певного використання (NRF налаштований з приналежністю до S-NSSAI);

При організації роумінгу кілька NRF можуть бути розгорнуті в різних мережах:

NRF (и) в гостьовій PLMN (відомі як vNRF), сконфігуровані для роботи в гостьовій PLMN;

NRF (и) в домашній PLMN (відомі як hNRF), сконфігуровані для роботи в гостьовій PLMN, з яким взаємодіє vNRF через інтерфейс N27.

Прикладна функція (AF - Application Function)

Прикладна функція (AF) мережі 5G взаємодіє з опорною мережею і, як приклад, може вирішувати такі завдання:

управління маршрутизацією трафіку;

надання доступу до модуля забезпечення взаємодії з елементами мережі (NEF);

взаємодія з функцією управління політиками.

Залежно від конкретного впровадження на мережі оператора зв'язку, окремим зовнішнім платформам та додаткам може бути дозволений прямий доступ до мережевих функцій 5G. Інші системи будуть здійснювати доступ до мережевих функцій 5G через прикладні програмні інтерфейси API, що надаються модулем забезпечення взаємодії мережевих функцій.

CUPS (control and user plane separation)

Згідно з архітектурою SDN для мереж 5G визначено поділ шлюзу пакетної передачі даних на дві складові - площину управління (SMF) і площину призначеного для користувача трафіку (UPF) - control and user planes separation (CUPS). Концепція CUPS 14 3GPP визначена і для мереж 4G-LTE, де передбачено поділ SGW на C-SGW (control plane) і U-SGW (user plane), а PGW відповідно - на C-PGW і U-PGW.

Спрощення архітектури UPF в порівнянні з PGW мережі 4G-LTE дозволяє зменшити вартість розробки і виробництва самих вузлів та витрати на їх експлуатацію. В результаті, це відкриває шлях до "примежових обчислень" (edge computing) за рахунок можливості встановлення на мережі великої кількості шлюзів, розміщуючи їх в безпосередній близькості до мережі доступу. Але такий підхід створює проблему мобільності, оскільки переміщення обладнання користувача з активною сесією передачі даних буде супроводжуватися частою зміною UPF. 3GPP вирішує дану проблему шляхом введення нової функціональності - безшовних абонентських сесій і послуг - SSC (Session and Service Continuity).

Network Slicing

Network slicing надає змогу забезпечити ефективність використання мережевих ресурсів, гнучкість розгортання та підтримку швидкого зростання у верхніх (over the top (OTT)) додатках та сервісах. 3GPP розглядає Network slicing як одну з ключових особливостей 5G.

Network Slicing передбачає поділ фізичної архітектури 5G на безліч віртуальних мереж або шарів. Кожен мережевий шар(слайс) включає в себе функції рівня управління, функції рівня трафіку користувача та мережу радіодоступу (5G-NR, або non-3GPP). Базуючись на архітектурі NFV / SDN, кожен шар має свої характеристики і призначений для вирішення того чи іншого бізнес-завдання. 3GPP визначає три стандартні мережеві шари:

над-широкопasmоговий доступ (eMBB, Enhanced Mobile Broadband) - користувачі глобальної мережі Інтернет, камери відеоспостереження,

ультра-надійність і низькі затримки (URLLC, Ultra Reliable Low Latency Communication) - транспорт без водія, доповнена і віртуальна реальність;

інтернет речей (IoT, Internet of Things) - мільйони пристроїв, що передають малі обсяги даних від випадку до випадку.

Кожен оператор може визначити додаткові мережеві шари, наприклад, виділений мережевий шар для критичних комунікацій, для внутрішньокорпоративного зв'язку і т.д.

Обладнання користувача (UE) може обслуговуватися одночасно одним або декількома мережевими шарами (максимум - 8). При цьому модуль AMF є загальним для всіх шарів, а от інші елементи (в т.ч. SMF, UPF) можуть відрізнятися. Також різні шари можуть включати в

себе різні мережі радіодоступу, або єдину мережу, але з відмінними характеристиками. Також мережеві шари можуть мати різні параметри безпеки.

При реєстрації в мережі в рамках процедури встановлення RRC з'єднання (і далі - в повідомленні NAS) термінал (UE) передає список запитуваних мережевих шарів (S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information). На першому кроці, на підставі отриманих від UE даних, списку мережевих шарів, що містяться в UDM профілі користувача і розташування абонента здійснюється вибір елемента AMF, який може забезпечити необхідний набір послуг. Вибір AMF здійснюється із залученням модуля вибору мережевого шару (NSSF) і сховища мережевих функцій (NRF).

Network Function layer

Мережевий функціональний рівень відповідає за створення кожного мережевого фрагмента відповідно до запитів екземпляра служби, що надходять із верхнього рівня. Він складається з набору мережевих функцій, які втілюють чітко визначені поведінки та інтерфейси. Кілька мережевих функцій розміщуються над інфраструктурою віртуальної мережі та з'єднуються між собою для створення екземпляру відрізка мережі до кінця, який відображає характеристики мережі, запитувані службою [9]. Конфігурація мережевих функцій виконується за допомогою набору мережевих операцій, що дозволяють керувати їхнім повним життєвим циклом (від їх розміщення, коли створений слайс, до їх розмежування, коли надана функція більше не потрібна) [6].

Для підвищення ефективності використання ресурсів однакові мережеві функції можуть одночасно ділитися різними фрагментами за рахунок збільшення складності управління операціями. І навпаки, відображення одного на одного між кожною функцією мережі та кожним фрагментом полегшує процедури конфігурації, але може призвести до поганого та неефективного використання ресурсів [7].

Висновки. Було розглянуто необхідність впровадження мережі п'ятого покоління та її архітектуру. Так як в сучасному світі неможливо обійтись без розумних технологій, мережі 5G дозволяють проводити аналіз великих даних (Big Data), користуватись інтернетом речей (IoT) та покликані стати однією з основ цифрової економіки, головною особливістю якої повинен стати штучний інтелект.

Платформа мережі 5G надає операторам значні переваги, що виражаються перш за все, в розширенні функціональних можливостей, збільшенні пропускної здатності мережі (performance) та підвищенні рівня задоволеності користувачів (User Experience).

5G дозволяє домогтися наступного:

У 20 разів збільшити пропускну здатність каналів зв'язку. Це дозволить обмінюватися великими обсягами даних в лічені секунди. Пікова швидкість в мережах 4G досягає всього лише 1 Гбіт / с, а для 5G - 20 Гбіт / с.

Мінімізувати перешкоди. 5G дозволяє використовувати нові діапазони частот, які зараз майже вільні. Мінімальні перешкоди забезпечать безперебійну роботу каналів зв'язку.

Network slicing. Мобільні оператори зможуть розгортати ізольовані один від одного мережі, які можна використовувати для різних завдань. Наприклад, забезпечення зв'язком користувачів, робота з Інтернетом речей (IoT), передача «важкого» мультимедійного контенту і т. д.

Створити єдину IoT-систему з мільйонами підключених пристроїв.

Зменшити затримки з приблизно 10 мс в разі 4G до 1 мс для 5G. Це критично важливий момент для багатьох сфер, включаючи бізнес, технології, науку.

Особливість архітектури мережі 5G полягає в тому, що традиційне поняття «архітектура мережі», яка заснована на апаратних рішеннях, в 5G втрачає актуальність. Тому 5G частіше називають не мережею, а системою, або «платформою», під якою мається на увазі платформа програмна, а не апаратна. Якщо мережі 1/2/3 / 4G будувалися на базі апаратних рішень (обладнання), то платформа 5G будується на базі програмних рішень, зокрема, програмної

конфігурації мереж SDN (Software Defined Network), а також віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization).

В архітектурі 5G взаємодія обладнання користувача (UE) з мережами передачі даних (Data Network) здійснюється в рамках PDU сесій (PDU Session-s). UE може мати одночасно кілька створених PDU сесій для зв'язку з різними мережами передачі даних та отримання різних сервісів.

Функції 5G реалізуються в віртуальних програмних функціях VNF (Virtual Network Function), які працюють в інфраструктурі NFV. У свою чергу, NFV реалізується у фізичній інфраструктурі дата-центрів (data center, DC, центр обробки даних, ЦОД), на базі стандартного комерційного обладнання COTS. Таким чином, обладнання традиційних мереж мобільного зв'язку замінюється на програмні модулі, які працюють в дата-центрах на стандартних серверах і віртуальних машинах VM (virtual machines).

ЛІТЕРАТУРА:

1. П'яте покоління мобільного зв'язку: URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/>
2. Geneva Mission Briefing Series, 5G Related Aspects in ITU-R Working Party 5D, Emerging Trends in 5G/IMT2020
3. Частоти для 5G і строки для супутникових систем: URL; <https://www.rspectr.com/articles/574/chastoty-dlya-5g-i-sroki-dlya-sputnikovyh-sistem>
4. 5G: URL; <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-the-5g-service-based-architecture>
5. SDN: URL; <https://sdn.ieee.org/newsletter/december-2017/network-slicing-and-3gpp-service-and-systems-aspects-sa-standard>
6. Yousaf, F. Z.; Bredel, M.; Schaller, S.; Schneider, F. (2017). "NFV and SDN-Key Technology Enablers for 5G Networks". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 35 (11): 2468–2478. arXiv:1806.07316.
7. Ordóñez-Lucena, J.; Ameigeiras, P.; Lopez, D.; Ramos-Munoz, J. J.; Lorca, J.; Figueira, J. (2017). "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges". *IEEE Communications Magazine*. 55 (5): 80–87. arXiv:1703.04676. Bibcode:2017arXiv170304676O. doi:10.1109/MCOM.2017.1600935. hdl:10481/45368. ISSN 0163-6804.
8. Yousaf, F. Z.; Bredel, M.; Schaller, S.; Schneider, F. (2017). "NFV and SDN-Key Technology Enablers for 5G Networks". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 35 (11): 2468–2478. arXiv:1806.07316
9. РС Одарченко, ЮВ Беженар, АО Ксендзенко, Аналіз вразливостей систем захисту інформації в мережах Wi-Мах та методів їх усунення, захист інформації. *Сбірник наукових трудов.-К.: НАУ*, 2011D
- 10.R.S. Odarchenko, Dakov S, The method of the project for the SDN version of the Operator class // *Science and Technology*. - 2017. - No.4 (36)
- 11.С. Одарченко, С.Ю. Даков, В. В. Полищук, А. М. Тырсенко, Моделирование сетей наложения SDN и их основные характеристики Исследования // *Технологии знаний № 3 (31)*, 2016 с. 284
- 12.Ndiaye, M.; Hancke, G.P.; Abu-Mahfouz, A.M. Software Defined Networking for Improved // *Wireless Sensor Network Managemen, A Survey*. Sensors 2017, 17, 1031.
- 13.Tomas Hegr, Leos Bohac, Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in, Software-Defined Networking // *Advances in Electrical and Electronic Engineering*. 2014;12(4):252-259 DOI 10.15598/aeec.v12i4.1208.

REFERENCES:

1. Fifth Generation Mobile: URL: <http://www.tadviser.com/index.php/>
2. Geneva Mission Briefing Series, 5G Related Aspects in ITU-R Working Party 5D, Emerging Trends in 5G / IMT2020
3. Frequencies for 5G and terms for satellite systems: URL; <https://www.rspectr.com/articles/574/chastoty-dlya-5g-i-sroki-dlya-sputnikovyh-sistem>
4. 5G: URL; <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-the-5g-service-based-architecture>

5. SDN: URL; <https://sdn.ieee.org/newsletter/december-2017/network-slicing-and-3gpp-service-and-systems-aspects-sa-standard>

6. Yousaf, F.Z. ; Bradel, M.; Schaller, S.; Schneider, F. (2017). "NFV and SDN – Key Technology Enablers for 5G Networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 35 (11): 2468–2478. arXiv: 1806.07316.

7. Ordonez-Lucena, J.; Ameigeiras, P.; Lopez, D.; Ramos-Munoz, J. J.; Lorca, J.; Folgueira, J. (2017). "Network Slicing for 5G with SDN / NFV: Concepts, Architectures, and Challenges". *IEEE Communications Magazine*. 55 (5): 80–87. arXiv: 1703.04676. Bibcode: 2017arXiv170304676O. doi: 10.1109 / MCOM.2017.1600935. hdl: 10481/45368. ISSN 0163-6804.

8. Yousaf, F. Z. ; Bradel, M.; Schaller, S.; Schneider, F. (2017). "NFV and SDN — Key Technology Enablers for 5G Networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 35 (11): 2468–2478. arXiv: 1806.07316

9. RS Odarchenko, Yu. Bezhenar, JSC Xendzenko, Analysis of vulnerabilities of information security systems in Wi-Max networks and methods of their elimination, protection of information. *Collection of scientific works*.-К. : NAU, 2011D

10. R.S. Odarchenko, Dakov S, The method of project design for the SDN version of the Operator class // *Science and Technology*. - 2017.- No.4 (35)

11. S. Odarchenko, S.Yu. Dakov, V.V. Polishchuk, A.M.Tirsenko, Modeling of SDN Overlay Networks and Their Basic Characteristics of the Study // *Knowledge Technologies* № 3 (31), 2016 p. 284

11. Ndiaye, M. ; Hancke, G.P. ; Abu-Mahfouz, A.M. Software Defined Networking for Improved // *Wireless Sensor Network Management, A Survey. Sensors* 2017, 17, 1031.

13. Tomas Hegr, Leos Bohac, Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in Software-Defined Networking // *Advances in Electrical and Electronic Engineering*. 2014; 12 (4): 252-259 doi 10.15598 / aeee.v12i4.1208

д.т.н., проф. Окснюк О.Г., д.т.н., доц. Одарченко Р.С.,
к.т.н. Даков С.Ю., Бурмак Ю.А., Федюра Т.В.

СТАНДАРТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖІ 5G І МОЖЛИВІСТЬ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

В работе были исследованы архитектуру сети 5G и предложен вариант системы мониторинга параметров на базе SCOM. Данную систему можно использовать для сбора и анализа информации о производительности сети, выявление отклонений, оповещение о них для своевременного устранения. Были представлены технологии для использования мобильной сети стандарта 3 GPP пятого поколения. Были проанализированы и предлагаемые к внедрению. Также были исследованы современные возможности сети 5го поколения и технологии для их внедрения. В работе проанализированы и даны рекомендации к внедрению следующих серверов. 5G сети позволяют значительно повысить скорость передачи данных через различные технологии радиодоступа (RAT), и с помощью использования новых спектров радиочастот 5G NR (New Radio). Для решения «Умный дом» (Smart Home) и «Умная здание» (Smart Building) доступен целый спектр различных сервисов интернета вещей (IoT): видеонаблюдение, управление и автоматизация бытовой техники, управления системами безопасности и тому подобное. Сервис виртуальной реальности VR (Virtual Reality) создает иллюзию перемещения человека в другой мир, воздействуя на органы чувств, прежде всего на зрение (VR-очки). Сервис дополненной реальности AR (Augmented Reality) комбинирует реальное окружение с виртуальными предметами. Эти сервисы предназначены не только для развлечений, но и для науки. Сеть 5G, вместе с технологией интернета вещей IoT, с помощью промышленных датчиков IIoT (Industrial Internet of things), а также с помощью искусственного интеллекта ИИ (AI, Artificial Intelligence) способны существенно повысить степень автоматизации производства. При этом появляется возможность в режиме реального времени анализировать большие объемы разнообразных данных (Big Data) как на основе полученных выводов (insights), так и с использованием машинного и глубокого обучения (Machine learning, Deep learning). К этим программам могут относиться, например, электронная медицина (e-Health), связь при чрезвычайных ситуациях (Mission Critical Communication), тактильный интернет (Tactile Internet) и другие. Беспилотный транспорт может использоваться как часть услуги «Умный город», однако, может существовать и отдельно. Также на платформе 5G возможна реализация систем помощи водителю ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems).

Ключевые слова: мобильная сеть, программное обеспечение, среда программирования, макро и микро уровень, стандарты мобильных сетей, сетевая архитектура, гипервизор, мониторинг, автоматизация процессов.

**Doctor of Technical Sciences Oksiuk O.G., Ph.D., Doctor of Technical Sciences Odarchenko R.S.,
Ph.D. Dakov S.Yu., Burmak Yu.A., Fedyura T.V.
5G NETWORK STANDARDS AND TECHNOLOGIES AND THE POSSIBILITIES OF ITS
IMPLEMENTATION**

The paper investigates the architecture of the 5G network and proposed a variant of the SCOM based parameter monitoring system. You can use this system to collect and analyze network performance information, detect deviations, and notify them for timely removal. Technologies were introduced for the use of the fifth generation GPP mobile network of the fifth generation. Analyzed and proposed for implementation. The current capabilities of the 5th generation network and the technologies for their implementation were also explored. This paper analyzes and provides recommendations for the implementation of the following servers. 5G networks make it possible to significantly increase data rates through various radio access technologies (RATs), and through the use of new 5G NR (New Radio) radio spectrum. Smart Home and Smart Building are available in a variety of different Internet of Things (IoT) services: video surveillance, home automation and control, security management, and more. Virtual Reality (VR) service creates the illusion of moving a person to another world, affecting the sense organs, especially the sight (VR-glasses). Augmented Reality (Augmented Reality) Augmented Reality service combines a real environment with virtual objects. These services are intended not only for entertainment but also for science. The 5G network, along with IoT Internet of Things technology, with the help of Industrial IIoT (Industrial Internet of Things) sensors, as well as AI (Artificial Intelligence), can significantly increase the degree of automation of production. This gives the opportunity in real time to analyze large amounts of diverse data (Big Data), both on the basis of insights, and using machine and deep learning (Machine learning, Deep learning). These may include, for example, e-Health, Mission Critical Communication, Tactile Internet, and others. Unmanned transport may be used as part of the Smart City service, but may exist separately. Also on the 5G platform it is possible to implement ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) driver assistance systems.

Keywords: mobile network, software, programming environment, macro and micro level, standards of mobile networks, network architecture, hypervisor, monitoring, process automation.