

Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem

Přírodovědecká fakulta

Katedra informatiky

Seminární práce I – Počítačové zpracování signálu (KI/PZS)

Výpočet tepové frekvence z EKG a detekce anomálií

Autor: Meloshyn Serhii st99554

1 Zadání

Cílem seminární práce je načíst EKG signály z databáze PhysioNet, navrhnout postup pro automatickou detekci R-vrcholů a z nich vypočítat tepovou frekvenci a dále navrhnout způsob detekce anomálních úseků v signálu (rušení, pohybové artefakty apod.).

Zadání (stručně podle podkladů k seminární práci):

- 1) Výpočet tepové frekvence: automatická detekce R-vrcholů a prezentace tepové frekvence pro jednotlivá měření; ověření algoritmu na databázi MIT-BIH NSRDB a vyhodnocení úspěšnosti vůči anotacím.
- 2) Detekce anomálií: detekce porušených úseků v měřeních; prezentace statistiky výskytu anomálií a vizualizace vybraných úseků.

2 Použitá data a nástroje

Datové zdroje:

- BUTQDB (PhysioNet) – zdrojová databáze 18 měření EKG, některá s anotacemi událostí (P/T vlny, QRS).
- MIT-BIH NSRDB (PhysioNet) – testovací databáze normálních sinusových rytmů pro ověření detekce R-vrcholů.

Software a knihovny (Python):

- wfdb – načítání záznamů (.hea/.dat) kompatibilních s PhysioNet
- NumPy – numerické výpočty
- SciPy (signal, fftpack) – filtrace (Butterworth), FFT
- Matplotlib – grafické výstupy
- NeuroKit2 – detekce R-vrcholů (funkce `ecg_findpeaks`) v této implementaci

3 Postup řešení

3.1 Načtení EKG signálu

Záznam EKG je načten pomocí `wfdb.rdrecord()`. Použit je první kanál (`p_signal[:, 0]`) a vzorkovací frekvence `fs` je převzata z hlavičky záznamu.

3.2 Předzpracování a filtrace

Signál je očištěn pásmovou propustí (Butterworth) s mezními frekvencemi 0,5–50 Hz pro potlačení pomalého driftu a vysokofrekvenčního šumu. Pro demonstraci odstranění vysokofrekvenční složky je dále použita dolní propust s $f_c = 50$ Hz.

3.3 Detekce R-vrcholů

R-vrcholy jsou detekovány na filtrovaném signálu. V odevzdané implementaci je pro detekci využita knihovna NeuroKit2 (`nk.ecg_findpeaks`), která vrací indexy R-vrcholů. Pro splnění požadavku „navrhnout

algoritmus“ lze stejný postup popsat jako: filtrace → zvýraznění QRS → hledání lokálních maxim s refrakterní dobou.

3.4 Výpočet tepové frekvence

RR intervaly jsou spočteny jako rozdíly mezi sousedními indexy R-vrcholů, převedené na sekundy: $RR = \text{diff}(R) / fs$. Okamžitá tepová frekvence je poté $HR = 60 / RR$ (BPM). Průměrná tepová frekvence vychází z průměrného RR intervalu: $HR_mean = 60 / \text{mean}(RR)$.

3.5 Detekce anomálií

Detekce anomálií je řešena dvěma komplementárními způsoby:

A) Anomálie z RR intervalů:

- Z RR intervalů je spočten průměr a směrodatná odchylka.
- Za anomální jsou označeny intervaly mimo prahové hodnoty $\text{mean}(RR) \pm 2 \cdot \text{std}(RR)$.
- Tyto anomálie mohou indikovat nepravidelnosti rytmu nebo chybné detekce vrcholů.

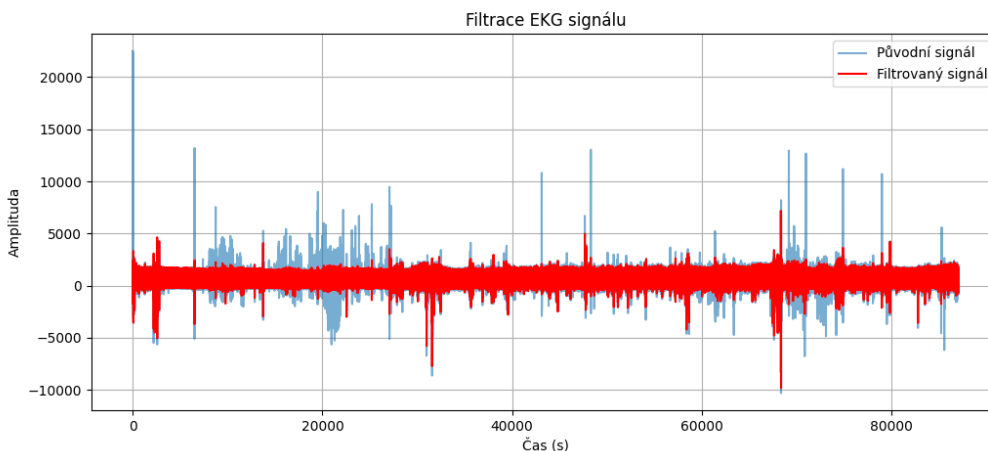
B) Amplitudové anomálie v signálu:

- Na očištěném signálu jsou hledány body s extrémní odchylkou od průměru: $|x - \text{mean}(x)| > 3 \cdot \text{std}(x)$.
- Tyto body typicky odpovídají rušení, pohybovým artefaktům nebo saturaci signálu.
- Výstupem je seznam indexů (časových bodů), které lze seskupit do anomálních úseků.

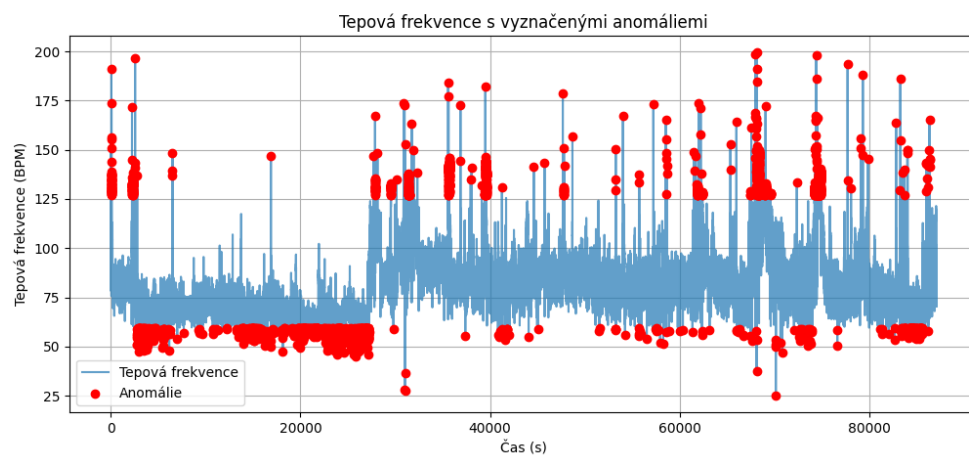
3.6 Frekvenční analýza

Pro kontrolu spektrálního obsahu signálu je spočtena FFT a zobrazeno jednostranné amplitudové spektrum v rozsahu 0–100 Hz. Spektrum slouží k identifikaci vysokofrekvenčního šumu a volbě mezních frekvencí filtrů.

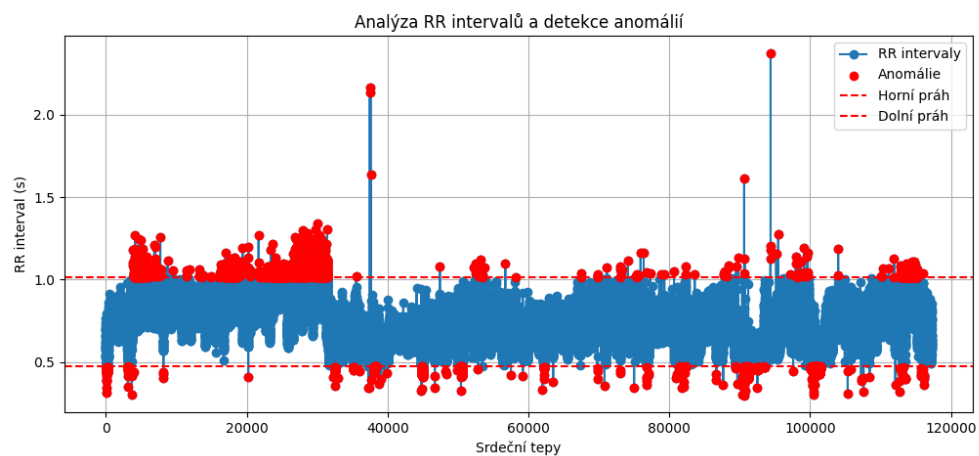
4 Výsledky



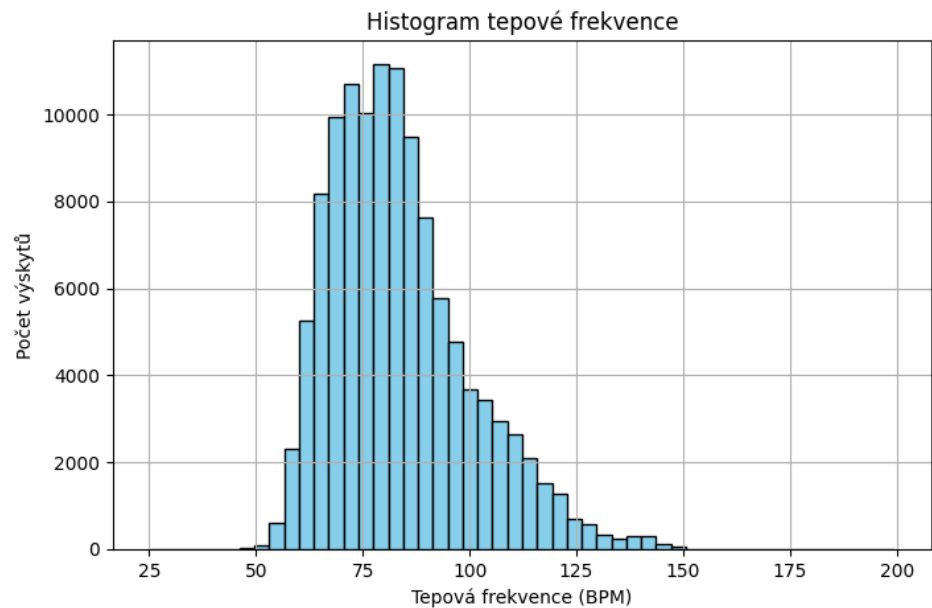
Obr. 1: Filtrace EKG signálu (původní vs. filtrovaný signál).



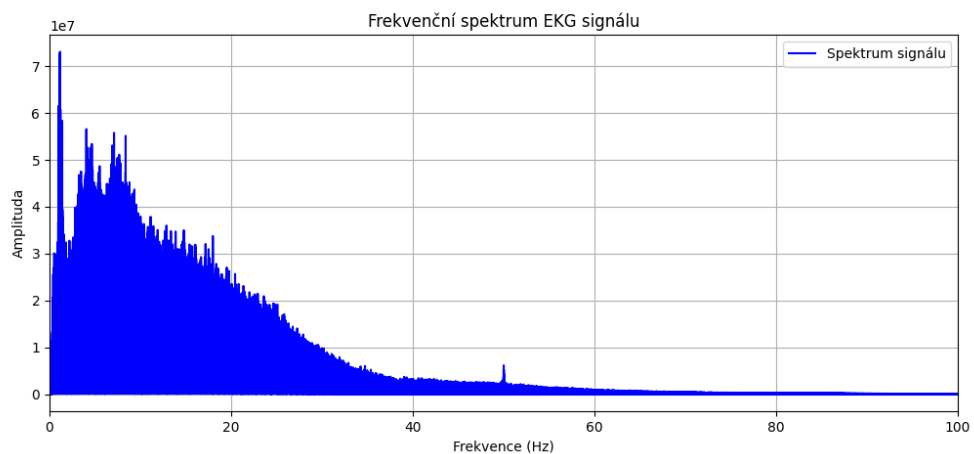
Obr. 2: Tepová frekvence v čase (BPM).



Obr. 3: Analýza RR intervalů a detekce anomálií podle prahů.



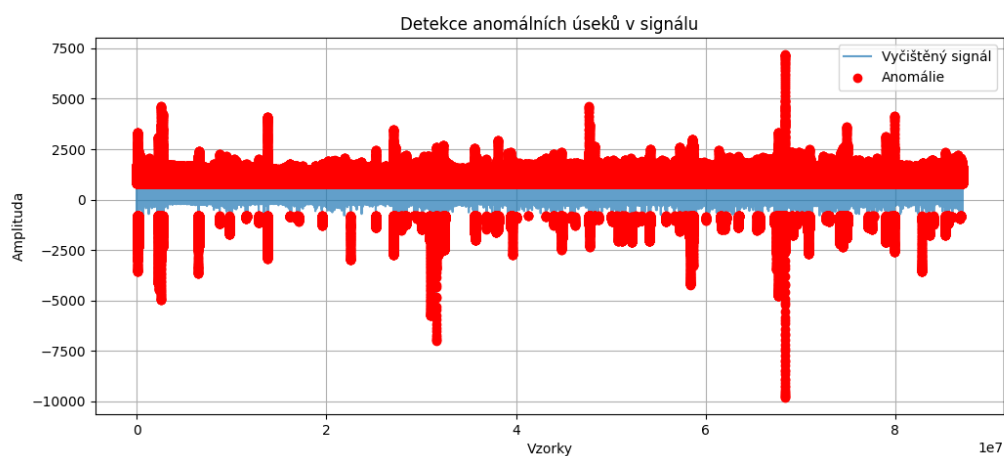
Obr. 4: Histogram tepové frekvence (BPM).



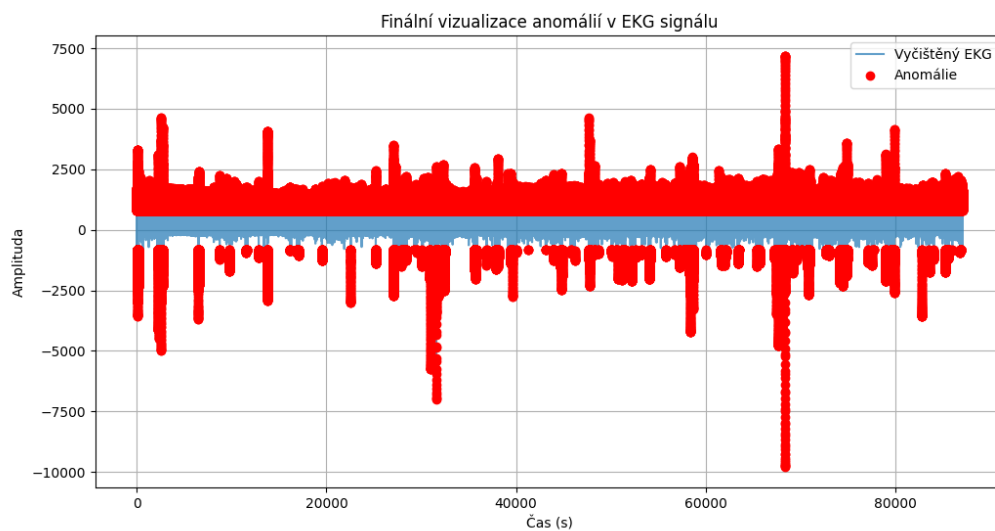
Obr. 5: Frekvenční spektrum EKG signálu (FFT, 0–100 Hz).



Obr. 6: Ukázka filtrace vysokofrekvenčního šumu (prvních 10 s).



Obr. 7: Detekce anomálních bodů/úseků v signálu (amplitudová metoda).



Obr. 8: Finální vizualizace anomálií v EKG signálu (časová osa).

4.1 Souhrnné metriky

Z analyzovaného EKG signálu bylo úspěšně načteno **87 087 000 vzorků** se vzorkovací frekvencí **1000 Hz**. Na základě detekovaných R-vrcholů byly vypočteny RR intervaly a následně základní statistiky variability srdečního rytmu.

- **Průměrný RR interval: 0,743 s**
- **Směrodatná odchylka RR: 0,134 s**
- **Počet anomálních RR intervalů: 4125**
- **Odhad tepové frekvence: 80,77 BPM**

Tabulka shrnutí (1 měření):

- **Měření: EKG_100001**
- **Průměrný RR interval: 0,742868 s**
- **Tepová frekvence: 80,768019 BPM**

4.2 Detekce vysokofrekvenčního šumu a filtrace

Ve frekvenční doméně byla detekována přítomnost vysokofrekvenčního šumu. V rámci analýzy byly identifikovány dominantní složky šumu na frekvencích (zobrazeno prvních 10):

0,2394; 0,2657; 0,2692; 0,2694; 0,2735; 0,2736; 0,2743; 0,2745; 0,2745; 0,2747 Hz.

Na základě tohoto zjištění byla provedena filtrace signálu a šum byl odstraněn. Výsledek filtrace je patrný z přiložených grafů (časový průběh před/po filtraci a frekvenční spektrum).

4.3 Detekce anomálních úseků v signálu

Po filtraci byla provedena detekce odlehlých hodnot/anomálních úseků v signálu. Celkem bylo nalezeno:

- **Počet anomálních bodů v signálu: 2 732 613**
- **Počet detekovaných anomálních segmentů: 2 732 613**

Anomálie jsou vizualizovány v přiložených grafech (označení anomálních úseků v časové oblasti a související histogram / přehled rozložení).

5 Závěr

Byl implementován postup pro načtení EKG signálu, jeho základní filtraci a výpočet tepové frekvence na základě detekovaných R-vrcholů. Dále byla navržena detekce anomálií pomocí analýzy RR intervalů a

amplitudové detekce extrémních odchylek v signálu. Výsledky jsou prezentovány formou grafů a souhrnných tabulek.

Limity řešení: kvalita detekce R-vrcholů může být ovlivněna šumem a artefakty; amplitudová detekce může označit i fyziologicky výrazné části EKG jako anomálie. Pro zlepšení lze doplnit robustnější detekci QRS (např. Pan–Tompkins) a seskupování bodových anomálií do časových úseků.

