

**PROIECT**

**IDENTIFICAREA SISTEMELOR**

**FILTRAREA SEMNALELOR**

***FACULTATEA DE AUTOMATICA SI  
CALCULATOARE***

***INGINERIA SISTEMELOR***

***FRENT PARASCHIVA-CRISTINA 3.1***

## **Introducere**

Filtrarea semnalelor reprezintă un proces fundamental în prelucrarea semnalelor, utilizat pentru eliminarea zgomotului, separarea componentelor utile și extragerea informațiilor relevante. Această tehnologie are o aplicabilitate vastă în domenii precum telecomunicații, procesarea audio și video, biomedicină și ingineria sistemelor.

**Scopul** acestui proiect este de a analiza și implementa metode de filtrare a semnalelor, demonstrând utilitatea acestora printr-un studiu de caz practic. **Tema** este de actualitate datorită cerințelor tot mai mari pentru prelucrarea eficientă a datelor într-un mediu dominat de tehnologii digitale. Filtrarea corectă contribuie la creșterea performanței sistemelor și la reducerea erorilor cauzate de zgomote nedorite.

## **Dezvoltare Teoretică**

Filtrarea semnalelor se bazează pe concepte fundamentale din domeniul procesării semnalelor și matematicii, incluzând următoarele aspecte:

### **1. Clasificarea filtrelor:**

- **Filtre analogice și digitale:**
  - **Filtre analogice:** Acestea operează pe semnale continue și sunt realizate utilizând componente electronice precum rezistoare, condensatoare și bobine.
  - **Filtre digitale:** Procesează semnale discrete și sunt implementate folosind algoritmi numerici.
- **Filtre pasive și active:**
  - **Filtre pasive:** Nu necesară sursă de energie externă. Sunt realizate exclusiv din componente pasive (rezistoare, condensatoare, bobine).
  - **Filtre active:** Utilizează componente active precum amplificatoarele operaționale pentru a oferi un răspuns mai bun la frecvențe joase.
- **Tipuri de filtre din punct de vedere al frecvenței:**
  - **Filtre trece-jos:** Permit trecerea frecvențelor sub o valoare de tăiere, atenuând frecvențele mai mari.
  - **Filtre trece-sus:** Permit trecerea frecvențelor mai mari decât o valoare de tăiere.
  - **Filtre trece-bandă:** Permit trecerea semnalelor într-o bandă specifică de frecvențe.

- **Filtre oprește-bandă:** Atenuează o anumită bandă de frecvențe și permit trecerea celorlalte componente.

## 2. Caracteristici fundamentale ale filtrelor:

- **Răspuns într-un domeniu temporal:**
  - **Răspuns impulsional:** Reprezintă comportamentul filtrului la un semnal de tip impuls.
  - **Răspuns la treaptă:** Descrie modul în care filtrul reacționează la o intrare de tip treaptă.
- **Răspuns într-un domeniu spectral:**
  - **Funcția de transfer:** Este o reprezentare matematică a comportamentului frecvențial al filtrului, indicând cum sunt amplificate sau atenuate diferitele componente ale semnalului.
  - **Lățimea de bandă:** Intervalul de frecvențe pentru care filtrul permite trecerea semnalului fără atenuare semnificativă.

## 3. Tehnici de proiectare a filtrelor digitale:

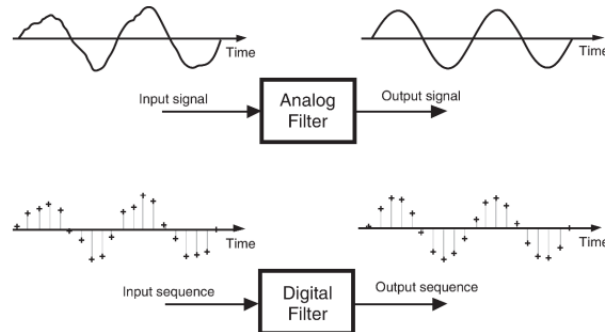
- **Proiectarea filtrelor IIR (Infinite Impulse Response):**
  - Folosesc ecuații diferențiale recursivă pentru a genera răspunsuri infinite.
  - Exemple: Butterworth (răspuns neted), Chebyshev (răspuns cu ondulații).
  - Avantaj: Realizează o atenuare mare cu un ordin mai mic al filtrului.
- **Proiectarea filtrelor FIR (Finite Impulse Response):**
  - Utiliză răspunsuri finite la impulsuri.
  - Avantaj: Fără instabilitate, cu control precis asupra fazei semnalului.
- **Metode numerice:**
  - Transformata Fourier discretă (DFT): Analizează componentele frecvențiale.
  - Transformata Z: Studiu al stabilității și răspunsului filtrelor discrete.

## 4. Aplicații ale filtrelor:

- Filtrarea zgomotului în transmisii audio/video.
- Separarea semnalelor utile în aplicații biomedicale (de exemplu, filtrarea ECG).
- Crearea egalizatoarelor în sisteme audio profesionale.

## Definiție

Filtrarea reprezintă prelucrarea unui semnal în domeniul timpului ce induce o schimbare în componența spectrală. Schimbarea constă în reducerea sau eliminare anumitor componente: filtrele permit anumitor frecvențe să treacă și le atenuează pe restul.



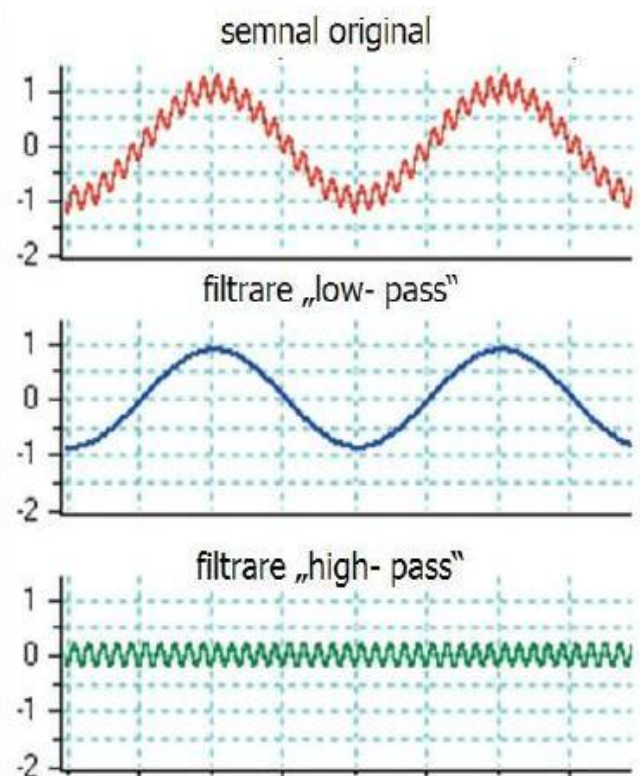
## Transformata Fourier Discretă (DFT)

### Definiție

Transformata Fourier a unui semnal discret (aperiodic):

$$\begin{aligned} X(m) &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi mn/N} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) [\cos(2\pi mn/N) - j \sin(2\pi mn/N)] \end{aligned} \quad (3)$$

- ▶  $X(m)$  – componenta  $m$  DFT (ex.  $X(0), X(1), X(2), \dots$ )
- ▶  $m$  – indicele componentei DFT în domeniul frecvenței ( $m = 0, 1, \dots, N-1$ )
- ▶  $x(n)$  – eșantioanele în timp (ex.  $x(0), x(1), x(2), \dots$ )
- ▶  $n$  – indicele eșantioanelor în domeniul timpului ( $n = 0, 1, \dots, N-1$ )
- ▶  $N$  – numărul eșantioanelor în timp la intrare și numărul componentelor în frecvență la ieșire



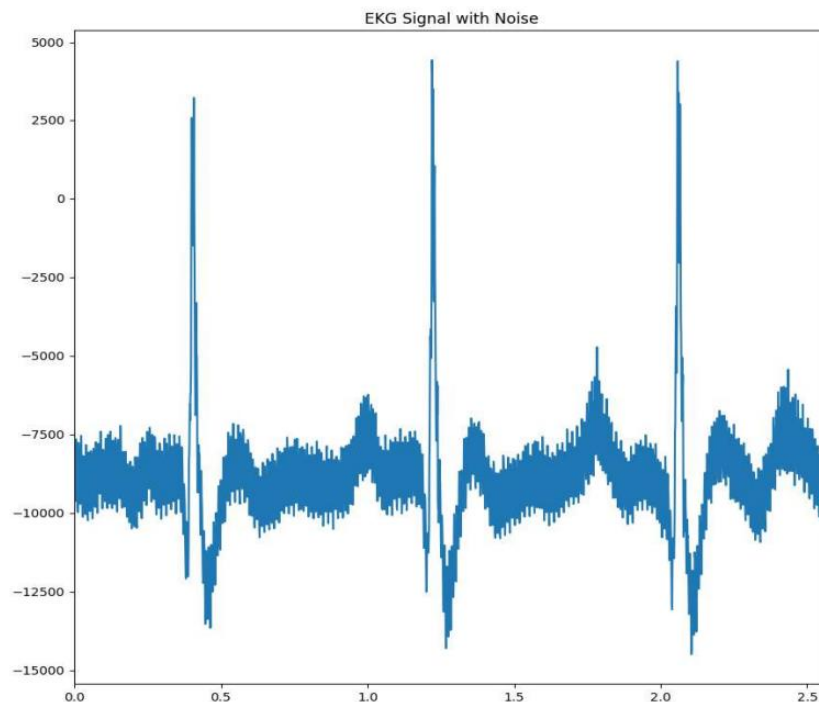
## Dezvoltare Practică

În procesarea semnalului, un filtru este un dispozitiv sau proces care elimină unele componente sau caracteristici nedorite dintr-un semnal. Filtrarea este o clasă de procesare a semnalului, caracteristica definitorie a filtrelor fiind suprimarea completă sau parțială a unui aspect al semnalului. Cel mai adesea, aceasta înseamnă eliminarea unor frecvențe sau benzi de frecvență.

### Studiu de caz:

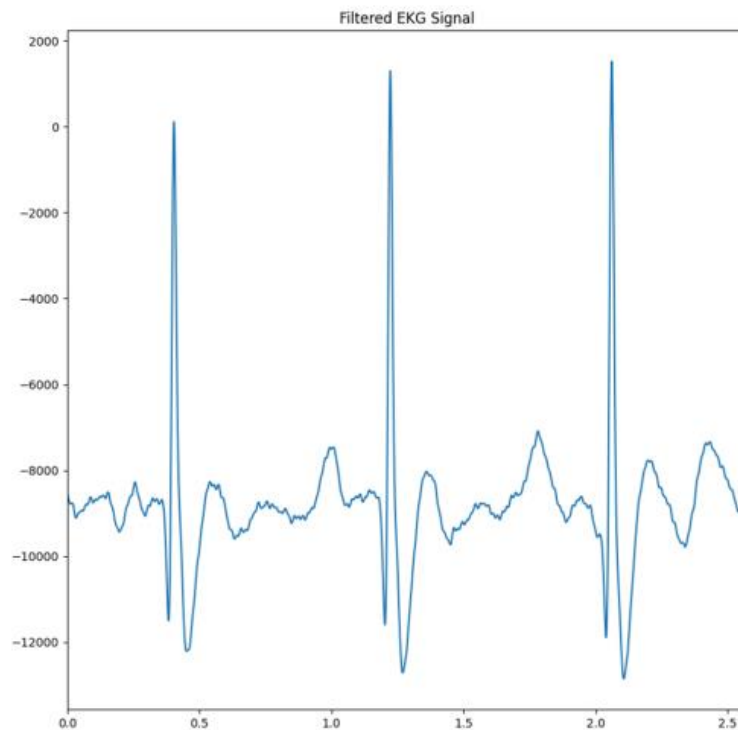
**Acest proiect are la baza filtrarea unui semnal utilizand diferite metode. Vom aplica aceste procese pe un semnal de tipul electrocardiograma (ECG sau EKG). Vom utiliza filtrul butterwoth si metoda convolutiei.**

Vom porni de la semnalul EKG.wav. Ne vom folosi in principal de 2 librarii din python: scipy si numpy si deasemenea de matplotlib pentru a vizualiza procesele. Primul lucru pe care il vom face va fi sa citim semnalul EKG din fisierul sursa pentru a putea aplica procese de filtrare pe acesta.

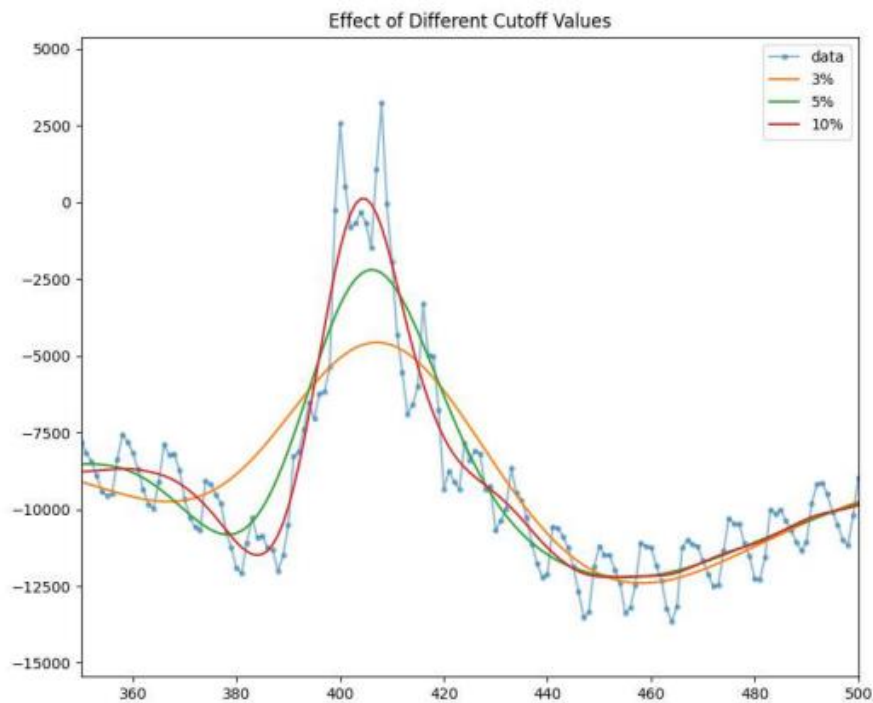


Dupa cum se vede semnalul nu este clar si are foarte mult zgomot. Zgomotul fiind un efect nedorit asupra semnalelor care poate aparea din cauza ca semnalul nostru calatoreste printr-un mediu. Zgomotul poate fluctua aleator valoarea semnalelor si perturba procesul de dezvaluire a informatiilor trimise prin intermediul unui semnal. De regula pentru a putea obtine informatii usor si clare dintr-un semnale se vrea ca raportul dintre semnal si zgomot (S/N) sa fie mai mare de 1. Daca acest raport este subunitar ne indica faptul ca avem mai mult zgomot decat semnal si informatiile nu vor fi foarte exacte sau usor de accesat.

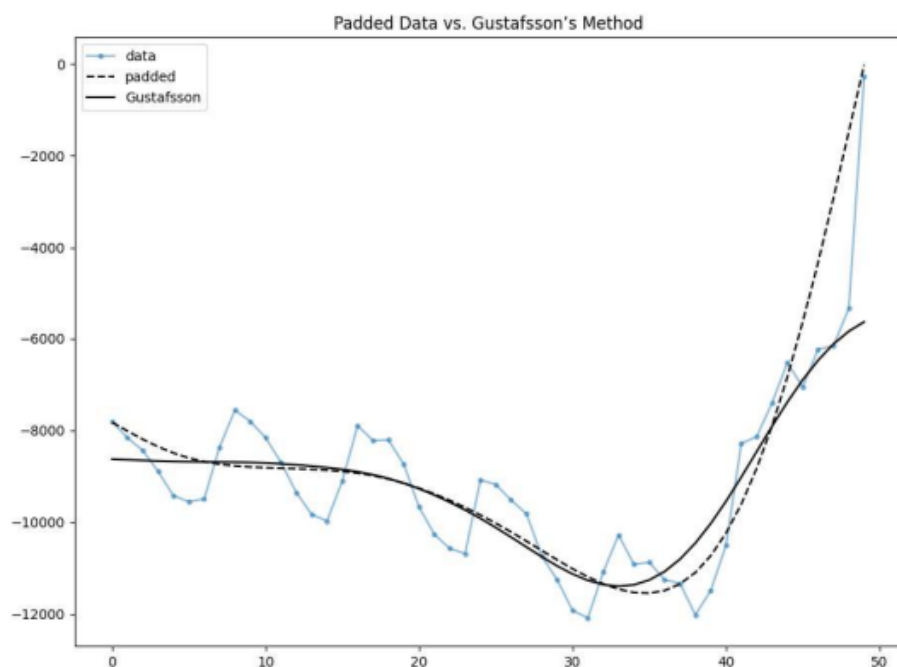
Folosind metode de tipul “moving-window” adesea va rezulta un semnal filtrat care ramane in urma semnului original (schimbare de faza). Daca vom filtra semnalul de doua ori in directii opuse folosind functia `scipy.signal.filtfilt()` vom anula aceasta schimbare de faza si vom produce un semnal filtrat care este centrat pe pe datele semnalului de intrare.



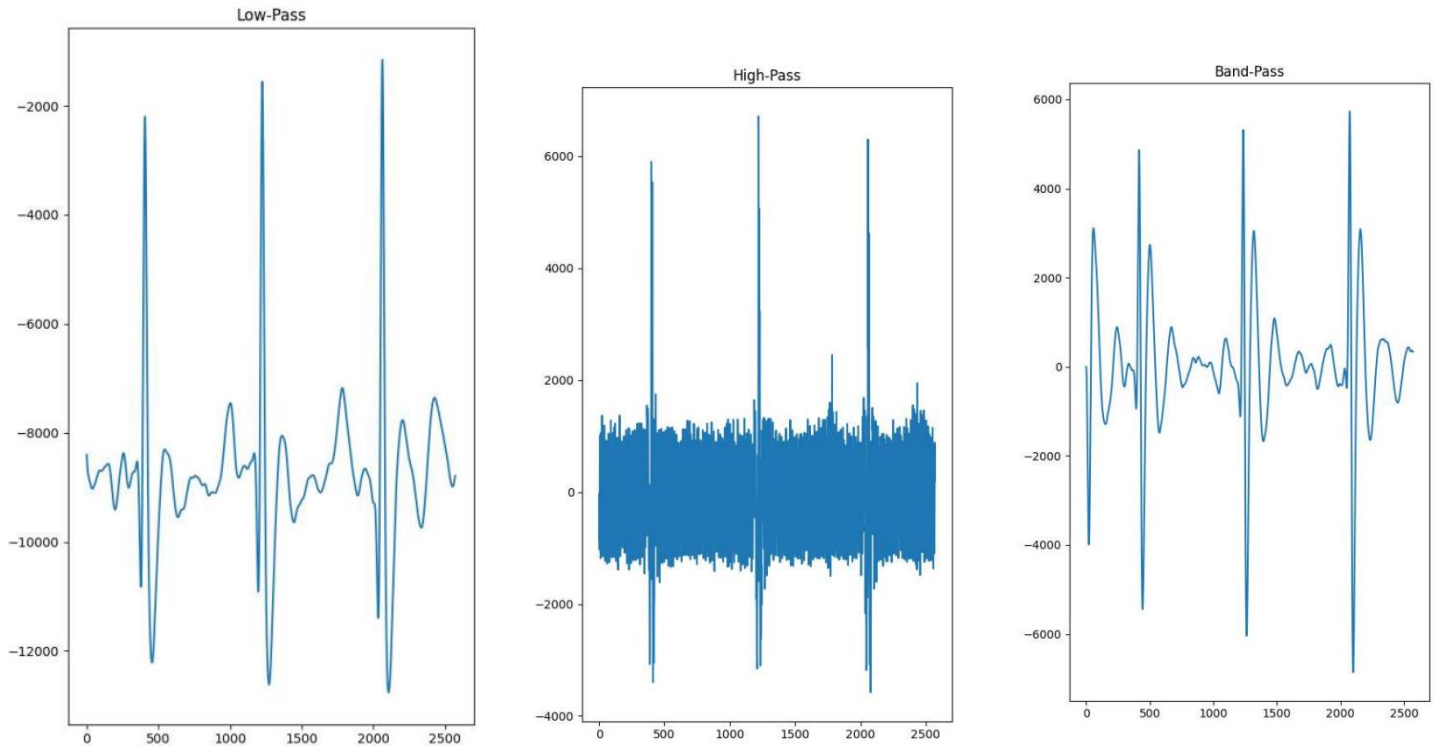
Aceasta filtrare a semnalului este realizata aplicand un filtru butterworth la o frecventa Nyquist 0.1 `b, a = scipy.signal.butter(3, 0.1)` `filtered = scipy.signal.filtfilt(b, a, data)` Cel de al doilea argument al functiei `butter` reprezinta frecventa de taiere a filtrului Butterworth. Aceasta valoare poate fi cuprinsa intre 0 si 1 si reprezinta fractia frecventei Nyquist utilizata de filtru. In imaginea de mai jos putem observa diferentele semnalului rezultat utilizand 3 valori diferite pentru frecventa de taiere: 0.03, 0.05 , 0.1



De regula la capetele semnalului nu avem destule date pentru a filtra foarte bine semnalul asa ca putem rezolva aceasta problema prin adaugare de date de umplutura reprezentate de duplicarea datele de pe margini pentru a ajunge la un semnal clar ca si cum acele date ar fi acolo defapt. Aceasta metoda ne dezavantajeaza prin faptul ca un punct “ratacit” de pe la margine poate afecta foarte mult forma datelor. Metoda Gustafsson este superioara in a aduce date de umplutura pe margini. Avantajul acesteia este ca punctele “ratacite” nu vor influenta asa mult forma curbei la capatul semnalului. Conditile initiale sunt alese astfel incat filtrarea forward-backward va aduce la acelasi rezultat ca filtrarea backward-forward. In imaginea de mai jos putem observa diferente dintre aceste 2 metode.



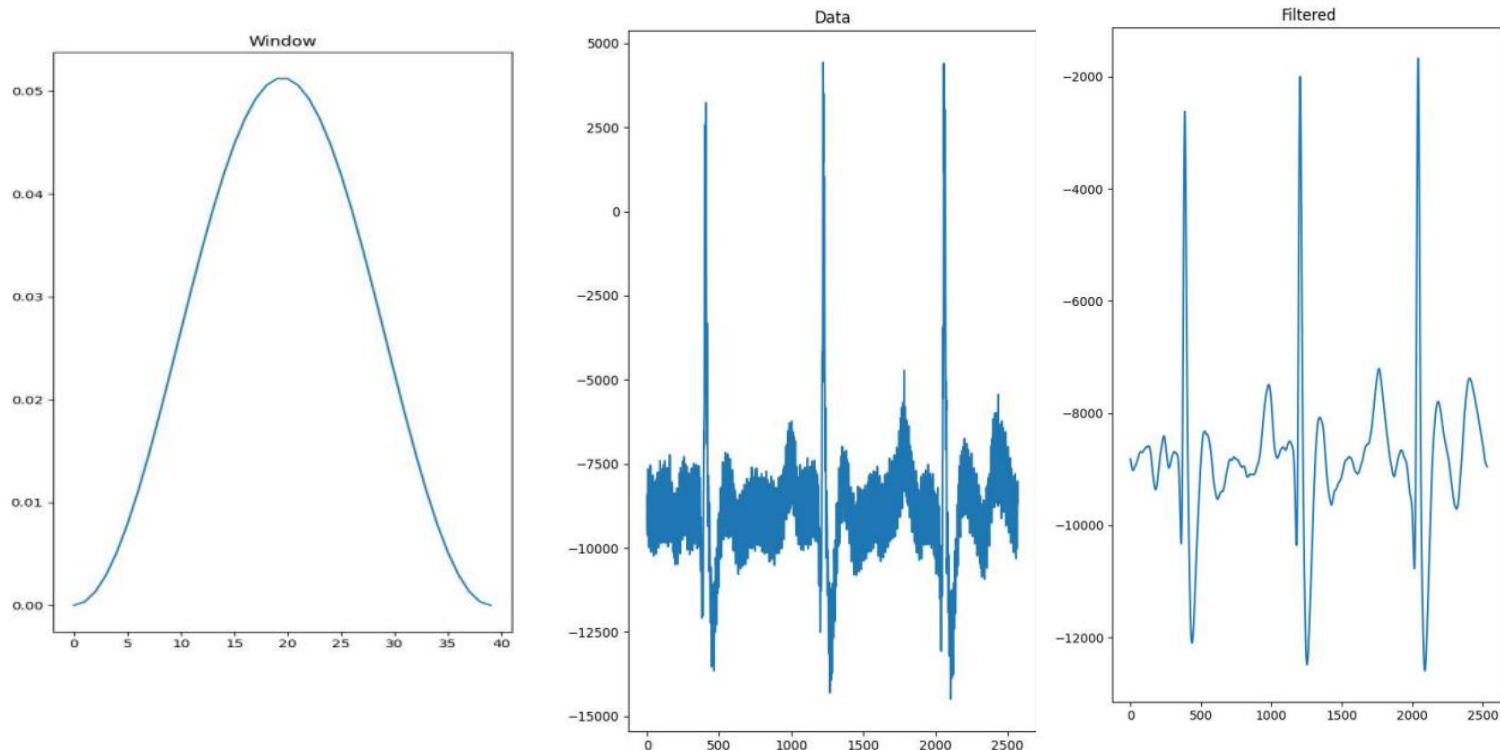
Filtrele Low-pass and High-pass pot fi selectate in cadrul functiei `scipy.signal.butter()` prin intermediul celui de al 3-lea argument. Astfel cel de al 2-lea argument reprezentand frecventa Nyquist (). Prin folosirea unei matrici pentru cel de al 2-lea argument se va selecta filtrul band-pass.



O alta metoda de a filtra low-pass un semnal este prin metoda convolutiei. **Convolutia este o modalitate matematica de a combina doua semnale pentru a forma un al treilea.** Este o tehnica importanta in procesarea de semnale digitale. Se foloseste strategia descompunerii in impulsuri, sistemele sunt descrise de un semnal numit raspuns la impuls.

Convolutia este importanta deoarece leaga cele trei semnale de interes: semnalul de intrare, semnalul de iesire si raspunsul la impuls. Prin aceasta metoda se va crea “o fereastră”(raspuns la impuls) (de regula o curba clopot) si se va combina cu semnalul sursa EKG. Cu cat semnalul fereastră va fi mai lat cu atat semnalul de iesire va fi mai bun. Acest raspuns la impuls trebuie normalizat pentru ca suma sa fie 1 in scopul pastrarii amplitudinii semnalului de intrare.





**Cod Matlab:**

```
Command Window

>> % Citirea semnalului ECG
[data, fs] = audioread('EKG.wav'); % 'fs' este frecvența de eșantionare

% Parametrii filtrului Butterworth
order = 3; % Ordinul filtrului
cutoff = 0.1; % Frecvența de tăiere (normalizată la Nyquist)
[b, a] = butter(order, cutoff, 'low'); % Crearea filtrului Butterworth low-pass

% Aplicarea filtrului folosind funcția filtfilt (pentru a evita schimbarea de fază)
filtered_data = filtfilt(b, a, data);

% Plotarea semnalului original și a celui filtrat
figure;
subplot(2,1,1);
plot(data);
title('Semnalul original EKG');
subplot(2,1,2);
plot(filtered_data);
title('Semnalul filtrat EKG');

% Aplicarea filtrului prin convoluție (folosind un kernel Gauss)
window_size = 100; % Dimensiunea ferestrei
gaussian_kernel = fspecial('gaussian', [1 window_size], 10); % Crearea unui kernel Gauss
conv_data = conv(data, gaussian_kernel, 'same'); % Aplicarea convoluției

% Plotarea semnalului filtrat prin convoluție
figure;
plot(conv_data);
title('Semnalul filtrat prin convoluție');

% Salvarea semnalului filtrat într-un fișier
audiowrite('filtered_EKG.wav', filtered_data, fs);
```

## **Concluzie:**

În cadrul acestui proiect, am demonstrat importanța procesării semnalelor pentru a elimina zgomotul și a extrage informații utile din semnale, în special în domeniul biomedicinii.

Utilizarea filtrului Butterworth și metoda convoluției ne-au permis să îmbunătățim semnalul EKG, iar aplicarea acestora în diferite configurații a oferit o mai bună claritate a semnalului. Tehnica de filtrare forward-backward a permis o îmbunătățire suplimentară, eliminând efectele de întârziere și păstrând semnalul corect centrat. De asemenea, alegerea frecvenței de tăiere și manipularea datelor de margine a fost esențială pentru a obține cele mai bune rezultate în procesul de filtrare.

Filtrarea semnalelor este un aspect esențial în multe domenii de aplicație, iar metodele explorate în acest proiect sunt fundamentale pentru dezvoltarea și îmbunătățirea sistemelor de procesare a semnalelor în contextul actual al tehnologiilor digitale.

## **BIBLIOGRAFIE:**

<https://www.electrical4u.com/cutoff-frequency/>

+ diferite alte concepte

[https://www.youtube.com/watch?v=evbcE5\\_IHaM&ab\\_channel=Ekeeda](https://www.youtube.com/watch?v=evbcE5_IHaM&ab_channel=Ekeeda)

principiul de functionare al filtrului butterworth + wiki

<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.signal.lfilter.html>

documentatie folosire librerie scipy

[https://www.youtube.com/watch?v=wJgBB4EsUHw&ab\\_channel=TutorialswithGary](https://www.youtube.com/watch?v=wJgBB4EsUHw&ab_channel=TutorialswithGary)

tutorial python pentru realizare filtru

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_HATc2zAhcY](https://www.youtube.com/watch?v=_HATc2zAhcY)

explicatie principiul convolutiei

[https://cv.upt.ro/pluginfile.php/319244/mod\\_assign/introattachment/0/Lab\\_Buterworth\\_2020.pdf?forcedownload=1](https://cv.upt.ro/pluginfile.php/319244/mod_assign/introattachment/0/Lab_Buterworth_2020.pdf?forcedownload=1)

filtre butterworth Prof. Nanu Sorin

<https://cs.unibuc.ro/~pirofti/ps/ps-curs-6.pdf> procesarea semnalelor