

# B2B31CZS - Cvi ení 3

## Úkoly:

### DFT - periodogram, prořakování

Generujte sinusový signál:

```
f = 1000; % Hz  
fs = 8000; % Hz, Vzorkovací frekvence  
t_max = 0.5; % s, Délka trvání
```

- **Vyberte ze signálu segment** o délce  $N=512$  vzorků a sledujte jeho periodogram (funkce `fft`). Popište správnou frekvenci osu a srovnajte různé způsoby zobrazení (plot s různými parametry, stem, apod.).
- **Sledujte periodogram** sinusového signálu pro segmenty různých délek:  $N=512$ , 510, 508 vzorků resp.  $N=512$ , 515, 520 vzorků. Vysvětlete efekt délky okna (segmentu) na výsledcích, které uvidíte.
- Sledujte periodogram sinusovky o kmitočtu  $f=1231$  Hz opět pro různé krátkodobé segmenty  $N=512$ , 510, 508 vzorků. Vysvětlete pozorované výsledky.

```
N = 512; % 510, 508, 515, 520 Měte délku okna  
% f = 1231; % Změte frekvenci sinusovky
```

Zopakujte předcházející analýzy na stejném signálu, který bude ale převážován **Hammingovým oknem** (funkce `hamming`).

```
w = hamming(N);
```

(Pokud budete rychlí, opakujte předchozí analýzu s jinými okny: Hannovo, Blackmanovo a trojúhelníkové váhovací okno - funkce `hanning`, `blackman`, `triang`.)

### 1. Vliv váhování v detekci harmonických složek v signálu softwarově definovaného rádia

Na této signál `x_spl.mat` obsahující směs harmonických složek v záznamu délky  $N = 250$  vzorků. Signál je vzorkovaný kmitočtem  $f_s = 1$  kHz a je uložen v MATLABovském formátu. Pro načtení do MATLABu použijte funkci `load`.

```
load(x_spl.mat) % Nejdříve stáhněte a přidejte do aktuální složky/Matlabovské cesty  
fs = 1000; % Hz  
N = 250;
```

Pro daný signál sledujte:

- Amplitudové spektrum signálu dané délky  $N = 250$  **bez váhování** v lineárním i logaritmickém měřítku
- Amplitudové spektrum signálu váhovaného **Hammingovým** oknem v lineárním i logaritmickém měřítku
- Amplitudové spektrum signálu váhovaného **Blackmanovým** oknem v lineárním i logaritmickém měřítku

### 2. Odhad krátkodobého výkonového spektra reálného signálu

Na této signál [vm7.bin](#), který je vzorkovaný kmito tem  $f_s = 16 \text{ kHz}$  a je uložen v binární formě bez hlavičky. Pro načtení do MATLABu použijte funkci [loadbin.m](#).

```
sig = loadbin("vm7.bin")
fs = 16000; % Hz
```

- Vykreslete výkonové spektrum v dB pro první dostupný segment délky  $N=512$  vzorků se správným škálováním frekvencí osy.
- Srovnajte výsledek pro nevážený segment a segment vážený Hammingovým oknem. Sledujte vliv prosakování.

(V případě nedostatku času opakujte ilustrativně i pro další signály [vf0.bin](#), [vm0.bin](#), [vf1.bin](#), [vm1.bin](#), [vf2.bin](#), [vm2.bin](#), [vf3.bin](#), [vm3.bin](#), [vf4.bin](#), [vm4.bin](#), [vf5.bin](#), [vm5.bin](#), [vf6.bin](#), [vm6.bin](#), [vf7.bin](#), [vm7.bin](#), [vf8.bin](#), [vm8.bin](#), [vf9.bin](#), [vm9.bin](#).)

## Doplňování nulami při výpočtu DFT (interpolace)

Vygenerujte velmi krátký úsek sinusového signálu s parametry:

```
f = 1231; % Hz
fs = 8000; % Hz, Vzorkovací frekvence
N = 512; % Počet vzorků
```

Počítejte spektrum pro délku diskrétní Fourierovy transformace  $N_{FFT} = 512, 1024, 2048, 4096, 8192$  a dosažené výsledky srovnajte.

```
NFFT = 512; % 1024, 2048, 4096, 8192
```

### 1. Způsob odhadu harmonických komponent v záznamu

Na této signály [sig1.mat](#) a [sig2.mat](#) obsahující krátké záznamy smíšených sinusových signálů za přítomnosti Gaussovského bílého šumu. Záznamy jsou vzorkované kmito tem  $f_s = 200 \text{ Hz}$  a jsou uloženy v MATLABovském formátu. Pro načtení do MATLABu použijte funkci `load`.

```
load sig1.mat
load sig2.mat
fs = 200; % Hz
```

Pro oba zvolené signály určete:

- Počet sinusových komponent a jejich kmitočty
- Spektrum spočítané ze segmentu dostupného záznamu o délce  $N=40$  vzorků resp. ze segmentu doplněného nulami na délku  $N=512$  vzorků

### 2. Vliv interpolace v detekci harmonických složek v signálu softwarově definovaného rádia

Pro dříve realizovaný výsledek spektrální analýzy signálu [x\\_spl.mat](#) obsahující směs harmonických složek v záznamu délky  $N = 250$  vzorků, viz výše, **sledujte vliv interpolace** při výpočtu amplitudového spektra s různými typy váhování a pro různé délky DFT, tj. zobrazte:

- Interpolované amplitudové spektrum signálu **bez váhování** v logaritmickém měřítku, které je pořítané pomocí DFT délky  $N_{FFT} = 2048$  (doplňeno nulami)
- Interpolované amplitudové spektrum signálu váhovaného **Hammingovým oknem** a následně také **Blackmanovým oknem** v lineárním i logaritmickém měřítku, které je pořítané pomocí DFT délky  $N_{FFT} = 2048$  (doplňeno nulami), určete také pro délku  $N_{FFT} = 512$  a  $N_{FFT} = 4096$  (doplňeno nulami)

## Detekce periodicity v DFT

Pozorujte periodogramy následujících signálů, které obsahují jednu, dvě, tři resp. čtyři periody znělé hlásky [vm0-1-per.bin](#), [vm0-2-per.bin](#), [vm0-3-per.bin](#), [vm0-4-per.bin](#). Pro načtení do MATLABu použijte opět funkci [loadbin.m](#). Vzorkovací frekvence tohoto signálu je 16 kHz. Periodogramy pořízíte vždy pro délky dané délkou záznamu. Pozorované výsledky vysvětlete.

```
loadbin("vm0-1-per.bin")
fs = 16000; % Hz
```

Sledujte, jak se mění spektrum signálu [vm0-4-per.bin](#), pořízíme-li DFT následujících délek (tj. se zkrácením posloupnosti nebo přidáním nulami):

- a) 479, 481
- b) 470, 490
- c) 256, 512
- d) 1024
- e) 2048

### 1. Sledujte periodicitu v reálném signálu (znělé hlásky) [vm0-real-per.bin](#)

Pokuste se určit základní periodu resp. základní frekvenci daného kvaziperiodického signálu. Pořízíte periodogram:

- a) pro  $N_{FFT} = 512$
- b) pro  $N_{FFT} = 4096$

### 2. Sledujte spektrum neperiodického signálu (neznělé hlásky) [real-non-per.bin](#) a srovnajte s předchozí variantou kvaziperiodického signálu

Pořízíte opět periodogram:

- a) pro  $N_{FFT} = 512$
- b) pro  $N_{FFT} = 4096$

### V případě dostatku času...

- Periodicita ve spektru reálného signálu různé délky: Pro signál [vm7.bin](#) z prvního úkolu sledujte vliv délky okna na detekci periodicity ve spektru signálu. Pozorujte výkonové spektrum v dB pro první segmenty délky  $N=2000, 1024, 512, 256, 128, 64$  vzorků, které vždy váhujte Hammingovým oknem stejné délky. Sledujte vždy analyzovaný váhovaný signál a vypořítané výkonové spektrum.

Všimněte si souvislosti po tu pozorovaných period v dostupném segmentu signálu a z etelnosti harmonických komponent v napo ítaném spektru.

- Ur ete výšku hlasu na základ DFT i pro jiné záznamy odkazované v prvním bod pro dnešní resp. minulé cvi ení a srovnejte s výsledky dosaženými pomocí odhadu na bázi autokorelace. Pracujte vždy s vybraným krátkodobým segmentem délky  $N=512$  a pro odhad na bázi DFT dopl te nulami, jako v p edcházejícím kroku (tj. volte  $N_{FFT}=4096$ ).
- Ur ete výšku tónu u hudebních signál z minulého cvi ení a srovnejte s výsledky dosaženými pomocí autokorelace - [cembalo\\_d\\_dur\\_2.wav](#), [fletna\\_d\\_dur\\_6.wav](#), [housle\\_d\\_dur\\_5.wav](#), [kytara\\_d\\_dur\\_1.wav](#), [piano\\_d\\_dur\\_4.wav](#), [varhany1\\_d\\_dur\\_3.wav](#), [varhany2\\_d\\_dur\\_8.wav](#). POZN.: Dostupné signály vzorkované kmito tem 48 kHz bude vhodné p evzorkovat minimáln na 16 kHz (pro analyzované signály by vzhledem k frekven nímu rozsahu bylo možné i p evzorkování na 8 kHz).

## Domácí práce

### Numerický výpo et FT, FS, DTFT, DFS pomocí DFT

#### Numerický výpo et Fourierovy transformace spojitého neperiodického signálu pomocí DFT.

- Zobrazte v subplot(221) **spojitý neperiodický** obdélníkový signál s amplitudou  $A=5$ , ší kou pulzu  $t_0=0.04$  s v asovém intervalu  $-0,1 - 0,4$  s. Volte malý krok zobrazení, tj. nejvýše 0.1 ms.
- Zobrazte v subplot(222) též teoreticky vypo tené spojité spektrum, viz dopl kový studijní matediál - [DFT-priklady.pdf](#). Spektrum zobrazte pro úhlový kmito et omega v pásmu  $\pm 3000$  rad/s.
- V subplot(223) zobrazte navzorkovaný kone ný po et vzork uvedeného signálu v asovém intervalu od  $t_{min}=0$  do  $t_{max}=0,4$  s. Použijte vzorkovací kmito et  $f_s=500$  Hz.
- V subplot(224) zobrazte vypo tený periodogram pomocí DFT výše zmi ovaného signálu.
- Navzorkovaný signál zobrazte rovn ž jako body odlišnou barvou do p vodního obrázku spojitého pr b hu, tj. do subplot(221).
- Spektrum vypo tené pomocí DFT zobrazte pro srovnání rovn ž do zobrazení teoreticky vypo teného spojitého neperiodického spektra, tj. subplot(222).
- Opakujte rychle pro  $f_s=820$  Hz,  $f_s=200$  Hz,  $f_s=2000$  Hz.
- Pro  $f_s=820$  Hz opakujte pro r zné délky vzorkovaného signálu, tj.  $t_{max}=0,8$  s,  $t_{max}=0,08$ ,  $t_{max}=0,06$ ,  $t_{max}=0,03$ .
- Srovnejte teoretický výpo et spektra spojitého periodického obdélníkového signálu v asovém intervalu  $0-X$  s a jeho spektra v pásmu  $\pm YY$  rad/s.
- Srovnejte teoretický výpo et spektra diskrétního neperiodického obdélníkového signálu vzorkovaného kmito tem  $f_s=xx$  Hz v asovém intervalu  $0-X$  s a jeho spektra v pásmu  $\pm f_s$  Hz.
- Srovnejte teoretický výpo et spektra diskrétního periodického obdélníkového signálu vzorkovaného kmito tem  $f_s=xx$  Hz v asovém intervalu  $0-X$  s a jeho spektra v pásmu  $\pm f_s$  Hz.