

Intelligent information systems

УДК 621.39 (045)

DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.07>Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М.¹, Т. В. Смірнова², К. О. Буравченко², О. А. Смірнов²¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна² Центральнотрапнський національний технічний університет, Кропівницький, Україна

МЕТОД ОЦІНКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ КОРИСТУВАЛЬНИЦЬКОГО ДОСВІДУ АБОНЕНТІВ В ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. Еволюційні процеси, які в першу чергу торкнулися комп'ютерних технологій, призвели до появи кількох типів обчислювальних мереж, що представляють сукупність комп'ютерних пристроїв, об'єднаних в одну систему. Основним призначенням такої системи є доступ користувачів до спільних ресурсів та можливість обміну даними між абонентами у процесі роботи. Такі мережі називаються програмно-конфігурованими – SDN. Мережі SDN вже давно стали основою побудови телекомунікаційних мереж операторського класу. Проте, в них є певна кількість недоліків, які необхідно усунути. **Об'єктом дослідження** є процес оцінки та підвищення користувацького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах. **Предметом дослідження** є метод оцінки та підвищення користувацького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання. **Мета роботи** полягає у розробці моделі та відповідного методу оцінки якості користувацького досвіду абонентів мереж SDN. **У результаті дослідження** вперше було розроблено метод оцінки та підвищення користувацького досвіду абонентів мереж SDN на основі використання машинного навчання. Метод полягає у послідовному проведенні автоматизованого опитування користувачів, вимірюванні показників якості обслуговування абонентів, виборі й побудові регресійної моделі із множини визначених моделей та керування користувацьким досвідом за вимірними параметрами якості обслуговування абонентів мережі SDN. Розроблений метод на відміну від відомих, надає змогу підвищувати якість користувацького досвіду у режимі реального часу. **Висновки.** Проведене дослідження існуючих механізмів керування користувацьким досвідом абонентів та аналіз регресійних моделей на можливість їх використання для встановлення взаємозв'язку між параметрами мережі та користувацьким досвідом, дозволило розробити узагальнену модель оцінки та підвищення користувацького досвіду абонентів мереж SDN, на основі використання машинного навчання, та розробити алгоритм роботи методу. Розроблений метод дозволяє будувати точні моделі взаємозв'язку параметрів QoE та QoS та підвищує на величину до 10% якість користувацького досвіду абонентів мереж SDN.

Ключові слова: програмно-конфігуровані мережі; машинне навчання.

Вступ

Еволюційні процеси, які в першу чергу торкнулися комп'ютерних технологій, призвели до появи кількох типів обчислювальних мереж, що представляють сукупність комп'ютерних пристроїв, об'єднаних в одну систему. Основним призначенням такої системи є доступ користувачів до спільних ресурсів та можливість обміну даними між абонентами у процесі роботи.

Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних мереж показали, що потенціал зростання продуктивності та пропускної спроможності мереж на основі традиційних технологій практично вичерпаний [1]. В даний час телекомунікаційні мережі будуються на базі безлічі комутаційних пристроїв, кожен з яких може працювати незалежно від інших пристроїв, самостійно визначаючи правила, за якими воно оброблятиме пакети, що надходять на нього. Також сучасні комутаційні пристрої виробляють свої правила комутації пакетів за закладеними в них алгоритмами. Правила обміну службовою інформацією між пристроями та способи її застосування для вироблення узгоджених правил обробки пакетів визначаються безліччю різноманітних службових протоколів, кожен із яких вирішує деяку підмножину завдань адміністрування мережі. Використання безлічі службових протоколів аж ніяк не робить мережне адміністрування

простим. Вирішення цієї проблеми значно спростилося разом із порівняно недавнім появою концепції Програмно конфігурованих мереж (SDN). Такі мережі дозволяють прискорити маршрутизацію, підвищити зручність конфігурування, віртуалізації, налаштування якості обслуговування мереж зв'язку.

Головними завданнями SDN є відокремлення функцій передачі трафіку від функцій управління (включаючи контроль як самого трафіку, так і пристроїв, що здійснюють його передачу). Це відбувається за рахунок створення спеціального програмного забезпечення, яке може працювати на окремому сервері (комп'ютері) та яке знаходиться під контролем адміністратора мережі. Всі маршрутизатори та комутатори об'єднуються під керуванням контролера SDN або Мережевої Операційної Системи (МОС), яка забезпечує додатком доступ до управління мережею та постійно відстежує конфігурацію засобів мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття, практичні особливості та застосування QoE значно розвинулися з моменту його створення в телекомунікаційному контексті [2]. QoE визначається як «загальна прийнятність програми або послуги, яка суб'єктивно сприймається кінцевим користувачем». QoE вважалось таким, що включає «наскрізні системні ефекти» і що це може бути змінено під впливом очікувань користувачів і контексту.

Еволюція методів оцінки QoE та включала вдосконалення агрегованих вручну оцінок, наприклад, середньої оцінки думки (MOS); стандартизацію відображення QoE для мережевих вимірювань надання послуг; дослідження асоціації/кореляції з спостереженнями та відповідями кінцевого користувача, тощо [3].

QoE можна визначити як процес вимірювання або оцінки якості для набору програм або послуг користувачів за допомогою спеціальних процедур та з урахуванням факторів впливу (можливо контрольованих, вимірних або просто зібраних і звітних).

Наприклад, оцінка якості на основі методів SDN/NFV [4-6] є важливим кроком до моніторингу та управління на основі якості. Залежно від мети та напрямку дослідження в рекомендаціях ITU-T описані різні методи та рекомендації для суб'єктивного оцінювання [7-9].

У роботі [10] пропонується динамічний підхід до розподілу ресурсів за допомогою VBS і RRH, спрямований на підвищення ефективності використання ресурсів та енергії, забезпечуючи при цьому високий рівень QoE.

Постановка задач дослідження. Хоча SDN є відповідним рішенням для ІТ та хмарних провайдерів та підприємств, SDN стикається з деякими проблемами, які перешкоджають його продуктивності та впровадженню.

Однією із таких проблем є відсутність дієвого механізму управління користувальницьким досвідом кінцевих користувачів.

Таким чином, **метою даної роботи** є розробка методу оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів мереж SDN на основі використання машинного навчання.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі:

1. Проведено аналіз існуючих механізмів керування користувальницьким досвідом абонентів.
2. Розроблено узагальнену модель оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів мереж SDN.
3. Проведено аналіз регресійних моделей на можливість їх використання для встановлення взаємозв'язку між параметрами мережі та користувальницьким досвідом.
4. Розроблено алгоритм роботи методу.

Розвиток сучасних мережевих технологій на базі програмно-кофігурованих мереж

Розглянемо архітектуру програмно-кофігурованих мереж. В них функція комутатора з управління переносяться на окремий центральний пристрій – контролер SDN. Такий підхід дозволяє керувати та контролювати стан мережі на логічно централізованому контролері. З іншого боку, з'являється можливість рівню управління відокремитися від фізичної складової, використовуючи логічне уявлення мережі загалом. Взаємодія між рівнем передачі здійснюється за допомогою єдиного уніфікованого відкритого інтерфейсу. В архітектурі SDN згідно [11] виділяють 3 рівні (рис. 1):

– рівень інфраструктури мережі, що представляє набір мережевих структур (комутатори та канали зв'язку);

– рівень управління, що складається з операційної системи, що забезпечує додаткам мережеві сервіси та програмний інтерфейс для управління мережевими пристроями та мережею;

– рівень додатків.

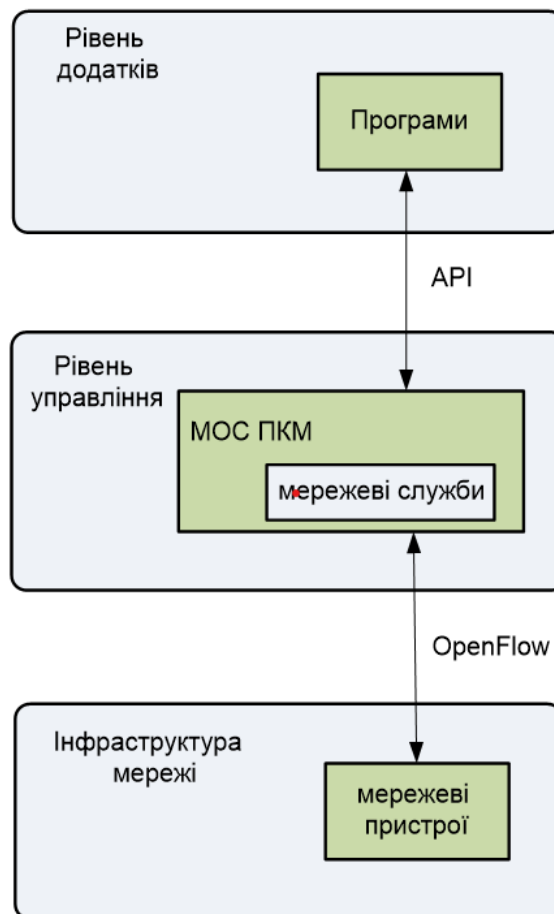


Рис 1. Архітектура SDN (Fig. 1. SDN architecture)

Одне з центральних місць в архітектурі SDN займає мережева операційна система, яка є операційною системою, що забезпечує обробку, зберігання та передачу даних в інформаційній мережі. Мережева операційна система або контролер SDN визначає взаємопов'язану групу протоколів верхніх рівнів, що забезпечують основні функції мережі: адресацію об'єктів, функціонування служб, безпеку даних, керування мережею. Контролер SDN формує дані про стан всіх ресурсів мережі та забезпечує доступ до них для програм управління мережею. Ці програми керують різними аспектами функціонування мережі, включаючи побудову топології, прийняття маршрутизуючих рішень, балансування навантаження. За допомогою цього протоколи фахівці самі можуть визначати та контролювати, які вузли, за яких умов та з якістю можуть взаємодіяти в мережі. Таким чином, на контролер ще можуть бути покладені задачі по оцінці та підвищенні користувальницького досвіду абонентів, що обслуговуються мережею.

Узагальнена модель забезпечення користувальницького досвіду в мережах SDN

В останні роки технічна спільнота переключила певну увагу з одного пов'язаного показника, якості обслуговування (QoS), на більш орієнтовану на споживача метрику, якість досвіду (QoE). У той час як QoS стоїть між мережею та додатком, QoE зосереджено на абоненті. Зокрема, QoE фокусується на людині як користувачеві, який взаємодіє з додатком, і людині як клієнту, який має справу з постачальником послуг.

Різниця між QoE і QoS підкреслена нижче [12]:

QoS – якість обслуговування:

- характеристики/поведінка мережі;
- гарантії продуктивності, надані провайдером мережі на основі вимірювань;

QoE – якість досвіду:

- вплив поведінки мережі на кінцевого користувача;
- деякі недоліки можуть залишитися непоміченими;
- деякі недоліки можуть зробити додаток марним;
- не фіксується мережевими вимірюваннями.
- QoE враховує очікування користувача, QoS є більш раціональним на основі технічних вимірювань (рис. 2).

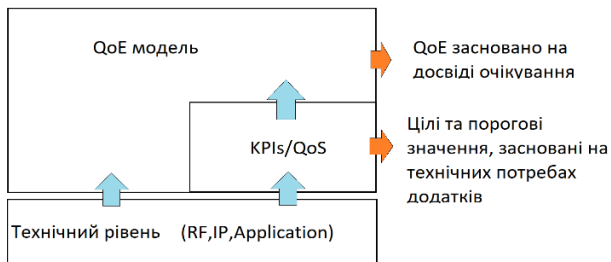


Рис 2. Зв'язки між QoE, QoS і KPI
(Fig. 2. Relationships between QoE, QoS and KPI)

На підставі вищезазначеного пропонується модель аналізу оцінки загального QoE за допомогою показників QoS, які можна оцінити більш об'єктивним способом.

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\},$$

де $S_i \subseteq S, (i = \overline{1, n})$ – кількість послуг;

$$S_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij} \right\} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{jm_i}\};$$

$S_{ij} (j = \overline{1, m_i})$ – підмножина елементів системи забезпечення якості.

Підмножини QoE метрики $S_{ij} \subseteq S_i$ можуть бути представлені як:

$$S_{ij} = \left\{ \bigcup_{p=1}^{r_{ij}} S_{ijp} \right\} = \{S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr_{ij}}\},$$

де $S_{ijp} (p = \overline{1, r_{ij}})$ показники QoE, що характеризують – QoE для S_{ij} ;

r_{ij} – кількість таких показників.

На другому етапі вибирають показники QoS і QoE, використовуючи багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз. Для побудови багатофакторної регресійної моделі необхідно виконати наступні кроки:

1. Вибираються всі можливі фактори QoS, що впливають на досліджуваний показник QoE (або процес). Для кожного фактора визначаються його чисельні характеристики.

2. Вибирається форма регресійної або багатомірної моделі, тобто знаходження аналітичного виразу, що найбільш повно відображає зв'язок факторних характеристик з рівнодійною, тобто відбувається вибір відповідних функцій (табл. 1).

На наступному етапі необхідно розрахувати підмножини показників QoS з використанням відповідних алгоритмів та формул їх розрахунку [13]. QoE необхідно розраховувати з використанням, наприклад, MOS, DSCQR, ACR [7] або інших відповідних методів/технік.

На останньому етапі отримані значення порівнюються з максимально допустимими, можливими для забезпечення нормального функціонування мережі та досягнутих KPIs.

Для порівняння отриманих у результаті розрахунків значень, із максимально допустимими, вводиться логічна функція еквівалентності:

$$E(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > y, \\ 0, & \text{if } x \leq y. \end{cases}$$

QoE – чи не найважливіший параметр, за оцінкою якого можна визначити досвід користувача і порівняти його з очікуваннями інших користувачів.

Саме тому було розроблено метод оцінки QoE, щоб оцінити рівень задоволеності кінцевих користувачів та гравців вертикалей розгорнутими варіантами використання. Це включає QoE користувачів, а також відгуки вертикальних гравців про те, як технологія, що надається, може поліпшити їх бізнес-операції [13].

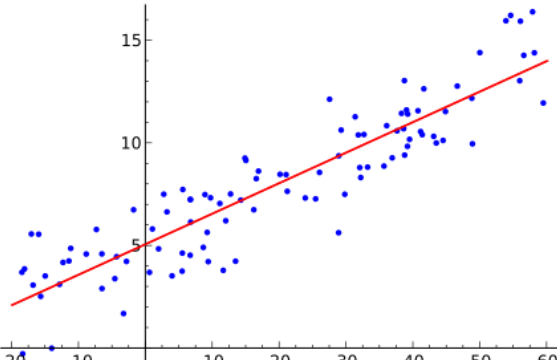
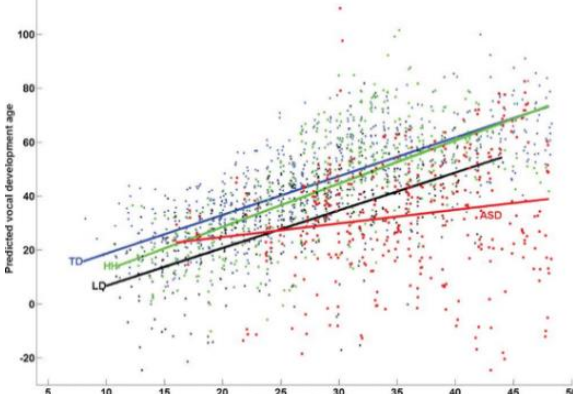
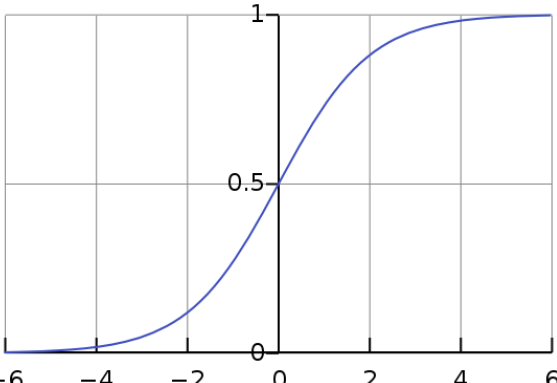
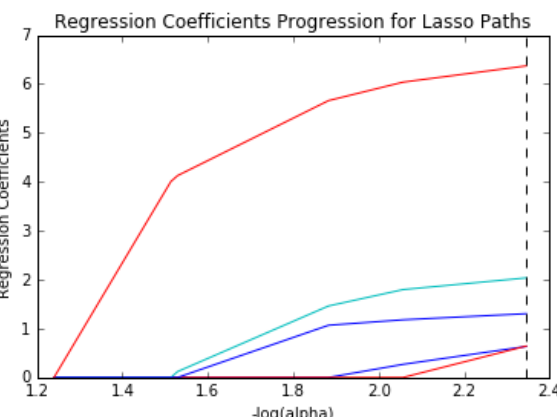
На додаток до перевірки результатів QoS, які в основному ілюструють продуктивність ключових показників ефективності мережі, надзвичайно важливо підтвердити фактичну задоволеність кінцевих користувачів та вертикальних гравців. (або як постачальників послуг, або користувачів вторинних послуг).

У цьому напрямі було розроблено метод оцінки QoE, високорівнева архітектура якого представлена на рис. 3 [13]. Метод реалізується у два етапи:

– Перший етап реалізується під час виконання випробувань як метрики QoS, що автоматично збираються з інфраструктури, так і метрики QoE (і вертикальну задоволеність), зібрані за допомогою відповідних анкет.

– Другий етап реалізується після виконання випробувань та з використанням кореляційно-регресійного аналізу, з якого створюється модель для кореляції QoS-QoE.

Таблиця 1 – Набір досліджуваних моделей (Table 1 – Set of studied models)

Назва моделі /Графічна модель	Математична модель (вираз)
<p>Лінійна регресія [12]</p> 	$Y = a + b \cdot X + \varepsilon,$ <p>де X – пояснювальна змінна; Y – залежна змінна; b – нахил прямої; c – перехоплення; ε – помилка моделі.</p>
<p>Множинна лінійна регресія [12]</p> 	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_p \cdot x_p + \varepsilon,$ <p>де Y – прогнозоване значення; β_0 – точка перетину Y (значення y, коли всі інші параметри встановлені на 0); β_p – коефіцієнт регресії незалежної змінної; x_p – кількість незалежних змінних; ε – помилка моделі.</p>
<p>Логістична регресія [12]</p> 	$Y = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 \cdot x)}},$ <p>де Y – прогнозоване значення; β_0 – є точкою перетину Y; β_1 – коефіцієнт регресії змінної x.</p>
<p>Регресія Ласо [12]</p> 	$\sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_j x_{ij} \cdot \beta_j \right)^2 + \lambda \cdot \sum_{j=1}^p \beta_j ,$ <p>де y_i – прогнозоване значення; β_j – коефіцієнт регресії незалежної змінної x; λ – позначає величину усадки.</p>

Закінчення табл. 1

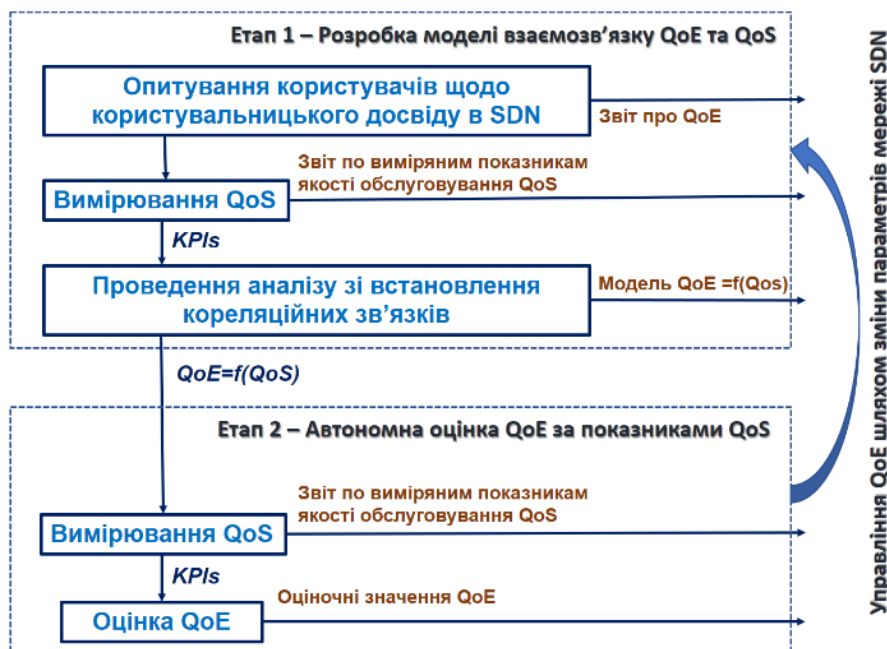
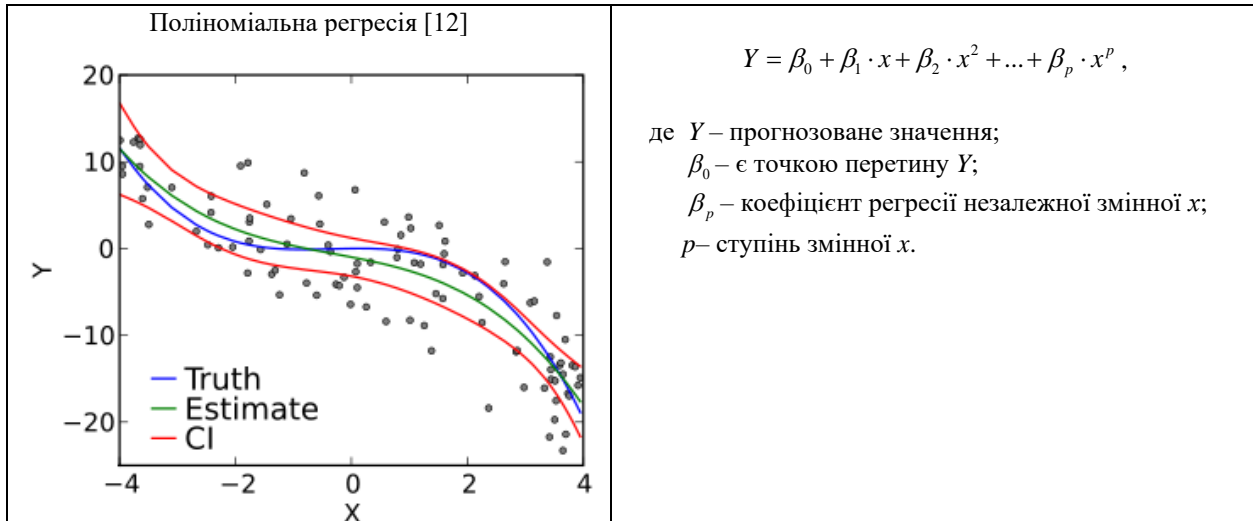


Рис. 3. Метод оцінки QoE в мережі SDN
(Fig. 3. QoE evaluation method in the SDN network)

Кожен підхід, використаний у попередніх дослідженнях для вимірювання QoS та QoE, має свій потенціал. Очікується, що цей потенціал забезпечить баланс між QoS та QoE, простий, швидкий та точний процес, а також гнучкість між ідеальними умовами та реальністю.

Вимірювання трафіку та відгуку користувача у групі об'єктних підходів має потенціал завдяки балансу QoS та QoE, простоті та гнучкості, як у підматеріалі, який стає метою вимірювання. Це пов'язано з тим, що трафік має різні підматеріали, а також підматеріали у відповідях користувачів, які дуже гнучкі. Користувальницький трафік та відповідь також відповідні ціннішим вимогам високотехнологічних та систематичних QoS та QoE, які дуже прив'язані до користувачів.

Окремо треба виділити етап вибору регресійної моделі. Цей вибір може бути доволі складним.

Спроба змоделювати його лише за допомогою зразка не полегшить цей вибір.

Тому виникає необхідність математично описати взаємозв'язок між деякими предикторами та змінною відгуком. На практиці, зазвичай вимірюється безліч змінних параметрів, але в модель включаються лише деякі з них. Тоді, намагаються виключити змінні, які не пов'язані між собою, і включають лише ті, що мають справжній взаємозв'язок. В цьому випадку розглядають множину можливих моделей. При цьому, прагнуть досягти балансу щодо кількості предикторів, які вони включають.

– **Замало:** недостатньо конкретизована модель має тенденцію давати необ'єктивні оцінки.

– **Занадто багато:** завищена модель зазвичай дає менш точні оцінки.

– **Оптимальна:** модель з правильними умовами не має зміщення та дає найточніші оцінки.

Щоб вибрати найбільш відповідну модель регресії, краще включити змінні, які спеціально тестуються, разом з іншими змінними, які впливають на відповідь, щоб уникнути упереджених результатів. Існують статистичні заходи та процедури, що допомагають конкретизувати регресійну модель [14].

Скоригований R-квадрат та Прогнозований R-квадрат: моделі з вищими скоригованими та прогнозованими значеннями R-квадрату. Ці статистичні дані призначені для того, щоб уникнути ключової проблеми зі звичайним R-квадратом – він збільшується щоразу, коли ви додаєте предиктор, і може обдурити вас, змусявши вказати занадто складну модель.

– Скоригований квадрат R збільшується тільки в тому випадку, якщо новий член покращує модель більше, ніж можна було б очікувати випадково, і він також може зменшуватись з предикторами низької якості.

– R-квадрат, що прогнозується, є формою перехресної перевірки, і він також може зменшуватись. Перехресна перевірка визначає, наскільки добре ваша модель узагальнюється інші набори даних шляхом поділу ваших даних.

R-значення для предикторів: у регресії низькі p -значення вказують терміни, які є статистично значущими. "Скорочення моделі" відноситься до практики включення в модель всіх предикторів-кандидатів, а потім систематичного видалення члена з найвищим значенням p один за одним доти, доки не залишаться тільки значущі предиктори.

Покрокова регресія та регресія найкращих підмножин: це дві автоматизовані процедури, які можуть ідентифікувати корисні предиктори на етапах побудови моделі. На рис. 4 нижче показано схему вибору методу та подальшого створення моделі.

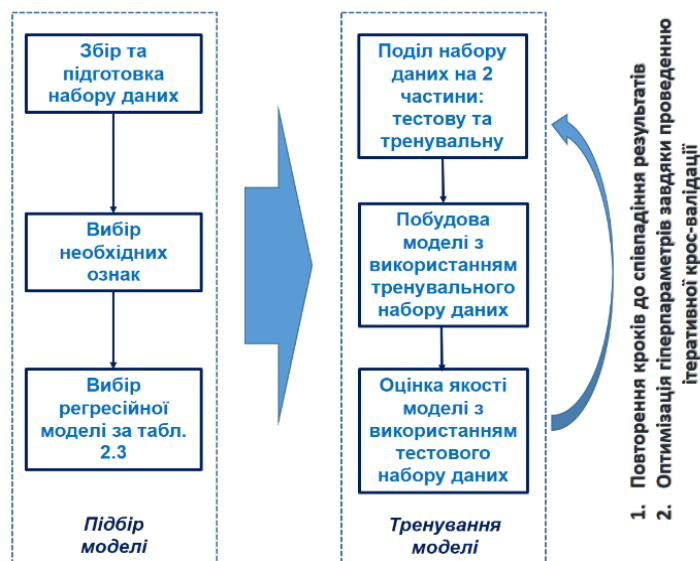


Рис. 4. Вибір методу регресії та подальше створення моделі QoE-to-QoS
(Fig. 4. Selection of the regression method and subsequent creation of the QoE-to-QoS model)

Вибір функції вже відбувається до побудови моделі та визначає вхідні атрибути пізнішої моделі регресії. Набори даних уже були структуровані під час створення таким чином, що вони містять лише відповідні атрибути.

Методи регресії підходять для різних проблем, по-різному добре. Для оцінки набір даних розбивається на навчальний і тестовий набір даних перед створенням моделі. Цей крок автоматично виконується ітеративно під час перехресної перевірки.

Оптимізація гіперпараметрів шляхом повторюваної перехресної перевірки з різними налаштуваннями гіперпараметрів

Результатом перехресної перевірки є список зі значеннями вибраних параметрів скорингу. Оскільки оцінка виконується після кожного запуску, якщо набір даних поділено на п'ять розділів, також існує список із п'ятьма значеннями оцінки. Усереднення цих значень дозволяє оцінити ефективність процедури регресії. Оскільки більшість методів регресії дозволяють регулювати складність моделі за допомогою одного або кількох гіперпараметрів, коригування

гіперпараметрів є необхідним для значущого порівняння методів регресії. Знаходження цих оптимальних налаштувань гіперпараметрів виконується шляхом ітеративної побудови моделі. Перехресна перевірка виконується неодноразово для різних налаштувань гіперпараметрів. Нарешті, вибираються налаштування параметрів, які показали найкращу точність моделі під час оцінювання. Цей процес виконується за допомогою циклів, які автоматично змінюють гіперпараметри в певних межах і зберігають оцінні значення. Потім вибір оптимальних налаштувань виконується шляхом ручного або автоматичного пошуку найкращих результатів оцінювання.

Висновки

Мережі SDN вже давно стали основою побудови телекомунікаційних мереж операторського класу. Проте, в них є певна кількість недоліків, які необхідно усунути. Відповідно, метою даної статті є розробка моделі та відповідного методу оцінки якості користувальницького досвіду абонентів мереж SDN.

Таким чином, вперше було розроблено метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду

абонентів мереж SDN на основі використання машинного навчання, що полягає у послідовному проведенні автоматизованого опитування користувачів, вимірюванні показників якості обслуговування абонентів, виборі та побудові регресійної моделі із множини визначених моделей та керування користувальницьким досвідом за вимірними параметрами якості

обслуговування абонентів мережі SDN, що на відміну від відомих, надає змогу підвищувати якість користувальницького досвіду у режимі реального часу.

Даний метод дозволяє будувати точні моделі взаємозв'язку параметрів QoE та QoS та підвищує на величину до 10% якість користувальницького досвіду абонентів мереж SDN.

REFERENCES

- Oleshchenko L.M. (2018), *Organization of computer networks*, summary of lectures, education. manual for students specialty 121 "Software engineering", specialization "Computer and information search system software", KPI named after Igor Sikorsky, Kyiv, 225 p., available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/22890>.
- Porcu, S., Floris, A., Voigt-Antons, J.-N., Atzori, L. and Moller, S. (2020), "Estimation of the Quality of Experience During Video Streaming From Facial Expression and Gaze Direction", *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.*, Vol. 17, Is. 4, pp. 2702–2716, doi: <https://doi.org/10.1109/TNSM.2020.3018303>.
- Kourtis, M.-A., Liberal, F., Koumaras, H., Xilouris, G. and Trouva, E. (2017), "Exploiting NFV techniques towards future VQA methods", *IEEE 22nd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Lund, Sweden, June 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/CAMAD.2017.8031638>.
- Kourtis, M.-A., Koumaras, H., Xilouris, G. and Liberal, F. (2017), "An NFVBased Video Quality Assessment Method over 5G Small Cell Networks", *IEEE MultiMedia*, vol. 24, pp. 68–78, doi: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2017.265091534>.
- Koumaras, H., Kourtis, M., Sakkas, C., Xilouris, G. and Kolometsos, S. (2016), "In-service Video Quality assessment based on SDN/NFV techniques", *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*, Thessaloniki, Greece, pp. 1–5, doi: <https://doi.org/10.1109/ICT.2016.7500385>.
- International Telecommunication Union (2012), *ITU-R, BT.500.11: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*, Jan 2012, available at: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500>.
- International Telecommunication Union (2008), ITU-T Rec. P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications, April 2008, available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.910>.
- International Telecommunication Union (2016), "ITU-T Rec. P.913: Methods for the subjective assessment of video quality, audio quality and audiovisual quality of Internet video and distribution quality television in any environment," March 2016, available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.913>.
- Ouali, K., Kassar, M., Nguyen, T. M. T., Sethom, K. and Kervella, B. (2017), "Modeling D2D handover management in 5G cellular networks", *2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, available at: <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2017.7986285>.
- Makarenko Yu. V. (2019), "The Analysis of the Possibilities of Using 5G Technology in Internet Systems of Things", *Electronic and Acoustic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 45–51, doi: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.2.163355>.
- Thirupathi, V., Sandeep, C. H., Kumar, N., & Kumar, P. P. (2019), "A comprehensive review on sdn architecture, applications and major benefits of SDN", *International Journal of Advanced Science and Technology*, 28(20), pp. 607-614, doi: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/2854>.
- Osman, H., Kosmatos, E., Giannopoulou, N. and Odarchenko, R. (2021), *First Integrated 5G-TOURS Ecosystem*, D7.2, Technical Report. 5G-TOURS - ICT-19-2019 – G.A:856950, available at: https://www.researchgate.net/publication/350725143_First_Integrated_5G-TOURS_Ecosystem_D72.
https://www.researchgate.net/publication/350725143_First_Integrated_5G-TOURS_Ecosystem_D72#fullTextFileContent.
- Mouhouche, B. (2020), *5G-TOURS, D7.1*, 5G Experimentation Facilities and Vertical Trials, available at: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2020/09/5GTOURS_Vertical_workshop_14102020.pdf.
- Tikhvinskiy, V., Bochechka, G., Gryazev, A. and Aitmagambetov, A. (2018), "Comparative Analysis of QoS Management and Technical Requirements in 3GPP Standards for Cellular IoT Technologies", *Journal of Telecommunications and Information Technology*, vol. 2(2), pp. 41–47, doi: <https://doi.org/10.26636/jtit.2018.122717>.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Олещенко Л.М. Організація комп'ютерних мереж, конспект лекцій: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» спеціалізації «Програмне забезпечення комп'ютерних та інформаційно-пошукових систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 225 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/22890>.
- Porcu, S., Floris, A., Voigt-Antons, J.-N., Atzori, L., Moller, S. Estimation of the Quality of Experience During Video Streaming From Facial Expression and Gaze Direction. *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.* 2020. Vol. 17, Is. 4. P. 2702–2716. DOI: <https://doi.org/10.1109/TNSM.2020.3018303>.
- Kourtis M.-A., Liberal F., Koumaras H., Xilouris G., Trouva E. Exploiting NFV techniques towards future VQA methods. *IEEE 22nd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*. Lund, Sweden. June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/CAMAD.2017.8031638>.
- Kourtis M.-A., Koumaras H., Xilouris G., Liberal F. An NFVBased Video Quality Assessment Method over 5G Small Cell Networks. *IEEE MultiMedia*. Dec 2017. Vol. 24. P. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2017.265091534>.
- Koumaras H., Kourtis M., Sakkas C., Xilouris G., Kolometsos S. In-service Video Quality assessment based on SDN/NFV techniques. *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*. May 2016. Thessaloniki, Greece. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICT.2016.7500385>.
- International Telecommunication Union. ITU-R, BT.500.11: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. Jan 2012. URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500>.
- International Telecommunication Union. ITU-T Rec. P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications. April 2008. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.910>.

8. International Telecommunication Union. ITU-T Rec. P.913: Methods for the subjective assessment of video quality, audio quality and audiovisual quality of Internet video and distribution quality television in any environment. March 2016. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.913>.
9. Ouali K., Kassar M., Nguyen T. M. T., Sethom K., Kervella B. Modeling D2D handover management in 5G cellular networks. *2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. Jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2017.7986285>.
10. Макаренко Ю.В. Аналіз можливостей використання технологій 5G в системах Інтернету речей. *Електронна та Акустична Інженерія*. 2019. Том 2, № 2. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.2.163355>.
11. Thirupathi, V., Sandeep, C. H., Kumar, N., Kumar, P. P. A comprehensive review on sdn architecture, applications and major benefits of SDN. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2019. Vol. 28(20). P. 607-614. DOI: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/2854>.
12. Osman H., Kosmatos E., Giannopoulou N. and Odarchenko R. (2021), First Integrated 5G-TOURS Ecosystem, D7.2, Technical Report. 5G-TOURS - ICT-19-2019 – G.A:856950, URL: https://www.researchgate.net/publication/350725143_First_Integrated_5G-TOURS_Ecosystem_D7.2.
https://www.researchgate.net/publication/350725143_First_Integrated_5G-TOURS_Ecosystem_D7.2#fullTextFileContent.
13. Mouhouche, B. 5G-TOURS, D7.1, 5G Experimentation Facilities and Vertical Trials, 2020, URL: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2020/09/5GTOURS_Vertical_workshop_14102020.pdf.
14. Tikhvinskiy V., Bochechka G., Gryazev A., Aitmagambetov A. Comparative Analysis of QoS Management and Technical Requirements in 3GPP Standards for Cellular IoT Technologies. *Journal of Telecommunications and Information Technology*. Vol. 2. Jun. 2018. P. 41–47, DOI: <https://doi.org/10.26636/jtit.2018.122717>.

Received (Надійшла) 28.01.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.04.2023

ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аль-Мудхадфар Акіл Абдулхуссейн М. – PhD-докторант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна;

Al-Mudhafar Aqeel Abdulhussein M – PhD student, National Aviation University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: almudhaffar2004@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5306-4081>.

Смірнова Тетяна Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна;

Tetiana Smirnova – candidate of technical sciences (PhD), associate professor, associate professor of cybersecurity and software academic department, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine;

e-mail: sm.tetyana@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6896-0612>.

Буравченко Костянтин Олегович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна;

Kostiantyn Buravchenko – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of cybersecurity and software academic department, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine;

e-mail: buravchenkok@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6195-7533>.

Смірнов Олексій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна;

Oleksii Smirnov – doctor of engineering, professor, head of cybersecurity and software academic department, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine;

e-mail: dr.SmirnovOA@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9543-874X>.

The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning

Al-Mudhafar Aqeel Abdulhussein M., Tetiana Smirnova, Kostiantyn Buravchenko, Oleksii Smirnov

Abstract. Evolutionary processes, which primarily affected computer technologies, led to the appearance of several types of computer networks, representing a set of computer devices combined into one system. The main purpose of such a system is user access to shared resources and the ability to exchange data between subscribers during work. Such networks are called software-configurable networks - SDN. SDN networks have long been the basis for building carrier-class telecommunication networks. However, they have a certain number of shortcomings that must be eliminated. **The object of the study** is the process of evaluating and improving the user experience of subscribers in software-configured networks. **The subject of the study** is a method of evaluating and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning. **The purpose of the work** is to develop a model and a corresponding method for assessing the quality of the user experience of subscribers of SDN networks. **As a result of the research**, for the first time, a method of evaluating and improving the user experience of subscribers of SDN networks was developed based on the use of machine learning. The method consists in sequentially conducting an automated survey of users, measuring indicators of subscriber service quality, selecting and building a regression model from a set of defined models, and managing the user experience according to the measured parameters of SDN subscriber service quality. The developed method, in contrast to the known ones, makes it possible to improve the quality of the user experience in real time. **Conclusions.** The research of existing mechanisms for managing the user experience of subscribers and the analysis of regression models for the possibility of using them to establish the relationship between network parameters and user experience allowed to develop a generalized model for evaluating and improving the user experience of subscribers of SDN networks, based on the use of machine learning, and to develop an algorithm works of the method. The developed method makes it possible to build accurate models of the relationship of QoE and QoS parameters and increases the quality of the user experience of subscribers of SDN networks by up to 10%.

Keywords: software-configured networks; machine learning.