



Achiziția și prelucrarea datelor - proiect

# Analiza și procesarea semnalelor audio în domeniul timp și frecvență

Simona ANTAL

Grupa 1308A

Calculatoare

Facultatea de Automatică și Calculatoare

Iași, România

simona.antal@student.tuiasi.ro

Cadru didactic coordonator:

Conf.dr.ing. Robert Gabriel LUPU

Calculatoare

Facultatea de Automatică și Calculatoare

Iași, România

robert-gabriel.lupu@academic.tuiasi.ro

**Rezumat**—Procesarea digitală a semnalelor (DSP) audio este un domeniu vast și complex, care are ca scop principal manipularea și îmbunătățirea semnalelor sonore pentru a le face mai ușor de perceput de către urechea umană [1]. Avansurile tehnologice în acest domeniu au revoluționat nu doar modul în care auzim și experimentăm muzica, ci și în alte sectoare, cum ar fi medicina, unde tehnologiile audio sunt utilizate pentru diagnosticarea și monitorizarea stării de sănătate. În acest context, proiectul de față se concentrează pe dezvoltarea unei aplicații interactive ce permite analiza, procesarea și vizualizarea semnalelor audio într-un mod detaliat. Aplicația permite încărcarea semnalelor și aplicarea diferitelor filtre digitale cu scopul procesării în funcție de necesitate. De asemenea, utilizatorii pot analiza spectrul de frecvențe al semnalului, pentru o mai bună înțelegere a componentelor acestuia. Printre funcționalitățile suplimentare se numără și generarea histogramei pentru vizualizarea distribuției semnalului, analiza statistică (media, varianța, skewness, kurtosis), precum și reprezentarea grafică detaliată a datelor brute și procesate.

**Cuvinte cheie**—analiza semnalelor, procesarea digitală a semnalelor, interfață grafică utilizator (GUI)

## I. INTRODUCERE

Motivația dezvoltării unei aplicații de procesare și analiză audio constă în furnizarea unui instrument accesibil și interactiv pentru manipularea și vizualizarea semnalelor, esențial în diverse domenii precum educația și aplicațiile audio.

Scopul aplicației este de a oferi un instrument pentru procesarea, analiza și vizualizarea semnalelor audio, permițând utilizatorilor să aplice tehnici cum ar fi filtrarea și analiza spectrului de frecvențe.

În următoarea secțiune sunt prezentate componentele și funcționalitățile primului panou. Acesta permite încărcarea unui semnal și afișarea lui în domeniul timp, în urma execuției unui script pentru citirea și extragerea de informații din fișiere

de tip WAV. De asemenea, sunt afișate diverse detalii și statistici despre semnal cu scop informativ.

În cea de-a treia secțiune se oferă o descriere detaliată a componentelor semnalului, prezentate pe al doilea panou. Se urmărește reprezentarea în domeniul frecvență și posibilitatea aplicării de filtre și ferestre asupra acestuia.

La final sunt detaliate o serie de concluzii, care subliniază realizările și impactul aplicației dezvoltate. Aceste concluzii evidențiază eficiența instrumentelor implementate pentru analiză și vizualizare. De asemenea, se discută despre funcționalitățile aplicației, cum ar fi încărcarea semnalelor, aplicarea filtrelor digitale și analiza statistică, care contribuie la o mai bună înțelegere a semnalelor audio. În final, se propun direcții viitoare de dezvoltare, sugerând posibile îmbunătățiri și extinderi ale aplicației pentru a răspunde nevoilor utilizatorilor.

## II. ANALIZA SEMNALULUI ÎN DOMENIUL TIMP

### A. Încărcarea semnalului și analiza acestuia

La apăsarea butonului „Load” se realizează execuția unui script în Python pentru citirea semnalului WAV, extragerea informațiilor despre acesta (rata de eșantionare și numărul valorilor citite), precum și realizarea transformatei Hilbert pentru calculul anvelopei, ce urmărește schimbările în amplitudine. Valorile semnalului citit sunt salvate într-un fișier denumit „waveData.txt”, informațiile în „waveInfo.txt”, iar valorile anvelopei în „envelope.txt”.

Ulterior, se afișează semnalul pe graficul „Raw data”, reprezentat prin culoarea roșu, împreună cu anvelopa sa de culoare albastră, după cum se poate observa în Fig. 1. Semnalul este afișat pe o durată de șase secunde, iar derularea de la o secundă la alta se poate realiza printr-un control cu săgeți, de tip „Previous/Next”, pentru o mai bună vizualizare a acestuia. De asemenea, pe același grafic se poate reprezenta și derivata semnalului, de culoare verde, prin apăsarea butonului „Derivate” (Fig.2).

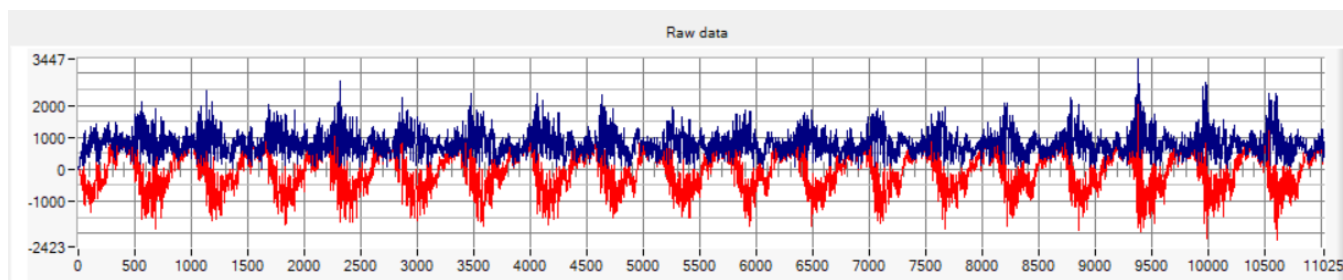


Fig. 1. Semnalul WAV ■ și anvelopa sa ■

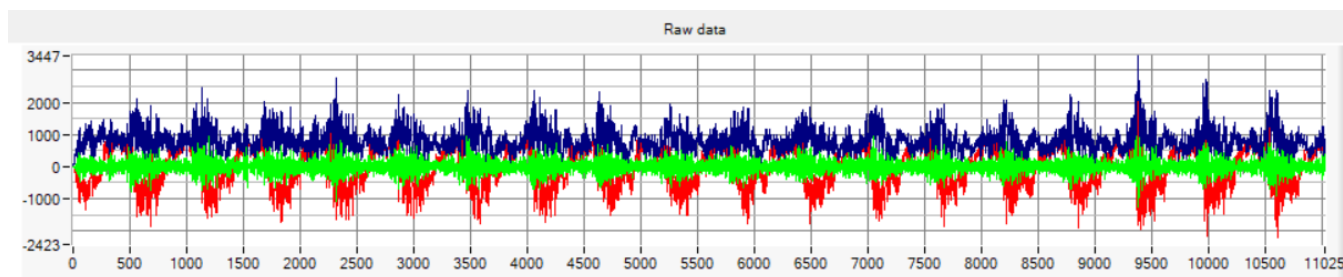


Fig. 2. Derivata I a semnalului ■

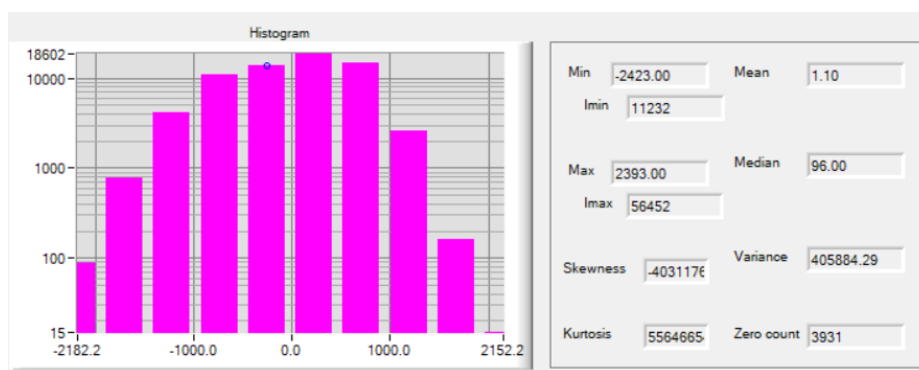


Fig. 3. Histograma și analiza semnalului

Totodată cu afișarea semnalului se realizează și analiza sa în domeniul timp, din Fig. 3. Sunt prezentate histograma, pentru vizualizarea repartiției valorilor, și diverse statistici precum valoarea minimă și maximă, indicii celor două, media, mediana, dispersia și numărul de treceri prin zero. Pe baza acestora se pot trage concluzii despre intervalul valorilor, nivelul general al semnalului, valoarea de centru (centroidul), dar și fluctuațiile. Sunt calculate asimetria și aplatizarea unei porțiuni de semnal, ce ne ajută la înțelegerea distribuției, pentru a cunoaște dacă acesta este sau nu simetric, și platitudinea vârfului distribuției, în comparație cu repartiția normală. Informațiile prezintă o importanță deosebită pentru identificarea tipului de semnal și evaluarea calității audio a acestuia. De asemenea, ne ajută în luarea deciziilor ulterioare pentru procesare.

Pentru semnalul WAV reprezentat în Fig. 1, minimul și maximul global sugerează că intervalul valorilor este [-2423, 2393]. Media semnalului este 1.1, de unde reiese că acesta este aproximativ simetric față de axa absciselor, cu o valoare de centru pozitivă (96), iar numărul schimbărilor de semn înregistrate este 3931. Se observă o abatere semnificativă față de media semnalului, ceea ce sugerează o dispersie mare pe intervalul de valori, care urmează o repartiție gaussiană standard, după cum se observă pe histogramă. În plus, asimetria și aplatizarea sunt calculate pe intervalul [5000, 5256] (Fig. 4), iar valorile acestora, fiind extrem de ridicate, reflectă faptul că semnalul în acest interval este predominant pozitiv și prezintă o abatere considerabilă față de medie.

Asimetria este negativă, deoarece valorile maxime locale se află în a doua jumătate, iar aplatizarea pozitivă ne indică faptul că semnalul are vârfuri ascuțite.

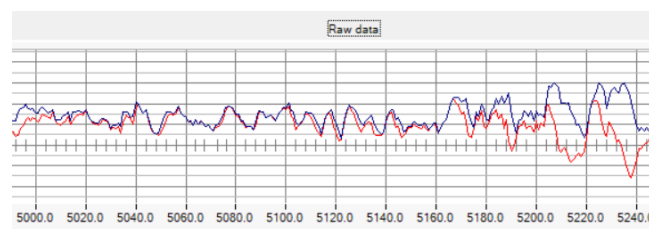


Fig. 4. Semnalul pe interval [5000, 5256]

## B. Filtrarea în domeniul timp

După o analiză a semnalului, prelucrarea este esențială pentru clarificarea detaliilor importante, eliminarea zgomotului și a distorsiunilor, creșterea preciziei analizei și îmbunătățirea calității semnalului per total.

Filtrarea se realizează prin intermediul unui control de selecție al tipului dorit. Opțiunile tipului de filtru sunt:

- Filtru de mediere pe 16 sau 32 de elemente, unde valoarea unui element este media dintre acesta și elementele precedente lui;
- Filtru de ordin I cu parametrul alpha, ce ia valori între (0, 1). Coeficientul alpha reprezintă ponderea influenței elementului curent. Dacă alpha este mic, filtrul acordă o

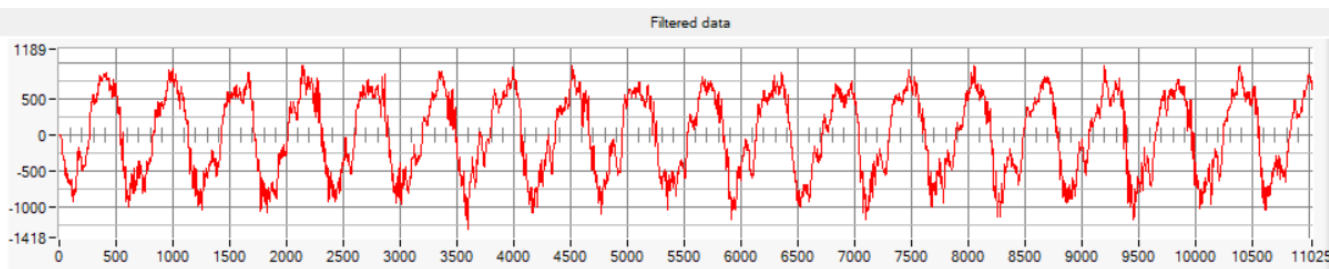


Fig. 5. Semnalul filtrat prin mediere pe 32 de elemente

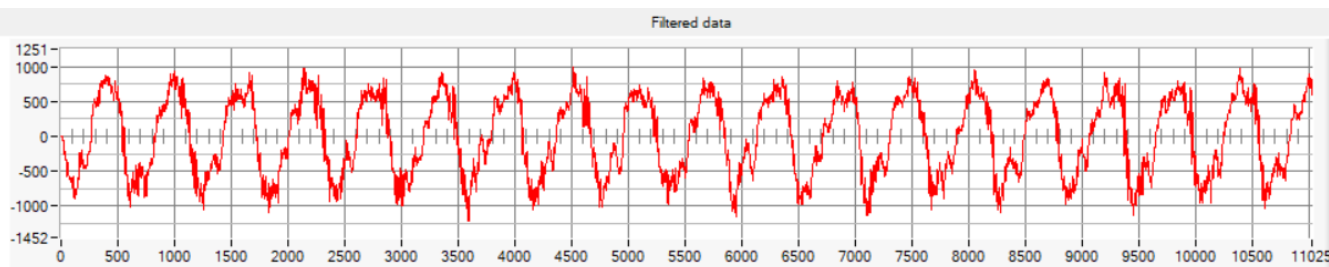


Fig. 6. Semnalul filtrat prin filtru de ordin I cu  $\alpha = 0.1$

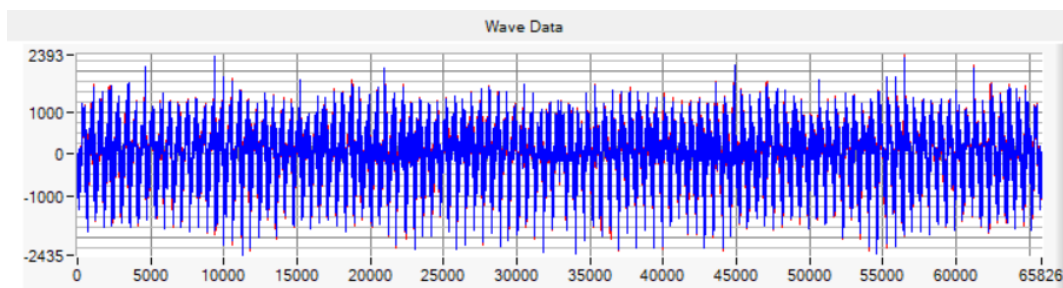


Fig. 7. Semnalul WAV ■ și filtrul Butterworth LP pentru 1/3 din frecvențe ■

importanță mai mare elementelor anterioare, iar dacă se apropie de 1, elementul curent are o pondere mai mare.

Semnalul filtrat este afișat ulterior pe graficul „*Filtered data*”. Filtrul de mediere, prezentat în Fig. 5, este eficient pentru eliminarea zgomotului uniform ce fluctuează brusc, iar filtrul de ordin I, din Fig. 6, controlează mai bine proporția semnalului păstrat și eficiența sa se observă la zgomote aleatoare.

### III. ANALIZA SEMNALULUI ÎN DOMENIUL FRECVENȚĂ

Spre deosebire de domeniul temporal, unde semnalele sunt analizate în funcție de amplitudinea lor la un moment dat, domeniul frecvențelor oferă o perspectivă complementară, dezvăluind structura spectrală și frecvențele caracteristice ale semnalului. Această abordare ne permite descompunerea unui semnal în sinusoidale din care este alcătuit. Astfel avem o imagine clară asupra semnalului și putem localiza și elimina mai eficient zgomotele, sau diferite frecvențe care ne preocupă. Cunoscând frecvențele componente ale unui semnal, putem stoca aceste informații într-un mod compact, permițând reproducerea ulterioară a semnalului. Această abordare este semnificativ mai eficientă decât memorarea integrală a valorilor brute. De asemenea, în acest mod se pot compara util semnalele și putem recunoaște dacă o porțiune aparține altuia.

Navigarea pe cel de-al doilea panou se realizează printr-un comutator „*Switch Panel*”. Acest panou conține un grafic „*Wave Data*” pe care putem selecta ce semnale dorim să afișăm (semnalul WAV și filtrul aplicat). Cele două filtre ce pot fi aplicate asupra semnalului sunt:

- Filtru Butterworth trece jos (Fig. 7) pentru o treime din frecvențele spectrului. Acest filtru elimină o treime din frecvențele înalte, corespunzătoare unei treimi din frecvența de eșantionare. Pentru a obține o aproximare mai apropiată de caracteristica ideală, s-a optat pentru un filtru de ordin cinci. Un astfel de filtru nu are riplu în banda de trecere, nici în cea de tranziție, iar descreșterea în banda de tranziție este monotonă.

- Filtru Chebyshev trece sus (Fig. 8), de ordin cinci, pentru o treime din frecvențele spectrului. Acesta elimină o treime din frecvențele joase, corespunzătoare unei treimi din frecvența de eșantionare. Banda de tranziție este mai îngustă decât cea a unui filtru Butterworth, însă prezintă riplu în banda de trecere și în cea de stop.

Ambele filtre sunt de tip IIR (Infinite Impulse Response), permițând calculul valorilor pe baza celor precedente, ceea ce permite menținerea unei memorii infinite și clasificându-le ca fiind recursive. Filtrele IIR sunt mai eficiente decât cele FIR (Finite Impulse Response), deoarece necesită mai puțini coeficienți și calcule [3].

La apăsarea butonului „*Start*” se pornește un timer, care la fiecare tick aplică o fereastră semnalului, pe un număr de puncte selectat din controlul „*Number of Points*”. Forma ferestrei aplicate este afișată pe graficul „*Window*”, iar semnalul ferestruit pe „*Windowed Signal*”. După fereastră se calculează spectrul de putere scalat [2] pe semnalul ferestruit și se reprezintă pe „*Frequency Spectrum*”. Semnalul pe care se aplică fereastra și se calculează spectrul poate fi selectat cu ajutorul controlului „*Spectrum Data*” (semnalul WAV sau cel filtrat IIR). Acest procedeu de fereastră și

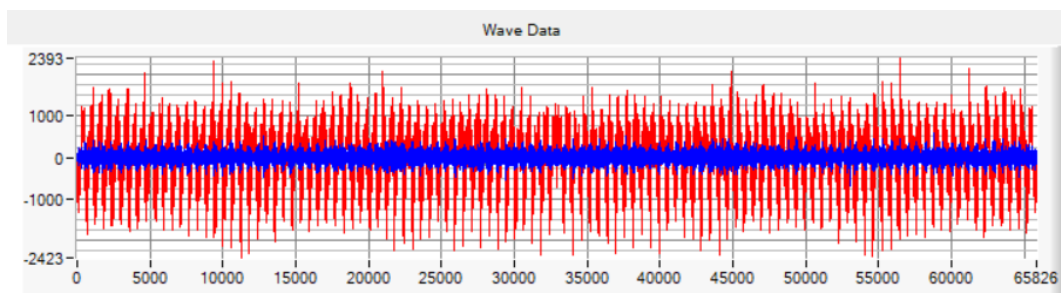


Fig. 8. Semnalul WAV ■ și filtrul Chebyshev HP de ordin 5 pentru 1/3 din frecvențe ■

calcularea spectrului iterativă pe un număr de puncte permite determinarea momentului în care apar noi frecvențe, deoarece, în momentul aplicării transformatei Fourier pentru calculul spectrului, informațiile legate de momentele de timp se pierd [4].

Ferestrele ce pot fi aplicate și cu ajutorul cărora este calculat spectrul sunt de două tipuri:

- Fereastră dreptunghiulară (Fig. 9), ce permite vizualizarea semnalului pe intervalul selectat de puncte.

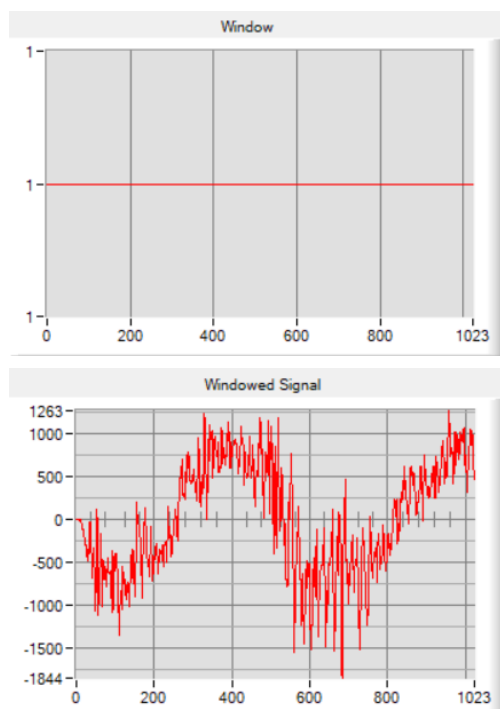


Fig. 9. Fereastră de tip dreptunghiular și semnalul ferestruit pe primul eșantion de 1024 de puncte

- Fereastră Hamming (Fig. 10), ce atenuează efectele de scurgere spectrală. Aceasta multiplică valorile semnalului astfel încât amplitudinile de la margini să fie reduse treptat la zero, permițând ca semnalul ferestruit să își păstreze periodicitatea.

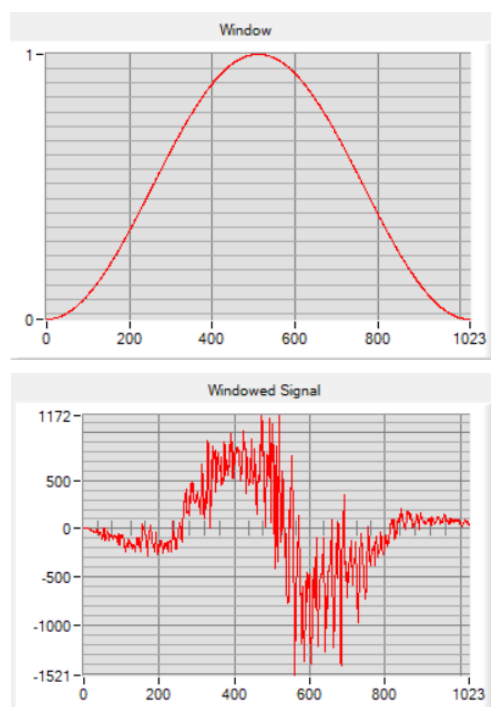


Fig. 10. Fereastră de tip Hamming și semnalul ferestruit pe primul eșantion de 1024 de puncte

În Fig. 11 este prezentat spectrul semnalului WAV nefiltrat, iar în Fig. 12 și Fig. 13 sunt ilustrate spectrele semnalului filtrat utilizând filtrele Butterworth LP, respectiv Chebyshev HP, evidențiind eliminarea frecvențelor nedorite.

Prin aplicarea filtrului Butterworth LP sunt eliminate frecvențele mai mari de 3668 Hz (frecvențele mai mari de două treimi din frecvența de eșantionare). Se observă faptul că filtrul nu are riplu în banda de trecere, nici în cea de tranziție. Filtrul Chebyshev HP elimină frecvențele mai mici decât 1834 Hz (frecvențele mai mici de o treime din frecvența de eșantionare), dar riplul din banda de stop este proeminent.

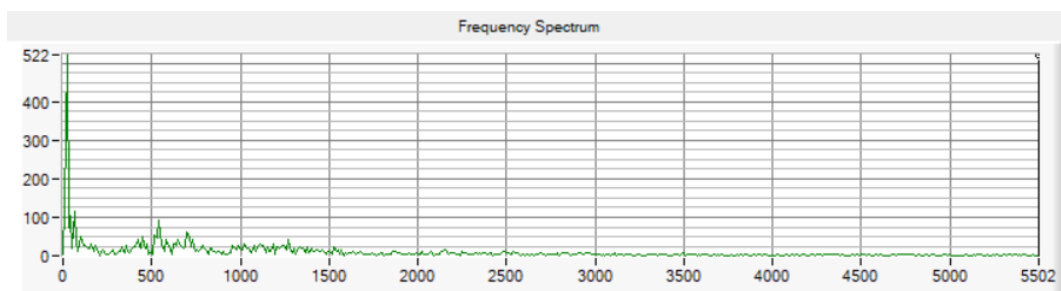


Fig. 11. Spectrul semnalului WAV nefiltrat pe primul eșantion de 1024 de puncte

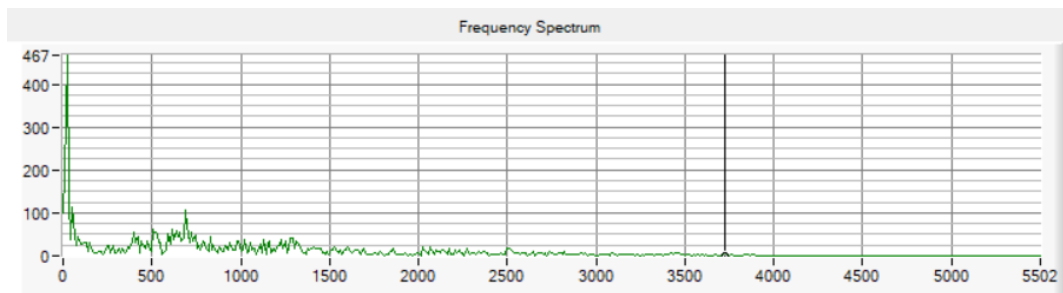


Fig. 12. Spectrul semnalului filtrat cu filtru Butterworth LP pe primul eșantion de 1024 de puncte

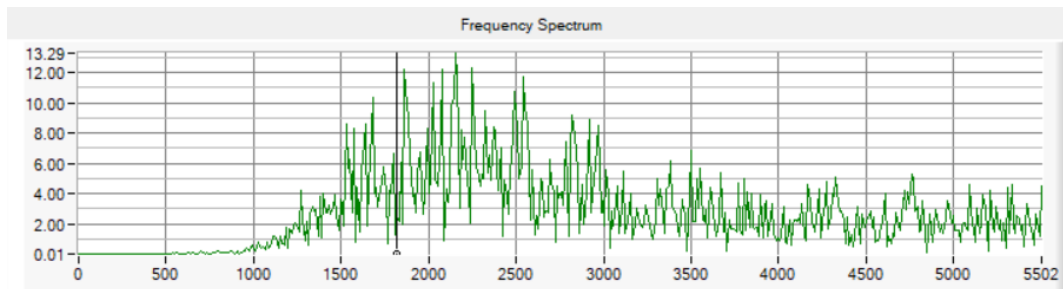


Fig. 13. Spectrul semnalului filtrat cu filtru Chebyshev HP pe primul eșantion de 1024 de puncte

## CONCLUZII

Aplicația se aliniază cu progresele recente în domeniul DSP, care a devenit un pilon fundamental în analiza și manipularea semnalelor audio. Tehnicile de procesare permit extragerea de informații semnificative din semnale complexe, facilitând aplicații în diverse domenii.

Modelul propus a avut ca scop dezvoltarea unei aplicații interactive pentru analiza, procesarea și vizualizarea semnalelor audio, facilitând manipularea acestora în diverse domenii, cum ar fi educația și aplicațiile audio. Acesta implementează încărcarea semnalelor audio și analiza lor în domeniul timp și frecvență, generarea de statistici și histograme pentru vizualizarea distribuției semnalului, aplicarea de filtre digitale pentru îmbunătățirea calității și analiza spectrului de frecvențe pentru o mai bună înțelegere a componentelor.

Aplicația poate fi extinsă cu funcționalități suplimentare, cum ar fi integrarea de noi tipuri de filtre în domeniul timp și frecvență, ferestre și prelucrări. Pot fi adăugate statistici și controale suplimentare, sau un meniu ce permite încărcarea mai multor semnale simultan și prelucrarea lor fie separat, fie împreună. De asemenea, poate fi modificată interfața, culorile sau modul de reprezentare pentru a fi mai sugestivă.

## REFERENCES

- [1] Steven W. Smith, „Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists”, 2003
- [2] Siemens, „Spectrum versus Autopower”, 2020. Disponibil la: [Spectrum versus Autopower](#)
- [3] Siemens, „Introduction to Filters: FIR versus IIR”, 2020. Disponibil la: [Introduction to Filters: FIR versus IIR](#)
- [4] Siemens, „Windows and Spectral Leakage”, 2019. Disponibil la: [Windows and Spectral Leakage](#)