

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТУ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ LTE

Жуга Ю.С., Москалець М.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського
Україна.

Е-mail: yurii.zhuha@nure.ua,
mykola.moskalets@nure.ua

Abstract

The paper presents a study on optimizing LTE base station parameters using Software Defined Radio technology. The research focuses on analyzing system performance under different configurations and determining optimal parameters for achieving maximum throughput while maintaining system stability. Through systematic testing and analysis, the study demonstrates achievement of data rates from 3 to 32 Mbps by optimizing Physical Resource Blocks (PRB) allocation and sampling rates. Performance analysis through system traces confirms stable operation across different load scenarios, with experimental results validating the effectiveness of the proposed optimization approach.

Технологія Software Defined Radio (SDR) відкриває нові можливості для створення гнучких та економічно ефективних рішень у галузі мобільного зв'язку [1]. Особливий інтерес представляє використання SDR для реалізації LTE базових станцій, що дозволяє досліджувати та оптимізувати параметри системи в лабораторних умовах [2]. Метою даного дослідження є визначення оптимальних параметрів конфігурації SDR-базової LTE станції для досягнення максимальної продуктивності при збереженні стабільності роботи системи.

Експериментальна установка реалізована на базі платформи LimeSDR, що забезпечує роботу в частотному діапазоні від 100 кГц до 3.8 ГГц. Для обробки сигналів використовується хост-система на базі процесора Intel Core i5 з 16 ГБ оперативної пам'яті. Програмне забезпечення srsRAN застосовується для реалізації повного стеку протоколів LTE. Важливим елементом системи є активне охолодження, що забезпечує термічну стабільність LimeSDR під час тривалої роботи [3].

Важливим етапом підготовки експериментальної установки стало налаштування програмного забезпечення та конфігурація мережових параметрів. Для забезпечення стабільної роботи системи було проведено ретельне налаштування драйверів LimeSDR та оптимізацію параметрів USB-інтерфейсу. Особлива увага приділялася конфігурації мережового ядра системи, включаючи налаштування таблиць маршрутизації та правил міжмережевого екрану для коректної обробки трафіку. Реалізація механізмів моніторингу температурного режиму LimeSDR дозволила забезпечити оптимальні умови роботи обладнання та запобігти перегріву компонентів під час тривалих експериментів. Додатково було впроваджено систему автоматичного збору та аналізу діагностичних даних, що дозволило оперативно виявляти та усувати потенційні проблеми в роботі обладнання. Особливу роль відіграло налаштування параметрів синхронізації та часових характеристик системи, що критично важливо для стабільної роботи LTE мережі. Впровадження цих технічних рішень значно підвищило надійність системи та забезпечило відтворюваність результатів експериментів.

В ході дослідження було розроблено методику поетапної оптимізації параметрів системи. Основна увага приділялася налаштуванню кількості фізичних ресурсних блоків (PRB) та частоти дискретизації, як ключових факторів, що впливають на пропускну здатність системи. Експериментальним шляхом було визначено три основні конфігурації з різними комбінаціями параметрів. Базова конфігурація з 6 PRB та частотою дискретизації 3.84 МГц забезпечила початковий рівень продуктивності. Покращена конфігурація використовувала 25 PRB та частоту 7.68 МГц, а оптимізована - 50 PRB та 15.36 МГц відповідно [4]. Для систематизації результатів експериментів та наочного представлення впливу

параметрів на продуктивність системи, основні характеристики досліджуваних конфігурацій представлено в таблиці 1.

Табл. 1. Параметри та характеристики досліджуваних конфігурацій системи

Параметр	Базова конфігурація	Покращена конфігурація	Оптимізована конфігурація
PRB	6	25	50
Частота дискретизації, МГц	3.84	7.68	15.36
Швидкість DL, Мбіт/с	3	10-12	30-32
Швидкість UL, Мбіт/с	0.2	0.8	2-3
DL MCS	15-19	19-26	20-26
UL MCS	7.5-12	7.5-12	7.5-12.5
SINR, дБ	~10	~10	~10

Для підтвердження практичної цінності запропонованих конфігурацій було проведено тестування в різних сценаріях використання мережі. Тести включали передачу даних великого об'єму, потокову передачу відео та веб-серфінг. Особливу увагу приділено довготривалій стабільності роботи системи при різних рівнях навантаження. Тестування показало, що система зберігає працездатність та стабільні показники продуктивності протягом тривалих сесій роботи, що підтверджує надійність обраних параметрів конфігурації та їх оптимальність для практичного використання.

Аналіз продуктивності системи проводився за допомогою детального дослідження трейс-логів srsRAN. Базова конфігурація продемонструвала стабільну швидкість передачі даних на рівні 3 Мбіт/с. При переході до покращеної конфігурації вдалося досягти швидкості 10-12 Мбіт/с, а оптимізована конфігурація забезпечила пропускну здатність 30-32 Мбіт/с. На рис. 1 представлено графіки основних параметрів системи для оптимізованої конфігурації, що демонструють стабільність роботи протягом тестового періоду. Важливо відзначити, що при всіх конфігураціях система демонструвала високу стабільність роботи, що підтверджується стабільним значенням SINR на рівні близько 10 дБ та адаптивною зміною MCS в діапазоні 15-26 для низхідного каналу [5].

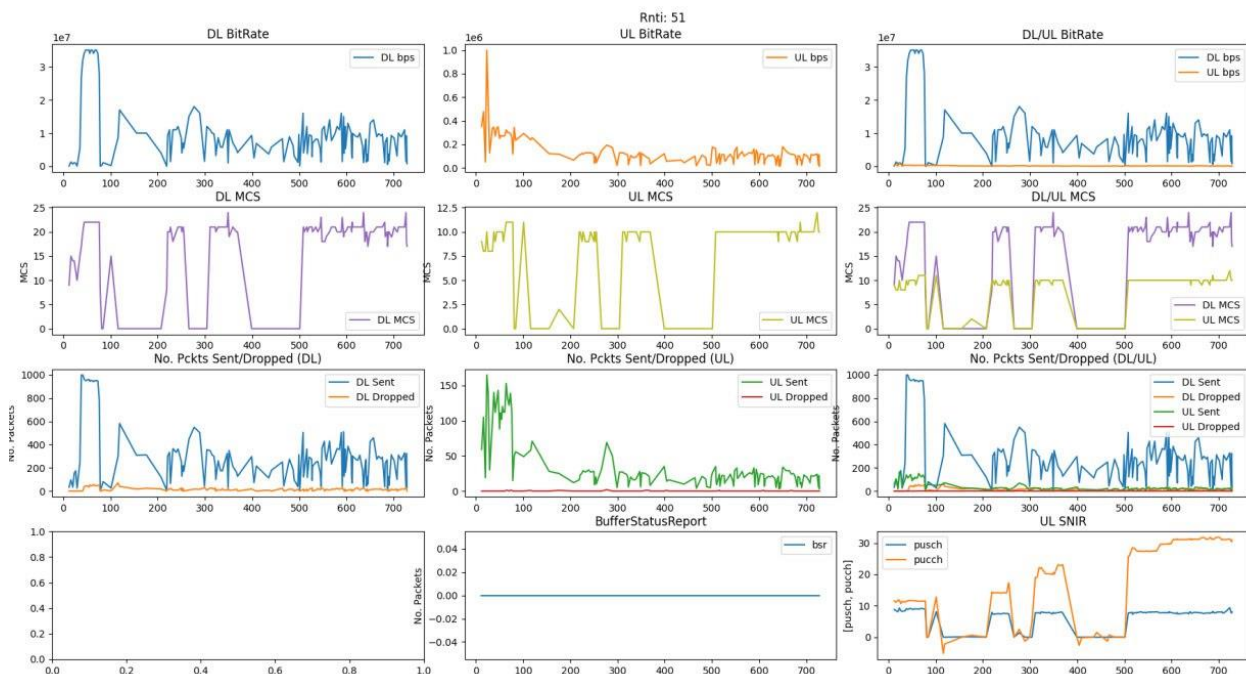


Рис. 1. Графіки параметрів системи при оптимізованій конфігурації: а) швидкість передачі даних; б) MCS; в) SINR

Детальний аналіз трейс-логів показав, що система ефективно адаптується до змін умов каналу зв'язку. При оптимізованій конфігурації спостерігається стабільна робота на високих індексах MCS (20-

26), що свідчить про хорошу якість радіоканалу. Кількість успішно переданих пакетів перевищує 95%, демонструючи надійність роботи системи навіть при максимальному навантаженні. Показник SINR залишається стабільним на рівні близько 10 дБ, що забезпечує надійний зв'язок та високу швидкість передачі даних.

Моніторинг системних ресурсів показав, що навантаження на CPU варіювалося від 0.4-0.85 для базової до 0.85-1.15 для оптимізованої конфігурації, при цьому використання оперативної пам'яті залишалося в межах 5.0-5.4 ГБ. Експериментальні дані підтверджують ефективність запропонованого підходу до оптимізації параметрів системи [6]. Досягнуте десятикратне збільшення пропускної здатності при переході від базової до оптимізованої конфігурації свідчить про значний потенціал оптимізації параметрів SDR-платформи. Обмеження максимальної продуктивності пов'язані переважно з обчислювальними можливостями хост-системи, а не з теоретичними межами LTE технології [7].

Важливим етапом дослідження стало тестування системи з використанням програмованих SIM-карт для емуляції абонентських пристроїв, що забезпечило повноцінну перевірку процесів автентифікації та реєстрації абонентів у мережі. Для конфігурації SIM-карт використовувались експериментальні значення IMSI, Ki та OPc, що дало змогу створити ізольоване тестове середовище без впливу на комерційні мережі. В якості тестових абонентських пристроїв використовувались смартфони різних виробників, що підтвердило сумісність системи з різними типами обладнання. Особлива увага приділялася налаштуванню параметрів APN для забезпечення коректного підключення абонентських пристроїв до мережі. Результати тестування підтвердили коректність роботи всіх рівнів протоколу LTE, включаючи процеси встановлення з'єднання, керування мобільністю та передачі даних користувача.

Додатково було досліджено можливості масштабування системи та її адаптації для різних сценаріїв використання. Експерименти показали, що розроблена конфігурація може бути успішно адаптована для навчальних та дослідницьких цілей, забезпечуючи при цьому стабільну роботу та можливість детального аналізу параметрів мережі. Реалізована система моніторингу забезпечує глибокий аналіз продуктивності та дозволяє виявляти потенційні напрямки подальшої оптимізації, а детальне документування всіх етапів налаштування та тестування системи спрощує відтворення експериментів та впровадження подібних рішень в інших лабораторіях.

Проведене дослідження демонструє можливість створення функціонального лабораторного макету LTE базової станції на основі SDR технології. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої методики оптимізації параметрів системи та можливість її використання для навчальних і дослідницьких цілей. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на впровадження технології MIMO та розширення функціональності системи для підтримки стандарту 5G NR.

Література

1. Bondarenko I., Dushenkov O., and Loshakov V. Development of the complex laboratory works for research digital television and mobile communication systems based on SDR technology. In Proc. 10th Int. Conf. Problems Infocommunications Sci. Technol. (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, Sep. 19, 2023, pp. 5-12.
2. Lime Microsystems. LimeSDR. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://limemicro.com/products/boards/limesdr/>
3. srsRAN. srsRAN 4G. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: https://github.com/srsran/srsRAN_4G
4. F. Bellard. LTE/NR base station software. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://bellard.org/lte/>
5. R. M. Mendonça, E. P. Simon, and R. Benítez Iglesias. Software-defined radio laboratory setup for teaching advanced digital communications. IEEE Open J. Commun. Soc., vol. 2, pp. 1535-1543, 2021.
6. J. Kim, S. Park, and M. Kim. Implementation of remote RF and microwave engineering laboratory using software-defined radio. IEEE Trans. Educ., vol. 64, no. 4, pp. 418-425, Nov. 2021.
7. O. Norman and M. F. Ain. Development of software defined radio learning module using RTL-SDR and GNU Radio. In Proc. IEEE Int. RF Microw. Conf. (RFM), Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 14-16, 2021, pp. 138-142.