

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ У ВІРТУАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ 5G-МЕРЕЖ

Сколець С.С.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: serskols@gmail.com

APPROACH FOR DEPLOYMENT OF CELLULAR NETWORKS IN A VIRTUAL ENVIRONMENT FOR SIMULATING 5G NETWORKS

This work implements a model of a 4G/5G mobile network in the Mininet environment using the concept of Software-Defined Networking (SDN). The network is evaluated based on throughput and latency indicators, particularly through the simulation of a virtualized LTE network that integrates key components of 5G C-RAN. The paper describes the use of the Mininet emulator for testing a network topology that includes remote radio heads (RRH), user equipment (UE), and an SDN controller for network management. Formulas are also provided for calculating throughput using Iperf and evaluating packet delay (RTT), which affects the Quality of Service (QoS). The results of this work form the basis for further research on the impact of virtualization on the efficiency of mobile networks.

Мобільні мережі п'ятого покоління (5G) вимагають нових підходів до архітектури, управління та автоматизації. Одним із ключових рішень є централізована радіомережа (C-RAN) із віддаленими радіоголовками (RRH) та обчислювальними модулями (BBU), що розташовані в дата-центрах.

Паралельно з розвитком 5G набуває популярності концепція програмно-конфігурованих мереж (SDN), яка відокремлює управління мережею від апаратної частини, забезпечуючи гнучкість та централізований контроль. SDN інтегрується з 5G, спрощуючи управління та підвищуючи ефективність мережневих процесів.

У цій роботі реалізовано спрощену модель 4G-мережі з підтримкою SDN як крок до впровадження 5G. Мережа оцінюється за показниками затримки та пропускної здатності через моделювання в Mininet [1] — емуляторі SDN-мереж, що дозволяє тестувати LTE RAN у програмно-конфігурованому середовищі.

Спосіб віртуалізації та емуляції. Mininet — це емулятор програмно-конфігурованих мереж (SDN), що дозволяє створювати та тестувати віртуальні мережі з різними топологіями. Він підтримує віртуалізовані станції та точки доступу, використовуючи стандартні драйвери бездротових мереж Linux та модуль емуляції 80211 hwsim [2].

Емулятор реалізує SDN-підхід, де керування мережею здійснюється централізовано через контролер, який взаємодіє з комутаторами за допомогою протоколу OpenFlow [3]. Топологія моделі складається з бездротової (LTE RAN) та дротової частин, де OpenFlow-комутатори відповідають за передачу даних, а контрольна площа керується контролером.

Середовище працює на Linux, розподіляючи пам'ять між простором ядра (для обробки бездротових інтерфейсів і протоколів) та простором користувача

(для керування RRH, UE та налаштувань трафіку). Завдяки можливостям емулятора була побудована мережа з базовими станціями (RRH), мобільними користувачами (UE) та сервером, що імітує зовнішню мережу для тестування з'єднань End-to-End.

Компоненти мережі. Топологія, реалізована в емуляторі (Рис.1.), є спрощеною версією LTE-мережі відповідно до концепції C-RAN. Вона включає ключові компоненти, такі як RRH (антени базових станцій), BBU (віртуалізовані OpenFlow-комутатори), контролер та мережу EPS для маршрутизації трафіку.

Основні елементи топології:

- Контролер — використовується SDN-контролер POX [4], що керує мережею, аналізує трафік та мінімізує затримки, реалізуючи маршрутизацію на рівні L2.
- UEs (мобільні користувачі) — підключаються до RRH, мають IP/MAC-адреси, параметри антени та змінюють точки підключення за правилами асоціації.
- RRH (Remote Radio Heads) — забезпечують зв'язок між UE та контролером, виконують перемикання користувачів між зонами покриття.
- Open vSwitch — програмні комутатори, що реалізують OpenFlow, підтримують віртуалізацію мережі та дозволяють контролювати таблиці маршрутизації в реальному часі.

Така архітектура дозволяє гнучко моделювати та тестувати LTE-мережі з елементами SDN.

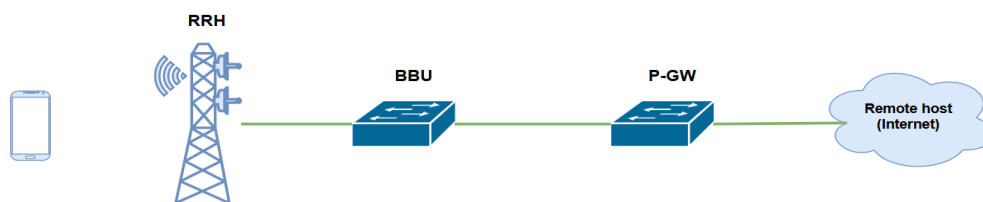


Рис. 1.
Архітектура і
компоненти
мережі.

Реалізація LTE-модулів. Для забезпечення відповідності симуляцій специфікаціям LTE було розроблено та модифіковано програмні модулі на Python. Ці модулі реалізують функції LTE-пристроїв, включаючи мобільних користувачів та базові станції, що дозволяє емулювати бездротову взаємодію між ними.

Тестування та оцінка мережі. З огляду на можливості емулятора були прийняті такі припущення:

- BBU та RRH використовуються в контексті C-RAN, але не виконують обробку цифрових сигналів.
- Відстань між RRH і BBU не враховується через використання волоконно-оптичних ліній з високою пропускнуою здатністю.
- Ядро мережі відповідає за маршрутизацію, а функції S-GW та P-GW реалізовані в SDN-контролері.
- TCP/UDP-з'єднання розглядається як ідентичне для Wi-Fi та LTE.
- NFV (віртуалізація мережних функцій) представлена через використання віртуальних комутаторів.

Для оцінки впливу SDN на мобільні мережі було проведено серію тестів на платформі Mininet. Продуктивність мережі аналізувалася за допомогою:

1. Вимірювання пропускнуої здатності.

Пропускна здатність пропонується вимірювати за допомогою Iperf [], що генерує TCP-трафік між двома точками мережі (мобільним користувачем і сервером) для моделювання E2E LTE-з'єднання.

Отримані значення будуть переведені у спектральну ефективність, поділивши на ширину каналу. Залежність SNR порівнювався з границею Шеннона:

$$C[\text{біт/с/Гц}] = B[\text{МГц}] \times \log_2(1 + SNR), \quad (1)$$

де C – пропускна здатність, B – ширина каналу, SNR – відношення сигнал/шум.

2. Оцінка затримки пакетів (RTT).

Затримка (Latency) в LTE розрізняється на дві площини: управління та користувача. У дослідженні аналізувалася лише затримка в площині користувача, яка визначається як RTT (Round Trip Time) і впливає на якість користувацького досвіду (QoE) [5].

RTT вимірюється двома методами:

1. В кінцевому з'єднанні за допомогою ping (ICMP Echo Request) між мобільним терміналом і IP-хостом.

2. В дротовому з'єднанні через ping між IP-хостом і антеною базової станції.

Залежність RTT від SNR отримані за формулою:

$$RTT[\text{мс}] = b_1 \times e^{(b_2 \times SNR)}, \quad (2)$$

де SNR – відношення сигнал/шум, а коефіцієнти b_1 та b_2 залежать від розміру пакету.

Висновки. У цій роботі показано реалізацію архітектури мобільної мережі 4G/5G у середовищі Mininet із використанням концепції SDN. Реалізована структура відповідає вимогам сучасних мобільних систем і може бути основою для досліджень впливу SDN на якість обслуговування (QoS) у бездротових мережах.

Розроблені модулі для підтримки LTE в Mininet дозволяють оцінювати трафік у програмно-конфігурованій мережі. Модель включає основні компоненти радіодоступу, ядра та управління мережею, що відповідають концепції 5G C-RAN.

Оцінюються показники QoS, зокрема пропускна здатність та затримка, які будуть досліджуватися на наступних етапах для порівняння з реальними вимірами та оптимізації мережневої взаємодії.

Література

1. Mininet at <https://mininet.org/>
2. mac80211_hwsim at https://wireless.wiki.kernel.org/en/users/drivers/mac80211_hwsim
3. Сколець С. «Створення лабораторного макету мережі SDN на базі платформи Mininet з використанням контролеру Floodlight» / КІІ ІТС – Дипломна робота/ 2021 рік, с. 23-34
4. C. Fancy and M. Pushpalatha, Performance evaluation of SDN controllers POX and floodlight in mininet emulation environment; 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Palladam, India, 2017, pp. 695-699, doi: 10.1109/ISS1.2017.8389262
5. Kravchuk S.O. Theory of mobile infocommunication systems. System architecture: textbook. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. – p. 636, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53198>