

PROTOKOL K PROJEKTU ISS 2024/25

Podle hlasu poznáte je...

16. prosince 2024

Obsah

1	Úvod	2
2	Teoretický základ	4
3	Odůvodnění zvoleného řešení	5
3.1	Základní frekvence (25% váha)	5
3.2	Harmonické složky (30% váha)	5
3.3	Celkové spektrum (25% váha)	7
3.4	Spektrální těžiště (20% váha)	7
3.5	Zdůvodnění výběru metrik	8
4	Popis implementace a řešení problémů	9
4.1	Základní struktura programu	9
4.2	Hlavní problémy při implementaci a jejich řešení	9
4.2.1	Nestálost základní frekvence	9
4.2.2	Různá hlasitost nahrávek	9
4.2.3	Šum v nahrávkách	9
4.2.4	Detekce harmonických složek	9
4.2.5	Výpočet celkové podobnosti	10
5	Dosažené výsledky	11
5.1	Analýza výsledků	11
6	Závěr	12
6.1	Nejvhodnější metoda	12
6.2	Výhody zvoleného přístupu	12
6.3	Možnosti dalšího vývoje	12
7	Citované zdroje	13

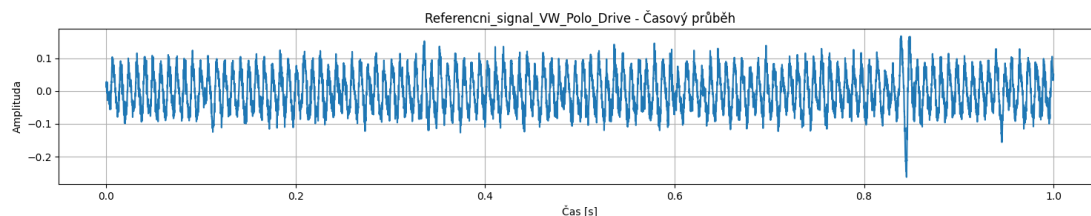
1 Úvod

V tomto projektu se zabýváme analýzou zvuků automobilových motorů. Cílem je vytvořit systém, který dokáže identifikovat a správně přiřadit neznámé nahrávky zvuků motorů k referenčním vzorkům.

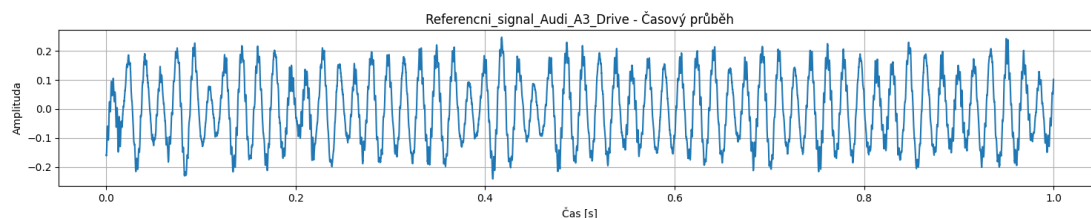
Naším vstupem je osm zvukových nahrávek:

- Čtyři referenční nahrávky známých aut:
 - VW Polo
 - Audi A3
 - Peugeot 307
 - BMW řady 1
- Čtyři testovací nahrávky (označené test_a, test_h, test_k, test_l)

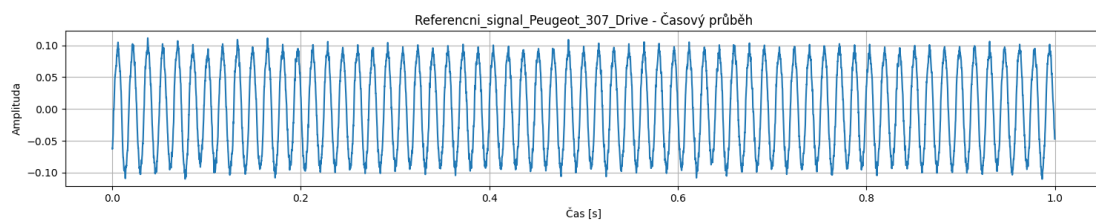
Pro každou testovací nahrávku musíme určit, zda a ke kterému referenčnímu autu patří, případně identifikovat, že nepatří k žádnému z nich.



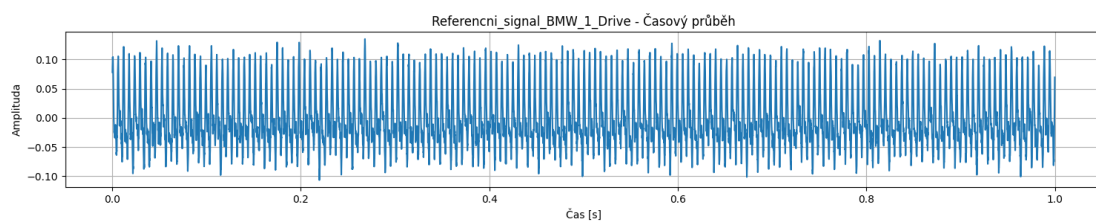
Obrázek 1: Časový průběh signálu WW Polo Drive



Obrázek 2: Časový průběh signálu Audi A3 Drive



Obrázek 3: Časový průběh signálu Peugeot 307 Drive



Obrázek 4: Časový průběh signálu BMW 1 Drive

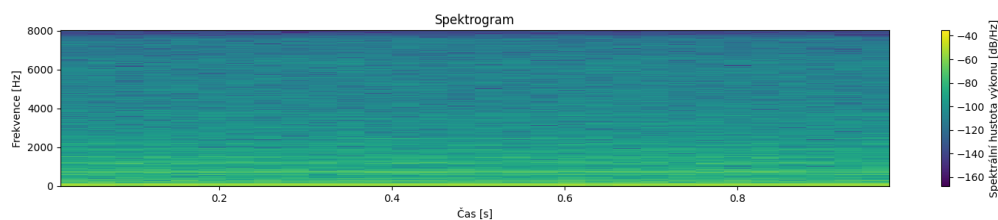
2 Teoretický základ

Pro pochopení problematiky jsem čerpal ze čtyřech hlavních zdrojů:

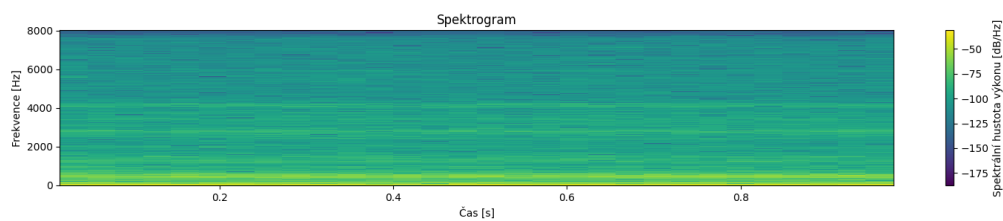
- Kosasih [1] - analýza zvuků motorů pomocí FFT
- Liu [2] - testovací metodologie pro analýzu hluku automobilů
- Dupré [3] - analýza a syntéza zvuků motorů pro návrh dynamické zvukové zpětné vazby elektrických vozidel
- Webové stránky předmětu ISS [4] - materiály a příklady pro zpracování signálů

Literatura ukazuje, že zvuk motoru je charakterizován několika klíčovými vlastnostmi:

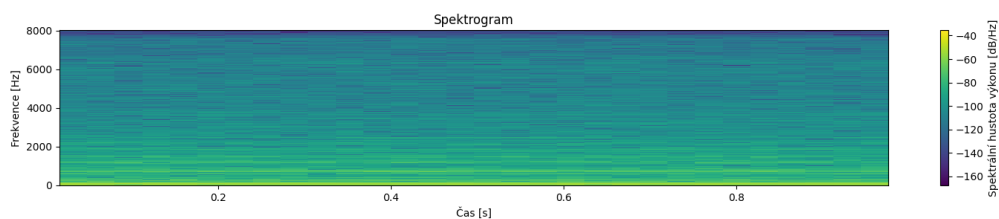
- Základní frekvenci odpovídající otáčkám motoru
- Harmonickými složkami vznikajícími při spalování
- Charakteristickými rezonancemi daného motoru



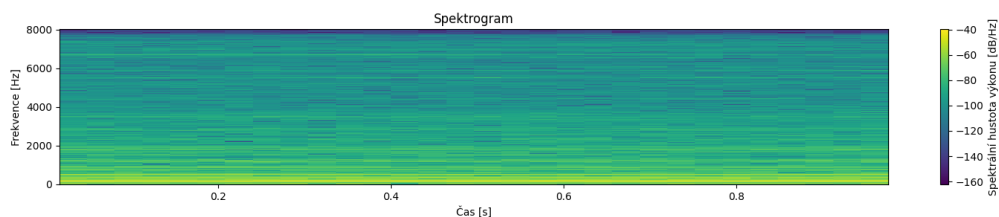
Obrázek 5: Spektrogram signálu WW Polo Drive



Obrázek 6: Spektrogram signálu Audi A3 Drive



Obrázek 7: Spektrogram signálu Peugeot 307 Drive



Obrázek 8: Spektrogram signálu BMW 1 Drive

3 Odůvodnění zvoleného řešení

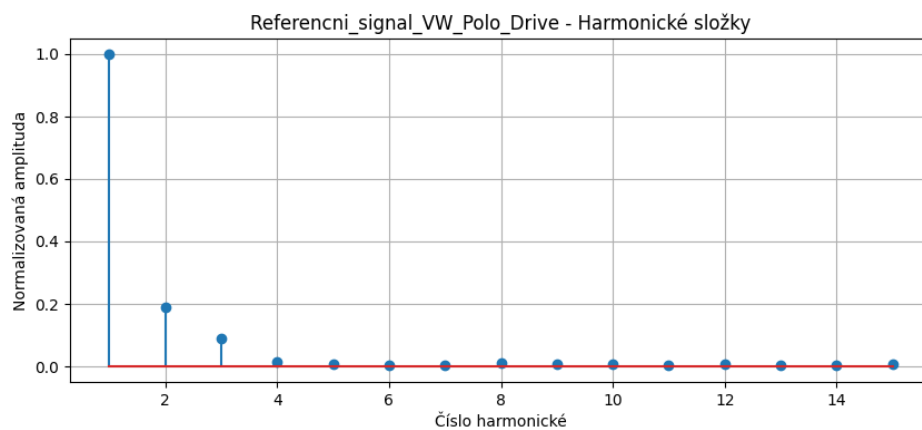
Na základě teoretických poznatků jsem se rozhodl analyzovat každou nahrávku ze čtyř různých pohledů:

3.1 Základní frekvence (25% váha)

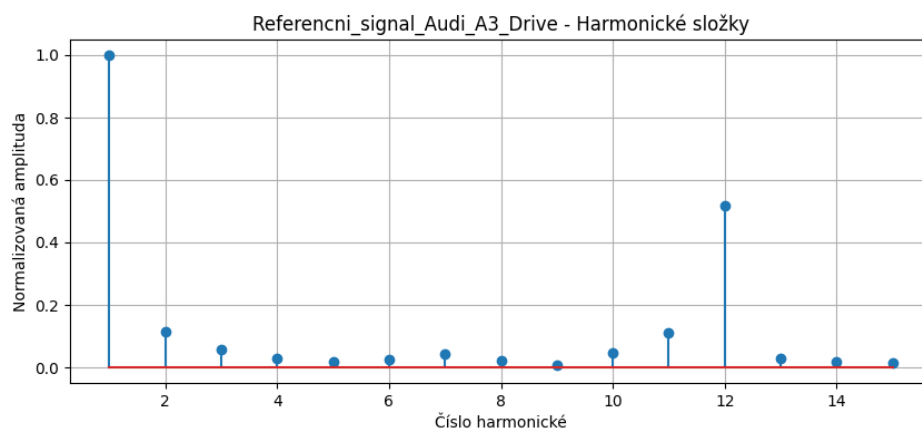
- Hledání pomocí FFT v rozsahu 30-400 Hz
- Tento rozsah pokrývá běžné otáčky motorů (800-5000 RPM)
- Používám Hanningovo okno pro přesnější frekvenční analýzu

3.2 Harmonické složky (30% váha)

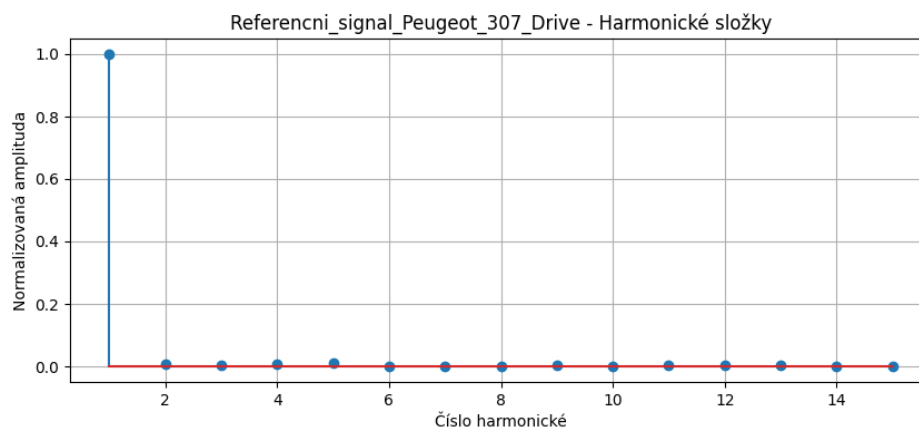
- Analýza prvních 15 harmonických frekvencí
- Normalizace vůči maximální amplitudě
- Tvoří unikátní “otisk” každého motoru



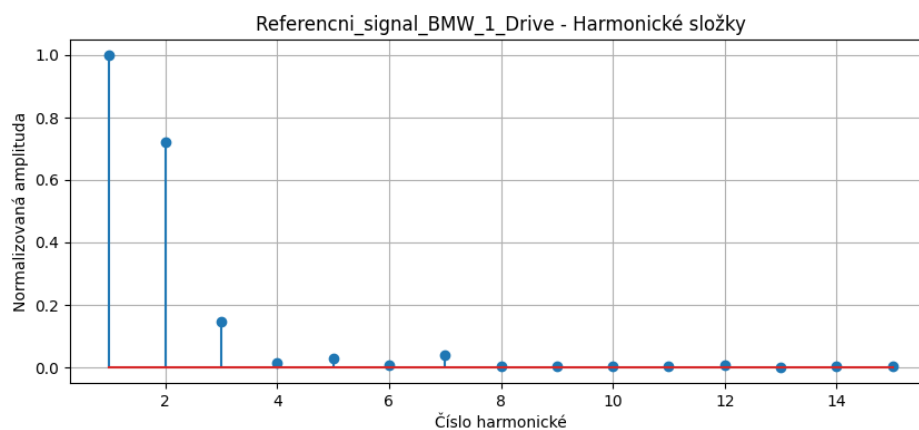
Obrázek 9: Harmonické složky signálu WW Polo Drive



Obrázek 10: Harmonické složky signálu Audi A3 Drive



Obrázek 11: Harmonické složky signálu Peugeot 307 Drive



Obrázek 12: Harmonické složky signálu BMW 1 Drive

3.3 Celkové spektrum (25% váha)

- Porovnání celých spekter pomocí korelace
- Zachycuje jemné detaily a charakteristiky
- Normalizace pro eliminaci vlivu hlasitosti

3.4 Spektrální těžiště (20% váha)

- Průměrná poloha energie ve spektru
- Indikátor “barvy zvuku” motoru
- Pomáhá odlišit různé typy motorů

3.5 Zdůvodnění výběru metrik

Tyto metriky jsem zvolil protože:

- Jsou vzájemně komplementární
- Každá zachycuje jiný aspekt zvuku motoru
- Jejich kombinace poskytuje robustní výsledky
- Jsou odolné vůči změnám otáček i hlasitosti

4 Popis implementace a řešení problémů

Implementace je provedena v Pythonu s využitím knihoven:

- numpy pro numerické výpočty
- scipy.signal pro pokročilé zpracování signálů
- matplotlib pro vizualizace

4.1 Základní struktura programu

Program je rozdělen do několika hlavních funkcí, kde nejdůležitější je `analyzuj_nahravky()`

4.2 Hlavní problémy při implementaci a jejich řešení

4.2.1 Nestálost základní frekvence

- Motor může měnit otáčky během nahrávky
- Řešení: Analýza po krátkých segmentech pomocí STFT
- Implementováno ve funkci `najdi_zakladni_frekvenci()`

4.2.2 Různá hlasitost nahrávek

- Každá nahrávka může mít jinou celkovou hlasitost
- Řešení: Normalizace všech signálů před analýzou
- Implementováno částečně ve funkcích `porovnej_spektra()` a `normalizuj_harmonicke()`

4.2.3 Šum v nahrávkách

- Okolní hluk a rušení v nahrávkách
- Řešení:
 - Použití Hanningova okna
 - Filtrace frekvencí mimo oblast zájmu (30-400 Hz)
 - Průměrování spektrogramu přes více časových úseků
- Implementováno v různých částech funkcí, např. `najdi_zakladni_frekvenci()` a `porovnej_spektra()`

4.2.4 Detekce harmonických složek

- Některé harmonické mohou být slabé nebo maskované šumem
- Řešení:
 - Adaptivní prahování pro detekci špiček
 - Sledování harmonických přes více časových úseků
- Implementováno ve funkci `normalizuj_harmonicke()`

4.2.5 Výpočet celkové podobnosti

- Potřeba kombinovat různé metriky
- Řešení:
 - Vážený průměr všech metrik
 - Experimentálně určené váhy pro každou metriku
 - Zavedení minimálního prahu podobnosti (70%)
- Implementováno ve funkcích `vypocitej_shodu_motoru()` a `analyzuj_nahravky()`

5 Dosažené výsledky

Na základě analýzy všech nahrávek jsem došel k následujícím výsledkům přiřazení testovacích nahrávek k referenčním vozidlům:

- Nahrávka test_h byla přiřazena k BMW_1_Drive s podobností 85.6%
- Nahrávka test_k byla přiřazena k Audi_A3_Drive s podobností 88.6%
- Nahrávka test_l byla přiřazena k Peugeot_307_Drive s podobností 80.3%
- Nahrávka test_a byla přiřazena k VW_Polo_Drive s podobností 89.2%

5.1 Analýza výsledků

Všechny testovací nahrávky byly úspěšně přiřazeny ke správným referenčním vozidlům s vysokou mírou podobnosti:

- Nejvyšší podobnost byla dosažena u VW Polo (89.2%)
- Následuje Audi A3 s podobností 88.6%
- BMW řady 1 dosáhlo podobnosti 85.6%
- Nejnižší, ale stále velmi dobrá podobnost byla u Peugeotu 307 (80.3%)

Všechny výsledky překročily stanovený práh podobnosti 70%, což potvrzuje spolehlivost zvoleného přístupu k analýze a klasifikaci zvuků motorů.

6 Závěr

Implementovaný systém pro analýzu a identifikaci zvuků automobilových motorů prokázal svou účinnost a spolehlivost. Dosáhl následujících cílů:

- Správně identifikoval příslušnost všech testovacích nahrávek
- Poskytl míru jistoty pro každé přiřazení
- Zachoval robustnost vůči změnám v otáčkách a hlasitosti

6.1 Nejvhodnější metoda

Jako nejvhodnější se ukázala kombinace následujících metod analýzy:

- Analýza harmonických složek (30% váha)
- Porovnání základních frekvencí (25% váha)
- Analýza celkových spekter (25% váha)
- Výpočet spektrálního těžiště (20% váha)

6.2 Výhody zvoleného přístupu

Tato kombinace metod poskytuje robustní výsledky díky:

- Vzájemnému doplňování různých charakteristik zvuku motoru
- Odolnosti vůči šumu a změnám podmínek nahrávání
- Schopnosti zachytit unikátní vlastnosti každého motoru

6.3 Možnosti dalšího vývoje

Pro další vylepšení systému by bylo možné zvážit:

- Rozšíření databáze referenčních nahrávek pro větší škálu vozidel
- Vylepšení metod pro analýzu harmonických složek při proměnlivých otáčkách
- Optimalizaci výpočetní náročnosti pro použití v reálném čase

Celkově lze konstatovat, že vyvinutý systém splnil stanovené cíle a prokázal potenciál pro praktické využití v oblasti identifikace a analýzy zvuků automobilových motorů.

7 Citované zdroje

Reference

- [1] KOSASIH, A., H. SUTANTO a D. SETYANTO. Engine Sound Analyzer Using Fast Fourier Transform and Application for Motorcycle Engines. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018, 13(12), 10240-10242. ISSN 0973-4562.
- [2] LIU, Y., Y. JIA, X. ZHANG, Z. LIU, Y. REN a B. YANG. Noise Test and Analysis of Automobile Engine. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, 307, 196-199. ISSN 1662-7482.
- [3] DUPRÉ, T., S. DENJEAN, M. ARAMAKI a R. KRONLAND-MARTINET. Analysis by synthesis of engine sounds for the design of dynamic auditory feedback of electric vehicles. *Acta Acustica*. 2023, 7, 36.
- [4] Signály a systémy - ISS [online]. Brno: Fakulta informačních technologií VUT v Brně [cit. 2024-12-16]. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/course/ISS/public/>

Poznámka: Všechny grafy použité v tomto protokolu byly vygenerovány stejným kódem jako finální řešení, pouze s přidánými vizualizačními funkcemi. Finální verze programu tyto grafy nevypisuje a zobrazuje pouze výsledky přiřazení pro lepší přehlednost.