

## ISS Projekt 2023/24

Honza Pavlus, Honza Brukner a Honza Černocký, ÚPGM FIT VUT

6.11. 2023

### 1. Úvod

V projektu budete pracovat se biomedicínskými signály a to konkrétně se signálem elektrokardiogramu EKG. Vyzkoušíte si filtraci tohoto druhu signálu, abyste dostali krásné EKG křivky, které můžete vidět ve filmech. Dále si zkusíte vybudovat jednoduchý, ale účinný detektor QRS a ti, kteří se vrhnou i na bonusový úkol, si zkusí odhalit srdeční patologie. K dispozici dostanete každý 3 nahrávky jednonábového EKG signálu, jeden zdravý a dva s různými patologiemi.

Projekt je nejlépe možno řešit v Python-u a to přímo v dodaném Python notebooku, který si můžete zkopírovat do vlastního Google Colabu. Projekt je také možno řešit v Matlab-u, Octave, Julii, jazyce C, Java nebo v libovolném jiném programovacím či skriptovacím jazyce. Je možné použít libovolné knihovny. Projekt se nezaměřuje na "krásu programování", není tedy nutné mít vše úhledně zabalené do okomentovaných funkcí (samozřejmě se ale okomentovaný kód lépe opravuje a to hlavně v případě podivných výsledků), ošetřené všechny chybové stavy, atd. Důležitý je výsledek.

**Vaši práci odevzdáváte vyexportovanou do dvou souborů: (1) do PDF souboru login.pdf, (2) do Python notebooku login.ipynb. PDF musí obsahovat výsledky prokazatelně vytvořené Vaším kódem.** V případě řešení projektu v jiném jazyce nebo prostředí než v dodaném Python notebooku, je prvním souborem protokol v PDF, druhý soubor je archiv s Vaším kódem. Ten musí být spustitelný na standardní fakultní distribuci Windows nebo Linuxu.

### 2. Teorie - před odevzdáním prosíme smazat včetně ilustračních obrázků.

Pokud znáte základní teorii okolo EKG signálů, můžete tuhle část přeskočit. Teorie je doopravdy stručná, neboť teorie EKG není cílem tohoto předmětu.

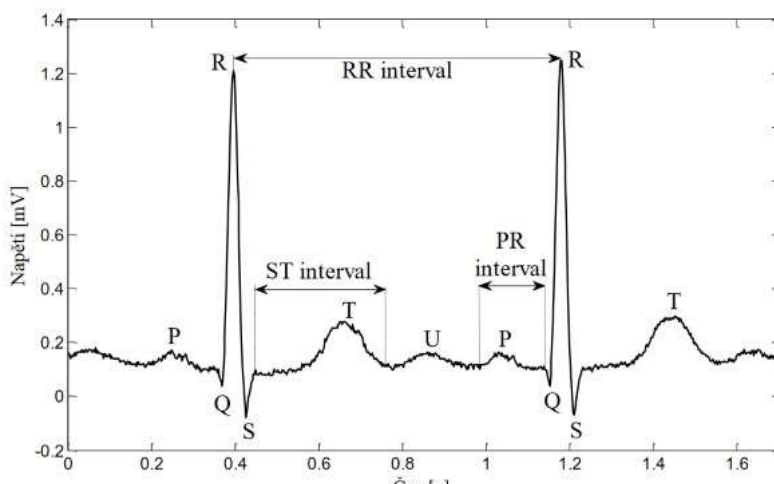
EKG signál má několik základních částí:

1. P vlnu, která značí počátek kontrakce předsíní
2. QRS komplex vln, který vzniká depolarizací komor (jejich stažením)
3. T vlna jako poslední představuje repolarizaci komor (tedy jejich zpětné roztažení)

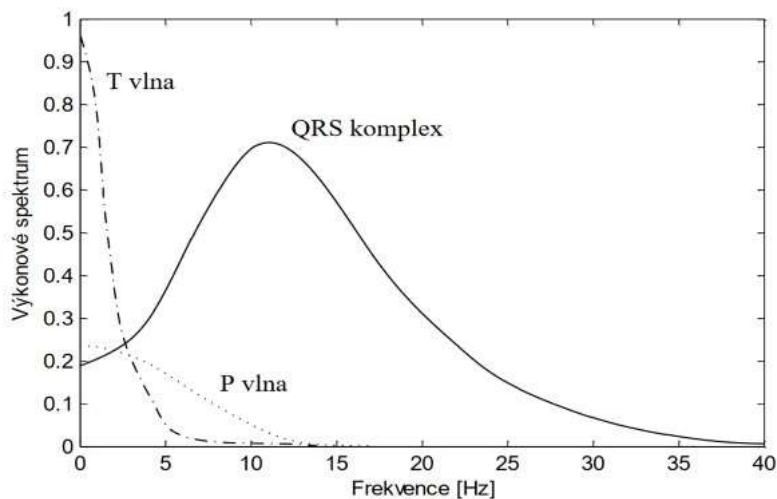
Nás bude zajímat především QRS komplex, který se ve spektru nachází mezi 10 Hz a 20 Hz. Z polohy QRS lze určit RR interval - vzdálenost mezi jednotlivými R vlnami. RR interval je přímo spojený se srdečním tepem. Na obrázku spektra EKG signálu můžete také vidět, na kterých frekvencích se nachází P a T vlna, kterou my ale v projektu odfiltrujeme.

EKG se snímá v několika základních rozloženích elektrodových svodů. V nemocnici se potkáte nejčastěji s 12 svodovým EKG. V projektu dostanete jeden z těchto svodů.

### Popis EKG



### EKG ve spektru



Obr. 2: Výkonové spektrum signálu EKG

### > 3. Vstup

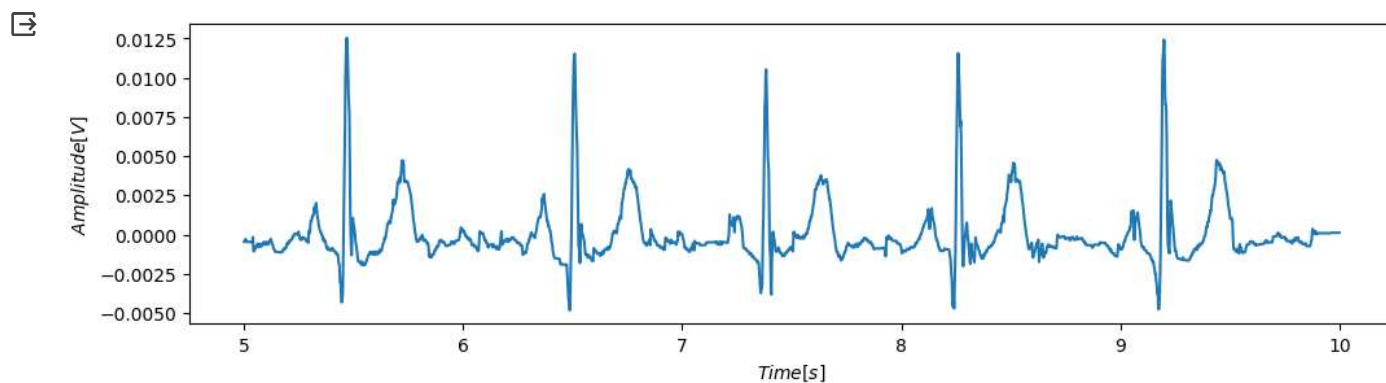
Pro řešení projektu má každý student/ka k dispozici osobní soubor se zdravým signálem (sinusovým rytmem): **login.wav**, kde login je váš xlogin popřípadě VUT číslo (pro studenty FSI). Dále jsou k dispozici ještě další dva signály: **FIS.wav** a **KES.wav**. První signál obsahuje fibrilaci a druhý komorovou extrasystolu. Tyhle dva soubory jsou pro všechny společné a využijete je při řešení bonusového úkolu.

[ ] ↴ Скрыта 1 ячейка.

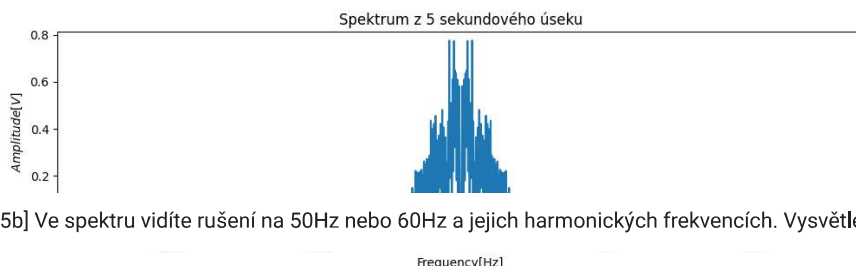
### ✓ 4. Úkoly

#### ✓ 4.1. [2.5b] Nahrání a zobrazení EKG signálu

a) [1b] Nahrajte EKG signál login.wav, vyberte 5-sekundový úsek a zobrazte ho v časové doméně. Pro nahrání signálu použijte knihovny numpy a soundfile.



b) [1b] Spočítejte spektrum z 5 sekundového úseku nahraného signálu a zobrazte jej.



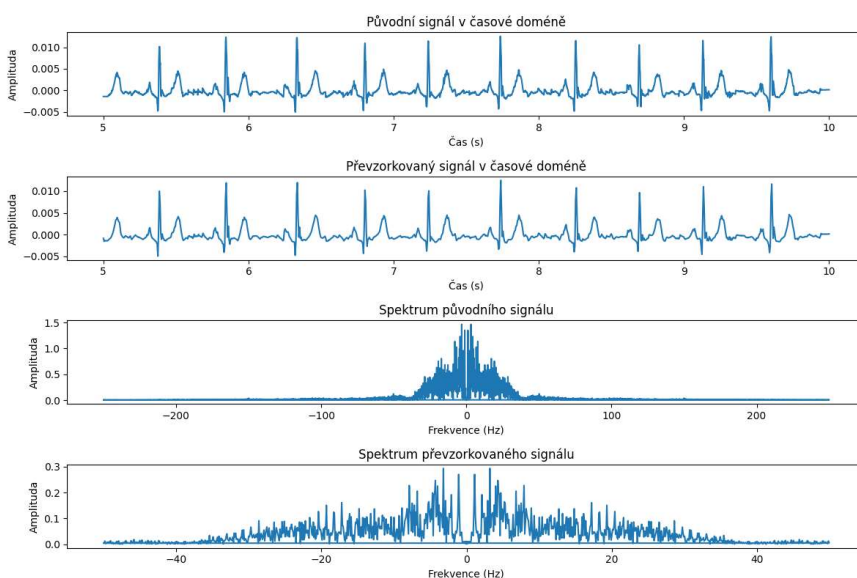
c) [0.5b] Ve spektru vidíte rušení na 50Hz nebo 60Hz a jejich harmonických frekvencích. Vysvětlete, čím je způsobeno.

Elektrickým šumem v okolí (v Evropě ten šum obvykle při 50Hz)

#### ✓ 4.2. [3b] Převzorkujte nahraný signál

a) [2b] Převzorkujte signál na vzorkovací frekvenci 100 Hz, nezapomeňte na filtr pro antialiasing. Můžete například odstranit část spektra od  $\frac{F_s}{2}$  nebo použít filtr dolní propusti.

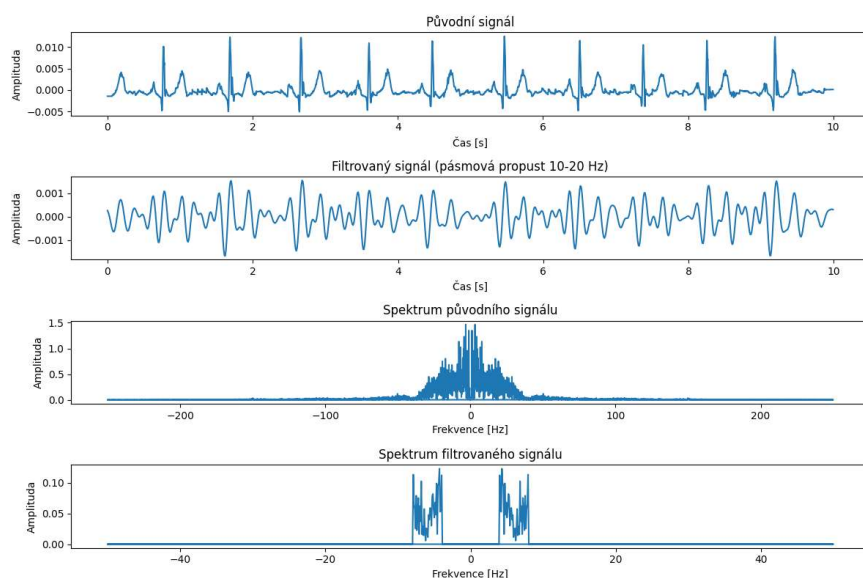
b) [1b] Zobrazte 5 sekundový úsek původního a převzorkovaného signálu v časové doméně a zobrazte i jejich spektra.



#### ✓ 4.3. [4b] Vyfiltrujte nahraný signál pásmovou propustí 10Hz-20Hz

a) [2b] Vytvořte filtr pásmové propusti, možnosti jsou dvě: buďto filtrovat pomocí klasického návrhu filtrů, kde získáte koeficienty  $a$  a  $b$  (pomocí např. `scipy.butter`) a zobrazíte charakteristiku filtru + nuly a póly. Nebo se můžete vydat cestou filtrování ve frekvenční doméně, frekvenční charakteristiku vykreslete pomocí spektrální masky.

b) [1b] Použijte navržený filtr na nahraný signál. Pokud máte navržený klasický filtr, proveďte filtrování z obou stran, abyste se vyhnuli fázovému posunu, to za vás zajistí například funkce `scipy.signal.filtfilt`. Vykreslete původní a vyfiltrovaný signál v časové doméně a spočítejte a zobrazte jejich spektra.

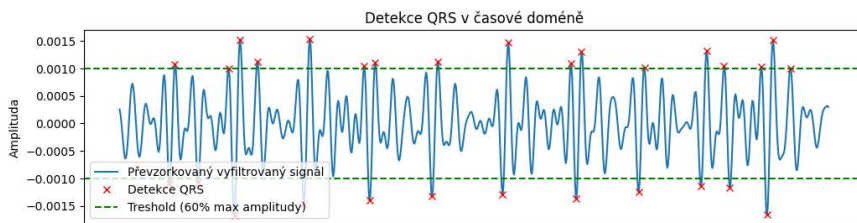


c) [1b] Okomentujte rozdíl mezi filtrovaným a nefiltrovaným signálem a jejich spektry. Pokud bychom použili filtrování pouze z jedné strany (obyčejnou konvoluci), jaké je teoreticky největší posunutí ve vzorcích, které se může objevit a proč?

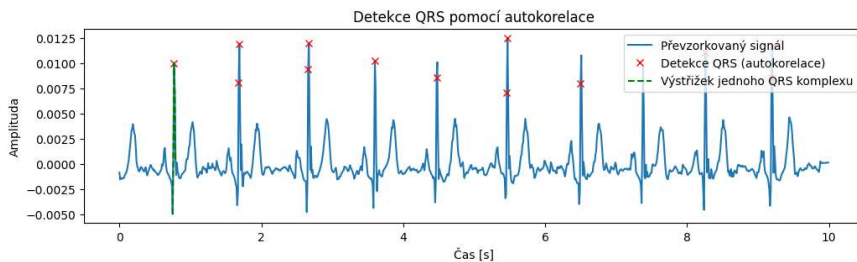
Zde napište vaše řešení.

4.4. [3b] Vytvořte detektor QRS v časové doméně. Detekované QRS komplexy uložte do vhodné struktury a zároveň zobrazte graf v časové ose se zvýrazněnými QRS detekcemi.

a) [1b] Detekujte QRS v převzorkovaném vyfiltrovaném signálu pomocí thresholdu (prahu). Pro tuto detekci musíte nejdříve získat vzorek jednoho QRS ze signálu, spočítat si maximální amplitudu a jako threshold vzít vámi určené procento této hodnoty. **Dávejte pozor na možnost otočeného QRS v signálu.** Do vykresleného signálu s detekcemi vykreslete i čáru udávající použitý threshold.

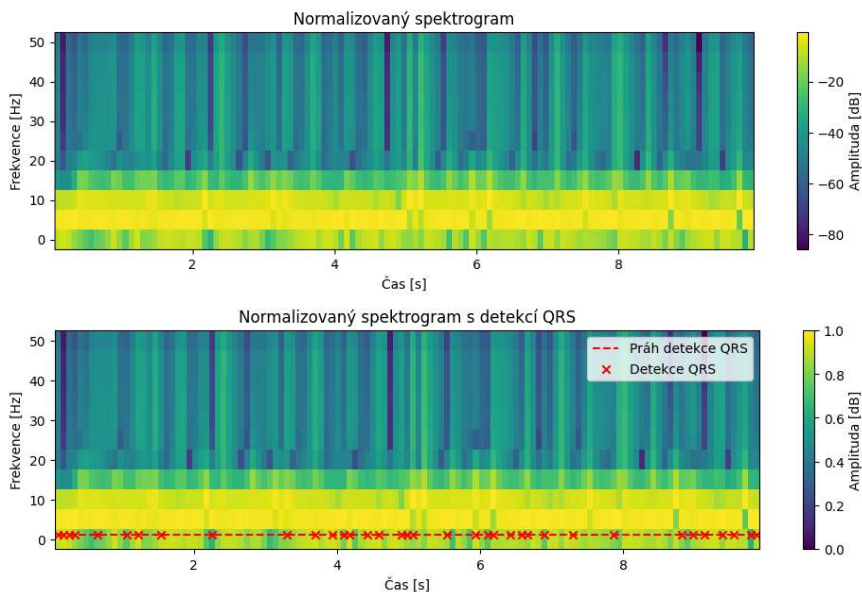


b) [2b] Detekujte QRS v signálu pomocí autokorelace v převzorkovaném nefiltrovaném signálu. Pro tuto detekci musíte nejdříve získat vzorek jednoho QRS ze signálu. Dále budete autokorelovat signál právě s tímto výstřížkem. QRS se budou nacházet na místech, kde vám budou vycházet vysoké hodnoty korelace. Do vykresleného signálu s detekcemi označte i vámi zvolený výstřížek.



#### ✓ 4.5. [3.5b] Vytvořte detektor QRS v frekvenční doméně a detekované QRS zakreslete jako v předchozí úloze 4.4

a) [2b] Detekujte QRS pomocí použití spektrogramu. Spočítejte a zobrazte spektrogram nahraného převzorkovaného filtrovaného signálu. Použijte parametry, `hop_size=120ms` a `window_len=200ms`, popřípadě si zkuste s těmito parametry pohrát. Spektrogram dále normalizujte v čase. Spočítejte sumy energie spektra pro jednotlivé časové biny. Dále vytvořte práh podle hodnoty energie spektra u prvního vámi zvoleného QRS komplexu. Tento práh použijte pro detekci zbylých QRS komplexů v signálu.



b) [1b] Detekujte QRS pomocí použití obálek a Hilbertovy transformace.

Hilbertova transformace je spočítaná podle následujícího vzorce

$$x_a = F^{-1}(F(x)2U) = x + iy,$$

kde  $F$  je Fourierova transformace a  $F^{-1}$  je její zpětná varianta.  $U$  je Heavisideova funkce neboli funkce jednotkového skoku, která je definována:  $U(x)$  :

$$\begin{cases} 0.5 & x = 0 \\ 1 & 0 < x < \frac{N}{2} \text{ pro } N \text{ liché} \\ 0.5 & x = \frac{N}{2} \text{ pro } N \text{ liché} \\ 1 & 0 < x \leq \frac{N}{2} \text{ pro } N \text{ sudé} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

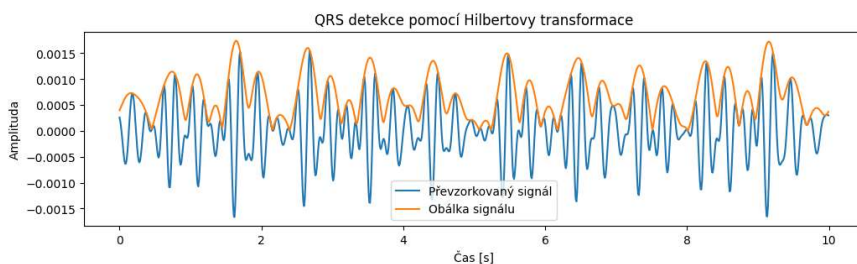
kde  $N$  je počet koeficientů Fourierovy transformace - pokud není určeno jinak, je to počet vzorků signálu.

Jinými slovy obálku spočítáte tak, že:

- Spočítáte FFT  $F$  na filtrovaném a převzorkovaném signálu
- Vynulujete pravou symetrickou část spektra
- Levou část spektra vynásobíte 2 kromě prvního a prostředního binu (při sudém počtu frekvenčních binů).
- Provedete zpětnou FFT  $F^{-1}$

Abyste získali obálku signálu, je třeba vzít absolutní hodnotu signálu získaného Hilbertovou transformací.

Obálku a signál vykreslete do jednoho grafu přes sebe, obálka by měla obalovat daný signál.



c) [0.5b] Při kterých metodách detekcí QRS nám vadí otočený (flipnutý) signál, při kterých ne a proč?

Zde napište vaše řešení.

#### ✓ 4.6 [2b] Detekce R-R intervalu

a) Detekujte R-R intervaly pomocí detekovaných QRS z jednotlivých metod, které jste použili dříve. Vykreslete hodnoty R-R intervalu do stejného grafu jako EKG signál a detekované QRS. Vykreslení proveďte nad EKG signál, kde osa x bude i nadále časová a každý R-R interval bude zakreslen na x pozici detekovaného QRS. Osa y pro R-R interval bude určovat hodnotu samotného R-R intervalu.

