

МЕТОД КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У МЕРЕЖІ 5G

© Скулиш М. А., Заставенко А. А., 2016

Розглянуто проблеми функціонування систем забезпечення якості у мережах п'ятого покоління. Розроблено метод контролю якості передавання відеопотоків у мережах п'ятого покоління на основі технології Smart Grid, який враховує вимоги до якості передавання відео у телекомунікаційному середовищі та використовує досягнення у процесі контролю якості передавання цифрового телебачення.

Ключові слова: мережі 5G, розподілені обчислення, Smart Grid, віртуалізація ресурсів, мережі радіодоступу, оцінка якості відеопотоку.

M. Skulysh, A. Zastavenko

National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”

THE METHOD OF QUALITY CONTROL OF PROCESSING INFORMATION FLOWS IN 5G NETWORK

© Skulysh M., Zastavenko A., 2016

The problems of functioning of quality assurance systems in the 5th generation mobile networks are discussed. The method of quality control of transmission of video streams in the 5th generation networks based Smart Grid, which takes into account the quality requirements for video transmission in the telecommunications environment and uses advances in process quality control transmission of digital television is presented.

Key words: 5th generation networks, distributed computing, Smart Grid, virtualisation of resources, Radio Access Network, video quality assessment.

Вступ

Поява на ринку технологій мобільного зв'язку 5G очікується у 2020 р. Передбачається, що мережі мобільного зв'язку, побудовані на основі технологій 5G, забезпечуватимуть передавання даних зі швидкістю понад 10 Гбіт/с.

Прогнози провідних фахівців, зайнятих у міжнародних проектах 5G, показують, що серед послуг, які надаються в мережах 5G, домінуватимуть послуги передавання відео з високою якістю розподільної здатності, а саме HD-відео, а також 3D-відео [1]. Тому вдосконалення механізмів управління якістю в мережах 5G зосередиться на трафіку відео і M2M-сервісах, удосконаленні алгоритмів контролю та створенні нових методів оцінювання якості.

Досягнення технології LTE і майбутні вимоги до 5G в галузі управління QoS покривають своїми можливостями ланцюжок “кінцевий користувач – кінцевий користувач” (E2E) лише частково, а саме внутрішньомережеві з'єднання “5G – 5G”, “4G – 4G”. На деякі з'єднання, що виникають між абонентами 5G та іншими мобільними і фіксованими мережами, ця система управління якістю не поширюється.

Основним недоліком мобільних мереж попередніх поколінь є відсутність можливості узгодженого і гнучкого управління якістю у фіксованих IP- і мобільних мережах. Вирішення цих проблем дасть змогу досягти нового рівня якості обслуговування абонентів мереж 5G. Отже, вдосконалення механізмів управління якістю повинно зосереджуватись на трафіку відео й удосконаленні алгоритмів контролю та створенні нових методів оцінки якості. Тому сьогодні є потреба у

розробленні засобів контролю якості функціонування мереж п'ятого покоління, а саме контролю якості передавання відеопотоків [2].

У статті пропонується метод підвищення ефективності контролю якості обслуговування потоків відео, який уможливило постійний моніторинг усіх параметрів якості відеотрафіку та за рахунок контролю навантаження у вузлі обчислення дає змогу перерозподіляти навантаження між вузлами і забезпечувати мінімальну затримку інформаційних потоків, які потребують обслуговування у реальному часі.

Перспективи розвитку механізмів керування якістю у мережах 5G

Інфраструктура мереж 5G будуватиметься на основі хмарних технологій – як у мережах радіодоступу (Cloud RAN) з програмно-визначеною мережею (SDR), так і в базовій мережі (Cloud CN) з програмно-визначеною інфраструктурою (SDN). Повна віртуалізація мережевих функцій (NFV), яка буде реалізована в інфраструктурі 5G, охопить контроль і управління QoS, політику обслуговування та пріоритетизації трафіку.

У процесі еволюції механізму управління якістю послуг у мережах 3GPP відбулася міграція від управління QoS на рівні абонентських терміналів до управління QoS на рівні мережі. Цей підхід збережеться і в мережах 5G. Механізми управління QoS у мережах 5G повинні забезпечувати пріоритетизацію трафіку Video over 5G і VoIP щодо трафіку веб-пошуку й іншими прикладними програмами, толерантними до часових параметрів потоку даних [3].

Послуга потокового відео без буферизації дуже чутлива до затримок у мережі, тому одним з найважливіших параметрів, що визначають вимоги до QoS, є сумарна затримка передавання пакетів (Packet Delay Budget, PDB), яка утворюється на радіоінтерфейсі RAN і трактується як максимальна затримка передавання пакетів з рівнем достовірності 98 %.

У табл. 1 наведено вимоги до затримок у мережах 3G/4G/5G, сформовані в 3GPP і проєкті METIS [4]. З табл. 1 випливає, що з переходом від покоління до покоління в мережі мобільного зв'язку підвищуються вимоги до нижньої межі загальної затримки даних. Також аналіз вимог до загальної затримки в мережі 5G показав, що, з огляду на ефект накопичення, затримка в мережі RAN 5G повинна бути меншою за 1 мс.

Таблиця 1

Вимоги для загальної затримки в мережах 3G/4G/5G

Умови для QoS	PDB, мс		
	3G	4G	5G
Без гарантій якості	Не визначено	100 – 300	Не визначено
З гарантованою якістю	100 – 280	50 – 300	1

Ще одним критерієм якості є частка втрачених пакетів через помилки під час приймання пакетів даних. Значення цього параметра, що визначає найбільшу кількість втрачених IP-пакетів для відеотрансляцій у разі їх передавання по мережі мобільного зв'язку 3G/4G/5G, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Частка втрачених пакетів для відеотрансляцій

Умови для QoS	SDTV	HDTV	4K UHD	8K UHD
Покоління мобільного зв'язку	3G/4G	4G	4G	5G
Відеотрансляція з гарантованою якістю	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}

У мережах 5G зміниться мережева архітектура модулів, що відповідають за якість послуг у мережі 5G. Розвиток концепції віртуалізації – втратити зв'язок із мережею NFV – призведе до

віртуалізації функцій управління якістю, які можна подати у вигляді двох основних функцій: контролю QoS (Cloud QoS Control Function, CQCF) і управління QoS (Cloud QoS Management Function, CQMF) (рис. 1).

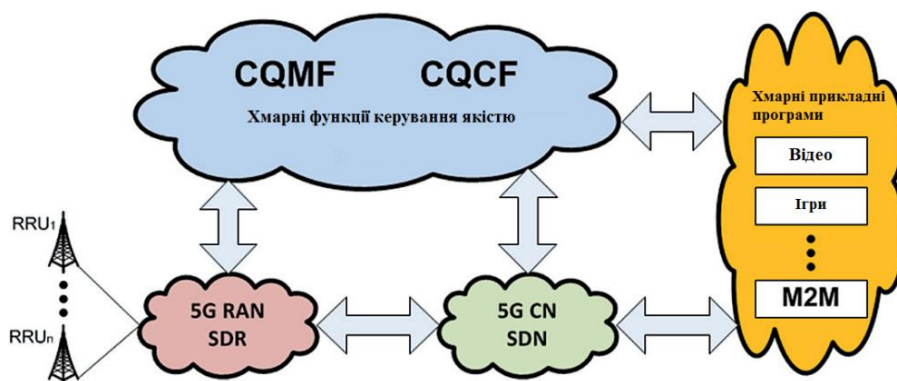


Рис. 1. Віртуалізація функцій контролю і керування у мережі 5G

Функція CQCF контролю QoS забезпечуватиме в мережі 5G контроль у реальному часі потоків трафіку на основі встановлюваних під час з'єднання рівнів QoS. Основні механізми контролю QoS – профілювання трафіку, планування і управління потоками даних.

Функція CQMF управління QoS забезпечуватиме в мережі 5G підтримку QoS згідно з договорами обслуговування SLA, здійснення моніторингу, обслуговування, перегляд і масштабування QoS [3].

Архітектура мереж 5G будуватиметься на основі хмарних мереж радіодоступу, які ґрунтуються на технології віртуалізації. Хмарна RAN забезпечує високу енергоефективність у поєднанні зі швидкостями передавання даних у Гбіт/с, що надає програмне забезпечення бездротових мереж.

Хмарна мережа радіодоступу являє собою нову архітектуру для телекомунікаційних мереж, в якій обчислювальні ресурси базових станцій зібрані в одному місці. До її основних характеристик належать:

- централізоване управління обчислювальними ресурсами;
- реконфігуровані спектральні ресурси;
- спільні комунікації;
- хмарні обчислення на загальних платформах у режимі реального часу.

C-RAN складається з трьох основних частин:

1. Головне дистанційне радіо (RRH) та антена, розміщені на віддаленому вузлі, які контролюються віртуальними базовими станціями (BBS) із централізованого пулу обробки.
2. Модульовані одиниці (пул BBS), які складаються з високошвидкісних програмованих процесорів, що підтримують технологію віртуалізації в реальному часі для виконання цифрових завдань.
3. Оптичні волокна з низькою затримкою і високою пропускну здатністю, які з'єднують RRH з пулом BBS.

Комунікаційна функціональність модульованих одиниць реалізована (в програмному забезпеченні) на віртуальних машинах (VM), які містяться на обчислювальних серверах загального призначення, розміщених у одному або декількох стелажах невеликого хмарного дата-центру. Оскільки уся інформація із базових станцій розміщується в одному місці, у централізованому пулі BBS базові станції можуть обмінюватись даними управління на швидкості у гагабітах на секунду [5].

Сьогодні для підвищення швидкості передавання даних використовують збільшення кількості базових станцій та зменшення розмірів стільників для підвищення коефіцієнта їх повторного використання [6, 7]. Проте додаткове розгортання і обслуговування великої кількості базових станцій неефективне через надмірні експлуатаційні витрати. Крім того, збільшення щільності БС або кількості передавальних антен зменшує енергоефективність через загострення проблеми електромагнітної інтерференції та підвищення вимог до охолодження обладнання.

Еластична модель використання ресурсів передбачає, що розмір віртуальних базових станцій, щільність RRH та потужність передавання даних можуть змінюватись динамічно, залежно від потреб користувачів. Така еластичність дає змогу істотно поліпшити показники якості обслуговування користувачів (QoS), а також підвищує ефективність використання енергії та обчислювальних ресурсів. У статті [5] пропонується динамічний підхід до виділення ресурсів з боку ВБС та RRH, спрямований на підвищення ефективності використання ресурсів та енергії, забезпечуючи при цьому високий рівень QoS.

Як показано на рис. 2, пропонується здійснити кластеризацію сусідніх RRH та відповідних їм базових станцій, а також змінити густоту розміщення активних RRH і ВБС, залежно від кількості користувачів.

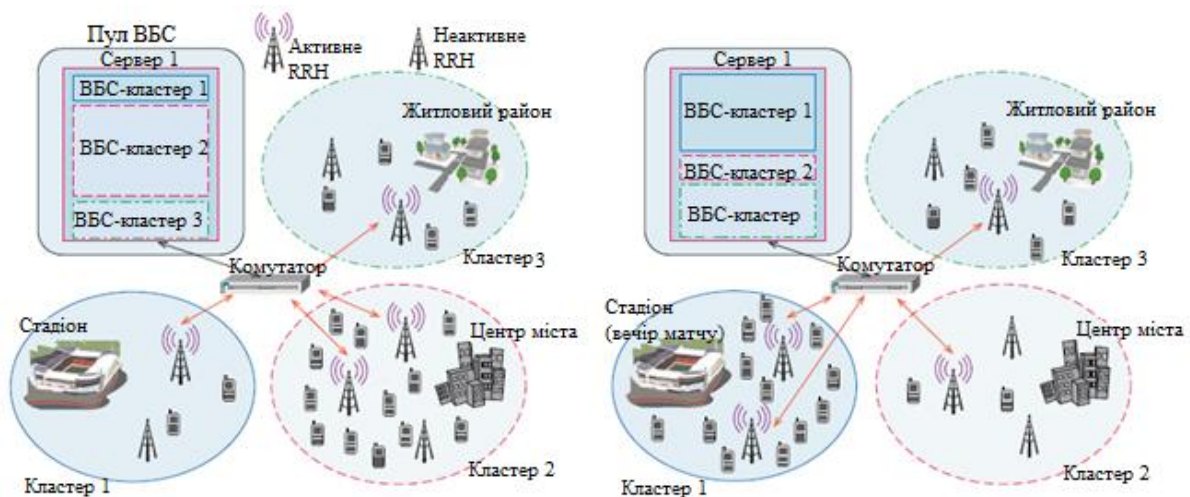


Рис. 2. Віртуалізація C-RAN для динамічного повторного надання ресурсів ВБС на основі коливання попиту трафіку: а – протягом робочих годин; б – у нічний час

На рис. 2 зображено рух навантаження мобільної мережі від центрального офісу до житлових і рекреаційних зон протягом 24 годин, тобто протягом дня і ночі, а також зображено відповідні зміни щільності активної RRHs і розміру ВБС.

Динамічне виділення ресурсів ВБС: пропонується метод розподілу ресурсів залежно від попиту, в якому розмір ВБС динамічно змінюється для задоволення потреб користувачів трафіку в стільниковій мережі, які постійно змінюються. Як показано на рис. 2, протягом робочих годин кластер ВБС № 2 буде забезпечуватись додатковою обчислювальною технікою, порівняно з тими, які обслуговують житловий район (кластер ВБС № 3) чи стадіон (кластер ВБС № 1). Але в нічний час ВБС, які обслуговують стадіон (наприклад, під час нічної гри) або житлові райони, будуть забезпечуватись більшою кількістю ресурсів, ніж центральна частина міста, щоб задовольнити змінний попит (зміна розміру VM).

Метод оцінки якості передавання відео на основі технології Smart Grid

Smart Grid – це автоматизована система, яка здатна самостійно відслідковувати потоки трафіку і розподіляти ресурси для досягнення максимальної ефективності їх використання [8]. Сьогодні система Smart Grid використовується для оптимізації мереж енергозабезпечення, але, враховуючи її архітектуру та принцип роботи, концепція цієї технології може застосовуватись для систем контролю та керування якістю у мережі 5G та забезпечення оптимального розподілу ресурсів між ВБС мережі.

Основою системи Smart Grid є постійний моніторинг стану всіх учасників мережі за допомогою інтелектуальних лічильників, які визначають необхідні показники детальніше, ніж традиційні засоби вимірювання, додатково обладнані комунікаційними засобами для передавання отриманої інформації за допомогою мережевих технологій.

Характерною рисою Smart Grid є мікроконтролери з незалежним живленням, розрахованим на роботу протягом 5–10 років, та радіоканали комунікацій для обміну отриманою інформацією [9]. У системі, яка розробляється, мікроконтролерами є програмні модулі, встановлені на мобільних пристроях абонентів, які надсилають інформацію до смарт-вузлів, на яких реалізовано розподілений стек загальних служб. Архітектура мережі Smart Grid зображена на рис. 3.

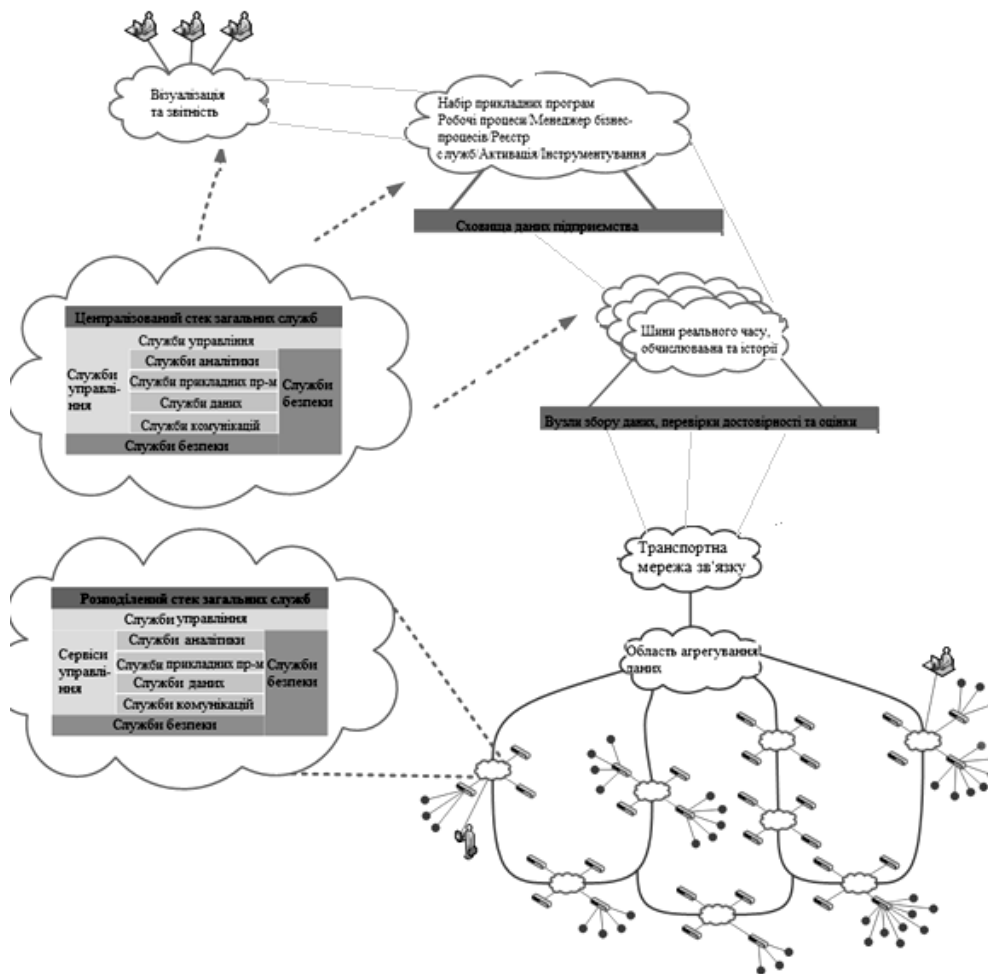


Рис. 3. Архітектура мережі Smart Grid з відкритими стандартами сервісів

Архітектура Smart Grid являє собою поділену на рівні архітектуру з відкритими стандартами сервісів. Вона забезпечує можливості реалізації контролю та керування через функціональні й організаційні кордони: від центрів оброблення даних до кінцевих пристроїв і користувачів. Функція контролю якості абонентів входить до служби аналітики розподіленого стеку загальних служб, а функція перерозподілу ресурсів БС до служби керування центрального стеку загальних служб [8].

Ключовими принципами цієї мережі є поділ процесів передавання та управління даними, централізація управління мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережевих ресурсів. Головна ідея полягає у тому, що функції передавання трафіку та функції управління відділені одна від одної. Отже, smart-вузли є так званіми контролерами, які відстежують роботу всієї мережі й виконують різні функції (наприклад, моніторингу, контролю доступу, розподілу ресурсів). Керування вузлами здійснюється з центрального контролера, який може змінювати за необхідності налаштування вузлів (наприклад, за зміни вимог до параметрів QoS).

Кожен smart-вузол виконує певні функції:

1. Моніторинг параметрів якості передавання відео за допомогою спеціальних аналізаторів, які встановлюються в мережі (можливо, інтегрованих з іншим обладнанням, зокрема абонентським) для аналізу “живого” трафіку користувача.

2. Розрахунок інтегрального показника якості для кожного абонента, закріпленого за певною ВБС.
 3. Прийняття рішення про незадовільну якість передавання відеопотоку (порівняння отриманого інтегрального показника з заданим пороговим значенням).
 4. Прийняття рішення про повідомлення контрольного вузла щодо неможливості вирішення проблеми.
 5. Перерозподіл ресурсів віртуальних базових станцій для покращення показників якості.
- Інтегральний показник являє собою суму всіх параметрів якості, з урахуванням вагових коефіцієнтів, і визначається так:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N w_i \alpha_i,$$

де w_i – ваговий коефіцієнт параметра; α_i – нормоване значення відповідного параметра; N – кількість параметрів.

$$\alpha_i = g_i(f_{\text{вих}}(x), f_{\text{кін}}(x)),$$

де g_i – функція порівняння i -го критерію якості для вихідного і кінцевого зображення; $f(x)$ – вектор-характеристика, що формується на стороні користувача.

Основними параметрами, які впливають на якість передавання відеопотоку, вважатимемо такі:

- втрата пакетів/кадрів – PL_T , %;
- джиттер пакета/кадру – j_P , с;
- затримка між пакетами – t_3 , с;
- пікове відношення сигналу до шуму – PSNR [10].

Для оцінки вищезазначених параметрів використовуються Smart-вузли, які прив'язуються до кожної віртуальної базової станції мережі, збирають дані про переданий та отриманий трафік і обчислюють вищезазначені показники якості на основі цих даних та масив значень інтегральних показників – $F(x)$ для кожного абонента, що належить до цієї ВБС.

Тому інтегральний показник якості буде визначатись за формулою:

$$F(x) = w_1 \frac{PL_T}{(PL_T)_{\text{доп}}} + w_2 \frac{j_P}{(j_P)_{\text{доп}}} + w_3 \frac{t_3}{(t_3)_{\text{доп}}} + w_4 \frac{(PSNR)_{\text{доп}}}{PSNR}.$$

Оцінка параметрів здійснюється відповідно до відомих способів оцінки якості передавання відео в телекомунікаційних мережах. Для проведення оцінки якості необхідно мати дані відеофайла до передавання по мережі (на передавальній стороні) і після приймання з мережі (на приймальної стороні). Для оцінки вищезазначених параметрів використовуються Smart-вузли, які прив'язуються до кожної віртуальної базової станції мережі.

Smart-вузол обчислює масив значень $F(x)$ для кожного користувача на основі отриманих від абонента $f_{\text{вих}}$ та $f_{\text{кін}}(x)$ і порівнює отримані значення із заданими пороговими показниками. Обчислюється відсоток користувачів, для яких інтегральний показник більший від порогового значення ($F(x) > F_{\text{пор}}(x)$). Якщо для певної ВБС цей відсоток перевищує задану межу $q(\%)$, система відправляє відповідний сигнал до центру управління якістю, який, своєю чергою, приймає рішення про перерозподіл ресурсів мережі.

Якщо отриманий відсоток користувачів менший від порогового значення, відповідний smart-вузол самостійно приймає рішення щодо покращення параметрів якості для конкретного користувача. Наприклад, для вирішення проблеми втрати пакетів використовується метод надлишкових пакетів. Ці пакети містять додаткову інформацію, необхідну для відновлення втрачених або зіпсованих пакетів.

Оцінка ефективності методу

Для доведення ефективності методу розглянемо на прикладі, як змінюється значення $F(x)$ після застосування способу динамічного перерозподілу ресурсів між віртуальними базовими станціями контролю на основі даних про якість передавання відео. Розглянемо два кластери ВБС (рис. 4), які обслуговують абонентів у центральному районі та в передмісті. Завантаженість мережі в цих районах змінюватиметься з плином часу. В центральних районах міста трафік збільшується в робочий час, а на околиці більша кількість даних буде передаватись у вечірні години. Тому

рівномірний розподіл ресурсів між цими кластерами призведе до перевантаження мережі в одному випадку і простою ресурсів у іншому. Для визначення необхідності перерозподілу ресурсів між віртуальними базовими станціями використовуватимуться smart-вузли.



Рис. 4. Структурна схема мережі для двох кластерів ВБС

Розглянемо графіки завантаженості мережі протягом доби в різних частинах міста (рис. 5). Нехай ВБС першого кластера розрахована на 20 000 абонентів, ВБС другого – на 10 000 абонентів.

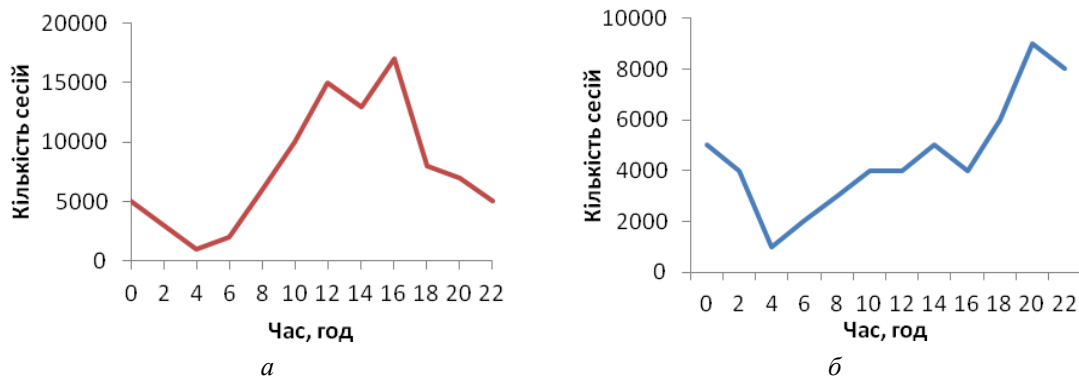


Рис. 5. Графіки завантаженості мережі протягом доби: а – у центральній частині; б – в житловому районі

Як можна бачити з графіків, завантаженість мережі в різних частинах міста змінюється неоднаково. Аналогічно завантаженості змінюється значення інтегрального показника якості. Для прикладу припустимо, що вагові коефіцієнти для обох параметрів однакові. На рис. 6 зображено графік зміни середнього значення інтегрального показника якості для абонентів мережі протягом доби для обох районів міста.

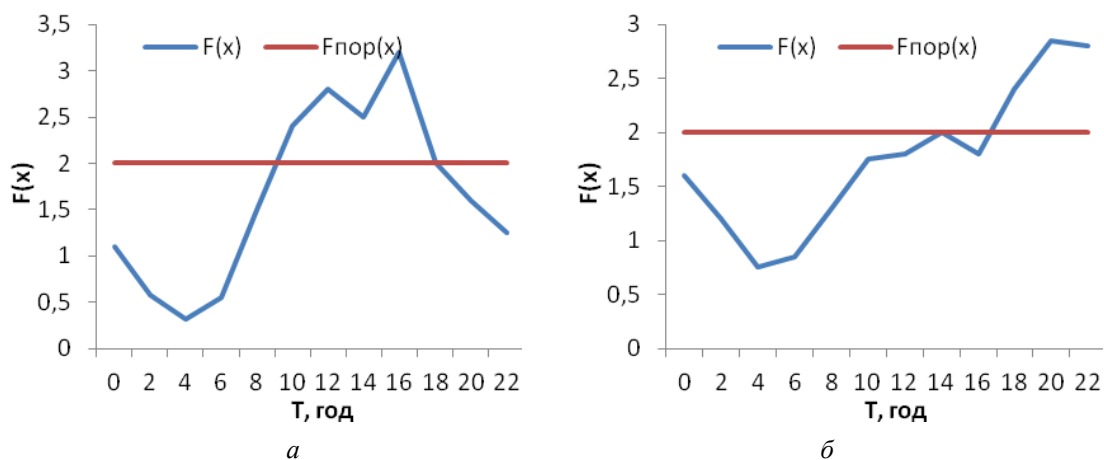


Рис. 6. Зміна середнього значення інтегрального показника якості для абонентів мережі протягом доби: а – в центральній частині міста; б – в житлових районах

Якщо кількість абонентів, для яких поточне значення інтегрального коефіцієнта перевищує порогове значення, більша за деяку задану величину q , то smart-вузол повідомляє центральний контролер про необхідність перерозподілу ресурсів відповідно до поточного попиту. Отже, ресурси, що простоюють у одному кластері, виділяються для другого кластера, в якому спостерігається великий попит на передавання відеотрафіку. Значення параметрів якості передавання відео покращуються, а отже, покращується і значення інтегрального показника. Результати моделювання системи з двома кластерами показали, що після динамічного розподілу ресурсів на основі даних запропонованої системи контролю якості передавання відео із застосуванням технології Smart Grid значення інтегрального показника якості у пікові години покращуються. Середнє значення інтегрального показника після застосування методу подано на рис. 7.

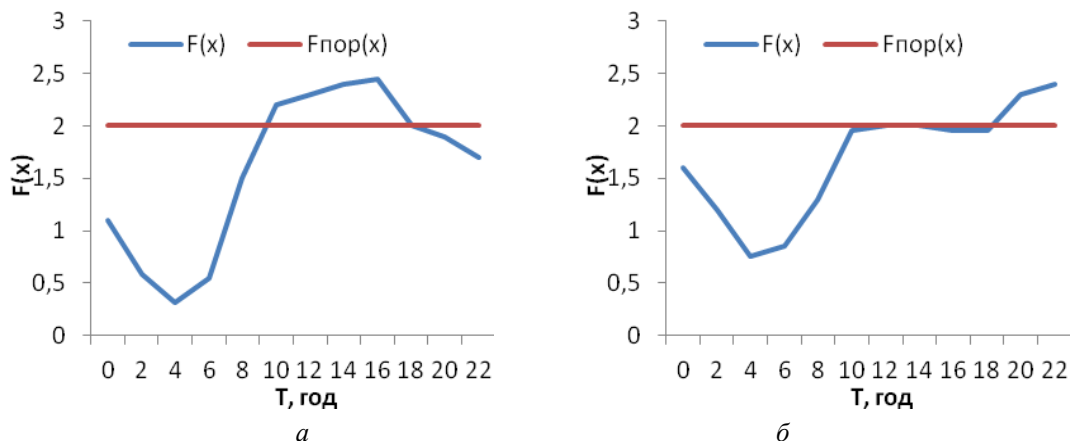


Рис. 7. Середнє значення інтегрального показника після застосування методу контролю якості передачі відео на основі Smart Grid: а – у центральній частині міста; б – у житлових районах

Як можна бачити з графіків, завдяки динамічному перерозподілу ресурсів між віртуальними базовими станціями середнє значення інтегрального показника у пікові години для обох районів міста значно покращилось, за рахунок зменшення частки втрачених пакетів та часу затримки між пакетами.

Висновок

У статті розглянуто основні підходи до побудови інфраструктури 5G мереж на основі хмарних технологій. Досліджено процедури забезпечення якості у мережах 5G, які ускладнюються через перехід до повної віртуалізації мережевих функцій контролю і управління QoS. Розроблено метод контролю якості передавання відеопотоків у мережах п'ятого покоління, який враховує такі показники якості обслуговування, як втрата пакетів, джитер, затримка між пакетами, а також значення відношення сигналу до шуму. Перевищення граничного значення для інтегральної функції контролю якості ініціює перерозподіл інформаційних ресурсів, які виділені на обслуговування віртуальних базових станцій. Застосування запропонованого методу дасть змогу покращити якість обслуговування абонентів.

1. Тухвинский В. О., Бочечка Г. С. Концептуальные аспекты создания 5G // *Электросвязь*. 2013. № 10. С. 29–33. 2. Venugopal V. 5G mobile technology: A survey // *Special Issue on Next Generation (5G/6G) Mobile Communications*. 2015. Vol. 1, No. 3. P. 132–137. 3. Тухвинский В. О., Бочечка Г. С. Перспективы сетей 5g и требования к качеству их обслуживания // *Электросвязь*. 2014. № 11. С. 37–46. 4. Project METIS Deliverable D2.1 Requirements and general design principles for new air interface, 31.08.2013. 5. Elastic Resource Utilization Framework for High Capacity and Energy Efficiency in Cloud RAN / D. Pompil, A. Hajisami, T. X. Tran // *IEEE Communications Magazine*. 2016. Vol. 42, No. 1. P. 26–32. 6. Sundaresan K. A Flexible Cloud-Based

Radio Access Network for Small Cells // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2013. Vol. 24, No. 2. P. 99–110. 7. Niu Z. *Cell Zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks // IEEE Communication Magazine. 2010. Vol. 48, No. 11. P. 74–79.* 8. *Smart Grid Reference Architecture // Copyright Cisco Systems, Inc., International Business Machines Corporation. 2011. Vol. 1. P. 17–22.* 9. Використання технології SMART GRID для підвищення ефективності енергомереж / А. О. Лунтовський, А. І. Семенко, С. В. Губанков // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. 2014. № 2(30). С. 62–70. 10. Шелухин О. И., Иванов Ю. А. Оценка качества передачи потокового видео в телекоммуникационных сетях с помощью программно-аппаратных средств // Информационные комплексы и системы. 2009. № 4. С. 56–69.

References

1. V.O. Tikhvinskiy, G. Bochechka. *Conceptual aspects of 5G creation // Electrosvyaz. – Moscow – 2013. – No. 10. – P. 29–33.* 2. Venugopal V. *5G mobile technology: A survey / V. Venugopal // Special Issue on Next Generation (5G/6G) Mobile Communications. – 2015. – Vol. 1, No 3. – pp. 132–137.* 3. V. O. Tikhvinskiy · G. Bochechka. *Prospects and QoS requirements in 5G networks // Electrosvyaz – Moscow, 2014. – No. 11. – P. 37–46.* 4. *Project METIS Deliverable D2.1 Requirements and general design principles for new air interface, 31.08.2013.* 5. Pompili D. *Elastic Resource Utilization Framework for High Capacity and Energy Efficiency in Cloud RAN / D. Pompil, A. Hajisami, T. X. Tran // IEEE Communications Magazine. – 2016. – Vol. 42, No. 1. – P. 26–32.* 6. Sundaresan K. *A Flexible Cloud-Based Radio Access Network for Small Cells / K. Sundaresan // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2013. – Vol. 24, No. 2. – P. 99–110.* 7. Niu Z. *Cell Zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks / Z. Niu // IEEE Communication Magazine. – 2010. – Vol. 48, No. 11. – P. 74–79.* 8. *Smart Grid Reference Architecture // Copyright Cisco Systems, Inc., International Business Machines Corporation. – 2011. – Vol. 1. – P. 17–22.* 9. A. O. Luntovsky, A. I. Khomenko, S. V. Gubankov. *Using SMART GRID technology to improve energy networks // Scientific Proceeding of Ukrainian Research Institute of Communication– 2014. – No. 2(30). – P. 62–70.* 10. O. I. Sheluhin, Y. Ivanov. *Otsenka quality streaming video in telecommunication networks with the help of software and hardware // Information systems and systems. – 2009. – No. 4. – P. 56–69.*