

УДК 004.9

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.1\(490\).22](https://doi.org/10.15589/znp2023.1(490).22)**DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DIGITAL SOUND ANALYSIS USING OBJECT-ORIENTED METHODOLOGY****ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЛЯ АНАЛІЗУ ЦИФРОВОГО ЗВУКУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ****Dmytro L. Kyryichuk**

kidiam2@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4905-6932

Kyrylo D. Tkachenko

4090587@kntu.net.ua

ORCID: 0000-0002-5678-7234

Olena M. Liashenko

olenakntu@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5429-8389

Д. Л. Кирийчук,

канд. техн. наук, доцент

К. Д. Ткаченко,

студент

О. М. Ляшенко,

канд. техн. наук, доцент

*Kherson National Technical University, Khmelnytskyi**Херсонський національний технічний університет, м. Хмельницький*

Abstract. Development of software for digital sound analysis using object-oriented methodology is the purpose of the article. The basic function of the software is described: Import and export of files in wave PCM formats; support of basic operations of editing of files (cut, copy, paste and delete); change of pitch without changing of speed and vice versa; removal of static noise, hissing and other constant noise defects of recording; detailed analysis of frequency characteristics; performs a spectrographic display of tracks.

Method. Algorithms of Discrete Fourier Transform, Hann and Hamming windows functions, methodology of object-oriented programming were used in the development of software.

Results. Analysis of the main trends of software development for digital sound analysis is carried out. The main functional capabilities and principles of such systems are defined. Modern tendencies of construction, development and application of such systems were revealed.

Scientific novelty. The actual scientific and practical task, which consists in theoretical and methodological substantiation of approaches and principles of construction of software systems for the analysis of digital sound, is solved.

Practical importance. Practical significance. It is possible to apply theoretical and methodological approaches and conclusions obtained within the framework of work for development and implementation of software for digital sound analysis.

The architecture of the software application has been built, which has a modular structure. The main module of the software product is intended for interaction with the program modules "System libraries", "Program libraries" and "Sources".

The main classes of the software application have been developed: The Line class is created to change the color value and format of the lines of the current device context; the TextFormat class is created to change the color value, align and format of the line of the current device context; the Axis class is created as a basic class of coordinate windows; The AxisX class is created on the base class Axis coordinate axis, and describes the abscise axis; the Graph class is created by the Series, AxisX, and AxisY class aggregation, and describes the graph function.

Key words: digital sound; frequency characteristics; software; object-oriented methodology.

Анотація. Метою роботи є розроблення програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку з використанням об'єктно-орієнтованої методології. В роботі описано основний функціонал програмного додатку: імпорт та експорт файлів у форматах WAVE PCM; підтримка базових операцій редагування файлів (вирізання, копіювання, вставка та видалення); зміна висоти тону без зміни темпу та навпаки; видалення статичного шуму, шипіння та інших постійних шумових дефектів запису; детальний аналіз частотних характеристик; виконання спектрографічного режиму відображення доріжок.

Методика. При розробці програмного забезпечення були використані алгоритми прямого та зворотного дискретного перетворення Фур'є, віконні функції Фон-Ганна та Хеммінга, методологія об'єктно-орієнтованого програмування.

Результати. Проведено аналіз основних тенденцій розвитку програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку. Визначено основні функціональні можливості та принципи роботи таких систем. Виявлено сучасні тенденції побудови, розвитку та застосування таких систем.

Наукова новизна. Вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в теоретико-методологічному обґрунтуванні підходів та принципів побудови програмних систем для аналізу цифрового звуку.

Практична значимість. Полягає в можливості застосування теоретико-методологічних підходів і висновків, отриманих в межах роботи для розробки та впровадження програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку.

Побудовано архітектуру програмного додатку, що має модульну структуру. Головний модуль програмного продукту призначено для взаємодії з програмними модулями «Системні бібліотеки», «Програмні бібліотеки» та модулем «Sources».

Розроблено основні класи програмного додатку: клас Line створено для зміни значення кольору та формату ліній поточного контексту пристрою; клас TextFormat створено для зміни значення кольору, вирівнювання та формату рядка поточного контексту пристрою; клас Axis створено для як базовий клас координатна вісь; клас AxisX створено на базовому класі координатна вісь Axis, та описує вісь абсцис; клас Graph створено за допомогою агрегації класів Series, AxisX і AxisY, та описує функціонал по роботі із графіком.

Ключові слова: цифровий звук; частотні характеристики; програмне забезпечення; об'єктно-орієнтована методологія.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Програми для аналізу цифрового звуку здійснюють тестування аналогово-цифрових каналів аудіо-пристроїв, відтворюючи та записуючи тестові сигнали, що проходять через обстежувані звукові тракти.

Однак це не вирішує проблему аналізу якості аналогово-цифрових трактів аудіоапаратури, оскільки користувачі не мають можливості проводити спектральний аналіз за обраними параметрами із використанням спеціального алгоритму – швидких перетворень Фур'є в багатьох програмних системах.

Побудова програмних систем для аналізу цифрового звуку потребує виявлення та аналізу сучасних тенденцій розвитку та застосування таких систем, насамперед, на основі провідних наукових публікацій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботі [1] запропоновано методологію для проведення аудіо вимірювань та аналізу акустичних та електричних параметрів систем.

З експериментальних результатів досліджень, можна зробити висновок, що запропонована в цій роботі методологія, має хороші результати завдяки можливості вимірювання частотної характеристики сигналу збудження у вигляді ступінчастої синусоїди з високим динамічним діапазоном та високою стійкістю до перешкод.

В роботі [2] описано термінологію розробки програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку, подано архітектуру програмного забезпечення. Запропоновано методологію розробки програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку та шляхи

проходження аудіо сигналу в операційних системах із використанням різних API.

В роботі [3] запропоновано методи реактивного програмування і використання паралельних багато-процесорних методів обробки сигналів з метою підвищення швидкодії і оптимізації ефективності використання технічних засобів.

В роботі [4] проведено аналіз основних характеристик та функціональних особливостей цифрових аудіо робочих станцій. Представлені основні переваги та недоліки використання цифрових аудіо робочих станцій. Аналіз проводився шляхом вивчення спеціальної літератури, практичного використання цифрових аудіо робочих станцій та досвіду використання цифрових аудіо робочих станцій.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Нині практично відсутній огляд сучасних теоретико-методологічних підходів до розроблення програмних систем для аналізу цифрового звуку, а також шляхів подальшого розвитку таких систем.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є проєктування та розроблення програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку із застосуванням сучасних теоретико-методологічних підходів в цій галузі.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилось з використанням алгоритмів прямого та зворотного дискретного перетворення Фур'є, віконних функцій Фон-Ганна та Хеммінга, методології об'єктно-орієнтованого програ-

мування. Об'єктом дослідження є моделі та методи аналізу цифрового звуку. Предметом дослідження сучасні тенденції побудови, розвитку та застосування програмних систем для аналізу цифрового звуку.

Основний матеріал

Розроблений програмний додаток є звуковим редактором із широким набором таких професійних можливостей:

1. Імпорт та експорт файлів у форматах PCM, IEEE FLOAT.
2. Базові операції редагування файлів (вирізання, копіювання, вставка та видалення).
3. Зміна висоти тону без зміни темпу та навпаки.
4. Видалення статичного шуму, шипіння та інших постійних шумових дефектів запису.
5. Детальний аналіз частотних характеристик.
6. Спектрографічний режим відображення доріжок.

7. Програмний додаток підтримує роботу з форматом даних WAVE PCM soundfile format.

Діаграму варіантів використання програмного додатку подано на рис. 1.

Архітектуру програмного додатку для аналізу цифрового звуку подано на рис. 2. Архітектура програмного додатку має модульну структуру. Головний модуль програмного продукту призначено для взаємодії з програмними модулями «Системні бібліотеки», «Програмні бібліотеки» та модулем «Sources». Програмний модуль «Системні бібліотеки» використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, ole32.dll. Програмний модуль «Програмні бібліотеки» використовує бібліотеки KISSFFT та WAVE.

KISSFFT – бібліотека, що має у складі методи, які реалізують швидке перетворення Фур'є. WAVE –

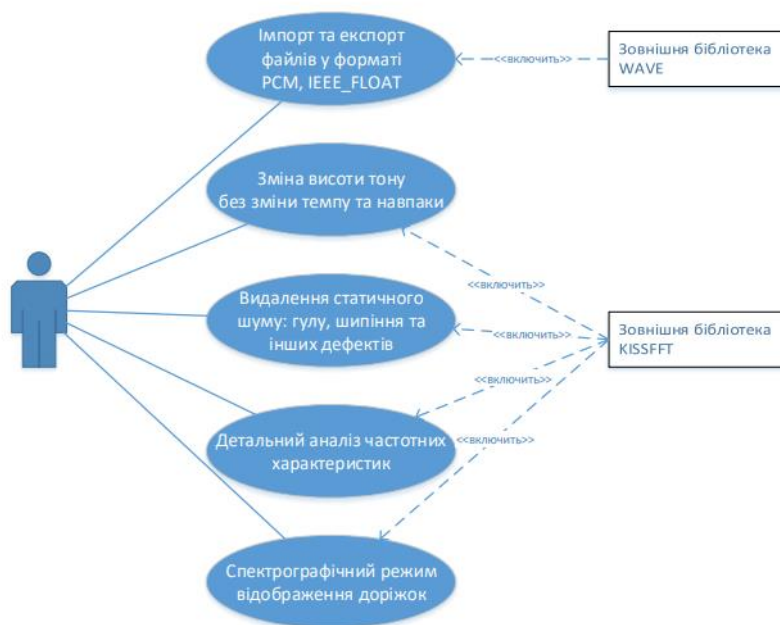


Рис. 1. Діаграма варіантів використання програмного додатку

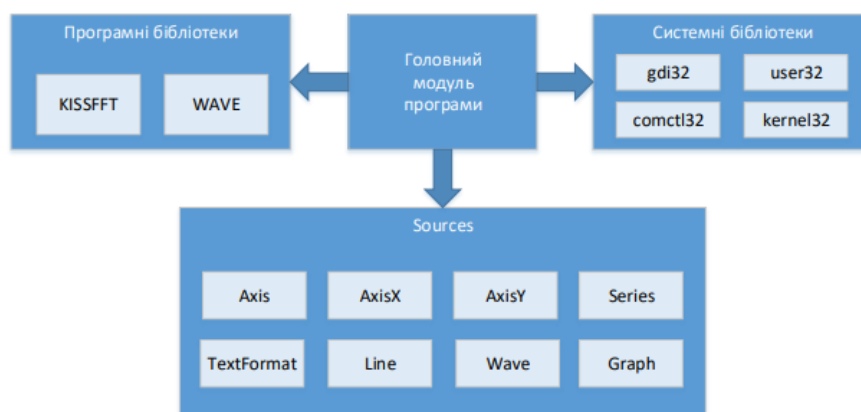


Рис. 2. Архітектура програмного додатку

бібліотека, що має у складі методи, для роботи із мультимедійними файлами у форматі WAVE PCM [5].

Програмний модуль «Sources» має у складі такі класи: клас Line (файл Line.h – опис модуля, реалізація класу в файлі Line.cpp); клас TextFormat (файл TextFormat.h – опис модуля, реалізація класу в файлі TextFormat.cpp); клас Axis (файл Axis.h – опис модуля, реалізація класу в файлі Axis.cpp); клас AxisX (файл AxisX.h – опис модуля, реалізація класу в файлі AxisX.cpp); клас AxisY (файл AxisY.h – опис модуля, реалізація класу в файлі AxisY.cpp); клас Graph (файл Graph.h – опис модуля, реалізація класу в файлі Graph.cpp).

Бібліотека KISSFFT забезпечує аналіз цифрового звуку за допомогою перетворення Фур'є.

Модульну структуру програмного додатку подано на рис. 3.

Модуль dlgMain.cpp описує основі функції діалогового вікна, реалізації цих функцій у файлі dlgMain.cpp відповідно.

Модуль AxisX.cpp включає такий перелік бібліотек (рис. 3): <resource.h>, <Wave.h>, <Windows.h>, <emath.h>, <kissfft.hh>, <Graph.h>, <vector>, <complex>, <windows.h>, <stdio.h> [5].

Line.cpp – модуль створено для зміни значення кольору та формату ліній поточного контексту пристрою.

TextFormat.cpp – модуль створено для зміни значення кольору, вирівнювання та формату рядка поточного контексту пристрою.

Axis.cpp – модуль створено для як базовий клас координатна вісь.

AxisX.cpp – модуль створено на базовому класі координатна вісь Axis, він описує вісь абсцис.

Модуль AxisX.cpp включає такий перелік бібліотек (рис. 4): <algorithm>, <cstdio>, <cmath>.

AxisY.cpp – модуль створено на базовому класі координатна вісь Axis, він описує вісь ординат.

Модуль AxisY.cpp включає такий перелік бібліотек (рис. 5): <algorithm>, <cstdio>, <cmath>.

Graph.cpp – модуль створено за допомогою агрегації класів Series, AxisX і AxisY, він описує функціонал для роботи із графіком.

Модуль Graph.cpp включає такий перелік бібліотек (рис. 6): <graph.h>, <cstdio>, <cmath>.

Main.cpp – головний модуль програмного додатку.

Модуль Main.cpp включає такий перелік бібліотек (рис. 7): <dlgMain.h>, <resource.h>, <windows.h>, <windowsx.h>, <stdio.h>.

Для розробки програмного додатку було обрано крос-платформне середовище розробки Code::Blocks та мову програмування C.

Програмний модуль використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, ole32.dll. В додатку win32 використані бібліотечні модулі: windows.h, windowsx.h та commctrl.h.

Ієрархію класів програмного додатку подано на рис. 8.

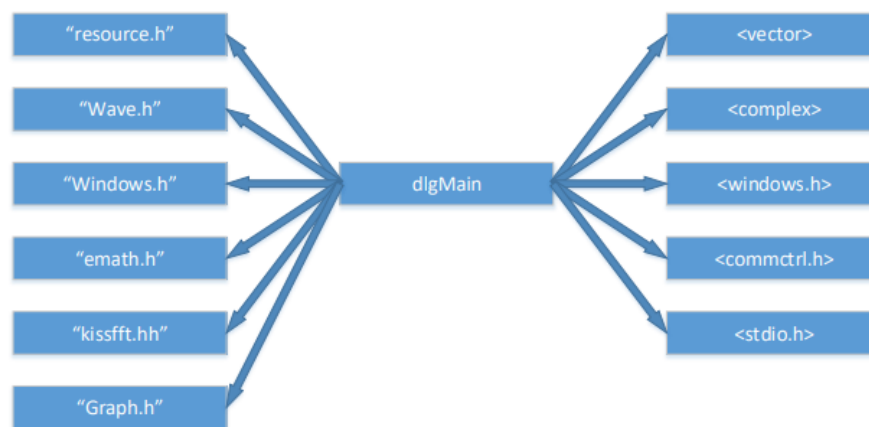


Рис. 3. Бібліотеки модуля dlgMain.cpp

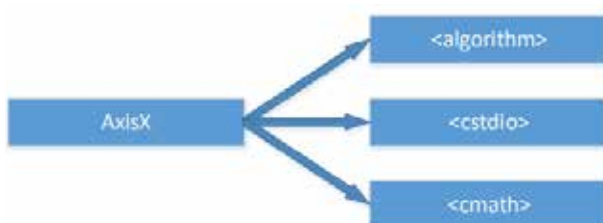


Рис. 4. Бібліотеки модуля AxisX.cpp

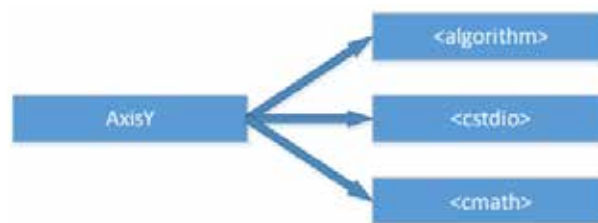


Рис. 5. Бібліотеки модуля AxisY.cpp

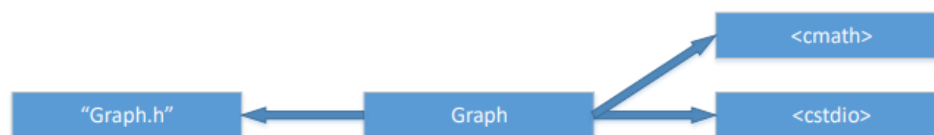


Рис. 6. Бібліотеки модуля AxisY.cpp

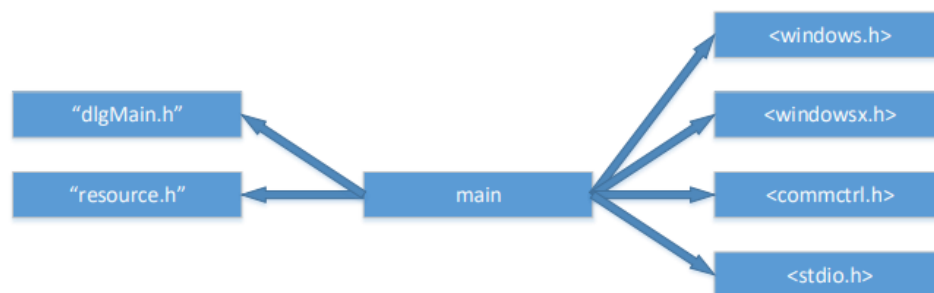


Рис. 7. Бібліотеки модуля Main.cpp

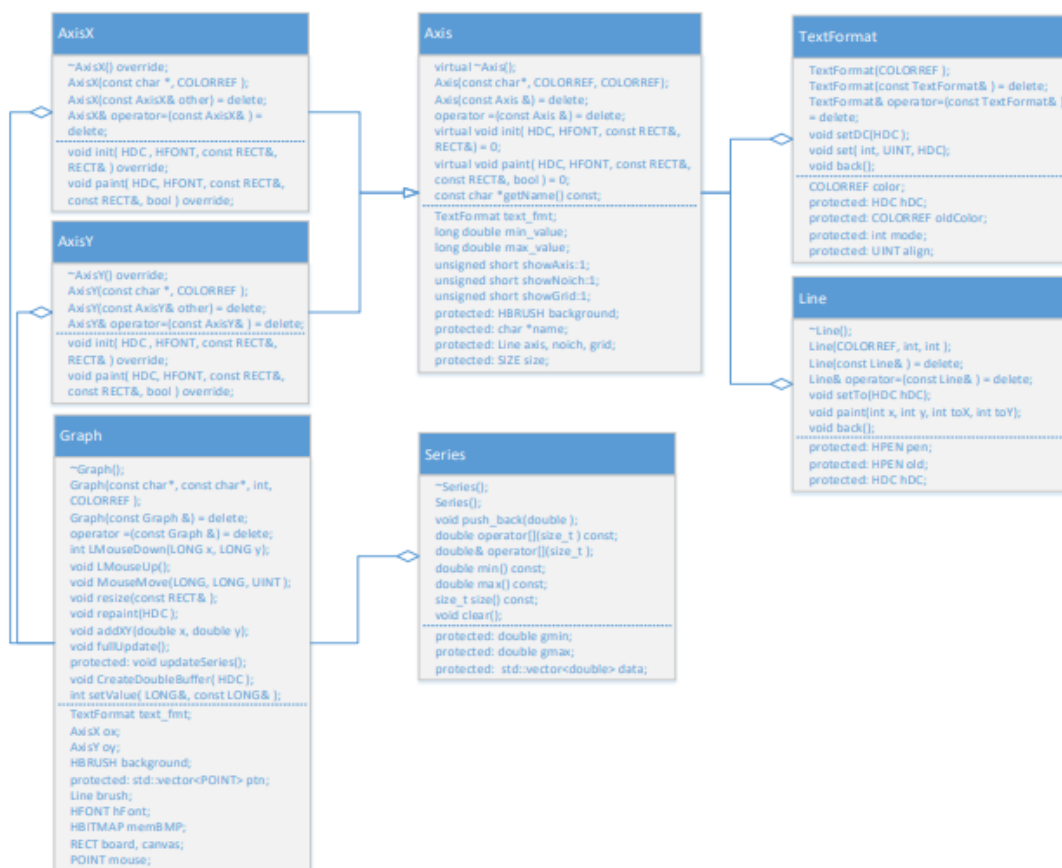


Рис. 8. Ієрархія класів програмного додатку

Після запуску програми відразу відкривається файл 1k44.wav для аналізу (рис. 9). Цей файл спеціально згенерований в форматі 44100 Hz та передає тон 1kHz, точність сигналу 24 біта (відповідає найпоширенішому стандарту для звукових файлів).

Також можна завантажити тестовий файл із сигналом в 1kHz, що згенерований у форматі 44100 Hz, точність 16 біт (такий формат використовується у музичних дисках) 1k4416.wav (рис. 10).

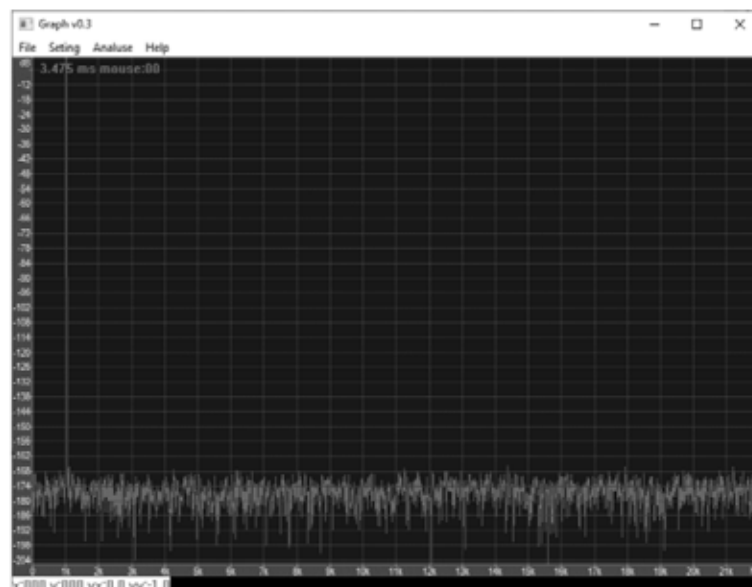


Рис. 9. Головне вікно програми (після запуску)

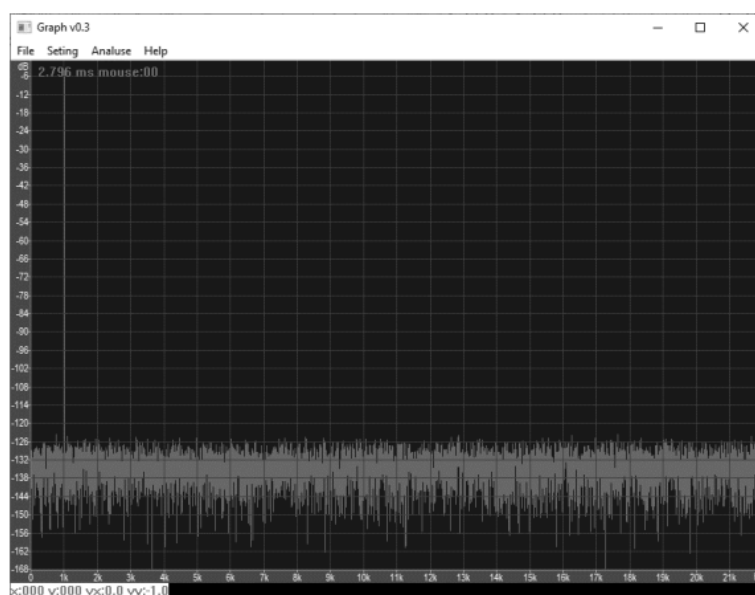


Рис. 10. Аналіз файлу 1k4416.wav

Можна побачити, що зображення сигналів відрізняються: із використанням більшої точності у 24 біта, в порівнянні із 16 бітами, рівень шуму знижується з рівня -126 dB до рівня у -168 dB.

Ще один тестовий сигнал, що згенерований за допомогою аудіо редактора Audacity в форматі 44100 Hz і точністю 24 біта можна побачити на рис. 11.

До 1 kHz сигналу було додано шум заданої форми (Noise Shaping). Такий розподіл шуму має найбільшу енергію на тих частотних ділянках де чутливість вуха менша, для цього було використано інформацію стандарту про криву рівної гучності.

В інтерфейсі програми є підказка у нижньому лівому куті графіка, яка відображає координати вказівника миші на зображенні в координатах графіка x та y і в віртуальних координатах на графіку, наприклад, для зображення на рис. 12.

Підказка у лівому нижньому куті змінюється, коли змінюються координати вказівника миші. Для зображення на рис. 12 по логічних координатах x:444 y:441 (відмічена червоним хрестиком) відображено значення 12013,7 Hz та -170,3 dB.

Також є додаткова інформація у лівому верхньому куті – це час за який оновлюється зображення при натисненні кнопки миші.

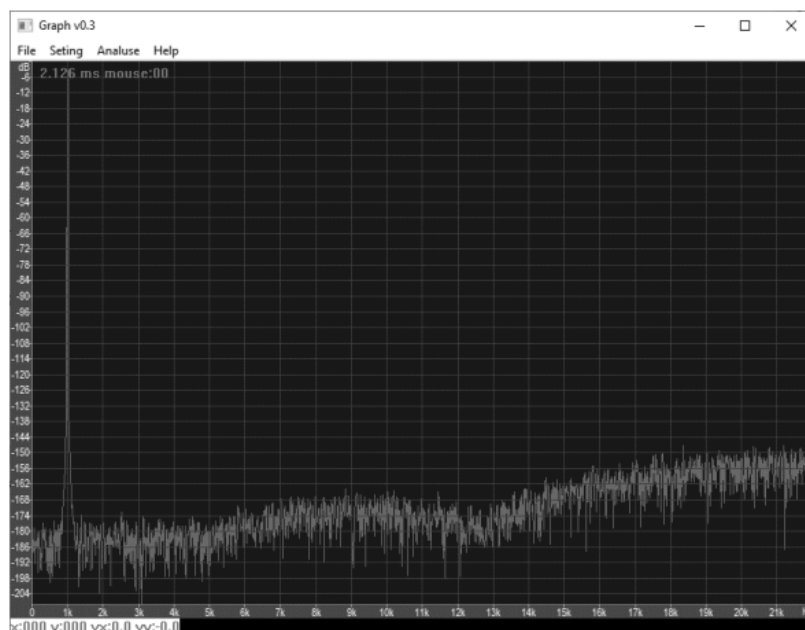


Рис. 11. Аналіз файлу 1 kHz, що згенерований у Audacity

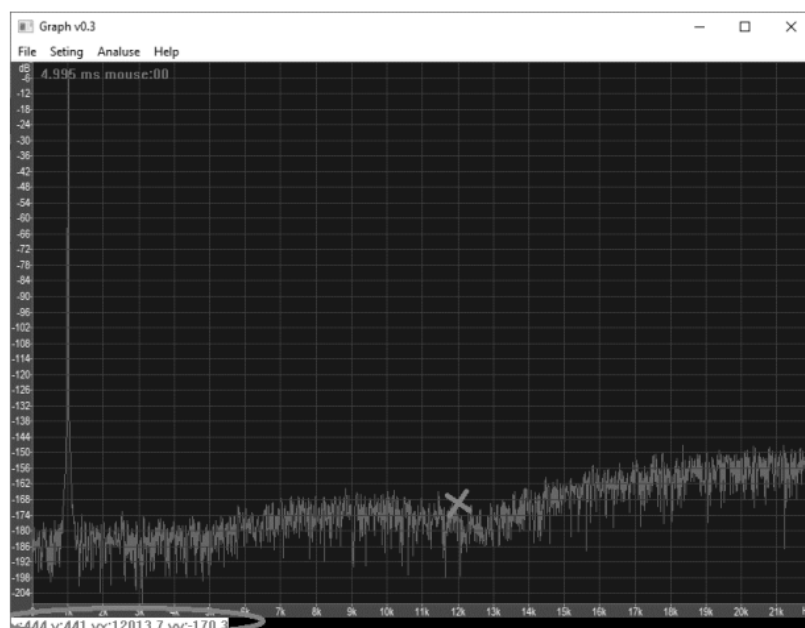


Рис. 12. Додаткова інформація на графіку

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Сучасні програмні системи здійснюють тестування якості аналогових та цифрових трактів будь-якої аудіоапаратури. Також вони надають можливість одночасно завантажувати та порівнювати результати тестування кількох пристроїв або режимів їх роботи.

По кожному тесту виводяться конкретні чисельні результати, а в розширеному варіанті можна отримати більш детальні звіти. До кожного результату пропонуються графіки спектра. Набори результатів,

включаючи графіки спектру та деталі звітів, зберігаються у файлах SAV. Також в багатьох програмних системах є можливість генерування HTML-файлів із результатами тестування.

Незважаючи на те, що сучасні програмні системи для аналізу цифрового звуку досягли досить значного прогресу, вони все ще потребують розробки нових моделей та методів для проведення аудіо вимірювань та аналізу акустичних та електричних параметрів систем.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз основних тенденцій розвитку програмного забезпечення для аналізу цифрового звуку. Визначено основні функціональні можливості та принципи роботи таких систем. Виявлено

сучасні тенденції побудови, розвитку та застосування програмних систем в цій галузі. Побудовано архітектуру програмного додатку для аналізу цифрового звуку, що має модульну структуру. Розроблено основні класи програмного додатку.

REFERENCES

- [1] Yang, Jiao. (2021). Digital Music Waveform Analysis and Retrieval Based on Feature Extraction Algorithm. *Advances in Multimedia*, 1, 2-9 [in English].
- [2] Ekeroot, Jonas. (2007). Audio software development – an audio quality perspective. *Candidate's thesis*. Department of Music and Media Lulea University of technology [in English].
- [3] Reida, O.M., & Stakhov, L.P. (2019). Rozrobka prohramnoi systemy selektyvnoho analizu ta syntezy zvukovykh syhnaliv [Development of the selective software for analysis and synthesis of sound signals]. *Proceedings from Mizhnarodna naukovo-praktychna Internet konferentsiia pamiati A.M. Petukha «Elektronni informatsiini resursy: stvorennia, vykorystannia, dostup» – International Scientific and Practical Internet Conference of Memory A.M. Petukha «Electronic Information Resources: Create, Use, Access»*. (pp. 211-214). Sumy: NIKO.VNTU [in Ukrainian].
- [4] Kovalenko, O.M. (2016). Osoblyvosti vykorystannia tsyfrovyykh audio robochykh stantsii, pryznachenyykh dlia stvorennia elektronnoi muzyky v umovakh neformalnoi osvity doroslykh [Features of using digital audio workstations designed for creating electronic music in conditions of informal adult education]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia – Information Technologies and Teaching Means*, 3, 178-194 [in Ukrainian].
- [5] Kernighan, Brian & Ritchie, Dennis. (1988). *The C programming Language*. Prentice-Hall. Retrieved from <https://docs.google.com/The C Programming Language- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie.pdf> [in English].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Yang, Jiao. (2021). Digital Music Waveform Analysis and Retrieval Based on Feature Extraction Algorithm. *Advances in Multimedia*, 1, 2-9
- [2] Ekeroot, Jonas. (2007). Audio software development – an audio quality perspective. *Candidate's thesis*. Department of Music and Media Lulea University of technology
- [3] Рейда О.М., Стахов Л.П. (2019). Розробка програмної системи селективного аналізу та синтезу звукових сигналів. Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ: Матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції. Пам'яті Петуха А.М. (м. Суми, 9-10 грудня 2019 р.). Суми: НІКО.ВНТУ, 2019. С. 211-214.
- [4] Коваленко О.М. (2016). Особливості використання цифрових аудіо робочих станцій, призначених для створення електронної музики в умовах неформальної освіти дорослих/ О.М. Коваленко// Інформаційні технології і засоби навчання. № 3. С. 178-194.
- [5] Kernighan, Brian & Ritchie, Dennis. (1988). *The C programming Language*. Prentice-Hall. Retrieved from <https://docs.google.com/The C Programming Language- Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie.pdf>

© Д. Л. Кирийчук, К. Д. Ткаченко, О. М. Ляшенко
 Дата надходження статті до редакції: 30.03.2023
 Дата затвердження статті до друку: 10.04.2023