

# B2B31CZS - Cvi ení 2

## Úkoly:

### Odhad autokorela ní funkce - základní vlastnosti

Ur ete autokorela ní koeficienty signálu pomocí funkce `xcorr`.

```
help xcorr
```

**xcorr** Cross-correlation function estimates.

`C = xcorr(A,B)`, where A and B are length M vectors (M>1), returns the length 2\*M-1 cross-correlation sequence C. If A and B are of different length, the shortest one is zero-padded. C will be a row vector if A is a row vector, and a column vector if A is a column vector.

**xcorr** produces an estimate of the correlation between two random (jointly stationary) sequences:

$$C(m) = E[A(n+m)*conj(B(n))] = E[A(n)*conj(B(n-m))]$$

It is also the deterministic correlation between two deterministic signals.

`C = xcorr(A)`, where A is a length M vector, returns the length 2\*M-1 auto-correlation sequence C. The zeroth lag of the output correlation is in the middle of the sequence, at element M.

`C = xcorr(A)`, where A is an M-by-N matrix (M>1), returns a large matrix with 2\*M-1 rows and N^2 columns containing the cross-correlation sequences for all combinations of the columns of A; the first N columns of C contain the delays and cross correlations using the first column of A as the reference, the next N columns of C contain the delays and cross correlations using the second column of A as the reference, and so on.

`C = xcorr(...,MAXLAG)` computes the (auto/cross) correlation over the range of lags: -MAXLAG to MAXLAG, i.e., 2\*MAXLAG+1 lags. If missing, default is MAXLAG = M-1.

`[C,LAGS] = xcorr(...)` returns a vector of lag indices (LAGS).

**xcorr(...,SCALEOPT)**, normalizes the correlation according to SCALEOPT:

'biased' - scales the raw cross-correlation by 1/M.

'unbiased' - scales the raw correlation by 1/(M-abs(lags)).

'normalized' or 'coeff' - normalizes the sequence so that the auto-correlations at zero lag are identically 1.0.

'none' - no scaling (this is the default).

% Example:

% Compute and plot the cross-correlation of two 16-sample  
% exponential sequences

```
N = 16;
```

```
n = 0:N-1;
```

```
a = 0.84;
```

```
b = 0.92;
```

```
xa = a.^n;
```

```
xb = b.^n;
```

```
[r,lags] = xcorr(xa,xb);
```

```
stem(lags,r)
```

See also `xcov`, `corrcoef`, `conv`, `cov`.

Documentation for `xcorr`  
Other functions named `xcorr`

Vyzkoušejte si vliv různých nastavení normalizace ve funkci `xcorr`:

- None - Žádná normalizace
- Biased - "Vychýlený" odhad
- Unbiased - "Nevychýlený" odhad
- Coeff/Normalized - Normalizace pro jednotkovou hodnotu autokorelace v nulovém posunu

...na těchto signálech:

```
% 1) Sinusový signál: s1
f = 15; % Hz
fs = 200; % Hz
A = 1;
t = 1; % s

% 2) Bílý šum s normálním rozdělením: b1
P = 0.7; % Výkon
m = 0; % Střední hodnota
s = 1; % Standardní odchylka
fs = 200; % Hz
t = 1; % s

% 3) Bílý šum s normálním rozdělením: b1
P = 0.7; % Výkon
m = 0; % Střední hodnota
s = 1; % Standardní odchylka
fs = 200; % Hz
t = 10; % s

% 4) Smíšený signál s1 + stejnosměrná složka o amplitudě 0.8
% 5) Smíšený signál b1 + stejnosměrná složka o amplitudě 0.8
```

- Diskutujte různé vlastnosti těchto odhadů.
- Vykreslete si odhady autokorelační funkce pro smíšený signál a šum  $s_1+b_1$  s hodnotami SNR = 0, 10 a -10dB.

## Detekce periodicity signálu pomocí autokorelace

### Hudební nástroje

Určete výšku tónu různých hudebních nástroj z následujících signálů pomocí hledání druhého hlavního maxima autokorelační funkce:

- [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.: WAV-soubory na teme do MATLABu pomocí funkce 'audioread'. Jako druhý výstupní parametr této funkce získáme informaci o vzorkovacím kmito tu, která je uložena v hlavi ce WAV-souboru.

```
[sig, fs] = audioread("cembalo_d_dur_2.wav")
```

```
Error using audioread (line 90)
The filename specified was not found in the MATLAB path.
```

Periodicitu analyzujte na krátkodobém segmentu o délce  $t_{len}=10$  ms. (**POZOR !!** Nevybírejte segment ze za átku signálu, kde ještě signál v tšinou neobsahuje požadovaný tón. **Za átek volte na vzorku . 20000.**)

- Vykreslete si asový pr b h celého signálu
- Vykreslete si vy íznutý krátkodobý segment o délce 10ms, s ohledem na vzorkovací frekvenci signálu
- Vykreslete si pr b h autokorela ní funkce krátkodobého segmentu
- Odhadn te z pr b hu autokorela ní funkce základní frekvenci a ur ete výšku tohoto tónu v Hz

Vyzkoušejte jaký vliv má délka vybraného segmentu na pr b h autokorela ní funkce a odhad výšky tónu.

Podívejte se také na vliv centrování signálu (odstran ní nenulové st ední hodnoty) pro odhad výšky tónu, zejména pro signál [kytara\\_d\\_dur\\_1.wav](#).

## Lidská e

Ur ete **základní periodu zn lých hlásek e ového signálu** (výška hlasu, intonace) pomocí hledání druhého hlavního maxima autokorela ní funkce.

- Pracujte se signály [vf3.bin](#) a [vm3.bin](#), jejichž vzorkovací kmito et je  $f_s = 16000$  Hz (pro na tení do MATLABu použijte funkci [loadbin.m](#))

```
sp1 = loadbin('vm3.bin');
```

Pro oba výše uvedené signály:

- Vykreslete asový pr b h celého dostupného záznamu
- Vykreslete analyzovaný segment délky 512 vzork z po átku záznamu
- Vykreslete pr b h autokorela ní funkce pro segment o délce 512 vzork od po átku záznamu
- Z odhadu autokorela ní funkce interaktivn odhadn te základní periodu a ur ete výšku hlasu v Hz

Opakujte postup pro [vf0.bin](#), [vm0.bin](#), [vf1.bin](#), [vm1.bin](#), [vf2.bin](#), [vm2.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](#), a diskutujte problémy této detekce.

### Bonus: Odhad zpoždění dálkoměrného signálu

V souboru [sigX.gps](#) (viz [signaly\\_ML\\_odhad\\_zpozdeni](#)) jsou uloženy vzorky dálkoměrného signálu GPS měřeného za přítomnosti bílého gaussovského šumu.

- Použitá pseudonáhodná posloupnost (PRN) je uložena v souboru [prn1.txt](#).
- Uvažujte chipovou rychlost  $f_c = 1.023 \cdot 10^6$  chip/s ( $f_s = 1.023$  MHz).
- Měřený signál byl vzorkován s kmitočtem  $f_{sa} = 65$  MHz.
- Délka signálu ze souboru [sigX.gps](#) obsahuje právě jednu periodu pseudonáhodné posloupnosti.

Pro naměřený signál [sig5.gps](#) určete zpoždění a měřenou vzdálenost v následujících krocích:

1. Vykreslete vygenerovanou PRN posloupnost [prn1.txt](#)
2. Vykreslete převzorkovanou repliku PRN posloupnosti stejné délky, jako je měřený signál
3. Vykreslete naměřený přijatý signál [sig5.gps](#)
4. Vykreslete průběh CCF mezi naměřeným signálem a vysílanou replikou PRN signálu
5. Z maxima CCF interaktivně odhadněte pozici maxima a následně zpoždění naměřeného signálu

### Bonus: Zpoždění mezi kanály

Pokuste se detekovat zpoždění mezi dvěma signály ve dvou kanálech pomocí vzájemné korelační funkce. Jedná se o signály vzorkované kmitočtem 8 kHz.

- dvě řečené signály: [s0001-l.bin](#) a [s0001-r.bin](#)
- dvě šumovým pozadím: [x0002-l.bin](#) a [x0002-r.bin](#)

POZN.: Vzájemnou korelaci počítejte opět z krátkých segmentů o délce 256 (příp. 512) vzorků, které vybírejte z různých úseků analyzované promluvy, kde je řečená aktivita.