

Vježba 2

## **Metode obrade audio signala (1.dio)**

Predmet: Multimedijски sustavi

Predmetni nastavnik: izv. prof. dr. sc. Mladen Russo

Asistenti:

- Martina Bašić, mag. ing. comp.
- Jelena Čulić Gambiroža, mag. ing. comp.
- Matija Pauković, mag. ing. el.

Split, listopada 2020.

## 1. Uvod

Audio procesiranje ili obrada audio signala (engl. audio processing) je pod-područje obrade signala i bavi se problematikom audio signala. Upravo ovo područje zaslužno je za napretke u različitim svakodnevnim tehnologijama poput HIFI tehnologije, radio prijenosa, glazbe (snimanje, obrada, pohrane audio signala), audio (i video) prijenosa (npr. TV, kina), servisa za prijenos audio (i video) signala Internetom (npr. streaming servisi – *Deezer*, *Spotify*, *Netflix*, *Youtube*), *noise-cancellation* slušalice, bluetooth slušalice i dr.

Navedene tehnologije kompleksni su sustavi sa složenom elementima i problematikom no određeni temelji istih, predmetom su ove vježbe.

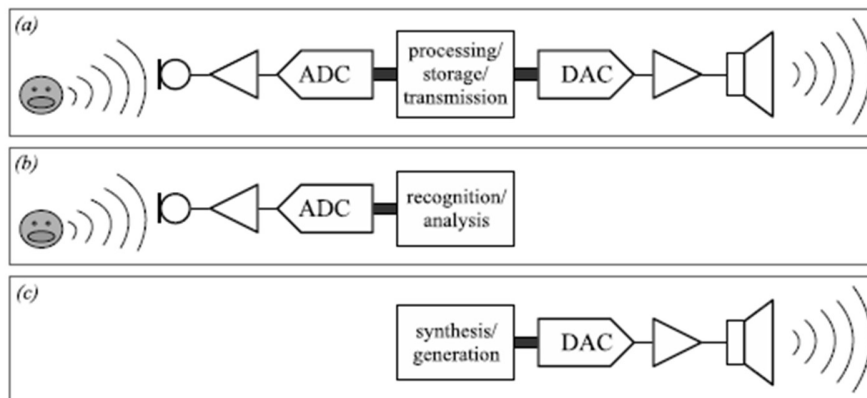
Cilj ove vježbe jest dobiti spoznaju kako su svakodnevni zvukovi (tonovi, glas, šumovi, itd.) reprezentirani u obliku audio signala, kako se isti mogu dekomponirati ili aproksimirati osnovnim vrstama signala, kako se pristupa u generiranju, manipuliranju i vizualizaciji istih u postupcima audio procesiranja i to unutar Matlab sustava.

## 2. Zvuk i audio signal

Zvuk je kontinuirani (longitudinalni) val koji putuje kroz neko sredstvo, a nastaje uslijed razlike tlakova. Npr. udarac palicom u bubanj rezultira pomicanjem molekula zraka zbog razlike tlaka prouzročenog tim udarcem. Bilo koji vibrirajući objekt može proizvesti zvuk. Kad se objekt pomiče naprijed stvara područje visokog tlaka i suprotno, kad se pomiče natrag, područje niskog tlaka.

Zvuk ima uobičajena valna svojstva (difrakcija, refleksija, refrakcija, interferencija, itd.). Tako npr. valovi koji nisu u fazi mogu prouzročiti međusobnu interferenciju te se i poništavati. Valna svojstva impliciraju i različite pojave u interakciji sa okolinom, npr. zvuk se reflektira od zida ako ima malu valnu duljinu (više frekvencije – npr. viši tonovi), a ovija oko zida ako je valne duljina velika (niže frekvencije – npr. niži tonovi), itd.

Samim time, činjenicom da je zvuk fizikalna i kontinuirana veličina (dakle, realni, a ne cijeli brojevi), za takve veličine kažemo da su ANALOGNE. Sa druge strane, računala koriste DIGITALNI zapis (temelje se na cijelim brojevima odnosno nulama i jedinicama) pa da bi u računalu mogli obrađivati signale realnog svijeta, analogne signale moramo pretvoriti u digitalne. To je postupak koji se zove analogno/digitalna (A/D) pretvorba. Obrnuti postupak, tj. pretvorba digitalnih signala u analogne, naziva se digitalno/analogna (D/A) pretvorba. Slika 1 prikazuje tri temeljna procesa pretvorbe i manipulacije zvuka odnosno zvučnog signala.



Slika 1. Pretvorbe zvučnog analognog signala u digitalni i suprotno

## 2.1. Vrste (audio) signala

Osnovna klasifikacija audio signala dijeli se na:

- determinirane signale te
- stohastičke signale.

Kod determiniranih signala, iznos signala moguće je dobiti u svakom vremenskom trenutku ali znajući matematički model istoga te parametre modela. Npr. sinusoidni signal (matematički model signala) definiran je funkcijom sinusoide te iznosom amplitude, frekvencije i faze signala.

Matlab:

$$S = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \phi);$$

naravno, frekvencija signala  $f_c$ , vektor vremena (koliko funkcija traje)  $t$ , kao i faza  $\phi$  moraju biti prethodno definirani.

Potrebno je zamijetiti da koristimo vektor vremena  $t$  što, kada govorimo u sinteziranju signala u okolinostima računala odnosno digitalnog signala, ne znači da je isti kontinuiran; nije kontinuiran i linearan neprekinut vektor. U ovom slučaju, vektor vremena je diskretiziran vektor odnosno niz jednako raspoređenih točaka na kojima će se izračunati vrijednost sinus funkcije u skladu sa parametrima iste.

Kako bi definirali vektor vremena  $t$ , uz željenu frekvenciju signala  $f_c$ , potrebno je uvesti frekvenciju uzorkovanja  $f_s$ , korak uzorkovanja  $dt$  te predviđenu duljinu signala (broj uzoraka) odnosno  $N$ .

U tome slučaju mora vrijediti sljedeće:

$$f_s \geq 2 \cdot f_c$$

i tada je

$$dt = 1 / f_s$$

$N$  – broj uzoraka signala ( $N=500$ )

i konačno, vektor vremena je:

$$t=0:(N-1)*dt$$

ili, ekvivalentno,

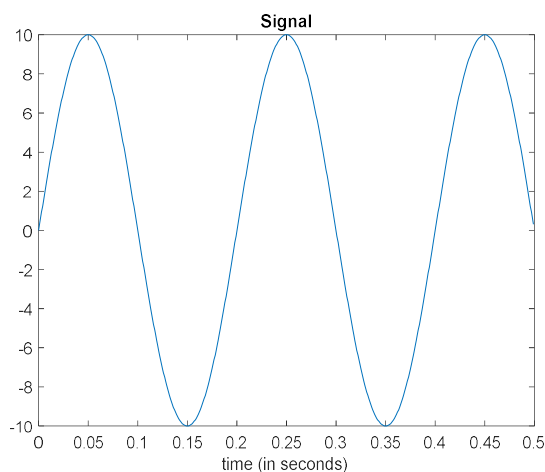
$$t=(0:N-1)*dt$$

Nakon definiranja navedenih parametara, vremenski prikaz signala je sljedeći:

Matlab:

```
% Plot  
figure;  
plot(t(1:N), S(1:N));
```

gdje se unutar plot funkcije definira u kojem rasponu vremena i iznosa funkcije će se ista prikazati.



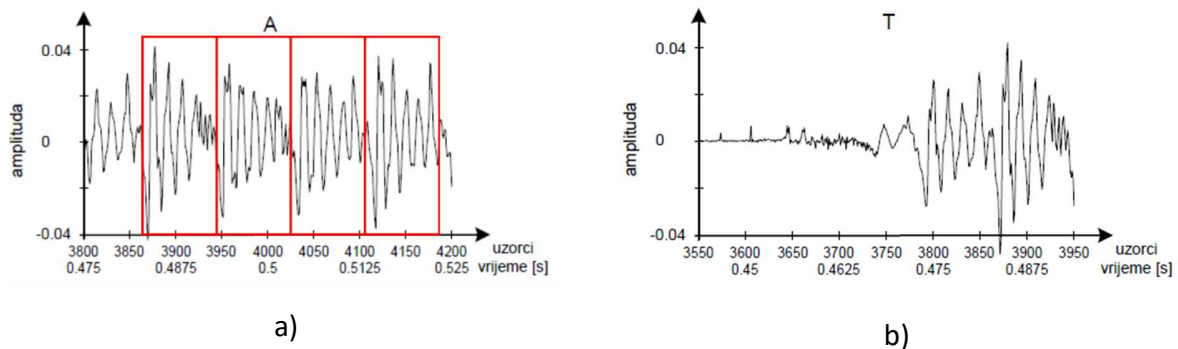
Slika 4. Vremenska reprezentacija signala

Navedeni signal je periodički signal a kada govorimo o zvučnoj interpretaciji istoga, taj signal je ton sa svima parametrima koji su prethodno spomenuti.

Ako bi u Matlab-u željeli reproducirati navedeni signal/ton nastavno na prethodne linije koda potrebno je dodati još i liniju:

```
sound(S); %reproduciranje signala S
```

Generalno, unutar kategorije determiniranih signala postoje periodički ili neperiodički signali. Kod audio signala, periodički signali su npr. samoglasnici i drugi "čisti" tonovi, dok su neperiodički signali razni praskavi zvukovi ("p", "t" i sl.) Prirodni zvukovi su najčešće neperiodički. Periodičke zvukove generiraju glazbeni instrumenti ili npr. pjev ptice pa se kod periodičkih zvukova najčešće radi o glazbi. Slika 5. a) prikazuje periodičnu prirodu izgovora slova „A“ dok Slika 5. b) prikazuje praskav zvuk kod izgovora slova „T“ u kojem se ne iščitava periodična priroda signala.

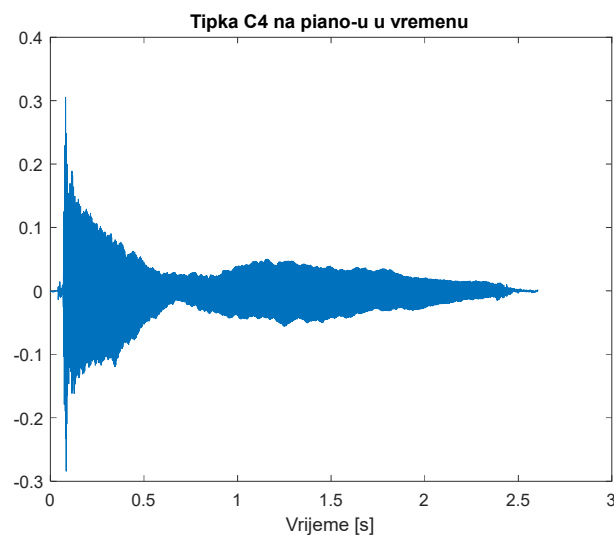


Slika 5. Vremenska reprezentacija a) slova „A“ i b) slova „T“

Ton tipke C4 na piano-u izgleda kao na Slici 6. a osnovna frekvencija toga tona je 261Hz i taj zvuk je harmoničan što znači da se sastoji od više različitih tonova frekvencija koje su višekratnik osnovne frekvencije.

Matlab:

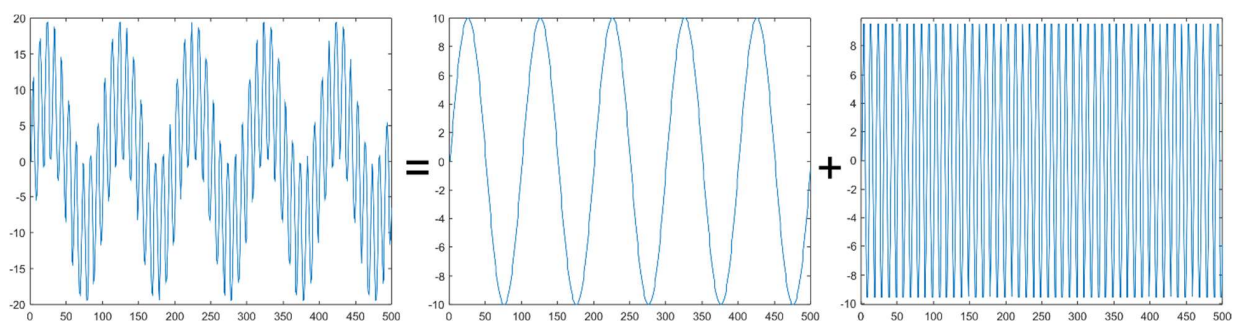
```
[piano fs]=audioread('pianoC4.wav');  
dt = 1/fs; %korak uzorkovanja  
N=size(piano,1); %broj uzoraka  
t = (0:N-1)*dt; %vektor vremena  
  
figure;  
plot(t,piano);  
xlabel('Vrijeme [s]')  
title('Tipka C4 na piano-u u vremenu')
```



Slika 6. Vizualizacija u vremenu zvuka tipke C4 na piano-u

## 2.2. Transformacija signala i vizualizacija u različitim domenama (t, f, spektrogram)

U slici 5. a) vidljiva je periodična priroda signala kod izgovora samoglasnika „A“ no, iako se radi o periodičnom signalu, evidentno je da signal nije čista sinusoida nego ima i određenu distorziju. Razlog tome je činjenica da realni signali odnosno zvukovi nisu samo čisti tonovi jedne frekvencije nego se sastoje od kombinacije (kompozicije) više tonova. U realnim okolnostima, često se radi o kompleksnoj kombinaciji različitih signala različitih oblika i parametara koje u vremenskoj domeni nije moguće direktno dekomponirati na svoje osnovne elemente. Slika 7. prikazuje kompoziciju/dekompoziciju više različitih tonova



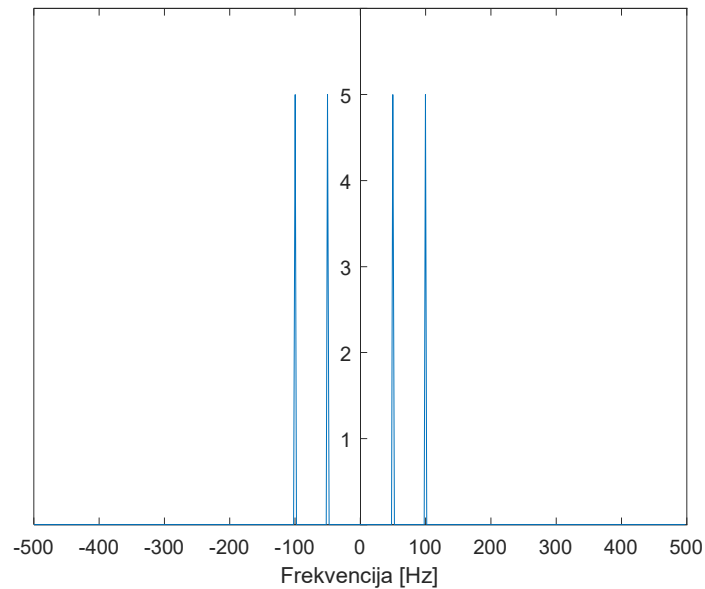
Slika 7. Signal kao rezultat kombinacije više različitih tonova i u vremenskoj domeni („čisti“ ton)

Kako bi se kompleksni i/ili realni signali mogli mjerodavno analizirati, moraju se prebaciti iz vremenske domene u drugu, pogodniju domenu. Taj se postupak zove TRANSFORMACIJA. Transformacijom se signal prebacuje u takvu domenu (npr. frekvencijsko područje) u kojoj je bitno olakšana analiza i obrada signala. Matlab programski sustav za transformaciju iz vremenske domene u frekvencijsku domenu koristi FFT transformaciju odnosno, *Fast Fourier Transform* transformaciju kojoj je općenita formula:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{i2\pi kn}{N}} \quad k = 0, \dots, N - 1,$$

gdje je  $x_n$  signal u vremenskom području,  $X_k$  signal u frekvencijskom području,  $n$  - indeks uzorka u vremenskom području,  $k$  - indeks pojedine komponente u frekvencijskom području i  $N$  - ukupan broj uzoraka signala

Komponirani signal na Slici 7. sastoji se od frekvencija  $f_{c1}=50\text{Hz}$  a, drugi signal frekvencije  $f_{c2}=100\text{Hz}$ . Kada bi se izvršila FFT transformacija signala u skladu sa navedenom formulom, spektar toga signala izgledao bi kao na Slici 8. koja prikazuje općenitu reprezentaciju spektra. Vrlo važno je zamijetiti da prikazani spektar simetričan u odnosu na y-os i uključuje komponente na području pozitivnih ali i negativnih frekvencija što je posljedica prirode FFT transformacije.



Slika 8. Općeniti oblike spektra signala dobiven FFT transformacijom

U Matlab-u, FFT transformacija se izvodi naredbom:

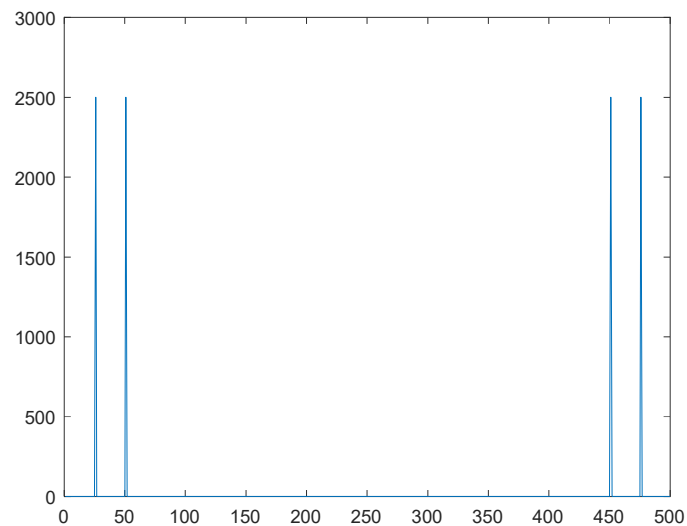
```
Y = abs(fft(S)); %FFT transformacija i apsolutna vrijednost iste
```



Ako se nadalje izvede naredba za ispis dobivenog spektra:

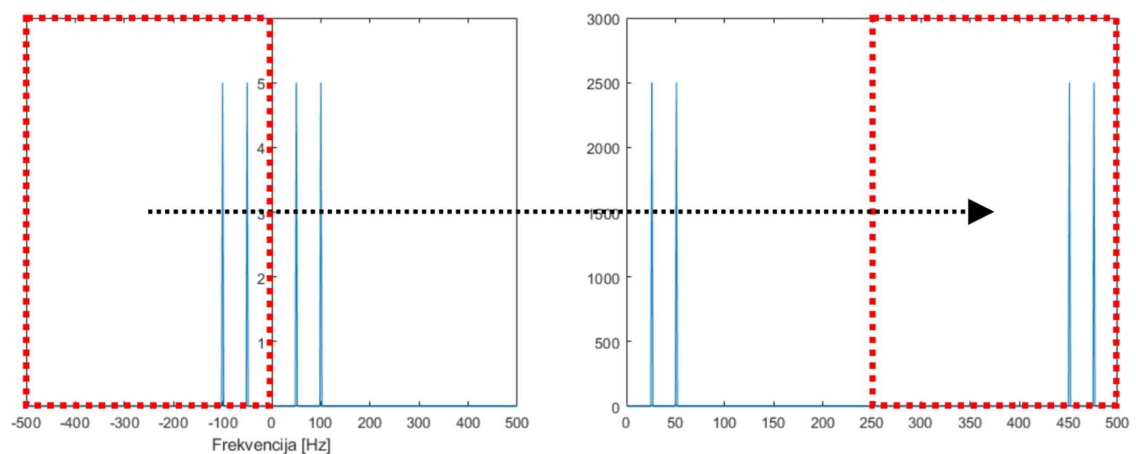
```
plot(Y);
```

dobiti će se sljedeća vizualizacija:



Slika 9. Ispis FFT transformacije

Na prikazanoj slici odmah je potrebno uočiti prvu razliku. Naime, negativni dio spektra sa Slike 8 je transliran na kraj pozitivnog dijela koji je zadržan na istoj poziciji (sljedeća Slika 10). Budući da se radi o simetričnoj slici, negativni (translatirani) dio spektra ćemo ubuduće ignorirati i prikazivati samo pozitivni dio.



Slika 10. Translatiran negativni dio spektra

Nadalje, bitni elementi koje je još potrebno uočiti i korigirati su:

- na x-osi se ne nalazi frekvencija kao što bi trebala biti, nego broj uzoraka signala N (0-500) (isti broj uzoraka koliki je signal imao i u vremenskom području)
- na y-osi nalaze se neispravni iznosi koji također nisu u skladu sa onima ispravnim iznosima na Slici 8. (kako bi sačuvali energiju signala potrebno je podijeliti s N)

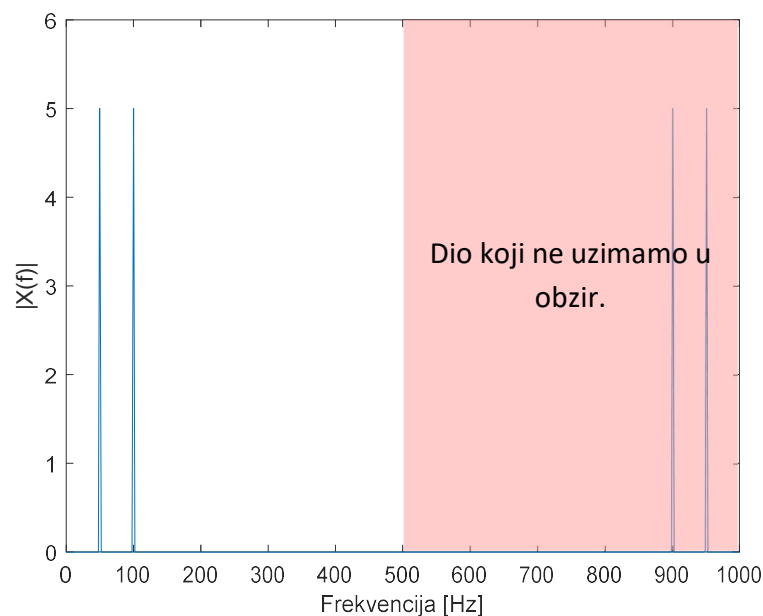
Kako bi korigirali navedena odstupanja potrebno je modificirati x i y osi. Za korekciju x-osi, potrebno je definirati vektor frekvencije  $f$  uz nužno definiranje koraka frekvencije  $dF$  zavisnog o frekvenciji uzorkovanja  $f_s$  i broju uzoraka  $N$ :

```
dF = fs/N;  
f = 0:dF:fs-dF; %Definiranje vektora frekvencija
```

Za korigiranje iznosa na osi y, potrebno modificirati vektor iznosa spektra na sljedeći način:

```
Y1= (Y/N) ;
```

Sada, ako izvedemo naredbu `plot(f,Y1)` ali sa uključenim vektorom frekvencija  $f$  te modificiranim iznosima spektra  $Y$  odnosno vektorom  $Y1$ , dobiva se sljedeća vizualizacija koju ćemo ujedno i većinom koristiti u budućim vizualizacijama:



Slika 11. Ispis spektra sa korigiranim x i y-osima

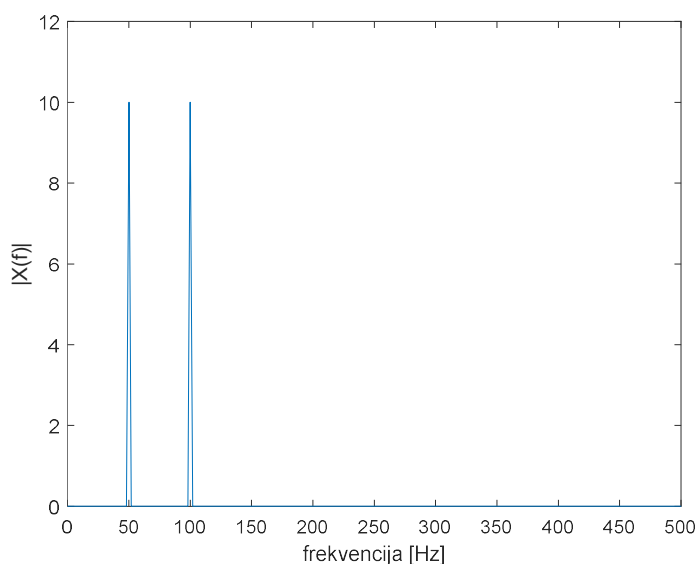
Kako smo prethodno spomenuli, možemo i u potpunosti modificirati vizualizaciju na način da se prikazuje isključivo samo pozitivan dio spektra kojega uzimamo u obzir (negativne frekvencije odnosno negativan dio spektra nemaju fizikalni smisao). Također, kako se sada prikazuje samo pozitivan dio spektra, energija spektra mora biti sačuvana odnosno, energija koja je na negativnom dijelu spektra se mora nadodati pozitivnom dijelu spektra. Iz toga razloga su iznosi na y-osi duplo veći. Uz sve prethodne modifikacije potrebno definirati i nove granice na y-osi (P1 i P2) te, također, redefinirati vektor frekvencija f:

```
P2 = Y/N;
P1 = P2(1:N/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1); %Množenje vrijednosti na y-osi sa 2
                                %kako bi energija spektra bila
                                %zadržana
f = fs*(0:(N/2))/N;
```

Po izvođenju sljedećih naredba:

```
plot(f,P1)
xlabel('frekvencija [Hz]')
ylabel('|X(f)|');
```

dobiva se sljedeća vizualizacija spektra:

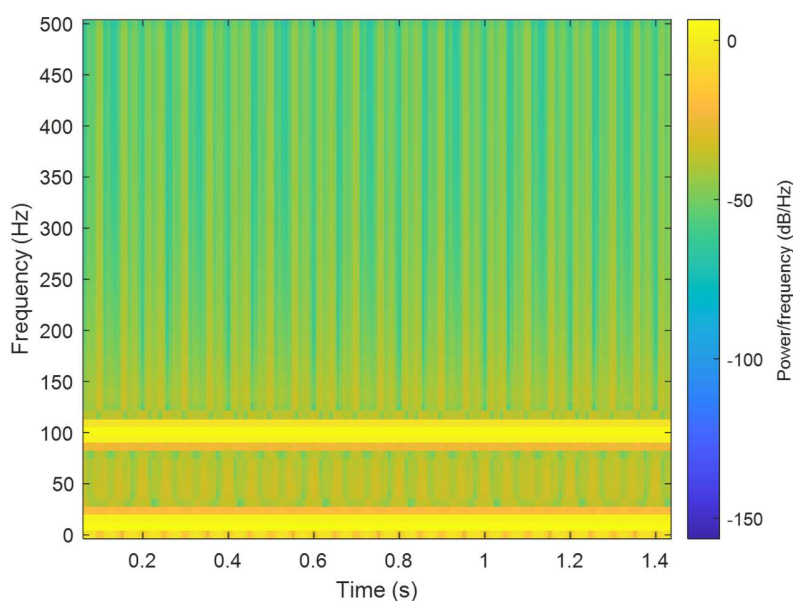


Slika 12. Jednostrani frekvencijski spektar signala

Čest pristup i kao još jedan od načina vizualizacije različitih signala je i korištenje tzv. spektrograma koji prikazuje kako se signal mijenja u odnosu na frekvencije i vrijeme. Za promatrani komponirani signal S, korištenjem naredbe:

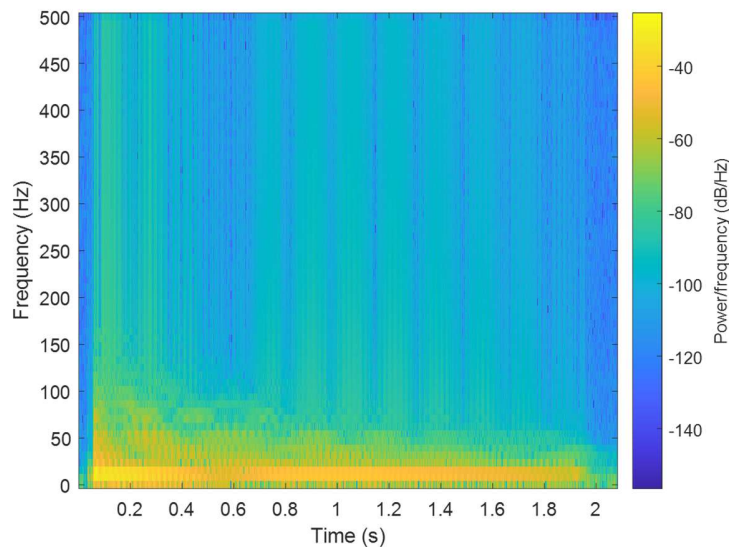
```
figure;  
spectrogram(S,128,120,128,1e3,'yaxis');
```

dobiva se spektrogram kao na Slici 13. koji prikazuje da se snaga promatranog signala na pripadnim frekvencijama ne mijenja kroz vrijeme.



Slika 13. Spektrogram signala

Sa druge strane, različiti realni zvukovi imaju promjenjivu snagu na različitim frekvencijama i u različitim trenucima vremena. Tako, na primjer, Slika 14. prikazuje spektrogram prethodno prikazanog tona tipke C4 na piano-u.



Slika 14. Spektrogram prethodno prikazanog tona tipke C4 na piano-u

### 3. Zadaci

#### NAPOMENA:

Zadaci se odrađuju u Matlabu prateći upute i naredbe iz *Priloga* ovih uputa. Uz to, radi se rukom pisani izvještaj na zasebnom papiru i u skladu sa formatom *Obrasca za izvještaj vježbe 2* koji se također nalazi unutar ovih uputa. Za slike koje se generiraju kroz vježbu mora se napraviti screenshot istih, primjereno ih nazvati i u rješenjima zadataka na izvještaju ispravno se referirati na iste.

Po završetku izvještaja, isti se potpisuje vlastoručnim potpisom, scan-ira/slika mobitelom i zajedno sa generiranim slikama (screenshot-ovima) prilaže u mailu koji se šalje pripadnom asistentu grupe:

- matija.paukovic.00@fesb.hr (G1, G2, G3)
- jculic@fesb.hr (G4).
- martbasi@fesb.hr (G5, G6)

Naslov maila neka bude u sljedećem formatu:

**MS – Grupa? – Vježba 2 – Ime i prezime**

1. Potrebno napraviti nekoliko koraka:

- Na radnoj površini (desktopu) napravite folder sa nazivom ove vježbe. U Matlabu se pozicionirajte na taj folder (postupak naveden u *Uputama za instalaciju i korištenje Matlab-a*).
- Sa portala kolegija skinite sve dostupne file-ove vezane za ovu vježbu i spremite u kreiran folder.
- Po završetku svih ovih navedenih koraka, možete pristupiti rješavanju zadataka

2. U Matlab-u potrebno je generirati dva različita signala/tona i napraviti sljedeće:

- pojedinačno ih prikazati u vremenskoj i frekvencijskoj domeni (obostrani i jednostrani prikaz spektra – dva grafa) pri čemu treba ispravno definirati iznose na y osi i vektore vremena i frekvencije. Što se desilo sa iznosima na y-osi jednostranog u odnosu na obostrani prikaz? Zašto je to tako?
- signale prikazati spektrogramom sa vremenom na x osi i frekvencijom na y osi
- reproducirati ih i zaključiti koja je osnovna razlika u zvuku u reprodukciji između tonova?

Signal 1:

- Frekvencija uzorkovanja = 1000 Hz
- Duljina signala: 5000 uzoraka
- Amplituda: 10
- Faza: 0
- Frekvencija signala: 10Hz

Signal 2:

- Frekvencija uzorkovanja = 2000 Hz
- Duljina signala: 2500 uzoraka
- Amplituda: 100
- Faza: 50
- Frekvencija signala: 1000Hz

3. Generirati tri različita signala ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) u skladu sa sljedećim parametrima i iste komponirati u jedinstven signal  $S$ .

Osim toga potrebno je sljedeće:

- Definirati vektore vremena i frekvencije
- Kako signali pojedinačno izgledaju u vremenskoj domeni?
- Kako izgleda komponirani signal u vremenskoj i frekvencijskoj domeni (obostrani i jednostrani spektar)?
- Kako izgleda spektrogram komponiranog signala  $S$  (sa vremenom na  $x$  osi i frekvencijom na  $y$  osi)?
- Koje frekvencijske komponente ima komponirani signal u frekvencijskoj domeni? Na kojim frekvencijama ima istaknute komponente?

Parametri signala:

Signal 1:

- Frekvencija uzorkovanja = 1000 Hz
- Duljina signala: 5000 uzoraka
- Amplituda: 10
- Faza: 0
- Frekvencija signala: 10Hz

Signal 2:

- Frekvencija uzorkovanja = 1000 Hz
- Duljina signala: 5000 uzoraka
- Amplituda: 10
- Faza: 0
- Frekvencija signala: 100Hz

Signal 3:

- Frekvencija uzorkovanja = 1000 Hz
- Duljina signala: 5000 uzoraka
- Amplituda: 10
- Faza: 0
- Frekvencija signala: 300Hz

## Obrazac za izvještaj za vježbu 2

Ime i prezime studenta:

Grupa:

Smjer:

**Rješenja zadataka:**

---

**Potpis studenta**



#### 4. Prilog uz vježbu kao pomoć u odradi zadataka (Matlab naredbe)

<pre>fs %frekvencija uzorkovanja dt = 1/fs; %korak uzorkovanja (recipročna vrijednost frekvencije) N %broj uzoraka t = (0:N-1)*dt; %vektor vremena A %amplituda signala ph %faza signala fc %frekvencija signala</pre>	Parametri matematičkog modela signala
<pre>S = A*sin(2*pi*fc*t + ph);</pre>	Generički oblik matematičkog modela sinusoidnog signala
<pre>figure; plot(S)</pre>	Vizualizacija signala u vremenskoj domeni
<pre>figure; plot(t(1:200),S(1:200));</pre>	Vizualizacija signala u vremenskoj domeni (prvih 200 točaka vektora vremena i signala S)
<pre>sound(S);</pre>	Zvučna reprodukcija signala S
<pre>S=S1+S2+S3;</pre>	Komponiranje signala S1, S2 i S3 u jedinstveni signal S
<pre>Y = abs(fft(S));</pre>	Transformacija signala S u frekvencijsku domenu
<pre>dF = fs/N; f = 0:dF:fs-dF;</pre>	Korigiranje x-osi za vizualizaciju spektra
<pre>Y1=(Y/N);</pre>	Korigiranje y-osi za vizualizaciju spektra
<pre>P2 = Y1/N; P1 = P2(1:N/2+1); P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1); f = fs*(0:(N/2))/N; plot(f,P1)</pre>	Redefiniranje osi i jednostrani spektar signala
<pre>figure; spectrogram(S,128,120,128,1e3,'yaxis')</pre>	Spektrogram signala sa parametrima za ispis sa vremenom na x osi i frekvencijom na y osi