

ПРІОРИТИЗАЦІЯ ГОЛОСОВОГО ТРАФІКУ В 5G: РОЛЬ ПЛАНУВАЛЬНИКІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ QOS

Ветошко І.П., Кравчук С.О.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: ivan.vetoshko@ukr.net, sakravchuk@ukr.net

PRIORITIZATION OF VOICE TRAFFIC IN 5G: THE ROLE OF SCHEDULERS IN ENSURING QOS

Approaches to voice traffic prioritization in 5G Standalone (SA) networks are investigated and the effectiveness of various scheduling algorithms is evaluated. Simple, QoS-oriented and adaptive methods of resource allocation are analyzed. It was found that adaptive schedulers provide the highest level of QoS for VoNR, minimizing latency and jitter. The choice of a particular algorithm depends on the performance requirements and capabilities of the network environment. These results contribute to the optimization of voice services in 5G.

Розгортання мобільних мереж п'ятого покоління (5G) формує нові вимоги до реалізації голосового зв'язку, зокрема через перехід від VoLTE до Voice over New Radio (VoNR) в архітектурі 5G Standalone (SA). Голосовий трафік у цих мережах характеризується жорсткими вимогами до затримки (latency), джитера (jitter), ймовірності втрати пакетів (packet loss rate) та гарантованої пропускної здатності (GBR – Guaranteed Bit Rate) [1]. Основним завданням радіомережі 5G є динамічне управління ресурсами, що дозволяє одночасно обслуговувати голосові сервіси (VoNR), широкосмугові передачі (eMBB) та критичні комунікації (URLLC) в умовах обмеженого спектрального ресурсу. Оскільки голосовий трафік не може конкурувати за пропускну здатність на рівних умовах із eMBB через критичні вимоги до затримки, використання адаптивних алгоритмів планування ресурсів (scheduling) є необхідною умовою забезпечення QoS у мережах 5G [2].

Голосові сервіси VoNR обробляються через QoS Flow-Based Scheduling, який реалізується шляхом встановлення QoS Identifier (5QI), що визначає параметри обслуговування пакетів у мережі. Для критичного голосового трафіку зазвичай використовується $5QI = 1$, який гарантує виділення ресурсу (GBR) із затримкою ≤ 100 мс. Некритичний голосовий трафік із $5QI = 5$, який не гарантує виділення ресурсу (Non-GBR), працює за залишковим принципом, може спричиняти погіршення якості голосового з'єднання при перевантаженні мережі [2]. Пріоритизація реалізується через виділення GBR-каналів для критичних сервісів, пріоритетне обслуговування у планувальниках MAC-рівня,

механізми Head-of-Line Blocking Prevention та динамічне коригування параметрів залежно від навантаження мережі [3].

Ефективне функціонування голосових сервісів у мережах 5G Standalone (SA) вимагає гнучкого та інтелектуального розподілу радіоресурсів, що забезпечується за рахунок алгоритмів планування (schedulers). У середовищі 5G VoNR особливу роль відіграють механізми адаптивного розподілу ресурсів, які враховують параметри радіоканалу (Channel State Information, CSI), пріоритетність трафіку (5QI), вимоги до затримки (latency) та джитера (jitter), а також загальне мережеве завантаження [4]. Алгоритми планування можна умовно поділити на три основні групи:

1) Просте розподілення ресурсів без урахування QoS:

- Round Robin (RR) – рівномірний розподіл ресурсів між усіма користувачами, незалежно від їхніх вимог до якості обслуговування. Такий підхід не забезпечує гнучкого управління радіоресурсами, що є неприйнятним для VoNR.

- Maximum Carrier-to-Interference Ratio (Max C/I) – призначає ресурси користувачам із найкращими умовами радіоканалу. Така стратегія оптимізує загальну пропускну здатність, але може призводити до деградації голосового трафіку в несприятливих умовах сигналу [4].

2) QoS-орієнтовані алгоритми планування:

- Proportional Fairness (PF) – намагається збалансувати пропускну здатність та рівномірний доступ до ресурсів, проте не гарантує стабільну якість голосових сервісів.

- Modified Largest Weighted Delay First (MLWDF) – пріоритизує потоки із найбільш критичними затримками, що робить його ефективним для голосового трафіку.

- Exponential Proportional Fair (EXP/PF) – динамічно змінює пріоритетність трафіку, комбінуючи балансування навантаження та затримку, що покращує продуктивність VoNR.

3) Адаптивні планувальники (Adaptive) – динамічно змінюють стратегію розподілу залежно від навантаження, стану каналу та вимог QoS. Застосовуються алгоритми штучного інтелекту (AI) для прогнозування стану мережі та оптимізації розподілу ресурсів. Серед переваг такого методу, висока гнучкість і оптимізація для змішаного трафіку (голос, дані). Проте реалізація адаптивних планувальників може бути досить складною [4].

На основі моделювання у програмному середовищі Matlab було проведено порівняння роботи трьох планувальників – RR, PF та Adaptive

залежно від зміни рівня сигналу SNR (Signal-to-noise ratio) за ключовими показниками QoS: середня оцінка якості MOS (Mean Opinion Score) (рис.1), середня затримка (latency) (рис.2) та джитер (jitter) (рис.3).

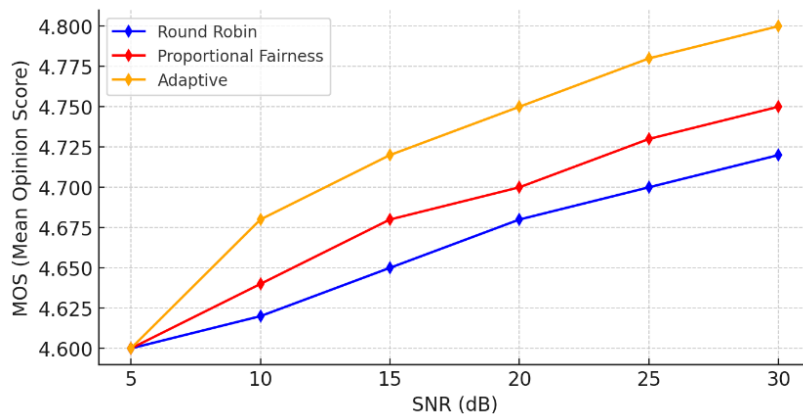


Рис. 1. Mean Opinion Score залежно від SNR

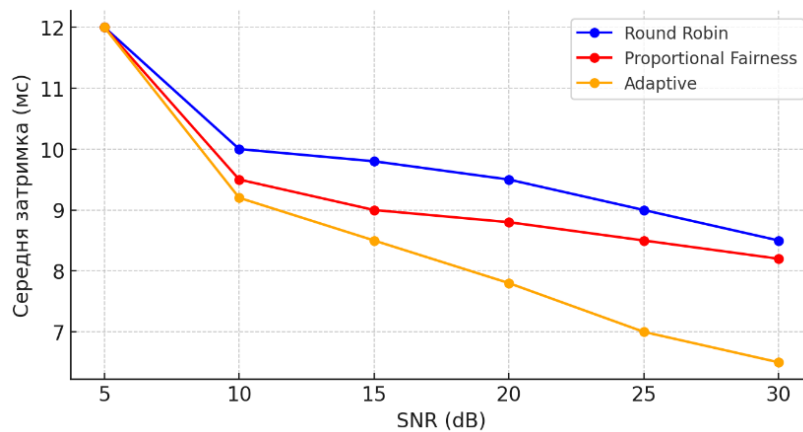


Рис. 2. Середня затримка залежно від SNR

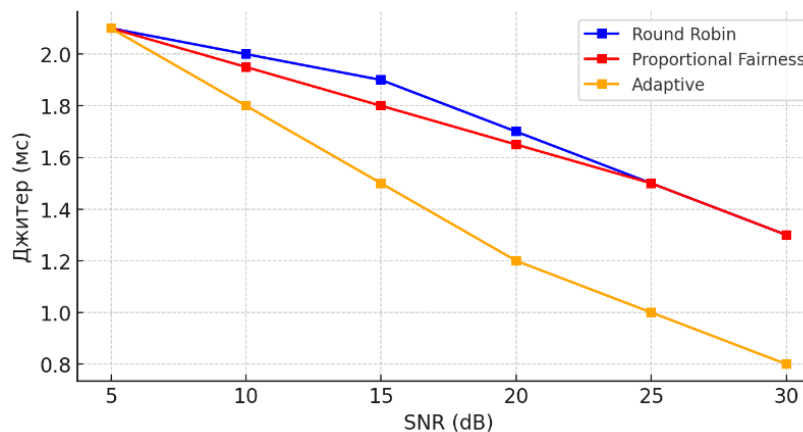


Рис. 3. Джитер залежно від SNR

Результати дослідження підтверджують, що адаптивний планувальник є найбільш ефективним рішенням для забезпечення високої якості голосових послуг у 5G Standalone (SA). Він демонструє найвищий Mean Opinion Score (MOS) на всьому діапазоні SNR, що свідчить про кращу суб'єктивну якість голосового зв'язку порівняно з традиційними підходами. З точки зору затримки

та джитера, адаптивний планувальник забезпечує найнижчі показники, динамічно коригуючи розподіл ресурсів у відповідь на зміну умов мережі та вимоги до QoS. Це дозволяє мінімізувати затримки передачі голосового трафіку та забезпечити його стабільність, що критично важливо для реального часу. Порівняно з ним, Proportional Fairness (PF) виступає як компромісний варіант, забезпечуючи збалансоване використання ресурсів, але не досягаючи необхідного рівня продуктивності для критичних голосових сервісів [5]. Round Robin (RR), хоч і забезпечує рівномірний розподіл ресурсів, є неприйнятним через високу затримку, значні коливання джитера та найнижчий рівень MOS.

Досліджено підходи до пріоритизації голосового трафіку в мережах 5G Standalone (SA) та оцінено ефективність різних алгоритмів планування. Проаналізовано прості, QoS-орієнтовані та адаптивні методи розподілу ресурсів. Встановлено, що адаптивні планувальники забезпечують найвищий рівень QoS для VoNR, мінімізуючи затримку та джитер. Вибір конкретного алгоритму залежить від вимог до продуктивності та можливостей мережевого середовища. Отримані результати сприяють оптимізації голосових сервісів у 5G.

Література

1. 3GPP TS 23.501: System Architecture for the 5G System (5GS) [Електронний ресурс] // 3rd Generation Partnership Project. – Версія 18. – 2024. – Доступно: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.501/
2. Vetoshko I.P., Kravchuk S.O. Possibilities of improving the voice services quality in 5G networks // Information and Telecommunication Sciences. – 2023. – Vol.14, No 2. – P. 9-16, <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22023.9-16>
3. Ветошко І.П., Кравчук С.О. Структурні особливості реалізації голосових послуг VoNR в мережі мобільного зв'язку стандарту 5G // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – Т. 35 (74), № 1. – С. 27–33. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.1.1/04.
4. Mogensen P., Pajukoski K., Weise C. 5G QoS Design Principles and Scheduling Mechanisms // IEEE Communications Magazine. – 2023. – Vol. 61, No. 2. – P. 42-48. – DOI: 10.1109/MCOM.2023.1234567
5. Alhussein A., Rahman T., Khan M. Scheduling Algorithms for 5G Networks: Performance Analysis and Optimization // Wireless Networks. – 2022. – Vol. 28. – P. 1535-1550. – DOI: 10.1007/s11276-022-02964-x