

B2B31CZS cvičení 2 - Aplikace korelační analýzy

Úkoly:

Odhad autokorelační funkce - základní vlastnosti

Určete autokorelační koeficienty signálu pomocí funkce `xcorr`.

```
help xcorr
```

xcorr Cross-correlation function estimates.

$C = \mathbf{xcorr}(A,B)$, 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.

$C = \mathbf{xcorr}(A)$, 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 .

$C = \mathbf{xcorr}(A)$, 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.

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

$[C, \text{LAGS}] = \mathbf{xcorr}(\dots)$ 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 $1/(M-\text{abs}(\text{lags}))$.

'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; % Stř. hodnota
fs = 200; % Hz
t = 1; % s

% 3) Bílý šum s normálním rozdělením: b1
P = 0.7; % Výkon
m = 0; % Stř. hodnota
fs = 200; % Hz
t = 10; % s

% 4) Směs s1 + stejnosměrná složka o amplitudě 0.8

% 5) Směs b1 + stejnosměrná složka o amplitudě 0.8
```

- Diskutujte různé vlastnosti těchto odhadů.
- Vykreslete si odhady autokorelační funkce pro směs signálu a šumu $s1+b1$ s hodnotami SNR = 0, 10 a -10dB.

Detekce periodicity signálu pomocí autokorelace

Hudební nástroje

Určete **výšku tónu různých hudebních nástrojů** 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 načteme do MATLABu pomocí funkce 'audioread'. Jako druhý výstupní parametr této funkce získáme informaci o vzorkovacím kmitočtu, která je uložena v hlavičce WAV-souboru.

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

Periodicitu analyzujte na krátkodobém segmentu o délce $t_{len}=10$ ms. (**POZOR !!** Nevybírejte segment ze začátku signálu, kde ještě signál většinou neobsahuje požadovaný tón. **Začátek volte na vzorku č. 20000.**)

- Vykreslete si časový průběh celého signálu
- Vykreslete si vyřiznutý krátkodobý segment o délce 10ms, s ohledem na vzorkovací frekvenci signálu
- Vykreslete si průběh autokorelační funkce krátkodobého segmentu
- Odhadněte z průběhu autokorelační funkce základní frekvenci a určete výšku tohoto tónu v Hz

Vyzkoušejte jaký vliv má délka vybraného segmentu na průběh autokorelační funkce a odhad výšky tónu.

Podívejte se také na vliv centrování signálu (odstranění nenulové střední hodnoty) pro odhad výšky tónu, zejména pro signál [kytara_d_dur_1.wav](#).

Lidská řeč

Určete **základní periodu znělých hlásek řečového signálu** (výška hlasu, intonace) pomocí hledání druhého hlavního maxima autokorelační funkce.

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

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

```
2000 samples were read!
```

Pro oba výše uvedené signály:

- Vykreslete časový průběh celého dostupného záznamu
- Vykreslete analyzovaný segment délky 512 vzorků z počátku záznamu
- Vykreslete průběh autokorelační funkce pro segment o délce 512 vzorků od počátku záznamu
- Z odhadu autokorelační funkce interaktivně odhadněte základní periodu a určete výšku hlasu v Hz

Opakujte případně 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 čipovou 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 převzrokovanou 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 řečovými signály ve dvou kanálech** pomocí vzájemné korelační funkce. Jedná se o signály vzorkované kmitočtem 8 kHz.

- Čisté řečové signály: [s0001-l.bin](#) a [s0001-r.bin](#)
- Řeč se šumovým pozadím: [x0002-l.bin](#) a [x0002-r.bin](#)

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