УДК 004.42

УЗГОДЖЕНЕ ОНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІРТУАЛЬНИХ ГІТАРНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ ЗВУКУ

Данченко З.С.[1]; Попова М.О., к.е.н., доц.[2]
[1,2] Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2] Україна, Одеса
[1] zardanser@stud.op.edu.ua; [2] popova.m.o@op.edu.ua

Анотація. *Запропоновано механізм узгодженого оновлення параметрів віртуальних гітарних ефектів із передаванням цілісного набору налаштувань та плавною зміною значень. Визначено умови міжпотокового обміну й критерії перевірки. На аналітичному прикладі показано зменшення стрибка підсилення. Рішення призначене для інтерактивного програмного оброблення звуку.*
Ключові слова: *віртуальні гітарні ефекти; оброблення звуку; параметри ефектів; міжпотокова взаємодія; згладжування параметрів.*

Вступ. Програмні гітарні ефекти дають змогу змінювати звучання інструмента, зберігати набори налаштувань і застосовувати їх під час виконання. Для такого застосування важливі не лише алгоритми перетворення сигналу, а й спосіб взаємодії інтерфейсу з аудіопотоком. Повзунок або завантаження збереженого набору можуть змінити кілька параметрів під час оброблення чергового блока звуку. Неузгоджене читання значень створює проміжну конфігурацію, якої користувач не задавав, а різкий перехід між коректними конфігураціями може спричинити небажаний перехідний процес.

У роботі A. Wishnick досліджено структури змінних у часі фільтрів для музичних застосувань і показано значення способу оновлення їхніх параметрів для стійкості та якості звучання [1]. C.-Y. Yu та співавтори розглянули диференційовні рекурсивні фільтри для моделювання динамічних аудіосистем, зокрема фазового ефекту й компресора [2]. Поряд із сигнальними моделями програмна реалізація потребує керованого передавання налаштувань. Документація PortAudio застерігає від операцій із непередбачуваною тривалістю в аудіофункції зворотного виклику [3], а бібліотека JUCE надає засоби згладжування значень [4]. Поєднання цих вимог потребує окремого проєктного рішення на рівні програмної архітектури.

Метою дослідження є підвищення узгодженості застосування налаштувань віртуальних гітарних ефектів і зменшення небажаних стрибків сигналу під час їх зміни шляхом передавання цілісних наборів параметрів до аудіопотоку та керованого переходу до нових значень.

Основна частина. Виконано аналітичне моделювання механізму оновлення параметрів для настільного застосунку оброблення гітарного сигналу. Розглянуто вхід від аудіоінтерфейсу, послідовний ланцюг ефектів і виведення обробленого звуку. У межах цього дослідження порядок і склад ефектів фіксовані. Аналіз зосереджено на неперервних параметрах підсилення та співвідношення обробленого й початкового сигналів; зміна структури ланцюга й часу затримки потребує окремих механізмів переходу.

Архітектура передбачає розділення керувального та звукового оброблення. Інтерфейс приймає дії користувача, перевіряє допустимість значень і готує новий набір налаштувань. Аудіопотік обробляє блоки відліків і змінює внутрішній стан ефектів. Читання файлів, розбір збережених налаштувань і підготовка повідомлень виконуються поза аудіопотоком. Буфери для оброблення та обміну виділяються до запуску звуку.

Для кожного параметра встановлюються ідентифікатор, одиниця вимірювання, допустимий діапазон і спосіб переходу. Збережений набір, або пресет, містить версію формату та значення параметрів для визначеного ланцюга. Перед застосуванням перевіряються сумісність формату, наявність обов’язкових полів і скінченність числових значень. Некоректний пресет не публікується аудіопотоку; чинні налаштування зберігаються, а повідомлення користувачу формує інтерфейс.

Пропонується передавати повний знімок цільових значень із номером редакції. Керувальні події, зокрема результати завантаження пресетів, попередньо впорядковуються одним потоком-виробником. Знімок копіюється до кільцевої черги фіксованої місткості з одним виробником і одним споживачем. Публікація завершеного запису та його читання мають використовувати коректну атомарну синхронізацію з гарантією видимості всіх полів. Звичайне позначення змінної як доступної двом потокам цієї гарантії не забезпечує.

На початку аудіоблока споживач читає не більше заданої максимальної кількості записів і вибирає найновіший із прочитаних. Завдяки цьому обсяг роботи з чергою обмежений навіть за інтенсивної взаємодії з інтерфейсом. Якщо чергу заповнено, виробник зберігає останній непереданий знімок у власній пам’яті й повторює спробу пізніше. Для інтерактивного налаштування допускається пропуск проміжних цільових станів; відтворення записаної автоматизації з точними часовими позначками виходить за межі цієї моделі.

Цілісне передавання усуває змішування параметрів різних редакцій. Наприклад, пресет одночасно збільшує підсилення перед нелінійним ефектом і зменшує вихідний рівень. За незалежного читання полів аудіоблок може отримати нове вхідне підсилення та старий вихідний рівень. У запропонованому механізмі нові цільові значення приймаються разом на межі блока. Ця властивість стосується узгодженості конфігурації та сама по собі не гарантує відсутності звукових артефактів.

Після прийняття знімка параметри переходять до цільових значень за визначеною траєкторією. Для підсилення можна застосовувати лінійний перехід у лінійній шкалі або перехід у логарифмічній шкалі за відповідних обмежень. Лінійний варіант, зокрема, допускає досягнення нульового підсилення. Тривалість задається в одиницях часу, а кількість кроків визначається за частотою дискретизації. Якщо нова команда надходить до завершення переходу, наступна траєкторія починається від поточного значення, що запобігає поверненню до застарілого початкового стану.

Усі параметри нового знімка починають перехід з однієї межі блока, проте можуть мати різні тривалості згладжування. Допустимість проміжної траєкторії перевіряється для конкретного ефекту. Зокрема, плавна зміна окремих коефіцієнтів рекурсивного фільтра не є універсальною гарантією його стійкості. Для таких ефектів необхідно враховувати структуру фільтра [1]. Внутрішній стан, наприклад вміст буфера ефекту затримки, не очищується лише через зміну рівня змішування.

Аналітично розглянуто зміну коефіцієнта підсилення з 0,5 до 1,0. За умовно сталого нормованого входу 0,2 миттєве оновлення створює зміну виходу з 0,1 до 0,2. Якщо лінійний перехід триває 20 мс за частоти 48 кГц, він охоплює 960 відліків. Приріст підсилення на крок становить приблизно 0,000521, а відповідний приріст виходу – 0,000104. Цей розрахунок демонструє розподіл зміни в часі; вибір 20 мс є ілюстративним і не доводить оптимальної тривалості для реального гітарного сигналу.

Оброблення має також укладатися в часові обмеження аудіопотоку. За частоти дискретизації 48 кГц блок із 128 відліків відповідає приблизно 2,67 мс звуку. Для безперервного оброблення програма повинна встигати опрацьовувати кожний блок у межах

цього часового інтервалу. Це не повна затримка від входу до виходу: на неї додатково впливають драйвер, апаратні буфери й алгоритми ефектів. Зменшення блока скорочує окремі складники затримки, але підвищує вимоги до своєчасного виконання оброблення.

Для подальшої перевірки визначено сценарії швидкого переміщення регулятора, повторного завантаження пресета, переповнення черги та надходження некоректних даних. Узгодженість оцінюється за відсутністю наборів, складених із різних редакцій; завершення оновлення – за досягненням останнього переданого стану після припинення керувальних подій. Час оброблення й кількість пропусків аудіоблоків вимірюються за однакових налаштувань. Аналіз перехідних процесів поєднує тестові сигнали та прослуховування гітарних записів, оскільки велика різниця сусідніх відліків може бути частиною самого звучання.

Висновки. Запропоновано механізм оновлення параметрів віртуальних гітарних ефектів, який поєднує перевірку пресета, передавання цілісного знімка та керований перехід до цільових значень. Визначено правила обмеженого міжпотокового обміну й оброблення повторних команд. На аналітичному прикладі показано зменшення покрокової зміни підсилення порівняно з миттєвим оновленням. Практичне значення полягає в можливості застосування механізму в інтерактивному гітарному процесорі. Реалізація та експериментальне оцінювання мають установити фактичні часові характеристики й сприйнятність переходів; зміна структури ланцюга залишається окремою задачею.

Використання інструментів ШІ. ChatGPT (OpenAI, модель GPT-6) використано для мовного редагування анотацій, вступу, основної частини й висновків. Експериментальні вимірювання за допомогою штучного інтелекту не генерувалися.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Wishnick, A. (2014). Time-varying filters for musical applications. In *Proceedings of the 17th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-14)*. https://www.dafx.de/paper-archive/2014/dafx14_aaron_wishnick_time_varying_filters_for_.pdf

[2] Yu, C.-Y., Mitcheltree, C., Carson, A., Bilbao, S., Reiss, J. D., & Fazekas, G. (2024). Differentiable all-pole filters for time-varying audio systems. In *Proceedings of the 27th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx24)*. https://dafx.de/paper-archive/2024/papers/DAFx24_paper_75.pdf

[3] PortAudio. (n.d.). *Writing a callback function*. https://portaudio.com/docs/v19-doxydocs/writing_a_callback.html

[4] JUCE. (n.d.). *juce::SmoothedValue class template reference*. https://docs.juce.com/master/classjuce_1_1SmoothedValue.html

Danchenko Z.S., Popova M.O.

Coordinated parameter updates for virtual guitar effects during audio processing

Abstract*. A parameter update mechanism for virtual guitar effects combines coherent configuration snapshots with smooth transitions. Inter-thread exchange conditions and verification criteria are defined. An analytical example demonstrates a reduction in gain discontinuity. The mechanism is intended for interactive software-based audio processing.*

Keywords*: virtual guitar effects; audio processing; effect parameters; inter-thread communication; parameter smoothing.*