ZADÁNÍ PROJEKTU BPC-SAS

« Diskrétní signály, spojité a diskrétní systémy »

Za projekt je možno získat **maximálně 15 bodů**. Projekt je zadán v 5. týdnu semestru, přičemž jeho **odevzdání je nutné v E-learningu do 8. 12., 8.00 h**. Odevzdání **po termínu** znamená automatické přidělení **0 bodů**. **Hodnocení** odevzdaných projektů bude probíhat **formou ústní obhajoby** vašeho řešení, které se skládá z **napsaného kódu a výpočtů na papír**. Je nutné prokázat znalosti potřebné k úspěšnému vypracování celého řešení. Na 13. týden semestru budou vypsány časy obhajob, na které se budete muset zapsat. Konzultace jsou také možné – po předchozí domluvě přes *Teams*.

Je k dispozici dobrovolná možnost spolupracovat na projektu ve dvojici. Při této alternativě dvojice studentů zvolí menší ze svých ID a řešení vypracuje pro tuto volbu ID; větší ID se nevyužije. Při obhajobě projektu musí každý člen dvojice prokázat znalost celého řešení, stejně jako studenti, kteří nepracovali ve dvojicích. Oba členové dvojice na konci obhajoby obdrží stejné bodové hodnocení, které vystihuje celkovou kvalitu obhajoby.

Tip: Studenti, kteří již absolvovali tento kurz, doporučují pracovat na projektu průběžně: ***„A jestli si teď říkáte, že ten projekt zvládnete na poslední chvíli, věřte mi, nezvládnete.“*** – anonymní hodnocení kurzu studentem z roku 2020/2021.

Úkol 1: Analýza a číslicová filtrace signálu

V eLearningu máte dostupný audio soubor typu `wav`, pojmenovaný podle vašeho ID. Nahrávka obsahuje tři hlavní složky: užitečný signál (zvuk ptáčků), šum (zvuky větru a listí) a periodické rušení. K dispozici máte konečný úsek signálu. Předpokládejte, že se tento úsek neustále periodicky opakuje.

1. Pomocí vhodné transformace zjistěte, jaké periodické rušení signál obsahuje. Do jednoho okna vykreslete dva grafy:
   - načtenou časovou řadu (tj., vzor signálu);
   - transformovaný signál (tj., obraz signálu) — použijte logaritmické osy, vertikální i horizontální.
2. Rušení odstraňte tím, že na obraz signálu aplikujete vhodné signálové manipulace. (Šum lesa odstraňovat nemusíte.) Pak obraz signálu převeďte zpět do časové oblasti. Upravený obraz i signál dokreslete do grafů z bodu 1.

Tip: Vzpomeňte si, jak jsme na cvičení rozdělili signál na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční složky. Zkuste obdobně vybírat různé části signálu. Protože většina z vás zatím nemá dobrou představu, jak by měl vypadat rušivý či užitečný signál, doporučujeme vám vyzkoušet několik různých nastavení a kontrolu poslechem.

Pro tento účel jsou užitečné příkazy:

```
[signal, frekvence_vzorkovani] = audioread('nazev_souboru')
audiowrite('nazev_souboru',signal, frekvence_vzorkovani)
```

Tip: Funkce `semilogx` hlásí `warning` pokud se pomocí ní snažíte nanést negativní hodnoty na vodorovnou osu. Pomocí logického indexování (Cvičení 2) pro vykreslení vyberte jenom kladné frekvence.

Tip: Funkce `audiowrite` předpokládá, že zapisovaný signál je *ohraničený v amplitudě* hodnotou ± 1. Pokud tomu tak není, signál musíte před voláním `audiowrite` normalizovat, aby nedošlo k ořezání. Toho docílíte vydělením signálu jeho maximální, resp. minimální hodnotou — podle toho, která z nich je dále od nuly.

Tip: Pokud vám `audiowrite` hlásí problém: `Expected input to be real`, pak vaše řešení produkuje komplexní signál v čase – což zřejmě není v normální. Záchrana však nespočívá v aplikaci funkcí `real` či `abs` — těmi byste zmírnili následky, neřeší však skutečný zdroj problému.

Úkol 2: Návrh spojitého filtru

Na základě znalosti charakteru rušení z Úkolu 1 navrhněte jednoduchý spojitý systém pro jeho potlačení. Pomocí frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích vytvořte asymptotickou náhradu filtru, která vyhoví následujícím požadavkům (seřazeno podle důležitosti):

Parametr	**Hodnota**
Řád	2
Tlumení	na mezi aperiodicity
Potlačení rušivých složek	alespoň 20 dB[1]
Zesílení v propustném pásmu	přibližně 0 dB

([1] Právě 20 dB pro rušivou složku, která je nejblíže propustnému pásmu. Pro další složky více.)

Opět platí, že šum lesa nemusíte odstranit. Důležité je pouze potlačení periodického rušení o hodnotu v tabulce. Na základě navržených asymptot napište operátorový přenos vytvořeného systému.

Úkol 3: Diskretizace

Spojitý filtr z Úkolu 2 analyticky (ručně, na papír) diskretizujte. Periodu vzorkování zvolte tak, aby byl vhodný pro zpracování diskrétního signálu z Úkolu 1. Výsledek svého výpočtu vložte do MATLABU. Stačí v podobě součtu zlomků — pro zjednodušení na základní tvar použijte funkci pro krácení zlomků

```
Fz = minreal(Fz,1e-4)
```

Svůj výsledek ověřte jeho porovnáním s výsledkem funkce `c2d`. Do jednoho okna vykreslete čtyři grafy:

1. přechodovou charakteristiku,
2. impulzovou charakteristiku,
3. amplitudovou frekvenční charakteristiku,
4. fázovou frekvenční charakteristiku.

Do každého grafu vykreslete tři průběhy:

- plnou čarou pro spojitý systém,
- plnou čarou pro diskrétní systém získaný analyticky,
- přerušovanou čarou pro systém získaný příkazem `c2d`.

Tip: Pokud při výpočtu přehnaně zaokrouhlujete, může se stát, že `minreal` nic nezkrátí. V takovém případě zkuste zvětšit parametr pro toleranci krácení. (Nebo se radši odnaučte dosazovat a počítejte obecně s parametry T_s, T, a apod.)

Tip: Pro zpětnou Laplaceovu transformaci je často výhodné užití *reziduové věty* (učivo BPC-MA2). Zpětná transformace obrazu $F(p)$ s n <u>různými</u> póly je dána součtem všech reziduí

$$\mathcal{L}^{-1}\{F(p)\} = \sum_{k=1}^{n} \operatorname*{rez}_{p=p_k} [F(p)\mathrm{e}^{pt}]$$

přičemž pro reziduum k-tého pólu <u>násobnosti m</u> platí

$$\operatorname*{rez}_{p=p_k} [F(p)\cdot\mathrm{e}^{pt}] = \frac{1}{(m-1)!} \lim_{p\to p_k} \frac{\mathrm{d}^{m-1}}{\mathrm{d}p^{m-1}} [(p-p_k)^m F(p)\mathrm{e}^{pt}].$$

Pro póly násobnosti $m = 1, 2$ je vztah mnohem jednodušší, než se na první pohled zdá. Dostáváme

$$\operatorname*{rez}_{p=p_k} [F(p)\cdot\mathrm{e}^{pt}] = \lim_{p\to p_k} (p-p_k)F(p)\mathrm{e}^{pt} \quad \text{pro} \quad m = 1$$

a

$$\operatorname*{rez}_{p=p_k}[F(p)\cdot \mathrm{e}^{pt}] = \lim_{p\to p_k}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}p}[(p-p_k)^2F(p)\mathrm{e}^{pt}] \quad \text{pro} \quad m=2.$$

Tip: Alternativou k reziduové větě je rozklad na parciální zlomky a aplikace slovníku Laplaceovy transformace. Pro získaní $\mathcal{Z}$-obrazu využijte slovník $\mathcal{Z}$-transformace.

Laplaceova transformace	
Vzor $f(t)$	Obraz $F(p)$
$\delta(t)$	1
$\sigma(t)$	$\frac{1}{p}$
$\mathrm{e}^{-at}\sigma(t)$	$\frac{1}{p+a}$
$t\sigma(t)$	$\frac{1}{p^2}$
$t\mathrm{e}^{-at}\sigma(t)$	$\frac{1}{(p+a)^2}$

$\mathcal{Z}$-transformace	
Vzor f_k	Obraz $F(z)$
δ_k	1
$\sigma(k)$	$\frac{z}{z-1}$
$a^k\sigma(k)$	$\frac{z}{z-a}$
$k\sigma(k)$	$\frac{z}{(z-1)^2}$
$ka^k\sigma(k)$	$\frac{az}{(z-a)^2}$

Úkol 4: Realizace číslicového filtru

Diskrétní filtr z Úkolu 3 převeďte na diferenční rovnici. Pomocí cyklu `for` rovnici realizujte — spočtěte odezvu systému $F_\mathrm{D}(z)$ na signál f_k z Úkolu 1. Předpokládejte, že je signál mimo měřené hodnoty nulový.

Správnosti vašeho algoritmu ověřte funkcí `filter`. Výsledek filtrace systémem $F_\mathrm{D}(z)$ porovnejte s výsledkem filtrace v Úkolu 1.

Výstupem úkolu bude jedno okno se dvěma grafy nad sebou:

1. Původní signál f_k obsahující rušení.
2. Filtrované signály:
    - Odezva filtru $F_\mathrm{D}(z)$ na signál na základě `for` cyklu — plná čára,
    - ověření funkcí `filter` — přerušovaná čára,
    - filtrace z Úkolu 1 — plná čára, barevně odlišná.

Tip: Pro kontrolu si přibližte prvních 100 vzorků filtrovaných signálů a porovnejte výstupy získané pomocí `filter` a `for`. Jde o část, která často unikne pozornosti studentů.

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ústav automatizace a měřicí techniky
21. října 2025 napsali Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D. a Ing. Ondrej Mihálik.