

УДК 621.391:621.396.946

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ РАДІОЧАСТОТНИХ РЕСУРСІВ У SDR-БАЗОВАНИХ LTE МЕРЕЖАХ З АДАПТИВНОЮ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

Жуга Ю. С.

e-mail: yurii.zhuha@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. ІКІ ім. В.В. Поповського
Харків, Україна

This work presents a comprehensive approach to optimizing resource allocation in mobile communication systems through adaptive spatial-temporal signal processing techniques. An SDR-based platform was implemented using LimeSDR and the srsRAN software suite, integrating harmonic analysis and predictive load modeling. Experimental results demonstrate significant improvements in spectral efficiency, a 30% reduction in computational load, and a 20% enhancement in energy efficiency. The proposed methodology provides high adaptability to variable traffic conditions, making it a promising solution for next-generation LTE and beyond mobile networks.

Сучасні системи мобільного зв'язку стикаються з численними викликами, серед яких обмеженість радіочастотних ресурсів, зростання обсягів трафіку та високі вимоги до якості обслуговування. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження інноваційних методів оптимізації використання частотно-часових ресурсів для забезпечення максимальної продуктивності мереж. У даній доповіді пропонується комплексний підхід до адаптивного управління ресурсами на основі просторово-часової обробки сигналів з використанням технології Software Defined Radio (SDR).

У роботі розглянуто модифіковану модель гармонічного аналізу, яка дозволяє врахувати мультифрактальну природу телекомунікаційного трафіку. Запропоновано адаптивний алгоритм, заснований на методі найменших квадратів з експоненціальним забуванням, який забезпечує оперативну оцінку параметрів моделі та їх коригування відповідно до змін навантаження. Такий підхід дозволяє ефективно розподіляти радіочастотний ресурс, знижуючи при цьому обчислювальне навантаження SDR-платформи.

Експериментальна перевірка здійснювалась на базі LimeSDR із використанням програмного забезпечення srsRAN, що дозволило розгорнути тестовий LTE макет. Результати досліджень показали можливість досягнення пропускну здатності до 30–32 Мбіт/с при оптимізованій конфігурації. Крім того, експерименти виявили зниження обчислювального навантаження на 30%

та покращення енергетичної ефективності на 20%, що є вагомими показниками для впровадження у практичних умовах.

Розроблений метод забезпечує високу адаптивність системи до змінних умов експлуатації, що особливо важливо для сучасних мобільних мереж, де характер трафіку може суттєво змінюватися в режимі реального часу. Отримані результати мають практичне значення, оскільки дозволяють не лише підвищити ефективність використання частотно-часових ресурсів, а й знизити витрати на експлуатацію та обслуговування мережі.

Запропонований комплекс методів спрямований на забезпечення високої якості обслуговування користувачів при динамічному перерозподілі ресурсів, що є ключовою вимогою для сучасних систем мобільного зв'язку. Отже, інтеграція адаптивної просторово-часової обробки сигналів у технології SDR відкриває нові перспективи для оптимізації роботи LTE мереж та може бути успішно застосована при переході до стандартів наступних поколінь.

У сучасних умовах стрімкого зростання мобільного трафіку та підвищення вимог до якості послуг мобільного зв'язку, традиційні методи розподілу частотно-часових ресурсів виявляються недостатньо ефективними. Використання технології SDR дозволяє створювати гнучкі програмно-апаратні комплекси, здатні адаптуватися до змін у навантаженні та оптимізувати роботу мережі. Запропонована методологія адаптивної просторово-часової обробки сигналів є актуальною для оптимізації роботи LTE мереж, оскільки вона враховує як періодичні, так і випадкові зміни характеристик трафіку.

Розробка методів адаптивного управління базувалася на модифікації класичного гармонічного аналізу. До моделі було додано параметри амплітудної та фазової модуляції кожної гармонічної компоненти, що дозволило врахувати мультифрактальну природу телекомунікаційного трафіку. Для оперативної оцінки параметрів моделі використано алгоритм на основі методу найменших квадратів з експоненціальним забуванням, що забезпечує адаптацію до змін у режимі реального часу.

Розподіл ресурсів формулюється як багатокритеріальна задача нелінійного програмування, де об'єктом оптимізації є сумарна ефективність використання частотно-часових блоків, енергетичні характеристики системи та забезпечення заданого рівня якості обслуговування. Це дозволяє знайти компромісне рішення, яке мінімізує витрати ресурсів та знижує обчислювальне навантаження на SDR-платформу.

Для експериментальної перевірки запропонованого методу було створено тестовий LTE макет на базі LimeSDR із використанням програмного забезпечення srsRAN. Тестування проводилося в різних режимах роботи, що дозволило визначити оптимальні параметри конфігурації:

– базова конфігурація: забезпечувала пропускну здатність близько 3 Мбіт/с.

– покращена конфігурація: досягала 10–12 Мбіт/с за рахунок збільшення кількості фізичних ресурсних блоків.

– оптимізована конфігурація: дозволяла отримати пропускну здатність до 30–32 Мбіт/с при використанні 50 ресурсних блоків та частоті дискретизації 15.36 МГц.

Результати експериментів продемонстрували зниження обчислювального навантаження на 30% та покращення енергетичної ефективності на 20%, що свідчить про високий потенціал запропонованого підходу в умовах реального експлуатаційного навантаження. До того ж, система виявила високу стабільність роботи при довготривалих тестуваннях, що є важливим показником для впровадження в практичні мобільні мережі.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про ефективність використання адаптивної просторово-часової обробки сигналів для оптимізації роботи SDR-базованих LTE мереж. Запропонований комплекс методів забезпечує підвищення продуктивності системи, зменшення обчислювального навантаження та покращення енергетичних характеристик, що сприяє підвищенню якості обслуговування користувачів. Розроблений підхід має перспективи для подальшої інтеграції в технології наступного покоління мобільного зв'язку.

Список використаних джерел:

1. Жуга Ю. С. Аналіз ефективності алгоритмів компенсації каналних спотворень у SDR // Матеріали 28-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». – Харків, 2024. – С. 13–15. DOI: 10.30837/IYF.PDICIMT.2024.013. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/f9b76f10-cd7b-48a0-b5ab-0e8ec9737a17/content>.

2. Жуга Ю. С., Москалець М. В. Методи застосування програмно-конфігурованого радіо (SDR) у мережах мобільного зв'язку перспективних поколінь // Матеріали ІКТК-2023. – Харків, 2023. – С. 80–81. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/a9670689-72eb-405b-be2b-774f7aabf50b/content>.

3. Жуга Ю. С., Москалець М. В. Аналіз характеристик адаптивності та продуктивності навчального макету LTE мережі на базі SDR технології // Матеріали ICT-2024. – Харків, 2024. – С. 28–29. URL: https://ist-conf-nure.com.ua/IST-2024_part-2.pdf.