

Semestrální projekt: Syntéza zvuku automobilu

B2M31SYN – Syntéza audio signálů

Tomáš Kratochvíle

30. prosince 2025

Abstrakt

Tato zpráva dokumentuje implementaci procedurální syntézy zvuku spalovacího motoru v MATLABu. Řešení využívá telemetrická data pro řízení aditivního a subtraktivního syntetizéru. Důraz je kladen na věrnou reprodukci harmonických složek a simulaci dynamických jevů (řazení, zatížení).

1 Vstupní data

Pro syntézu byl použit soubor `control_signals.txt`. Byly zpracovány veličiny s $f_s = 44100$ Hz:

- **RPM:** Určuje základní tón motoru.
- **Throttle:** Ovlivňuje spektrální bohatost a hlasitost sání.
- **Speed:** Generuje hluk pneumatik a aerodynamický svist.
- **Gear:** Slouží k detekci přeřazení (efekt spojky).

2 Metodika syntézy

2.1 Aditivní syntéza (Tónová složka)

Základní zvuk motoru je součtem harmonických složek. Fáze $\phi(t)$ vzniká integrací $\omega(t) = 2\pi \frac{RPM(t)}{60}$.

$$s_{tone}(t) = \sum_k A_k(Throttle) \cdot \sin(k \cdot \phi(t) + jitter(t)) \quad (1)$$

Použito spektrum do 8. řádu s dominantní 2. harmonickou (čtyřválec). Přidán *jitter* pro humanizaci.

2.2 Subtraktivní syntéza (Hluky)

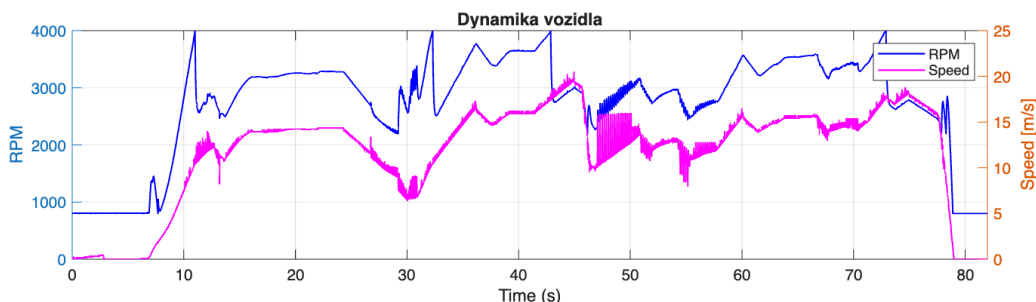
- **Rumble:** Dolní propust (400 Hz), mechanický hluk.
- **Sání:** Pásmová propust (1 – 4 kHz), závislé na plynu.
- **Pneu a Větr:** Filtrovaný šum závislý na rychlosti.

2.3 Post-processing

Implementován efekt *Gear Shift Ducking* (útlum při řazení) a High-Pass filtr (25 Hz) pro odstranění DC složky.

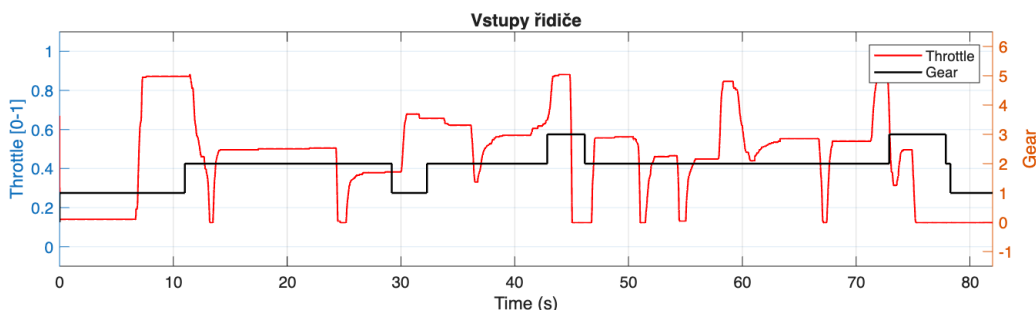
3 Výsledky

Syntetizovaný signál (`engine_audio.wav`) odpovídá dynamice jízdy.



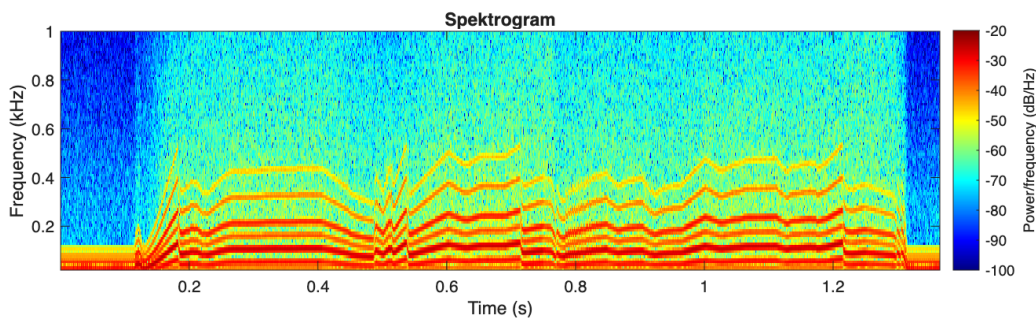
Obrázek 1: Dynamika jízdy: Korelace mezi otáčkami (RPM) a rychlostí.

Vstupy řidiče (Obr. 2) přímo modulují barvu zvuku (plyn) a spouští efekt spojky (změna převodu).



Obrázek 2: Vstupy řidiče: Poloha plynu a zařazený stupeň.

Detailní spektrogram (Obr. 3) v pásmu **20 Hz – 1000 Hz** zobrazuje harmonické složky sledující RPM.



Obrázek 3: Spektrogram syntetizovaného signálu (detail 20 Hz – 1 kHz).

4 Závěr

Model úspěšně simuluje zvuk motoru. Aditivní syntéza bez nelineárního zkreslení se ukázala jako ideální pro čistý, čitelný zvuk s definovanými harmonickými složkami.