

УДК 681.391.1 (043.2)

ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ МЕРЕЖ SDN ДЛЯ РОЗПОДІЛУ ТРАФІКУ МІЖ МЕРЕЖАМИ LTE ТА Wi-Fi**Р. С. Одарченко**, канд. техн. наук; **О. П. Ткаліч**, канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

odarchenko.r.s@mail.ru

Запропоновано й обґрунтовано метод удосконалення структури мережі LTE за рахунок використання концепції HotSpot 2.0, яка дає змогу забезпечити підтримку автоматичного входу мобільних пристроїв у мережу і захищений доступ до партнерських мереж Wi-Fi. Для керування злагодженою роботою всієї мережі наведено концепцію SDN, що дозволить значно скоротити витрати на експлуатацію мережі, а також на впровадження нових послуг.

Ключові слова: мережі LTE; концепція Hotspot 2.0; мережі SDN; експлуатація мережі; керування мережею; стільникові мережі; Wi-Fi, архітектура мережі; передавання даних.

The paper proposed a method of structure LTE network improving by utilizing the concept of HotSpot 2.0, which allows you to provide support automatic mobile devices login in the network and secure access to partner Wi-Fi networks. SDN concept using is proposed for coordinated control of the entire network, which will significantly reduce the cost of the network operating, as well as the introduction of new services.

Keywords: LTE network; Hotspot 2.0concept; SDN network; operation of the network; network management; cellular networks; Wi-Fi, network architecture; data.

Вступ

Сучасні мобільні пристрої, планшетні персональні комп'ютери, ноутбуки тощо надають користувачам нові можливості. Завдяки цьому з'являється попит на більш швидкісний зв'язок. Отже, сучасні оператори стільникового зв'язку починають упроваджувати у свої мережі нові технології, які здатні надати абонентам необхідну швидкість з'єднання і якість зв'язку.

Однією з таких технологій є LTE (англ. *Long term evolution* — довготерміновий розвиток), принципи функціонування якої докладно наведено в працях [1–3].

Оператори мобільного зв'язку у всіх країнах фіксують різке зростання обсягів переданих даних [4–6]. Розробляючи моделі розвитку своїх мереж, оператори закладають як мінімум удвічі річне зростання трафіку.

Щоб впоратися з таким різким зростанням обсягів трафіку, залишаючись при цьому прибутковими, стільниковим операторам необхідно впроваджувати більш швидкісні й економічні радіотехнології, підвищувати просторову ефективність шляхом розгортання малих стільників, забезпечуючи збалансований розвиток гетерогенних мереж.

У ході виконання даної роботи було проаналізовано існуючі проблеми стільникових мереж, у результаті чого було виявлено, що з кожним роком стрімко зростають обсяги передачі даних, які не можуть у повному обсязі бути оброблені із заданим високим рівнем надання послуг QoS. Тому для вирішення цієї проблеми було запропоновано удосконалити структуру мережі LTE з

метою розвантаження частини трафіку через мережу Wi-Fi. Для цього було розглянуто структуру обох мереж та можливості їх інтеграції. За допомогою застосовуваного мережевого моста забезпечується процедура безшовної естафетної передачі між стільниковою мережею та хотспотами Wi-Fi.

Розвантажуючи трафік мобільної передачі даних через хотспоти Wi-Fi, мобільні оператори отримують реальну можливість підвищення пропускної спроможності щонайменше на 10 %. Але самої інтеграції мережі LTE з мережею Wi-Fi недостатньо для забезпечення заданого рівня QoS передачі даних, тому було запропоновано використання концепції HotSpot 2.0, яка дає змогу забезпечити підтримку автоматичного входу мобільних пристроїв у мережу і захищений доступ до партнерських мереж Wi-Fi [7-8].

Аналіз досліджень та публікацій

За допомогою удосконалення структури мережі LTE, докладно розглянутої в [7–8], вирішується проблема її перевантаження. Проте виникає інша проблема, що полягає в необхідності підвищення ефективності використання систем керування розглянутими стільниковими мережами. Такі системи були запропоновані у вітчизняних та закордонних публікаціях [9, 10]. Проте останнім часом все більше уваги приділяється концепції мереж SDN [11–13].

Постановка завдання

Отже, у подальших дослідженнях планується визначити такі рішення, які дозволять максимально ефективно використовувати запропоновану гібридну структуру мереж LTE. Зокрема,

планується дослідити можливість використання для даних цілей концепції мереж SDN.

Виклад основного матеріалу дослідження

На рис. 1 показано один спрощений цілком реалістичний сценарій забезпечення безшовної аутентифікації користувачів із пристроями, що мають SIM-карту, як в мобільній мережі, так і в мережі Wi-Fi. При цьому передбачається, що тут мережа Wi-Fi має статус надійної і безпечної з точки зору оператора.

Рішення для WLAN повинно мати централізовану архітектуру для забезпечення керуваності радіопідсистеми, масштабованості мережі, побудови ефективної системи безпеки і реалізації можливостей гнучкої інтеграції з іншими мережами, наприклад, з мережею мобільного оператора.

Крім того, рішення має бути максимально якісним, надійним і відповідати вимогам операторського класу.

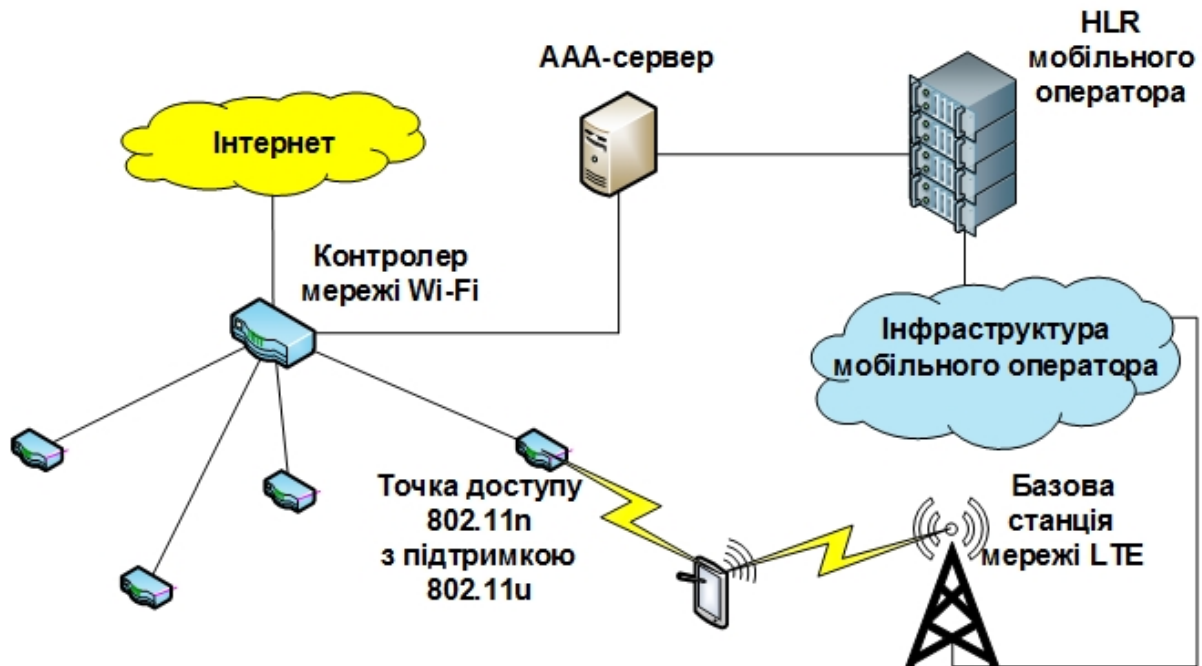


Рис. 1. Спрощена концепція інтеграції мережі Wi-Fi з мережею мобільного оператора LTE для реалізації безшовної аутентифікації по SIM-картах у HotSpot 2.0

Після визначення типу аутентифікації та хендовера [7–8], постає інша проблема, а саме розподіл трафіку між мережами Wi-Fi та LTE.

У мережу необхідно ввести новий елемент, який би аналізував весь вхідний трафік, його пріоритетність, а також спроможність та можливості кожної з мереж. Як такий елемент у цій роботі запропоновано контролер мереж SDN (Software Defined Networks — програмно-конфігуровані мережі).

Ідея SDN полягає у відділенні функцій передачі трафіку від функцій управління (включаючи контроль як самого трафіку, так і пристроїв, що здійснюють його передачу) [11].

У традиційних комутаторах і маршрутизаторах ці процеси неподільні один від одного і реалізовані в одному пристрої: спеціальні мікросхеми забезпечують пересилання пакетів з одного порту на інші, а програмне забезпечення визначає правила такої пересилки, виконує необхідний аналіз пакетів, проводить зміну службової інформації, що міститься в них і т. д.

Для визначення маршруту передачі або недопущення зациклення трафіку пристрої, зазвичай, обмінюються між собою службовими повідомленнями, для чого розроблено безліч протоколів, таких як OSPF, BGP і Spanning Tree, але при цьому кожен функціонує досить автономно.

Згідно з концепцією SDN, вся логіка управління вноситься в так звані контролери, які здатні відслідковувати роботу всієї мережі (рис. 2) [11].

В архітектурі SDN можна виділити три рівня (рис. 2):

- рівень мережевих додатків для гнучкого й ефективного управління мережею;
- рівень керування, що включає в себе мережеву операційну систему, яка надає додаткам мережеві сервіси, і програмний інтерфейс для управління мережевими пристроями і мережею;
- інфраструктурний рівень, що являє собою набір мережевих пристроїв (комутаторів і каналів передачі даних).

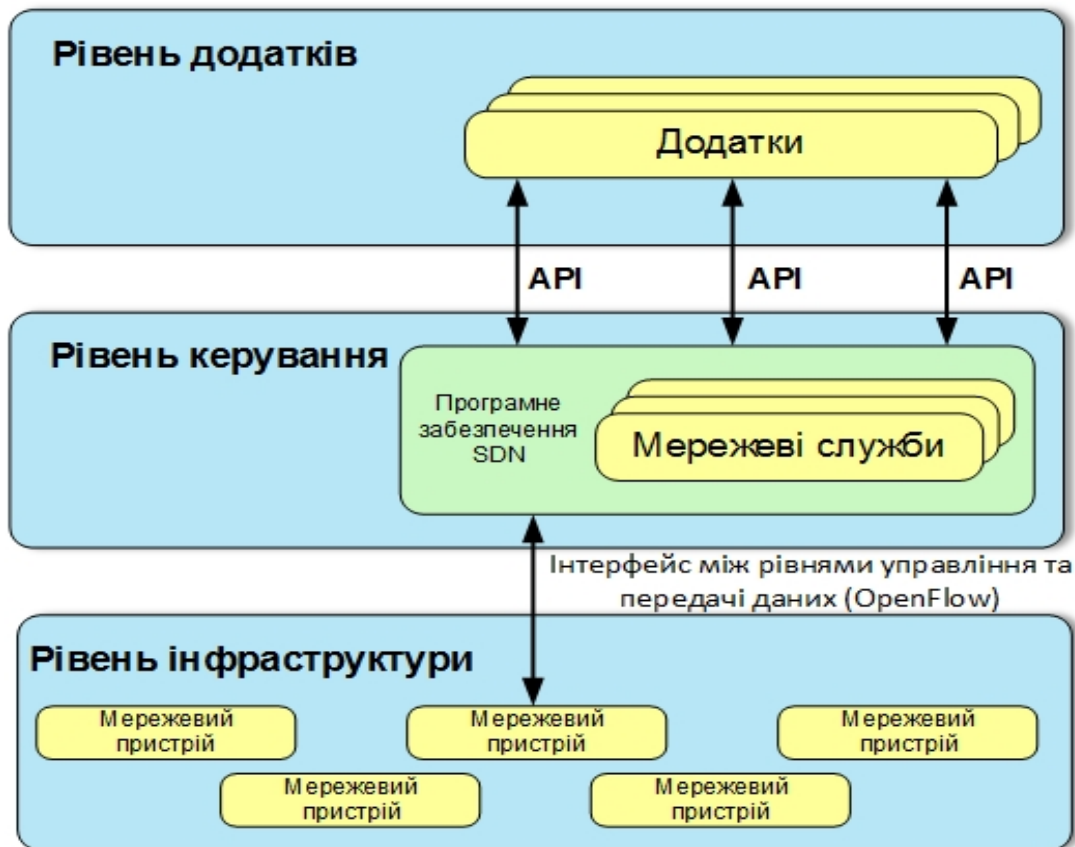


Рис. 2. Архітектура SDN

Згідно із задумом розробників, SDN дозволяє програмувати мережу як єдине ціле. Головним стає контролер: він усе бачить, усе знає і роздає мережевим пристроям інструкції з обробки трафіку. Самим пристроям більше не треба розбиратися в сотнях протоколів — досить лише виконувати інструкції контролера, а тому вони можуть бути простими і дешевими.

Реалізація концепції SDN на практиці дозволить підприємствам і операторам зв'язку отримати незалежний контроль над всією мережею з єдиного місця, що значно спрощує її експлуатацію. Характеристики мережі можна буде оперативно змінювати в режимі реального часу, відповідно, терміни впровадження нових додатків і сервісів значно скоротяться.

Основним елементом концепції SDN є протокол OpenFlow, який забезпечує взаємодію контролера з мережевими пристроями.

На «північному» боці контролер надає програмні інтерфейси (API), наявність яких дозволяє власнику мережі або стороннім розробникам створювати додатки для управління мережею. Такі програми можуть виконувати різні функції в інтересах бізнес-завдань (наприклад, контролювати доступ, керувати пропускнуною спроможністю і т. п.), причому їх розробникам не треба знати деталі функціонування конкретних мережевих пристроїв.

Завдяки контролеру, вся мережа, що складається з безлічі різномісних пристроїв різних виробників, постає для програми як один логічний комутатор.

Протокол OpenFlow під час ідентифікації трафіку оперує поняттям «потік». Ключовим елементом комутатора, що підтримує цей протокол, є таблиця потоків (Flow Table).

Група стовпців у лівій частині таблиці формує поля відповідності, де вказані характеристики потоків: це можуть бути різні параметри, включаючи MAC- і IP-адреси відправника і одержувача, ідентифікатор VLAN, номери протокольних портів TCP і UDP та інша інформація (рис. 3). Ці дані контролер за допомогою протоколу OpenFlow записує в таблицю комутатора, який визначає пріоритет різних потоків: чим вище пріоритет, тим вище відповідний запис у таблиці потоків.

Вхідні пакети перевіряються на відповідність зазначеним у таблиці параметрам.

Якщо відповідність виявлено, до пакетів застосовується дія, яка зазначена в наступному стовпці таблиці.

Типовою дією є пересилання пакета на один або кілька вихідних портів. Крім того, комутатор може змінити вміст службових полів пакета, скинути його, направити для аналізу контролеру і т. д.

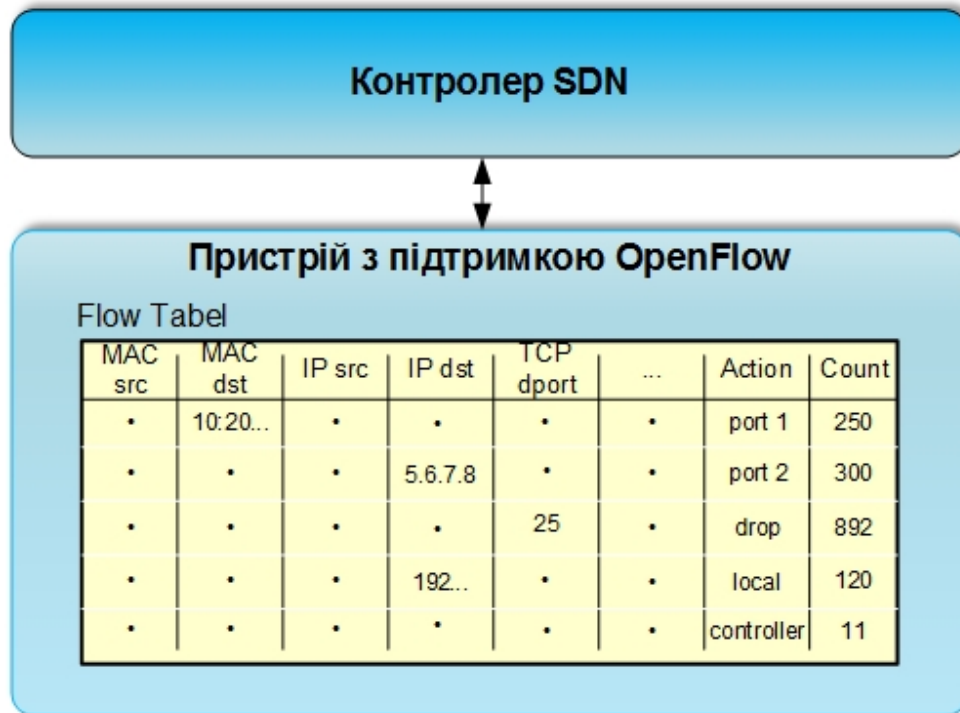


Рис. 3. Типова таблиця потоків в мережевому пристрої, що підтримує OpenFlow

У випадку якщо збіг не знайдено, пакет відкидається або надсилається контролеру, який визначить, як слід обробляти даний потік, і додасть відповідний запис у таблицю. Статистика по трафіку поміщається у відповідні поля (на рис. 3 вони позначені як Count).

Використовуючи протокол OpenFlow, контролер додає, модифікує і видаляє записи в таблиці потоків. Крім того, він може запитувати у комутатора його характеристики і зібрану статистику, конфігурувати комутатор і його окремі порти.

Відповідно за принципом SDN, у цій роботі пропонується відділити всі функції управління від функції передачі даних у S-GWs. У результаті весь інтелект у S-GW (програмне забезпечення SGW-C) і MME централізований і працює на верхній частині OpenFlow Controller (OF-ctr) як додаток, а функція передачі даних виконується на площині даних S-GW (SGW-D) (рис. 4).

Відповідно за принципом SDN, у цій роботі пропонується відділити всі функції управління від функції передачі даних у S-GWs. У результаті весь інтелект у S-GW (програмне забезпечення SGW-C) і MME централізований і працює на верхній частині OpenFlow Controller (OF-ctr) як додаток, а функція передачі даних виконується на площині даних S-GW (SGW-D) (рис. 4).

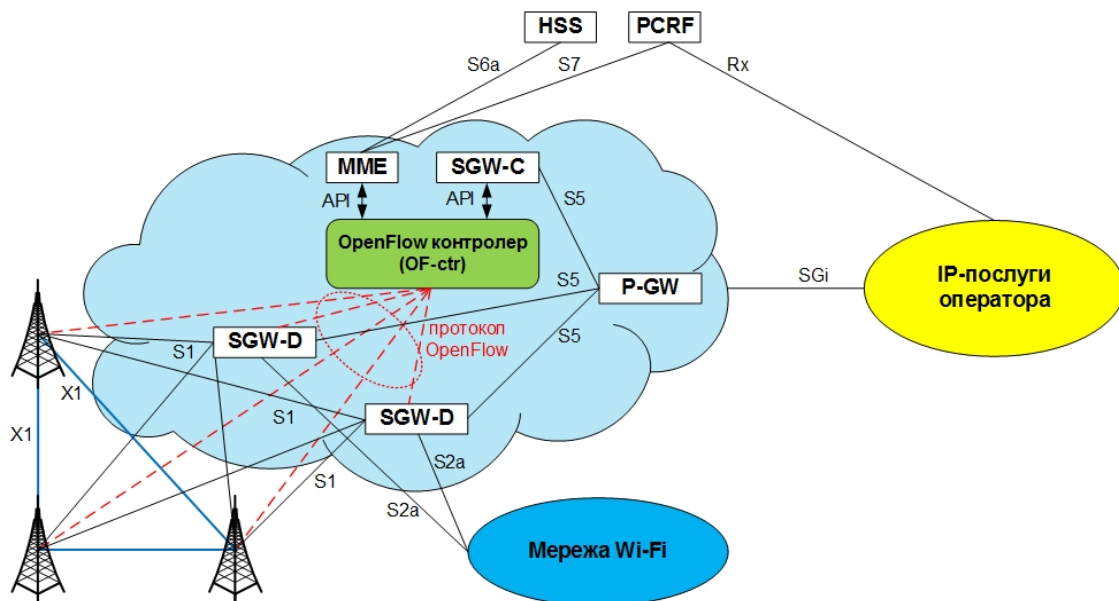


Рис. 4. Архітектура мережі LTE на основі OpenFlow контролера

Ця архітектура складається з таких елементів (рис. 5):

- OpenFlow контролер (OF-ctr) — основний компонент архітектури, який керує площиною переадресації eNB і SGW-D;
- MME відповідає за аутентифікацію та авторизацію UE, а також за управління всередині 3GPP-мобільності; у запропонованій архітектурі MME більше не є відповідальним за вибір S-GW і P-GW; MME взаємодіє з OF-ctr використовуючи інтерфейс прикладного програмування (API), водночас інтерфейс між MME і HSS залишається без змін;
- S-GW площини керування (SGW-C) являє собою інтелектуальну частину S-GW, він відповідає за створення GTP тунелю включаючи розміщення TEIDs; за допомогою OF протоколу OF-ctr може встановити так званий «лічильник» у SGW-Ds для отримання періодичної статисти-

ки навантаження; порівнюючи отриману статистику навантаження з можливостями SGW-D, OF-ctr може легко дізнатися про статус навантаження кожного SGW-D, а отже, виконувати більш ефективно балансування навантаження;

- S-GW площини керування (SGW-D) являє собою удосконалений комутатор, який здатний інкапсулювати/декапсулювати GTP пакети; цей комутатор використовує правила, отримані від OF-ctr і відповідає за пересилання пакетів між eNB і P-GW;

- eNB зберігає всі функції зазначені стандартами 3GPP і взаємодіє з OF протоколом для пересилання даних через інтерфейс S1, таким чином, переадресація даних базується на інструкціях, отриманих від OF-ctr;

- P-GW виконує всі функції, що і в стандартах 3GPP.

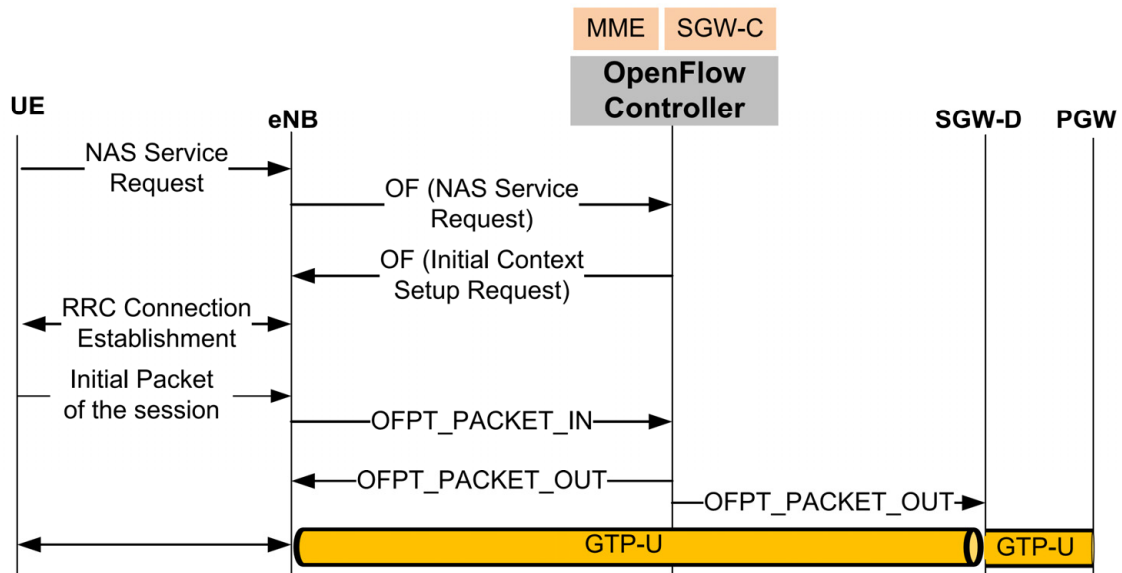


Рис. 5. Процедура встановлення з'єднання на площині передачі даних

Розподіл значення TEID у SGW-C виконується один раз за сесію. Ці значення залишаються незмінними при переміщенні сеансу зв'язку від одного SGW-D до іншого.

Фактично, коли SGW-C наказує OF-ctr перемістити новий SGW-D для конкретного сеансу, то OF-ctr просто оновить запис потоку в eNB, що пов'язує цей сеанс з IP-адресою нового SGW-D.

Крім того, SGW-C оновлює IP-адресу SGW-D у PGW.

Ця процедура необхідна для кожного знову запущеного сеансу. Спочатку UE надсилає до MME повідомлення NAS Service Request для проведення авторизації. UE посилає в eNB початковий пакет через встановлений канал передачі радіосигналу. Потім eNB перевіряє свої Flow Tables. Оскільки не існує жодного запису

потoku для цього початкового пакета, eNB посилає на OF-ctr заголовок пакета через повідомлення OFPT_PACKET_IN. Крім того, eNB включає в це повідомлення значення eNB-TEID для низхідного трафіку в інтерфейсі S1. OF-ctr аналізує заголовок пакету для ідентифікації IP-адреси відправника, IP-адреси одержувача і типу сеансу. OF-ctr надає цю інформацію в SGW-C. На основі IP-адрес і статистики навантаження наданих OF-ctr, SGW-C обирає найоптимальніший SGW-D. Тип сесії дозволяє SGW-C вирішити відповідну QoS. Таким чином, SDN контролер визначає, який тип трафіку направляється через мережу LTE, а який через мережу W-Fi.

SGW-C надсилає назад до OF-ctr значення SGW-D IP-адреси, значення SGW-TEID і рівня QoS. OF-ctr створює запис потоку для наступних

пакетів, пов'язаних з тим самим сеансом і поси- лає його в eNB за допомогою повідомлення OFPT_PACKET_OUT. Поле дії цього запису потоку включає IP-адресу SGW-D і SGW-TEID для висхідного трафіку в інтерфейсі S1. Анало- гічним чином OF-ctrl створює і посиляє в SGW-D запис потоку, що належить до цього сеансу через повідомлення OFPT_PACKET_OUT. Поле дії за- пису потоку включає IP-адресу eNB, eNB-TEID, SGW-TEID для висхідного трафіку в інтерфейсі S1, IP-адресу PGW, PGW-TEID і SGW-TEID для низхідного трафіку в інтерфейсі S5.

Висновки

Визначено, що одним з найоптимальніших методів розвантаження мережі LTE є перенесен- ня частини передаваних даних у мережу Wi-Fi. Для цього було розглянуто структуру обох ме- реж та можливості їх інтеграції. За допомогою застосовуваного мережевого моста забезпечує- ся процедура безшовної естафетної передачі між стільниковою мережею та хотспотами Wi-Fi.

У сценаріях розвантаження, мережі Wi-Fi роз- глядаються як альтернативні мережі доступу для вирішення завдань як розвантаження трафіку в макростільниках. Типове рішення для розванта- ження трафіку мобільної передачі даних через хотспоти Wi-Fi включає в себе програмне забез- печення мобільного клієнта з підтримкою функ- цій безпеки та управління радіоінтерфейсом, AAA-сервер (авторизація, аутентифікація та об- лік), на який покладено функції авторизації й аутентифікації, а також шлюз обміну сесіями па- кетних даних (SSX), що забезпечує безпечну термінацію тунелювання трафіку, управління IP-сесіями і маршрутизацією.

Після визначення типу аутентифікації та хен- довера, постає інша проблема — розподіл трафі- ку між мережами Wi-Fi та LTE. В мережу необ- хідно ввести новий елемент, який би аналізував весь вхідний трафік, його пріоритетність, а також спроможність та можливості кожної з мереж. Як такий елемент у цій роботі було запропоновано розглянути контролер SDN, який дає можливість відділити функції передачі трафіку від функцій управління (включаючи контроль як самого тра- фіку, так і пристроїв, що здійснюють його пере- дачу). Згідно з даною концепцією SDN, вся логі- ка управління виноситься в контролери, які здат- ні відслідковувати роботу мережі.

Таким чином, за допомогою удосконалення структури мережі LTE вирішується проблема її

перевантаження, а отже, підвищується її еконо- мічна ефективність, що у свою чергу означає, що результати даної роботи можуть бути використані операторами стільникового зв'язку під час проє- ктування мережі 4 покоління LTE на практиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. — М. : Эко-Трендз, 2010. — 284 с.
2. 3GPP Release 8 [Електронний ресурс] — електронні тестові дані. — Режим доступу: <http://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8>
3. 3GPP Release 8 [Електронний ресурс] — електронні тестові дані. — Режим доступу: <http://www.3gpp.org/specifications/releases/71-release-9>
4. GSA Evolution to LTE report [Електронний ре- сурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу: http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_Evoluti_on_to_LTE_report_060514.php4
5. Ericsson Mobility Report [Електронний ре- сурс] — електронні текстові дані. — Режим досту- пу: <http://www.ericsson.com/mobility-report>
6. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update [Електронний ресурс] — електронні текстові дані. — Режим доступу: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/s_ervice-provider/visual-networking-index- vni/white_paper_c11-520862.html
7. Wireless Ukraine № 9–10. — К. : ІМС, 2012. — 68 с.
8. IEEE 802.11u [Електронний ресурс] — електронні тестові дані. — Режим доступу: <http://www.ieee802.org/11/>
9. Гребешков А. Ю. Управление сетями связи по стандарту TMN: учеб. пособие / А. Ю. Гребешков. — М. : Радио и связь, 2004. — 155 с.
10. Бычков И. Д. Мифы и реальность в управле- нии сетями доступа / И. Д. Бычков, Б. С. Гольд- штейн // Вестник связи. — 2007. — № 2.
11. Thomas D. Nadeau, Ken Gray SDN: Software Defined Networks An Authoritative Review of Network Programmability Technologies O'Reilly Media, 2013. — 384 p.
12. Software-defined networking [Електронний ресурс] — електронні тестові дані. — Режим до- ступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking
13. Барсков О. Журнал сетевых решений / LAN № 12/ О. Барсков. — М. : Открытые системы, 2012. — 80 с.