

УДК 004.41

Іванков А. – ст. гр. СП-41

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Науковий керівник: PhD Стоянов Ю. М.

Ivankov A.

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

## OPTIMIZATION OF REAL-TIME AUDIO SIGNAL PROCESSING

Supervisor: PhD Stoyanov Y. M.

Ключові слова: обробка аудіосигналів, реальний час, гітарні ефекти, цифрова обробка сигналів, оптимізація.

Keywords: audio signal processing, real-time systems, guitar effects, digital signal processing, optimization.

**Вступ.** Сучасні програмні рішення для обробки аудіосигналів широко використовуються у музичній індустрії, зокрема для емуляції електрогітарних підсилювачів та ефектів. Завдяки розвитку цифрової обробки сигналів (DSP) та обчислювальних ресурсів, програмні симулятори здатні забезпечувати якість звучання, близьку до аналогових пристроїв. Однак, обробка аудіо сигналів у реальному часі накладає жорсткі обмеження на продуктивність і затримки, що створює потребу в ефективних методах оптимізації[1].

Особливістю таких систем є необхідність обробки безперервного потоку аудіоданих із гарантованим часом відгуку. Будь-які затримки або перевищення часу обробки можуть призводити до появи шумів, спотворень або втрати аудіосигналу, що є критичним для музичних застосувань.

Мета роботи – дослідження та аналіз методів оптимізації обробки аудіосигналів у реальному часі для застосунків симуляції гітарних ефектів

**Основна частина.** Обробка аудіосигналів у реальному часу передбачає виконання обчислень із мінімальною затримкою (latency), що є критичним для інтерактивних аудіозастосунків. Основними вимогами є стабільність роботи, відсутність артефактів та ефективне використання ресурсів процесора[2].

Ключові аспекти оптимізації включають:

1. Буферизація аудіоданих. Обробка сигналу здійснюється блоками фіксованого розміру (audio buffers). Зменшення розміру буфера знижує затримку, але збільшує навантаження на процесор. Оптимальний вибір розміру буфера є компромісом між продуктивністю та якістю обробки.

2. Ефективна реалізація DSP-алгоритмів. Наприклад гітарні ефекти, такі як спотворення, затримка, реверберація, базуються на різних математичних моделях. Наприклад, ефект затримки реалізується через використання циклічних буферів, а реверберація – через згортку сигналу з імпульсною характеристикою. Оптимізація таких алгоритмів включає уникнення надлишкових обчислень та використання апроксимацій[3].

3. Мінімізація використання пам'яті та копіювання даних. Часті операції копіювання можуть суттєво впливати на продуктивність. Використання посилань та inplace обробки дозволяє зменшити накладні витрати.

4. Паралелізація обчислень. Сучасні процесори мають декілька ядер, що дозволяють розділити обчислення між потоками. Проте у випадку аудіобробки важливо уникати болокування і синхронізацій, які можуть викликати затримку або переривання звуку.

5. Використання можливостей фреймворку JUCE. Цей фреймворк надає оптимізаційні класи для роботи з аудіопотоками, буферами та плагінами (VST, AU). Правильне використання Audio Processor та AudioBuffer дозволяє забезпечити ефективну обробку сигналу у реальному часі.

Особливу увагу приділено нелінійним ефектам, таким як спотворення, які потребують обчислень складання функцій. Для оптимізації застосовуються табличні значення або спрощені математичні моделі.

Крім того, важливим аспектом уникнення звукових збоїв, які виникають при перевищенні часу обробки аудіобуфера. Це вимагає суворого дотримання обмежень реального часу та оптимізації кожного етапу обробки сигналу.

**Результати.** У результатах дослідження було визначено основні підходи до оптимізації обробки аудіосигналів у реальному часі. Їх застосування дозволяє:

- зменшення затримку обробку аудіосигналу;
- забезпечити стабільну роботу застосунків без аудіоартефактів;
- підвищити ефективність використання ресурсів процесора;

**Висновки.** У роботі досліджено особливості обробки аудіосигналів у реальному часі та визначено основні підходи до її оптимізації. Показано, що ефективність застосунків симуляції гітарних ефектів залежить від оптимізації DSP-алгоритмів, буферизації та використання ресурсів системи.

Список використаних джерел:

- [1] U. Zölzer, Digital Audio Signal Processing, 3rd ed., Wiley, 2021.
- [2] W. Pirkle, Designing Audio Effect Plug-Ins in C++, 2nd ed., Routledge, 2019.
- [3] J. O. Smith, *Introduction to Digital Filters with Audio Applications*, W3K Publishing, 2007. [Online]. Available: <https://ccrma.stanford.edu/~jos/filters/> (accessed Apr. 1, 2026).