

**ISS Projekt 2017 / 18**  
Honza Černocký, ÚPGM FIT VUT  
November 10, 2017

## 1 Cíl

Cílem projektu je provést analýzu signálu. Jako vstup použijte dodaný zvukový soubor `xlogin00.wav`, kde “xlogin00” je Váš login. Projekt je možno řešit v Matlabu, jazyce C nebo v libovolném jiném programovacím nebo skriptovacím jazyce. Je možné použít libovolné knihovny. Projekt se nezaměřuje na “krásu programování”, není tedy nutné mít vše úhledně zabalené do okomentovaných funkcí, atd. – např. soubor v Matlabu, ze kterého copy-pastujete příkazy do příkazové řádky, naprosto stačí. Důležitý je výsledek.

## 2 Odevzdání projektu

bude probíhat do informačního systému WIS ve dvou souborech:

1. `xlogin00.pdf` (kde “xlogin00” je Váš login) je protokol s řešením.
  - V záhlaví prosím uveďte své jméno, příjmení a login.
  - Pak budou následovat odpovědi na jednotlivé otázky — obrázky, numerické hodnoty, komentáře.
  - U každé otázky uveďte stručný postup - může se jednat o kousek okomentovaného kódu, komentovanou rovnici nebo text. Není nutné kopírovat do protokolu celý zdrojový kód. Není nutné opisovat zadání či teorii, soustřeďte se přímo na řešení.
  - Pokud využijete zdroje mimo standardních materiálů (přednášky, cvičení a studijní etapa projektu ISS), prosím uveďte, odkud jste čerpali.
  - Protokol je možné psát v libovolném systému (MS-Word, Libre Office, Latex), můžete jej psát dokonce i čitelně rukou, dolepit do něj obrázky a pak oskenovat. Protokol může být česky, slovensky nebo anglicky.
  - Doporučená délka protokolu je max. 2 strany, případně 3, pokud se rozhodnete řešit bonusový úkol.
2. soubor s Vašimi zdrojovými kódy.
  - Může se jednat o jeden soubor (např. `moje_reseni.m`) nebo o ZIP archiv, pokud budete mít souborů více. Do tohoto souboru není třeba přikládat vygenerované obrázky, ty uvidíme v protokolu.
  - Projekt je **samostatná práce**, proto budou Vaše zdrojové kódy křížově korelovány a v případě silné podobnosti budou vyvozeny příslušné závěry.
  - Silná korelace s kódy ze studijní etapy je v pořádku, nemusíte tedy měnit názvy proměnných, přepisovat zbytečné komentáře, atd.

## 3 Zadání

1. **[0.5 bodu]** Načtěte Váš osobní signál ze souboru `xlogin00.wav`, kde “xlogin00” je Váš login. Napište vzorkovací frekvenci signálu a jeho délku ve vzorcích a v sekundách.
2. **[0.5 bodu]** Vypočítejte spektrum signálu pomocí diskrétní Fourierovy transformace. Do protokolu vložte obrázek modulu spektra v závislosti na frekvenci. Frekvenční osa musí být v Hz a pouze od 0 do poloviny vzorkovací frekvence.
3. **[0.5 bodu]** Určete a napište, na které frekvenci v Hz je maximum modulu spektra.
4. **[0.5 bodu]** Pro další zpracování je dán IIR filtr s následujícími koeficienty:  
 $b_0 = 0.2324, \quad b_1 = -0.4112, \quad b_2 = 0.2324, \quad a_1 = 0.2289, \quad a_2 = 0.4662$

Do protokolu vložte obrázek s nulami a póly přenosové funkce tohoto filtru a uveďte, zda je filtr stabilní.

5. **[0.5 bodu]** Do protokolu vložte obrázek s modulem kmitočtové charakteristiky tohoto filtru (frekvenční osa musí být v Hz a pouze od 0 do poloviny vzorkovací frekvence) a uveďte, jakého je filtr typu (dolní propust / horní propust / pásmová propust / pásmová zadrž).
6. **[0.5 bodu]** Filtrujte načtený signál tímto filtrem. Z výsledného signálu vypočítejte spektrum signálu pomocí diskrétní Fourierovy transformace. Do protokolu vložte obrázek modulu spektra v závislosti na frekvenci. Frekvenční osa musí být v Hz a pouze od 0 do poloviny vzorkovací frekvence.
7. **[0.5 bodu]** Určete a napište, na které frekvenci v Hz je maximum modulu spektra filtrovaného signálu.
8. **[0.5 bodu]** **V tomto a dalším cvičeních budete pracovat s původním signálem, ne s filtrovaným.**  
Do signálu bylo přimícháno 20 ms obdélníkových impulsů se střední hodnotou nula a střídou 50% na frekvenci 4 kHz. Tedy 80 sekvencí  $[h \ h \ -h \ -h]$  (kde  $h$  je kladné číslo) za sebou.  
Najděte, kde jsou – napište čas ve vzorcích a v sekundách.  
Pomůcka: pokud netušíte, jak na to, uvažte např. přizpůsobený filtr, výrobu spektra této sekvence a jeho hledání ve spektru signálu rozděleného po 20ti ms, poslech, atd. Cílem není matematická čistota, ale vyřešení úkolu.
9. **[0.5 bodu]** Spočítejte a do protokolu vložte obrázek autokorelačních koeficientů  $R[k]$  pro  $k \in -50 \dots 50$ . Použijte vychýlený odhad koeficientů podle vztahu

$$R[k] = \frac{1}{N} \sum_n x[n]x[n+k].$$

10. **[0.5 bodu]** Napište hodnotu koeficientu  $R[10]$ .
11. **[2 body]** Proveďte časový odhad sdružené funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti  $p(x_1, x_2, 10)$  mezi vzorky  $n$  a  $n+10$ . Do protokolu vložte 3-D obrázek těchto hodnot. Můžete použít barevnou mapu, odstíny šedi, projekci 3D do 2D, jak chcete. Chcete-li, můžete pro toto a následující dvě cvičení využít nebo vykuchat dodanou funkci `hist2opt.m`. Funkce ovšem řeší souborový odhad, pro zadaný časový odhad ji musíte modifikovat nebo šikovně zavolat.
12. **[2 body]** Ověřte, že se jedná o správnou sdruženou funkci hustoty rozdělení pravděpodobnosti, tedy že

$$\int_{x_1} \int_{x_2} p(x_1, x_2, 10) dx_1 dx_2 = 1$$

13. **[2 body]** Vypočítejte z této odhadnuté funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti autokorelační koeficient  $R[10]$ :

$$R[10] = \int_{x_1} \int_{x_2} x_1 x_2 p(x_1, x_2, 10) dx_1 dx_2$$

Srovnajte s hodnotou vypočítanou v příkladu 10 a komentujte výsledek.

---

**Bonusový úkol - nepovinný, není hodnocen body, ale nejzajímavější řešení vyhraje láhev dobrého francouzského červeného vína.**

Navrhněte prediktor (předpovídač), který dokáže odhadnout hodnotu vzorku  $x[n]$  z hodnot pěti předcházejících vzorků pomocí jednoduchého FIR filtru:

$$\hat{x}[n] = b_1 x[n-1] + b_2 x[n-2] + b_3 x[n-3] + b_4 x[n-4] + b_5 x[n-5],$$

kde  $\hat{x}[n]$  je odhadnutý vzorek.

Jako metriku pro určení kvality prediktoru použijte energii chyby predikce. Chyba predikce je definována jako rozdíl skutečných a předpovězených vzorků:

$$e[n] = x[n] - \hat{x}[n],$$

a její energie je dána zcela tradičně jako

$$E = \sum e^2[n].$$

Určete nejlepší možný prediktor pro Váš signál (původní, ne ten filtrovaný). Prediktor je plně dán hodnotami koeficientů  $b_1 \dots b_5$ . Vyhodnoťte také kvalitu prediktoru pomocí energie chyby predikce  $E$  a srovnejte Váš prediktor s několika “blbými”, např.

- prediktor generující pouze nuly:  $\hat{x}[n] = 0$
- prediktor opakující minulý vzorek  $\hat{x}[n] = x[n - 1]$
- prediktor průměrující dva minulé vzorky  $\hat{x}[n] = 0.5x[n - 1] + 0.5x[n - 2]$ .

Důležitý je opět pouze výsledek, takže můžete odvozovat, vyhledat a použít hotové odvozené řešení, použít libovolnou techniku strojového učení, zkusit určit koeficienty ručně, atd.