

УДК 621.391.3:004.41

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.020308

С. Г. ЛАЗЕБНИЙ, аспірант;

А. В. БЕРЕЗНЮК, аспірант;

А. О. МАКАРЕНКО, доктор техн. наук, професор;

Н. В. РУДЕНКО, канд. техн. наук;

О. І. ГОЛУБЕНКО, канд. техн. наук;

П. В. ШЕВЦОВ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ АВТОНОМНОГО МОНІТОРИНГУ 5G-ТЕХНОЛОГІЙ

Технічне обслуговування та керування поточними мережами 4-го покоління (4G) все ще здійснюється вручну та напів-автоматично, що є дорогим та трудомістким. Це ставить великий виклик для мережного керування різноманітними, програмно-визначеними та віртуалізованими системами 5-го покоління (5G). Стільникові мережі 5-го покоління (5G) охоплюють велику різноманітність технологій для вирішення дуже різних випадків використання. Оцінювання цих технологій та дослідження майбутніх альтернатив ускладнюється, якщо покладатися лише на адміністраторів мережі. Мережний інтелект 5G є важливою альтернативою адміністраторам мережі. З появою мережного інтелекту для системи 5G відкривається можливість інтелектуального керування. Без втручання адміністраторів новий підхід може автономно вирішувати проблеми з мережею, кібератаками та неефективним використанням ресурсів, що зі свого боку може зменшити операційні витрати, покращити досвід взаємодії з користувачем та скоротити час виходу нових послуг на ринок. У статті запропоновано випробувальний стенд мобільної мережі 5G з віртуалізованою та організованою структурою, зосередженою на інтеграції до програм штучного інтелекту. Розглядуваний тестовий стенд використовує технології з відкритим кодом для розгортання та оркестрування функцій віртуальної мережі для гнучкого створення різноманітних сценаріїв мобільних мереж із чіткими топологіями фронтального та зворотного зв'язку. Показано як розгорнути структуру тестового стенда та відтворити представлені результати з наданими алгоритмами, а також наведено рекомендовану архітектуру, функціональність, замкнене керування, алгоритми, що містять мережний інтелект. Установлено інтелектуальний тест-стенд 5G, а експериментальні результати підтверджують доцільність та ефективність.

Ключові слова: 5G; оркестратор; фреймворк; інтелектуальна система керування; штучний інтелект.

ВСТУП

Сьогодні вирішення проблем мобільних мереж (збоїв в системах, кібератаки та зниження продуктивності тощо) все ще потребують втручання людини в ручному режимі, зокрема налаштування параметрів програмного забезпечення, ремонт або заміна обладнання. Оператор мобільного зв'язку має утримувати оперативну групу з великою кількістю адміністраторів мережі з високим досвідом, що призводить до росту експлуатації мережі, яка нині втричі перевищує капітальні витрати і продовжує зростати [1]. Однак для задоволення радикальних вимог КРІ мобільного широкосмугового доступу та нових сервісів (Інтернет речей, віртуальна та доповнена реальність тощо), майбутня система 5-го покоління (5G) стане набагато складнішою та неоднорідною, ніж поточні системи. Це неминуче накладає великий виклик сьогодняшнім способам керування мережею, які вже є дорогими, вразливими і трудомісткими.

Користуючись передовими технологіями, включно з програмно-визначеними мережами, віртуалізацією мережних функцій [2] і штучним інтелектом [3], у статті запропоновано інтелектуальну систему керування (ІСК) мобільними 5G-мережами, що дасть змогу забезпечити можливості самовідновлення від мережних збоїв, само-

захисту розподілених кібератак і самооптимізації для підвищення якості обслуговування абонентів. Хоча самоорганізовані мережі мають функції самостійного керування, вони обмежуються статичними мережними ресурсами. Це неприйнятно для деяких сценаріїв 5G, таких як слайсинг мережі та інше. ІСК має на меті допомогти операторам мережі спростити завдання з керування та обслуговування, що зі свого боку знизить OPEX, покращить якість обслуговування абонентів та скоротить час упровадження нових послуг [4].

Як додаток до інфраструктури на базі SDN/NFV [1; 2] структура ІСК переважно складається з такого: 1) давачів і монітора, який виводить мережні показники; 2) виконавчого механізму та оркестратора, що виконують коригуючу та профілактичну дію; 3) мережного інтелекту, котрий відповідає за діагностику мережних проблем і тактичних вирішень.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Інтеграція запропонованого фреймворку ІСК з технологіями SDN і NFV

Беручи до уваги технології SDN і NFV для системи 5G, ІСК застосовується в програмно-визначеній і віртуалізованій мережній інфраструктурі. Щоб забезпечити повний перегляд інтелектуаль-

ного керування, розглянемо архітектуру фреймворку ІСК [5], яку зображено на рис. 1. Далі пропонуємо короткий опис диференційованих шарів.

Інфраструктурний рівень: усі фізичні та віртуальні мережні ресурси розміщено в цьому рівні. Він охоплює фізичний і віртуальний підрівень. Фізичний рівень забезпечує доступ до даних мережі, обчислень, зберігання, а віртуальний — до віртуальних структур поверх фізичного.

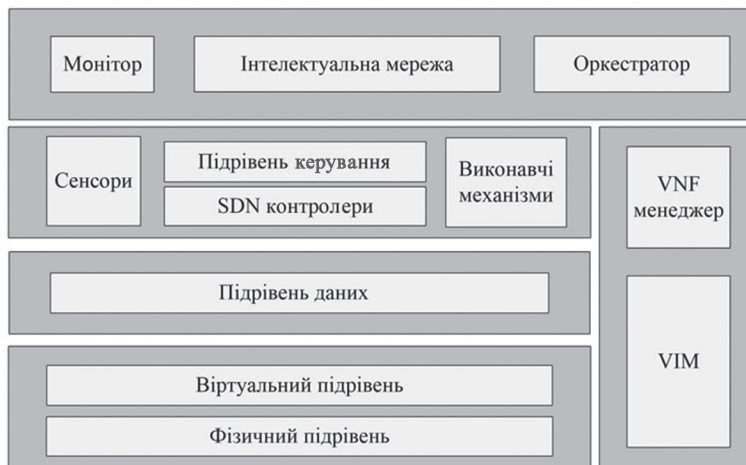


Рис. 1. Еталонна архітектура інтелектуальної системи керування

Рівень даних: передбачає еволюцію архітектури до парадигми SDN через від'єднання площини керування від площини даних. У цій структурі рівень даних є простою переадресацією даних, яка може бути або невіртуалізованою або віртуалізованою функцією мережі.

Рівень керування: цей рівень включає в себе два внутрішні підрівні: контролери SDN і підрівень для керування. Також є SDN/NFV сенсори і механізми, які здатні відповідно збирати дані з усієї системи і забезпечувати виконання дій.

Автономний рівень: цей рівень складається з трьох модулів: монітор витягує параметри, пов'язані з поведінкою мережі, вони надсилаються в розвідувальну частину, щоб вирішити, яку дію слід виконати. Оркестратор координує фізичні/віртуальні ресурси і керує виконавчим механізмом для виконання поставленої задачі.

Рівень організація та керування NFV: цей шар відповідає за оркестрацію та керування функціями віртуальної мережі через менеджер NFV, а також віртуальні ресурси через менеджер віртуалізованої інфраструктури (МБІ). Його узгоджено з вимогами NFV щодо керування та оркестрації, визначеними ETSI [6].

Опис алгоритму роботи запропонованої ІСК

Одним із основних інноваційних аспектів ІСК є мережний інтелект, який дає можливість автономного керування 5G-мережами. Користуючись передовими методами в галузі штучного інтелекту, він забезпечує здатність самовідновлення,

самозахисту та самооптимізації завдяки реактивному та активному вирішенням відповідно виявлених та передбачуваних мережних проблем. Розглянемо докладніше алгоритм функціонування запропонованої ІСК.

Цикл керування. Окрім базової програмно-визначеної та віртуалізованої мережної інфраструктури розроблено замкнений контур керування, починаючи від давачів і закінчуючи на виконавчих механізмах.

Після того, як монітор виявив або передбачив мережну проблему, в дію запроваджується цикл керування. Мережний інтелект діагностує причину проблеми, визначає тактику і планує дії. Тільки-но оркестратор отримав запит на дію, він координує фізичні та віртуальні ресурси для виконання цієї дії. Як показано на рис. 2, уведення та виведення мережного інтелекту є відповідно функціями та діями, які пояснюються:

- характеристикою: відповідно до [7] у межах ІСК ідентифіковано п'ять диференційованих джерел даних. Уся інформація моніторингу, отримана з фізичних пристроїв, площини даних, контролера SDN, давачів SDN/NFV та МБІ, називається сенсорними даними. Монітор здатний аналізувати та агрегувати зібрані дані давача, щоб отримати набір мережних функцій, які можна оцінити, аби вказати характеристики наявної або виникаючої проблеми мережі;

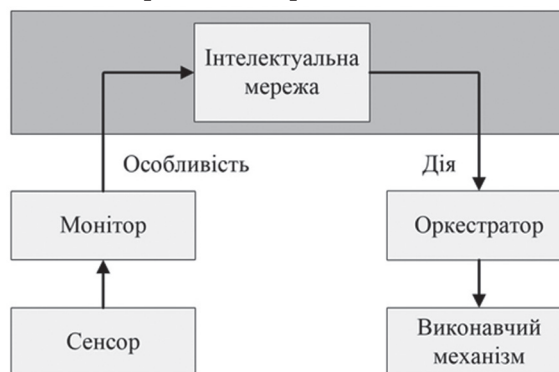


Рис. 2. Цикл інтелектуального керування мережею

• порядком дій: це реалізація контрзаходів для опису того, як забезпечити їх виконання з огляду на наявні фізичні і віртуальні ресурси.

Алгоритм вибору параметрів. На практиці з 5G-інфраструктури можна отримати велику кількість параметрів (мережних показників). Кожен параметр зазвичай має періодично записуватися, що призведе до нагромадження величезного обсягу даних. Коли система керування вирішує конкретну проблему, наприклад перевантаження трафіку, це неефективно (якщо нездійснено) для оброблення всіх даних. Це тому, що здебільшого лише невелика підмножина доступних параметрів є інформативною, а інші є або неактуальними, або надлишковими. Як підхід, що ґрунтується на здобутих даних, мережний інтелект має будуватися на відповідних параметрах, відкидаючи інші, щоб неіснуючі та надлишкові параметри не знижували ефективність як швидкості навчання, так і точності прогнозу. Вибір параметра є одним із найважливіших інтелектуальних методів і незамінним компонентом у машинному навчанні та інтелектуальному аналізі даних [5]. Це може зменшити розмірність даних, вибравши лише підмножину функцій для побудованої навчальної машини. У цій статті ми користуємося класичним алгоритмом вибору параметра для розрахунку релевантності зібраних параметрів.

Алгоритм класифікації набору даних. У термінології машинного навчання класифікація є екземпляром контрольованого навчання. Вона застосовується для визначення того, до якого класу належить вибірка на основі набору даних. Прикладом може бути призначення вхідної електронної пошти SPAM або non-SPAM класів із погляду спостережуваних функцій електронної пошти (вихідна IP-адреса, довжина тексту, вміст заголовка і тощо). Коротко розглянемо кілька алгоритмів класифікації, які використовуються на випробувальному стенді.

• **Дерево рішень.** Дерево рішень (*Decision tree* — ДТ) [5] — класичний метод навчання під наглядом, який застосовується для класифікації. Правила прийняття рішень виводяться з навчального набору даних, і будується діаграма у формі дерева. Кожен вузол дерева рішень спирається на параметр, щоб відокремити дані, і кожна гілка являє

собою можливе рішення. ДТ простий, інтерпретований і швидкий, тоді як його важко застосувати в складних і нелінійних випадках.

• **Метод опорних векторів.** Метод опорних векторів (МОВ) [7] використовує так званий гіперплан, щоб відокремити всі точки даних одного класу від іншого. Кількість функцій не впливає на обчислювальну складність МОВ, тому він може добре виконуватися в разі високовимірних і неперервних функцій. Однак це двійковий класифікатор і багатокористувацьку проблему можна вирішити тільки перенесенням у множник бінарних проблем.

• **Найближчий сусід.** Для класифікації даних застосовується ще один алгоритм, який називається «*k*-найближчий сусід» (*k*НС) після гіпотези про те, що близькість із погляду відстані між даними має подібність. Некласифіковане спостереження можна вирішити, спостерігаючи за класами своїх найближчих сусідів. Він є одним із найпростіших алгоритмів з хорошою точністю прогнозування. Але цей алгоритм потребує високого рівня використання пам'яті, вразливий до зашумлених даних і непростий в інтерпретуванні.

Структурна схема дослідного зразка мережі

Для демонстрації інтелектуального керування мережею 5G було розроблено тестовий стенд мобільної мережі для майбутніх мереж 5G (рис. 3). Його архітектура відповідає ETSI [6; 8]. Щоб максимально наблизитися до реальної мережі, прийнято реалізацію LTE з відкритим кодом, яка називається *Open Air Interface* (OAI) [8]. OAI забезпечує повний стек протоколів стандартів 3GPP LTE для радіодоступу E-UTRAN та основної мережі EPC (удосконалене пакетне ядро). Покладаючись на програмний радіомодуль (USRP B200mini) на боці eNodeB, між обладнанням користувача (UES) та eNodeB встановлюється радіозв'язок. Комерційні UEs успішно протестовано для під'єднання eNodeB та доступу до Інтернету, наприклад за допомогою планшета з підтриманням LTE для перегляду web-сторінок та відео YouTube. Тут для встановлення ПЗ вимірювання застосовується ноутбук з LTE-радіомодулем.

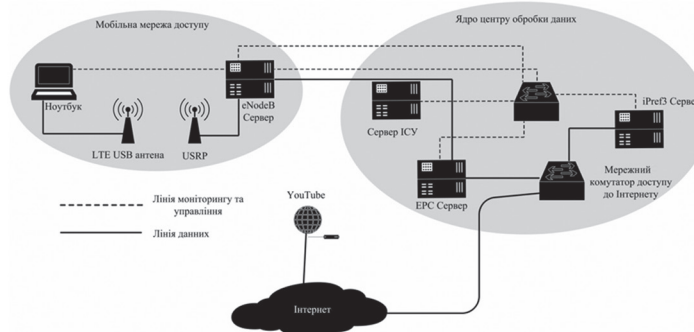


Рис. 3. Структурна схема дослідного зразка мережі

На другому боці цього тестового стенда розміщено ядро центру оброблення даних, де розгорнуто три сервери і два комутатори. По-перше, сервер ЕРС діє як LTE ЕРС основної мережі. Його під'єднано до eNodeB з одного боку і до комутатора з другого боку. Доступ до Інтернету надається UE (площина передавання даних) (на рис. 3 позначено суцільними лініями). По-друге, для полегшення контрольованого тестування мережі сервер використовується для розгортання мережних інструментів, зокрема iPerf3 (інструмент для вимірювання та налаштування продуктивності мережі) [9], для гнучкої генерації потрібного трафіку і для забезпечення внутрішніх сервісів, таких як потокове відео. По-третє, сервер мережного інтелекту запускає алгоритми машинного навчання з тим, аби моніторити, діагностувати та контролювати. Для ілюстрації в цій статті сервер виступає як приймач для збору мережних характеристик за допомогою ZABBIX-моніторингу [9; 10], реалізує модулі вибору та класифікації параметрів. Обладнання, включно із серверами, комутаторами, ПК, радіомодулями та антенами, поміщаються в серверний стоек.

Оскільки алгоритми ІСК, засновані на машинному навчанні, керуються даними, збір даних необхідний як на етапах навчання, так і на етапах прогнозування. Щоб гарантувати звітність про особливості мережі, потрібен відокремлений шлях трафіку для площини керування (на рис. 3 позначено пунктирними лініями). Клієнти ZABBIX встановлюються на серверах і ПК, де потрібні параметри для вилучення. Ці клієнти під'єднуються до бази даних ZABBIX, що працює на сервері ІСК, за допомогою комутатора, який є специфічним для трафіку площини керування. Зазначимо, що трафік даних, такий як потокове відео YouTube, передається в незалежному мережному маршруті через комутатор доступу до Інтернету, аби уникнути потенційних зіткнень. У попередніх тестах дані та трафік керування не розділено, рух керування також блокується під час тестування перевантаження даних.

Проілюструємо роботу тестового стенда за допомогою перевантаження. Процедуру тестування розроблено в такий спосіб.

1. Налаштуйте максимальну пропускну здатність комутатора доступу до Інтернету на 6 Мбіт/с.

2. Запустіть eNodeB і ЕРС.

3. Під'єднуйте UE до мережі, відвідайте YouTube.com та запустіть відео потокового передавання.

4. Генеруйте трафік швидкістю 20 Мбіт/с із сервера iPerf3 і спрямовуйте трафік в комутатор доступу до Інтернету. Як тільки iPerf3 трафік надійшов, відбувається перевантаження.

5. Після періоду перевантаження припиніть генерацію трафіку iPerf3, щоб повернутися до нормального стану.

Протягом усього тесту параметри мережі збираються і зберігаються в базі даних ZABBIX. Дістаємо навчальний набір даних, що складається з 250-ти спостережень для кожного із 18-ти параметрів.

Результати тестування ефективності роботи ІСК

У цьому тесті ми користуємося класичним алгоритмом Relief-F [3; 8; 11], щоб зрозуміти, які параметри стосуються перевантажень мережі. Здобутий набір навчальних даних із розміром 250×18 подається в Relief-F алгоритм. Для позначення актуальності параметрів застосовується показник, який називається вагою релевантності від -1 до 1 . Чим більша вага, тим актуальнішим є відповідний параметр. Як показано на рис. 4, 6-й та 14-й, а саме PLR та EPC_CPU_Temp, є відповідно найбільш актуальним та неактуальним параметром. Як ми спостерігали в тесті, температура процесора сервера ЕРС випадковим чином коливається близько 39°C незалежно від виникнення перевантажень.

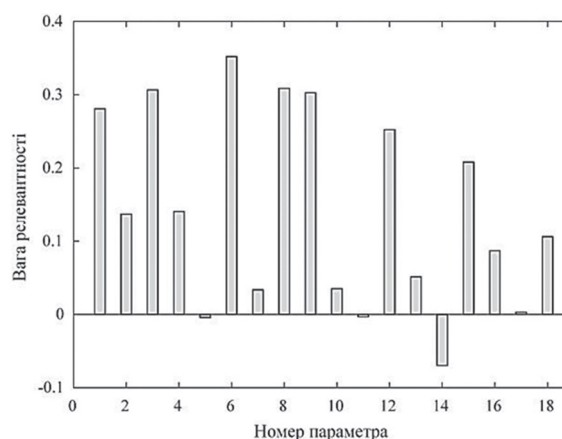


Рис. 4. Ваги релевантності досліджуваних параметрів

У першій ітерації кількість використовуваних параметрів встановлено на 1. Найбільш актуальним параметром є PLR — особливість у навчальних даних, тоді як інші параметри ігноруються. Навчаються три класифікатори, і досягнута точність прогнозування становить відповідно 96,4, 96,8 та 97,3%. Інакше кажучи, коли проблема перевантаження трафіку виникає 100 разів, у середньому близько 96 разів може бути правильно виявлено ІСК з метою вжиття подальших заходів.

На противагу цьому класифікатори можуть бути побудовані на основі найбільш неактуального параметра EPC_CPU_Temp. У результаті прогноза точність становитиме лише відповідно 63,9, 63,9 та 62,7%. Тобто ІСК не знає про майже 40% перевантажень. Якщо ми визначатимемо перевантаження випадковим прийняттям рішень, це буде схоже на кидання монети, і середня точність становитиме 50%. Для порівняння, класифікатори з найбільш неактуальною функцією отримують дійсно

погану продуктивність, оскільки їх результати трохи вищі, ніж у випадкового прийняття рішень.

У другій ітерації кількість використаних параметрів збільшується до двох. А саме PLR і EPC_Packet_In вибираються для навчання і прогнозування. У такий самий спосіб EPC_CUP_Temp і Server_Traffic_In використовуються у разі нерелевантності. Для кожної ітерації до відповідних і неактуальних тестів додається одна особливість згідно з їхньою актуальністю, поки не будуть використані всі 18 параметрів. Беручи ДТ за приклад (рис. 5), крива ДТ показує точність прогнозу класифікатора ДТ із додатковою кількістю відповідних ознак, а крива ДТ-ir надає свою точність прогнозування зі збільшенням кількості нерелевантних ознак.

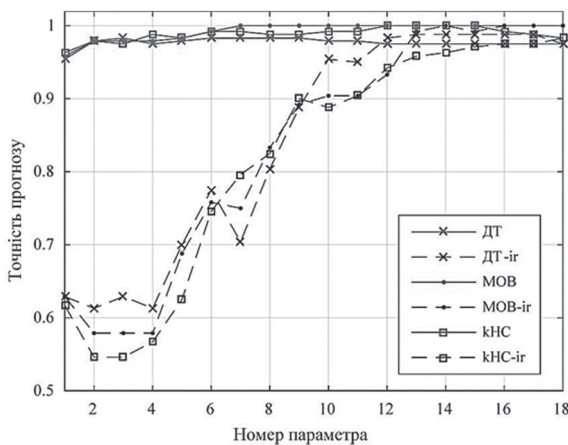


Рис. 5. Точність прогнозування як функція від кількості параметрів

Власне кажучи, три класифікатори можуть досягти високої точності прогнозування лише за допомогою кількох найбільш релевантних параметрів. Використовуючи шість параметрів, наприклад, ДТ може досягти найвищої точності 98,5%. Потім його ефективність зменшується зі збільшенням кількості параметрів. Це показує, що кількість параметрів не відповідає правилу «чим більше, тим краще». Зауважимо, що МОВ і кНС можуть досягти оптимальної точності в 100%. Починаючи із сьомого параметра, МОВ зберігає оптимальну точність 100% доти, доки не використовуються всі 18 параметрів. кНС досягає оптимальної точності під час аналізу 12-ти параметрів, тоді як спостерігається незначне зменшення, коли кількість параметрів перевищує 16. Тут можна зазначити, що класифікатори можуть досягти дуже високої точності виявлення перевантажень із розумною кількістю параметрів. Це доводить, що використання ІСК є доцільним та ефективним.

ВИСНОВКИ

У статті досліджено можливість інтелектуального керування мережею для програмно-визначених і віртуалізованих систем 5G. Запропоновано

інтеграцію фреймворку ІСК з технологіями SDN і NFV. Наведено алгоритми вирішення та інтелектуального керування мережею, які забезпечують функціональні можливості самовідновлення, самозахисту і самооптимізації. Щоб продемонструвати ефективність запропонованої ІСК, у процесі вирішення проблем перевантаження мережі її перевірено на дослідному зразку мережі.

Експериментальні результати підтвердили, що ІСК здатна самостійно виявляти аномалії з дуже високою точністю за допомогою алгоритмів вибору та класифікації. Це підтвердило доцільність та ефективність запропонованого підходу керування 5G-мережею.

Список використаної літератури

1. *Network Management Basics* [Електронний ресурс] // Cisco. URL:

http://content.solarwinds.com/creative/pdf/Whitepapers/Network_Management_-_Back_to_the_Basics.pdf

2. *Public and private network service management systems and methods* [Електронний ресурс] // Quarterhill Inc. URL:

<https://patents.google.com/patent/US7463637B2/en>

3. *Nakajima A. Intelligent digital mobile communications network architecture* [Електронний ресурс] // IEEE Xplore. URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/768725>

4. *Lazebnyi S. H., Makarenko A. O. Network intelligence as a solution to the problem of autonomous monitoring of 5G technologies* // The 14th International scientific and practical conference «Innovation in Science and Technology». 26-26 January. 2021. P. 78–81.

5. *Tyler Akidau. The Dataflow Model: A Practical Approach to Balancing Correctness, Latency, and Cost in Massive-Scale, Unbounded, Out-of-Order Data Processing* [Електронний ресурс] // Proceedings of the VLDB Endowment. URL:

<https://research.google/pubs/pub43864/>

6. *Xiufeng L. Survey of real-time processing systems for big data* [Електронний ресурс] // IDEAS '14: Proceedings of the 18th International Database Engineering & Applications Symposium. URL:

<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2628194.2628251>

7. *Arpit Gupta. Network Monitoring as a Streaming Analytics Problem* [Електронний ресурс] // HotNets '16: Proceedings of the 15th ACM Workshop on Hot Topics in Networks. URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8936379>

8. *Rouvellou I. Graph Identification Techniques Applied to Network Management Problems* [Електронний ресурс] // CTR. URL:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.45.1808&rep=rep1&type=pdf#page=11>

9. *Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets* [Електронний ресурс] // Network Working Group. URL:

<https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc1213.html>

10. **Spencer B. F.** *Opportunities and challenges for smart sensing technology* [Електронний ресурс] // Scopus. URL:

<https://experts.illinois.edu/en/publications/opportunities-and-challenges-for-smart-sensing-technology>

11. **Cleverson Veloso Nahum.** *Testbed for 5G Connected Artificial Intelligence on Virtualized Networks* [Електронний ресурс] // IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9290141>

С. Г. Лазебный, А. В. Березнюк, А. А. Макаренко, Н. В. Руденко, А. И. Голубенко, П. В. Шевцов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ АВТОНОМНОГО МОНИТОРИНГА 5G-ТЕХНОЛОГИЙ

Техническое обслуживание и управление текущими сетями 4-го поколения (4G) все еще осуществляется вручную и полуавтоматически, что дорого и трудоемко. Это ставит большой вызов для сетевого управления разнородными, программно-определенными и виртуализированными системами 5-го поколения (5G). Сотовые сети 5-го поколения (5G) включают в себя большое разнообразие технологий для решения самых разных случаев использования. Оценка этих технологий и исследования будущих альтернатив усложняется, если полагаться только на администраторов сети. Сетевой интеллект 5G является важной альтернативой администраторам сети. С появлением сетевого интеллекта для системы 5G открывается возможность интеллектуального управления. Без вмешательства администраторов новый подход может автономно решать проблемы с сетью, кибератаками и неэффективным использованием ресурсов, что, в свою очередь, может уменьшить операционные расходы, улучшить опыт взаимодействия с пользователем и сократить время выхода новых услуг на рынок. В статье представлен испытательный стенд мобильной сети 5G с виртуализированной и организованной структурой, которая сосредоточена на интеграции в программы искусственного интеллекта. Предложенный тестовый стенд использует технологии с открытым кодом для развертывания и оркестровки функций виртуальной сети для гибкого создания различных сценариев мобильных сетей с четкими топологиями фронтальной и обратной связи. Показано как развернуть структуру тестового стенда и воспроизвести представленные результаты с предоставленными алгоритмами, а также представлены рекомендуемая архитектура, функциональность, замкнутое управление, алгоритмы, включающие сетевой интеллект. Установлен интеллектуальный тест-стенд 5G, а экспериментальные результаты подтверждают целесообразность и эффективность.

Ключевые слова: 5G; оркестратор; фреймворк; интеллектуальная система управления; искусственный интеллект.

S. H. Lazebnyi, A. V. Bereznyuk, A. O. Makarenko, N. V. Rudenko, O. I. Holubenko, P. V. Shevtsov

INTELLIGENT NETWORK MANAGEMENT SYSTEM FOR SOLVING THE PROBLEM OF OFFLINE MONITORING 5G TECHNOLOGIES

Maintenance and management of fourth-generation (4G) current networks are still done manually and semi-automatically, which is expensive and time-consuming. This poses a major challenge for network management of disparate, software-defined, and virtualized fifth-generation (5G) systems. Fifth-generation (5G) cellular networks include a wide variety of technologies to address very different uses. Assessing these technologies and exploring future alternatives is complicated by relying solely on network administrators. 5G network intelligence is an important alternative to network administrators. With the advent of network intelligence for the 5G system opens the possibility of intelligent control. Without the intervention of administrators, the new approach can autonomously solve network problems, cyberattacks and inefficient use of resources, which in turn can reduce operating costs, improve user experience and reduce the time to market of new services. This work presents a test bench of a 5G mobile network with a virtualized and organized structure that focuses on integration into artificial intelligence programs. The presented test bench uses open-source technologies for deployment and orchestration of virtual network functions for flexible creation of various scenarios of mobile networks with clear topologies of frontal and feedback. The article explains how to deploy the structure of the test bench and reproduce the presented results with the provided algorithms and presents the recommended architecture, functionality, closed control, algorithms that include network intelligence. An intelligent 5G test bench has been installed, and experimental results confirm the feasibility and effectiveness.

Keywords: 5G; orchestrator; actuator; framework; network intelligence.

