



Universitatea tehnică “Gheorghe Asachi” Iași
Facultatea de Automatică și Calculatoare
Specializarea Calculatoare și Tehnologia Informației

Proiect

Disciplina : Achiziția și prelucrarea datelor

Analiza unui semnal sonor în timp și frecvență

Coordonator,
Prof. Lupu Robert Gabriel

Student,
Buțu Alexandra-Gabriela
Grupa 1306B

Iași, 2023

Descrierea proiectului

Proiectul își propune analiza unui semnal sonor în domeniul timp și în domeniul frecvență. Accentul cade pe procesarea digitală (matematică) a semnalului, nu pe cea analogică.

Analiza în **domeniul timp** consta în extragerea valorilor : valoarea minimă, valoarea maximă, indexul valorii minime, indexul valorii maxime, valoarea medie, mediana, dispersia, numărul de treceri prin 0, histograma , anvelopa, derivata semnalului, semnalul rezultat la filtrarea prin mediere (pe 16/32 de puncte) și filtrarea cu element de ordin I cu α în intervalul (0,1).

În **domeniul frecvenței** s-a reprezentat spectrul, s-au aplicat ferestrele: Blackman-Harris, Welch și filtrele: FIR EquiRpl și Eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz.

Cerințele proiectului

Se cere analiza fișierului „6.wav” în timp și în frecvență. Pentru determinarea eșantioanelor se va folosi un script python ce va crea doua fișiere: unul cu frecvența de eșantionare și numărul de eșantioane, celălalt conține eșantioanele semnalului.

Etapa I

Eșantioanele semnalului vor fi afișate pe un grafic și se vor determina minimul, maximul, indecsii acestor valori, dispersia, valoarea medie, mediana, numărul de treceri prin 0 și histograma. Pe același grafic poate fi suprapusa și anvelopa semnalului și derivata. În domeniul timp se vor aplica doua filtre: filtrul prin mediere (pe 16 sau 32 de elemente) sau filtrarea cu element de ordin I. Se vor putea salva ca imagini graficele obținute atât pe tot semnalul cât și pe intervale.

Etapa 2

A doua parte urmărește analiza în frecvența care presupune afișarea spectrului pe o fereastră de timp de 1024, 2048, 4096 etc. puncte. Se vor aplica ferestrele: Blackman-Harris, Welch și filtrele FIR EquiRpl și Eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz. Graficele obținute vor fi salvate în imagini.

* Opțional au fost construite fișiere audio „.wav” pentru a observa sonor rezultatele procesării matematice.

Medii de dezvoltare și fișiere utilizate

În realizarea proiectului s-au folosit ca medii de dezvoltare LabWindows/CVI 2020(de la National Instruments) pentru crearea interfeței vizuale și majoritatea procesărilor numerice, limbajul de programare folosit a fost ANSI C.

În afara fișierelor .c, .uir(interfața grafică), și .h sau folosit și librării speciale pentru procesarea de semnale. Având în vedere suportul solid oferit de python atât matematic cât și în procesarea diferitelor tipuri de fișiere, eșantioanele au fost extrase din fișierul .wav utilizând un script cu apeluri ale funcțiilor din biblioteca numpy, cât și pentru conversia eșantioanelor filtrate înapoi în wav. Determinarea anvelopei a fost făcută de asemenea tot în acest limbaj folosind numpy și biblioteca signal din scipy. Mediile de dezvoltare pentru python au fost python3.8(interpretor cod) si Visual Studio Code(editare script).

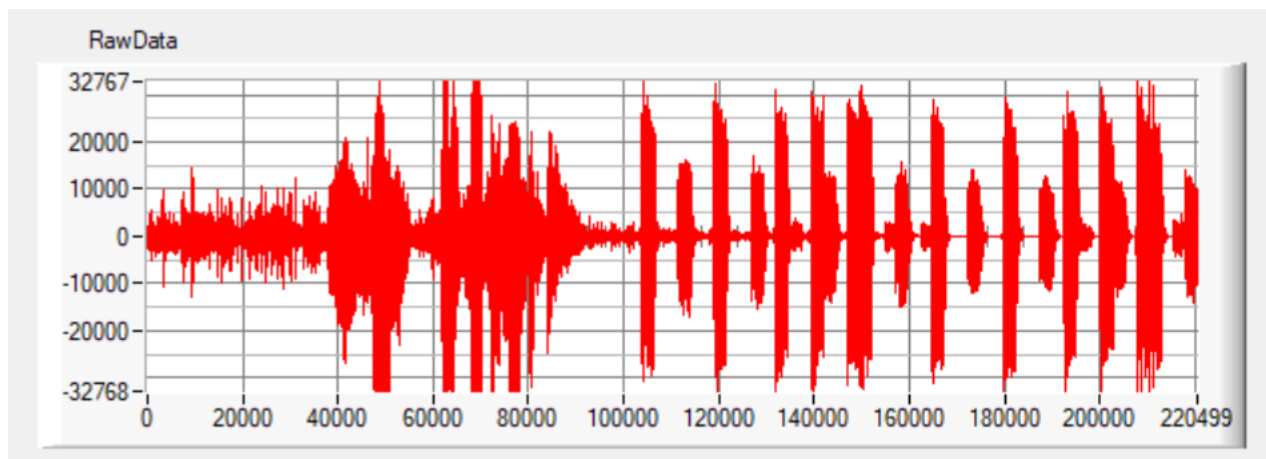
Etapa 1: analiza în domeniul timp

Prima parte a analizei în domeniul timp este extragerea frecvenței de eșantionare, a numărului de eșantioane și a eșantioanelor. Ulterior eșantioanele se afișează pe un grafic și se determină: minimul(- 32768.00), maximul(32767.00),

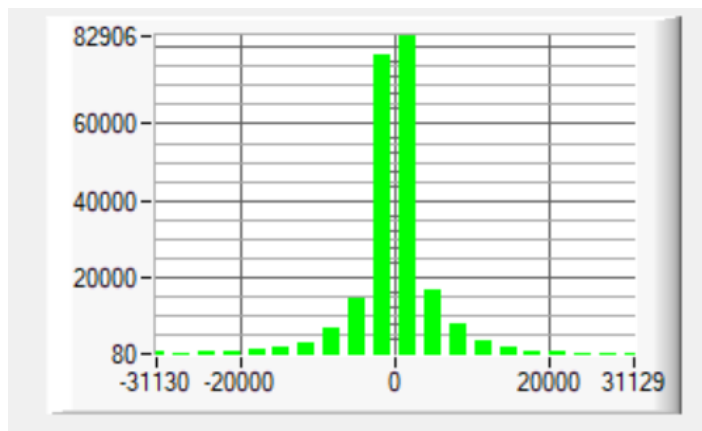
media(12.75), mediana(10.00), dispersia(5048.70), numărul de treceri prin 0(28624), histograma și anvelopa semnalului.

Determinarea valorilor s-a făcut apelând la funcții CVI precum: MaxMin1D(pentru maxim și minim), Mean(pentru medie), StdDev(pentru dispersie), Median(pentru mediana). Pentru calculul Histogramei s-a folosit funcția Histogram din mediul de dezvoltare. Numărul de treceri prin 0 a fost calculat prin parcurgerea vectorului de eșantioane și numărarea schimbărilor de semn. Anvelopa a fost determinată cu ajutorul transformatei Hilbert folosind limbajul Python.

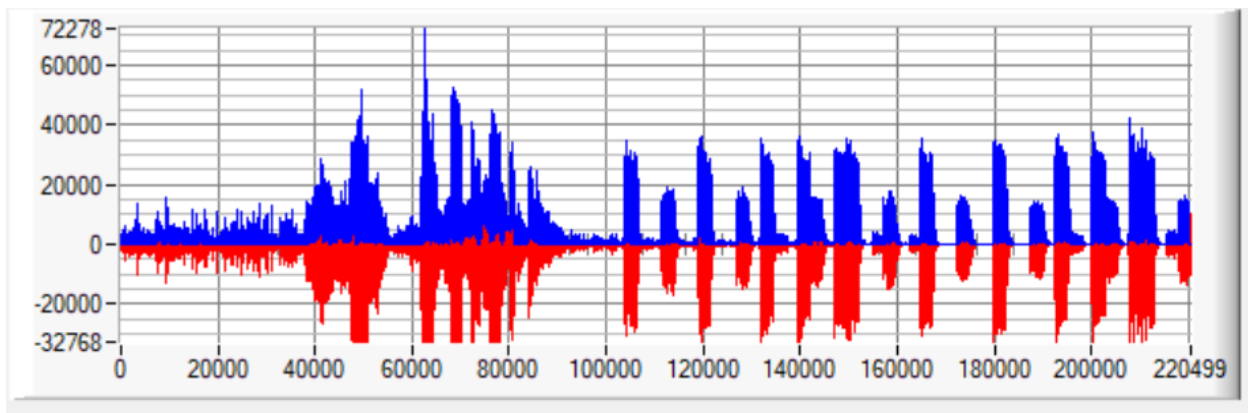
Reprezentarea grafica a semnalului inițial:



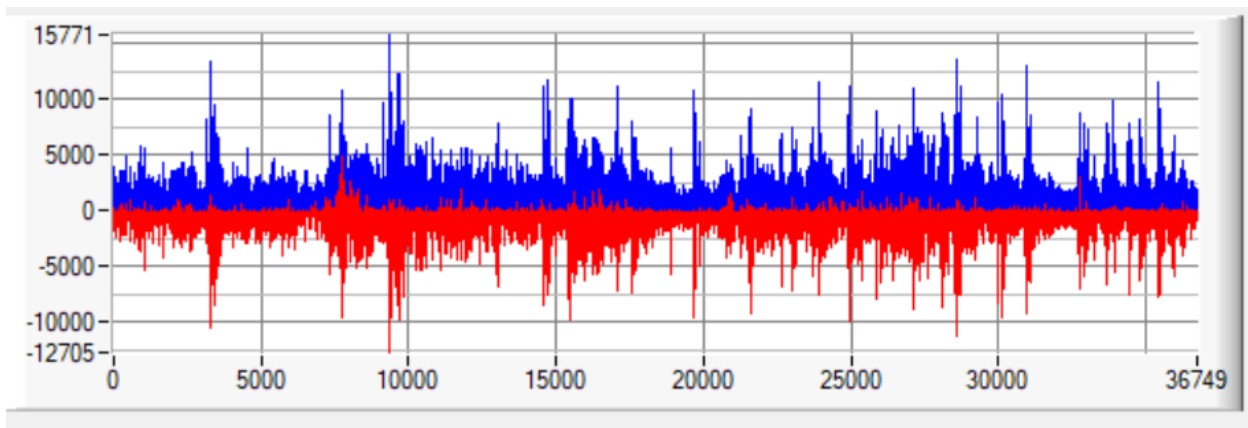
Histograma semnalului:



Anvelopa semnalului suprapusă peste semnal:



Anvelopa semnalului pentru secunde 0-1 :

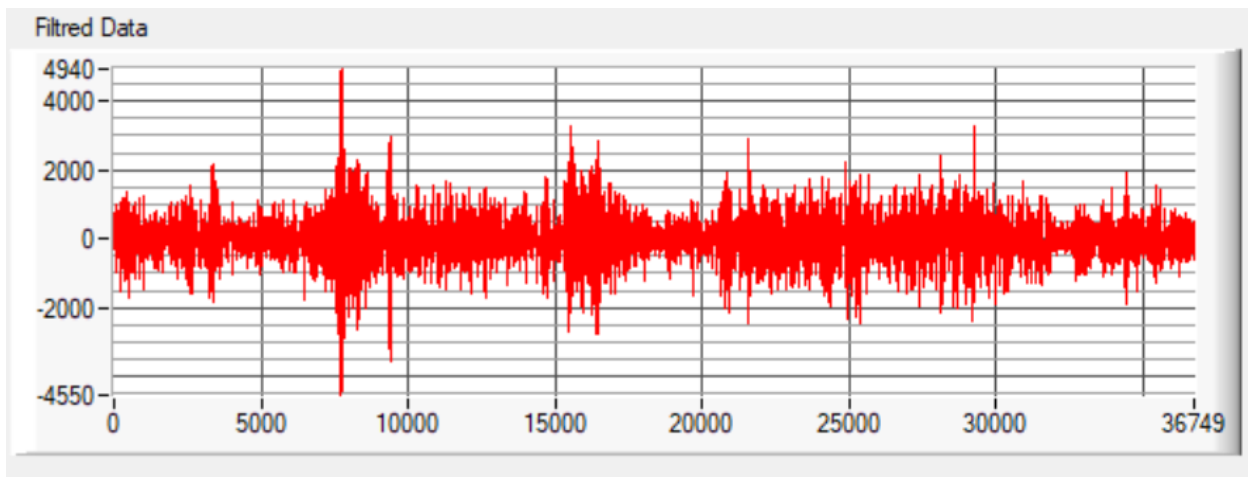


În domeniul timp se implementează două tipuri de filtre: prin mediere (pe 16 sau 32 de elemente) și cu element de ordin I ($\text{filt}[i] = (1 - \alpha) \cdot \text{filt}[i-1] + \alpha \cdot \text{signal}[i]$), unde signal este vectorul de eșantioane, filt semnalul filtrat rezultat și α un parametru a cărui valoare se va putea alege de pe interfața.

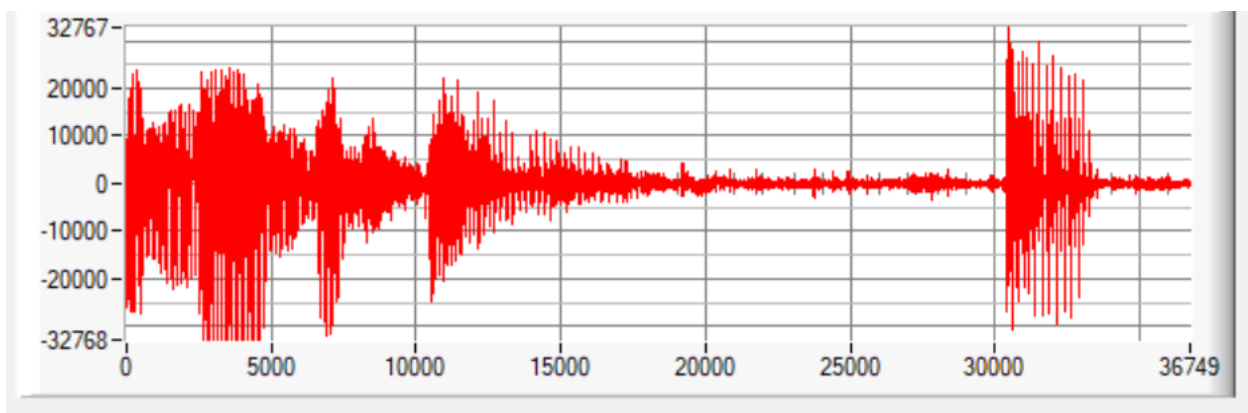
Filtrarea prin mediere

Pentru mediere s-a parcurs vectorul de la 0 până la numărul de eșantioane – dimensiunea ferestrei, calculând media pe grupuri de dimensiunea ferestrei, pentru fiecare element s-a făcut media cu următoarele „dimensiune fereastră” -1 elemente. Ultimele elemente nu au fost filtrare, în cazul lor s-a realizat simpla copiere a valorilor.

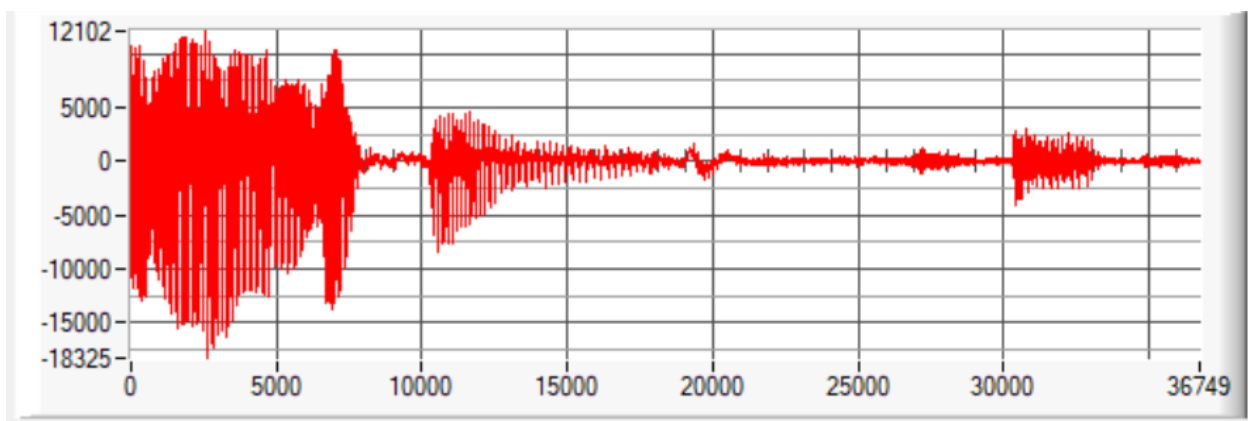
Semnalul filtrat prin mediere pe 32 de eşantioane:



Semnalul inițial pe secunda 2-3:



Semnalul filtrat prin mediere pe 32 de eşantioane secunda 2-3:

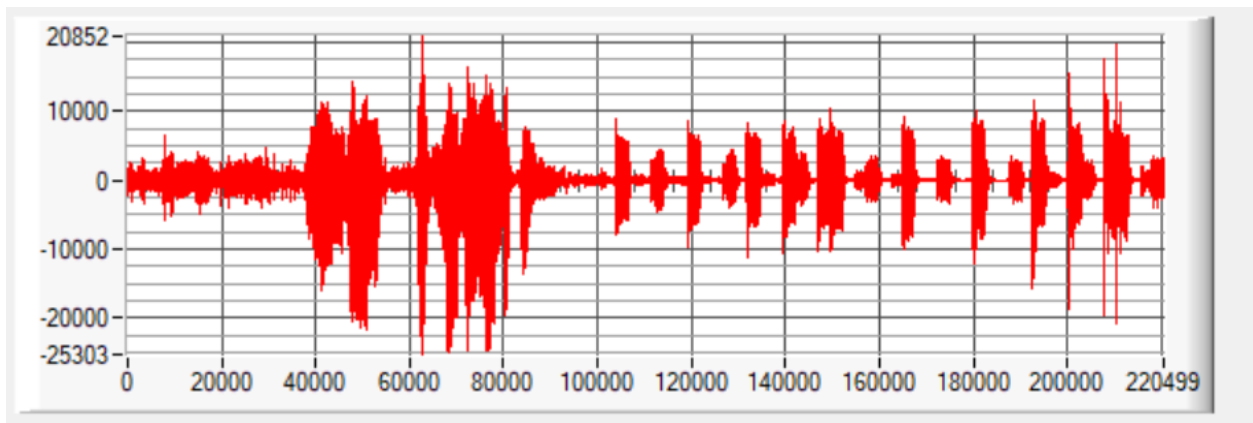


Se poate observa uniformizarea valorilor (se elimina variațiile mari dintre două eşantioane).

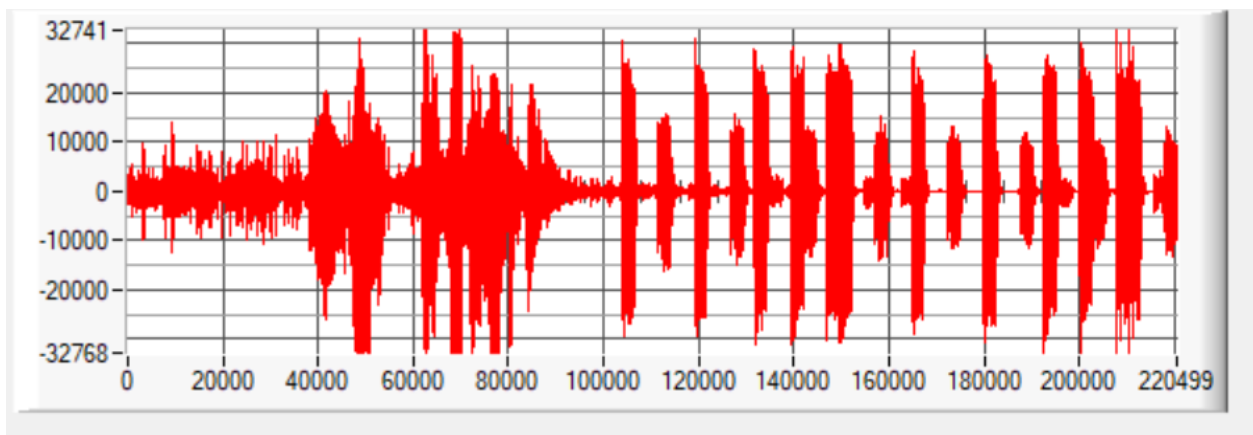
Filtrarea cu element de ordin I

Se aplica formula amintită mai sus cu valoarea lui α între 0 și 1, ce se poate alege de pe interfață. Când α este aproape de 0 semnalul filtrarea semnalului va fi mai evidentă, dacă valoarea lui α este aproape de 1 semnalul filtrat va varia puțin față de cel inițial

Semnalul filtrat cu element de ordin I, $\alpha = 0.1$:



Semnalul filtrat cu element de ordin I, $\alpha = 0.9$:



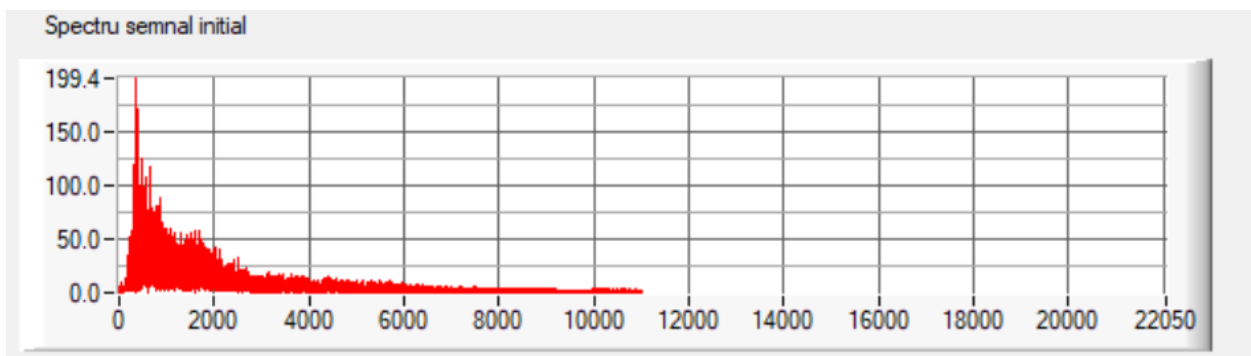
Etapa 2: analiza în domeniul frecventelor

Au fost realizate operațiile în trei metode: pe tot semnalul: calculul spectru, filtrare, ferestruire, spectru semnal rezultat (pe numărul de eșantioane ales de pe interfață),

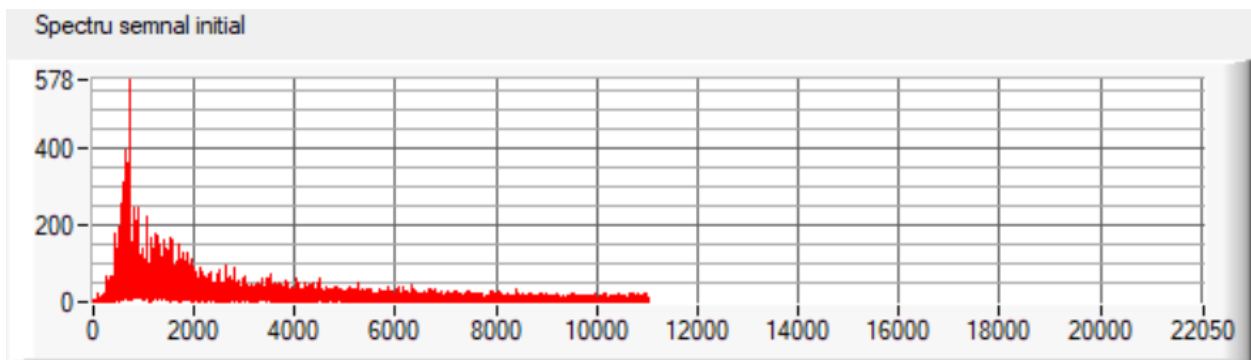
pe o anumita secundă aleasă de pe interfață, sau pe o dimensiune 1024, 2048, 4096, 8192, 16384 sau 32768 aleasă de pe interfață.

Prima parte are în vedere determinarea spectrului semnalului achiziționat cu ajutorul funcțiilor CVI ScaledWindowEx, AutoPowerSpectrum, PowerFrequencyEstimate și SpectrumUnitConversion.

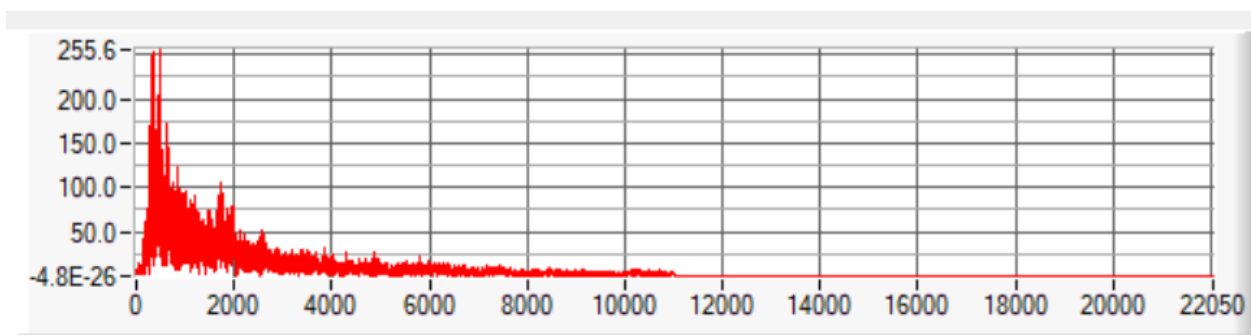
Spectru semnal inițial:



Spectru semnal inițial pe secunda 3-4:

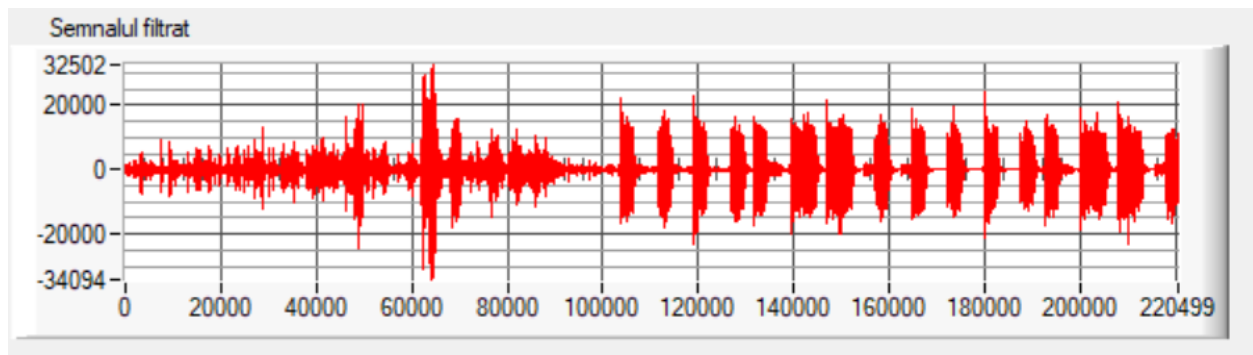


Spectru semnal inițial pe 8192 puncte, cadrul 3:

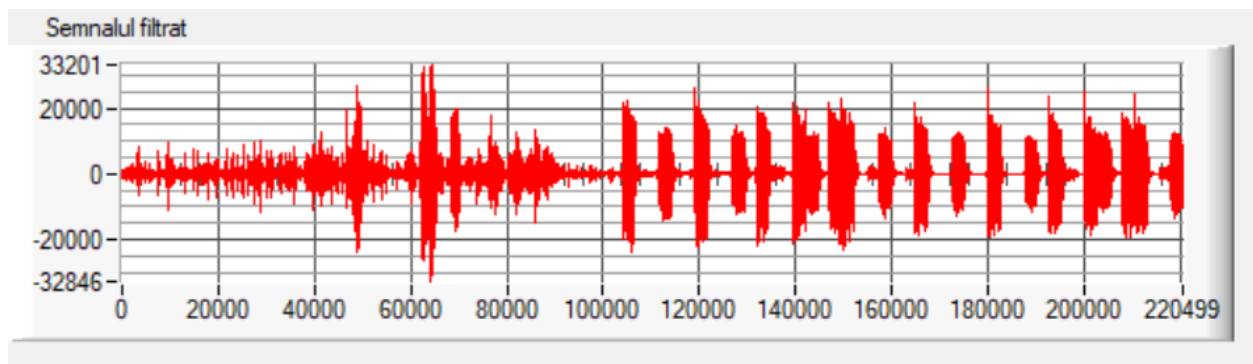


A doua parte este filtrarea semnalului cu filtrele FIR EquiRplsi Eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz. Pentru primul filtru frecvențele ce delimitează banda în care este frecvența de tăiere pot fi alese de pe interfață, ordinul filtrului a fost stabilit la 240 după o analiza în Matlab (Filter Designer) și o bandă de tranziție de 250Hz, intervalul [950,1200] . Al doilea filtru are deja frecvența de tăiere stabilită la 1100 Hz, fiind mai eficient și cu un ordin mult mai mic.

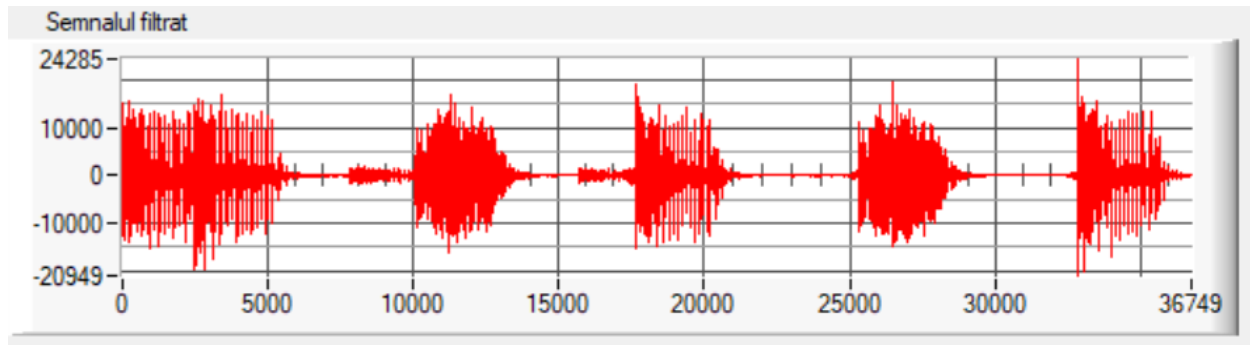
Tot semnalul audio(6 s) filtrat cu filtru eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz, număr de puncte 8192:



Tot semnalul audio(6 s) filtrat cu filtru FIR EquiRpl trece sus, interval pentru frecvența de tăiere [950,1200], număr de puncte 8192.



Secunda 4-5 filtrată cu filtru eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz, număr de puncte 1024:



Ferestrele folosite pentru a vizualiza mai bine spectrul înaintea calculării sale sunt Blackman-Harris și Welch.

!Este important ca acestea să se aplice înainte de a calcula spectrul pentru a limita scurgerea spectrală și pentru a evidenția liniile spectrale de frecvențe apropiate.

Fereastra **Blackman-Harris** este descrisă de ecuația:

$$Y_i = X_i \left(0.42323 - 0.49755 \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right) + 0.07922 \cos\left(\frac{4\pi i}{n}\right) \right)$$

Pentru $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$

Această fereastră este utilă pentru orice tip de semnal

- are o rezoluție în frecvență slabă
- elimină foarte bine scurgerea spectrală
- amplitudinea este bună

Fereastra **Welch** este descrisă de ecuația:

$$y_i = x_i \left[1 - \left(\frac{i - n/2}{n/2} \right)^2 \right]$$

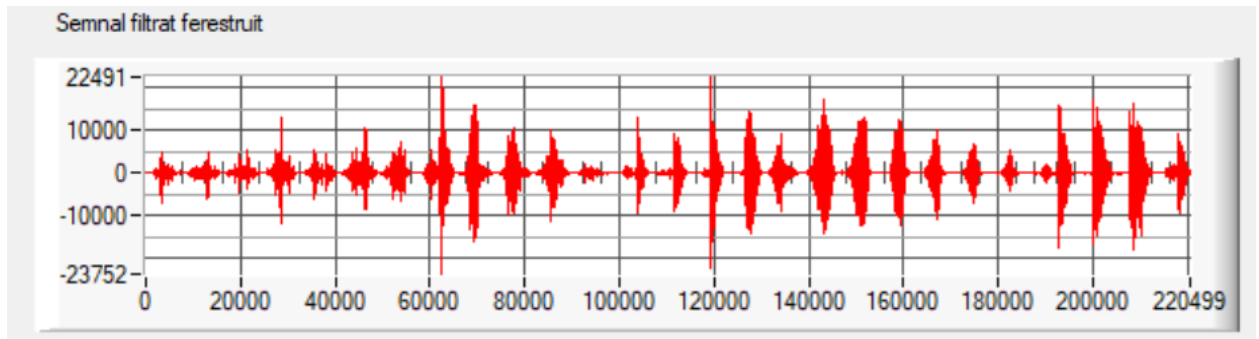
pentru $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$

Aceasta este potrivită pentru orice tip de semnal:

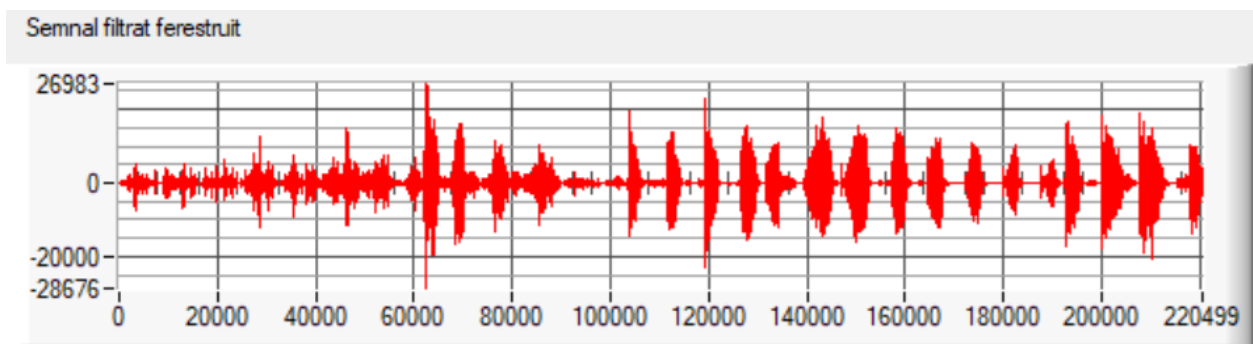
- rezoluția în frecvență este bună
- scurgerea spectrală este eliminată destul de bine

- acuratețea amplitudinii mai slabă, dar acceptabilă

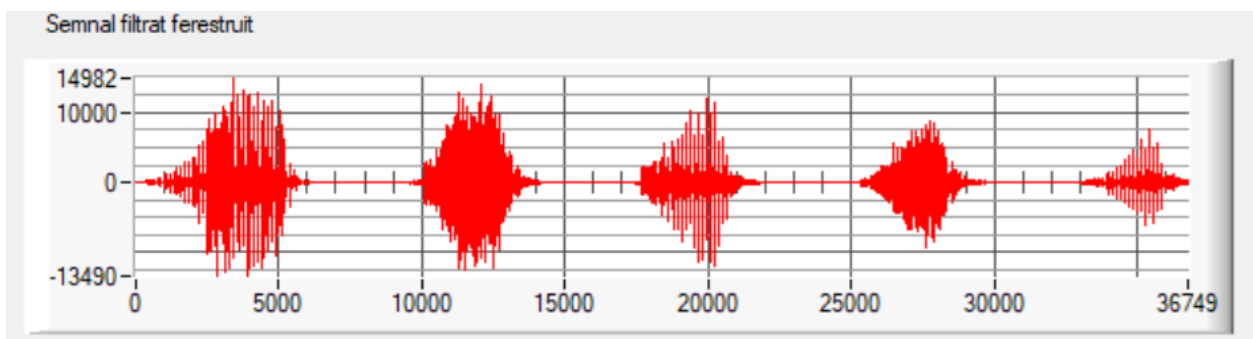
Semnal filtrat cu filtru eliptic trece sus frecvența de tăiere 1100 Hz, ferestruit cu fereastra BlackmanHarris, număr de puncte 8192:



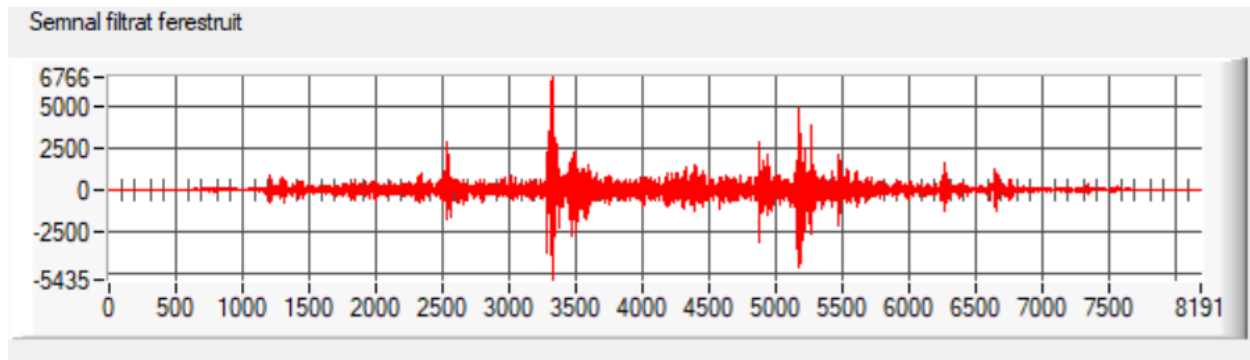
Semnal filtrat cu filtru eliptic trece sus frecvența de tăiere 1100 Hz, ferestruit cu fereastra Welch, număr de puncte 8192:



Semnal(secunda 4-5) filtrat cu filtru eliptic trece sus frecvența de tăiere 1100 Hz, ferestruit cu fereastra Blackman-Harris, număr de puncte 8192:

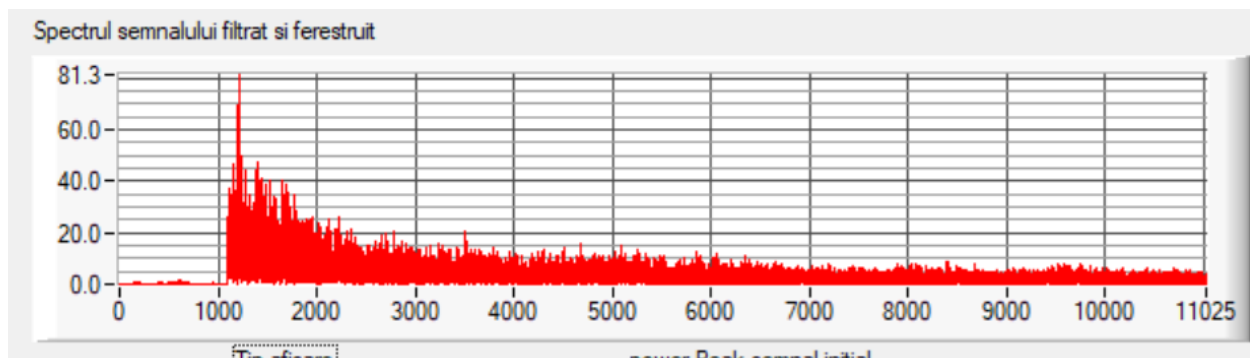


Grafic semnal fereastră Blackman-Harris, filtru Eliptic, număr de puncte 8192, cadrul 4:

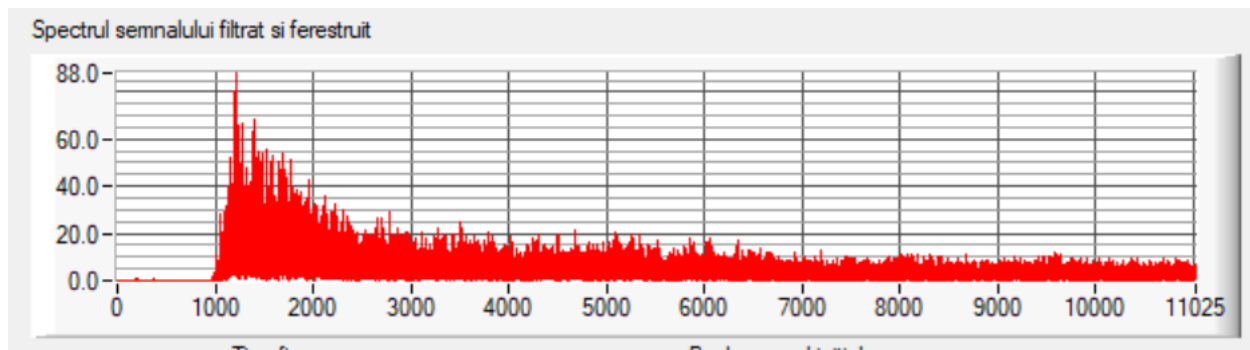


Spectrul semnalului filtrat și ferestruit:

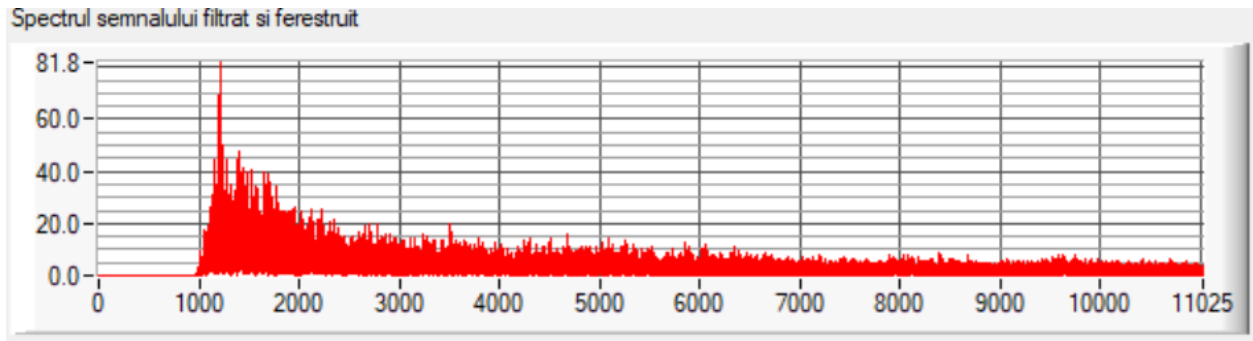
Grafic spectru ferestruit cu fereastră Blackman-Harris, filtrat cu filtru Eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz, număr de puncte 8192, pe tot sunetul



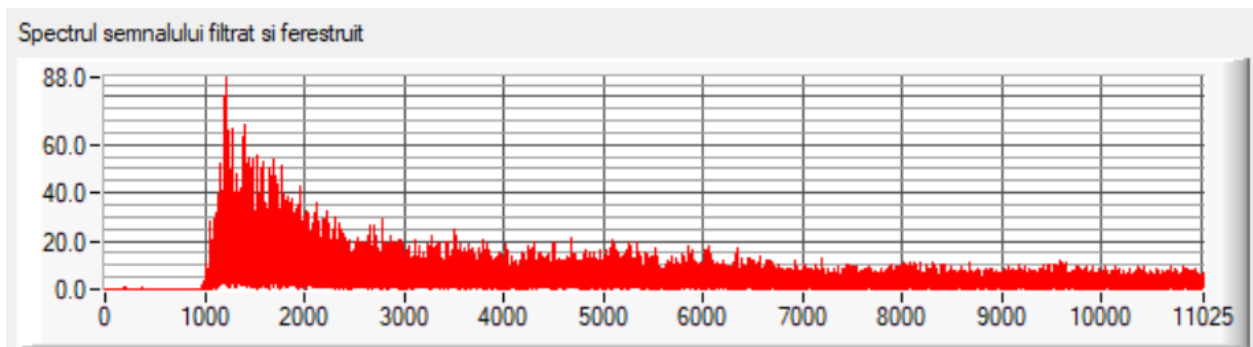
Grafic spectru ferestruit cu fereastră Welch, filtrat cu filtru Eliptic trece sus cu frecvența de tăiere 1100 Hz, număr de puncte 8192 pe tot sunetul



Grafic spectru ferestruit cu fereastră Blackman-Harris, filtrat cu filtru FIR EquiRpl trece sus cu frecvența de tăiere în intervalul [950, 1200], număr de puncte 8192:



Grafic spectru ferestruit cu fereastra Welch, filtrat cu filtru FIR EquiRpl trece sus cu frecvența de tăiere în intervalul [950, 1200], număr de puncte 8192



Din spectrele obținute cu ajutorul celor două tipuri de filtre se observă tăierea foarte clară a unui filtru cu răspuns finit(Eliptic trece sus) și dificultatea de tăiere bună a frecvențelor cu ajutorul unui filtru cu răspuns infinit în ciuda ordinului mare(240).