

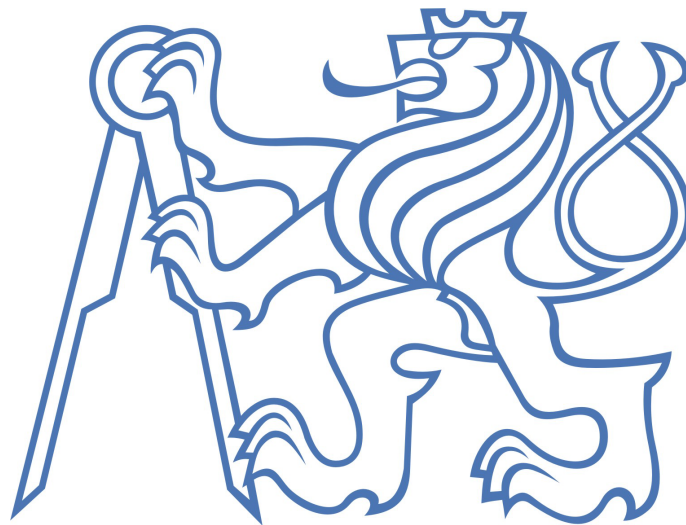


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Elektrokardiografie

Jan Štrobl, Marek Pioreck



1 Úvod

Elektrokardiografie (EKG) je jedním ze základních biologických signálů, který je dobře znám i běžné veřejnosti. V tomto cvičení studenti vytvoří za pomoci modulu ARDUINO vlastní EKG přístroj, který následně zprovozní. Studenti si následně naměří vlastní EKG signál. Cvičení navazuje na předchozí hodinu, kdy se studenti podrobně seznámili se strukturou ukládání dat. Na základě těchto získaných informací studenti uloží nahraný EKG signál ve struktuře, kterou si sami navrhnou a zároveň bude tato struktura odpovídat požadavkům na uložení biologických signálů. Cvičení je dále zaměřeno na sestavení a porovnání jednoduchých digitálních i analogových filtrů.

2 Pozadí problému

Vytvoření a následné uložení biologického záznamu v sobě kombinuje znalosti hardwaru a softwaru. V rámci tohoto cvičení využijí studenti k této komplexní práci jeden z nejzákladnějších a nejlépe popsanych biologických signálů a sice elektrokardiogram. Pro vytvoření jednoduchého EKG přístroje lze s výhodou využít ARDUINO modul, který má již k dispozici samotný EKG senzor a pro programování procesoru využívá vlastní programovací jazyk, který je nástavbou programovacího jazyku C a je uživatelsky mnohem přívětivější.

2.1 Elektrokardiografie

Elektrokardiografie měří elektrickou aktivitu srdce. Měření probíhá běžně pomocí povrchových elektrod a s výhodou využívá vysoké vodivosti lidského těla, které je z velké části tvořeno vodou. V klinické praxi se běžně používá 12svodové EKG, které využívá 10 elektrod. Mezi těchto 12 svodů patří bipolární Einthovenovy svody (svody I, II a III) využívající elektrody RA, LA a LL (viz obrázek 2.1¹). Stejné elektrody využívají i takzvané Goldbergovy svody, ty ovšem využívají jako nulovou elektrodu virtuální elektrodu vzniklou zprůměrováním dvou zbývajících elektrod. Kromě tří měřících elektrod využívají výše jmenované svody ještě jedné zemnicí elektrody umístěné na pravé dolní končetině (popřípadě v pravém tříslu). Posledních 6 elektrod tvoří takzvané Wilsonovy hrudní svody. Signál se měří ze 6 hrudních elektrod s názvem V1 až V6 (viz obrázek 2.1). Jedná se o unipolární svody s virtuální nulovou elektrodou vzniklou zprůměrováním elektrod RA, LA a LL. U ambulantní péče se z důvodu velkého důrazu na rychlé naměření EKG využívá běžně pouze tři Einthovenových svodů.

Velkou výhodou EKG je jasně definovaný tvar EKG signálu, který je dobře popsán a z velké míry je známo biologické pozadí vzniku jednotlivých částí signálu. EKG signál má tedy typický tvar, který je znázorněn na obrázku

¹M. S. Toosi et al., False ST elevation in a modified 12-lead surface electrocardiogram, *Journal of Electrocardiography*, 2008, DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2007.11.004

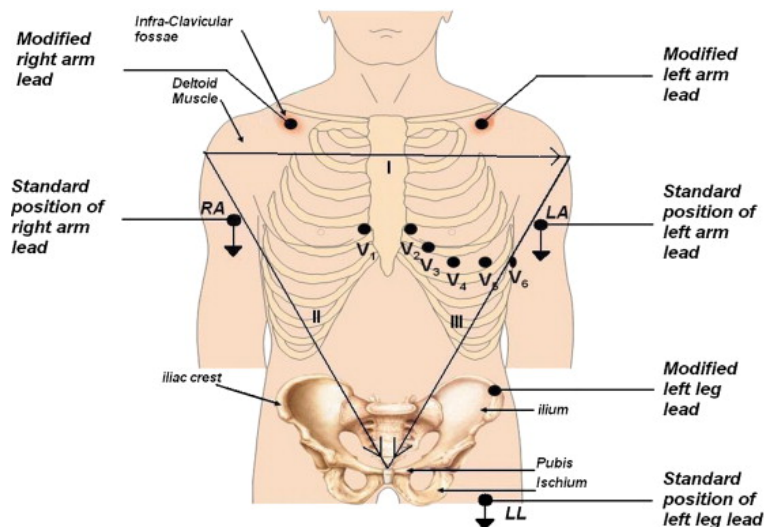


Figure 1: Znázornění umístění základních elektrod a svodů u elektrokardiografie.

2.1². P vlna v EKG signálu odpovídá depolarizaci srdečních síní. Doba trvání následného PR segmentu (viz obrázek 2.1) odpovídá zdržení elektrického signálu z převodního systému srdečního vzniklého při přechodu ze síní do srdečních komor. Následuje QRS komplex, který odpovídá depolarizaci komor. QRS komplex je díky svému tvaru (ostrá špička s vysokou amplitudou) snadno detekovatelný a jeho detekce se využívá pro určení srdečního tepu. T vlna (viz obrázek 2.1) poté odpovídá repolarizaci srdečních komor. Z EKG signálu odečteného z Einthovenových svodů lze zároveň určit elektrickou osu srdeční, která vypovídá o natočení srdce ve 2D prostoru.

2.1.1 Filtrace signálu

Samotný biologický signál má specifický frekvenční rozsah, který je typický pro každý druh biologického signálu. Pokud bychom zobrazili biologický signál i s velmi nízkými frekvencemi byl by tento signál náchylný na artefakty jako je drift izolínie. Vysoké frekvence jsou naopak náchylné na velké množství technických artefaktů (například rušení způsobené motory či síťový šum). Vysoké frekvence obsahují také velmi často biologický artefakt, který generují kosterní svaly. I tento artefakt chceme ve velkém množství měření potlačit (s výjimkou například nahrávání EMG signálu). Z výše zmíněného vyplývá, že nedílnou součástí zpracování biologických signálů je filtrace nechtěných frekvenčních pásem.

Dříve probíhala veškerá filtrace pomocí analogových filtrů, které se sestavovali pomocí specifického zapojení elektrotechnických prvků (například kon-

²M. Hadjem et al., An ECG T-wave Anomalies Detection Using a Lightweight Classification Model for Wireless Body Sensors, IEEE International Conference on Communications Workshops, 2015, DOI: 10.1109/ICCW.2015.7247191

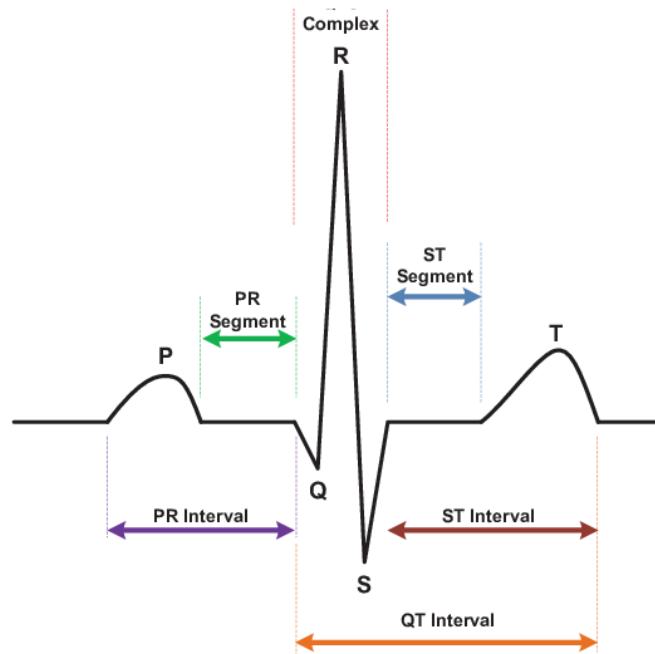


Figure 2: Schématické znázornění typického fyziologického EKG signálu s jeho základním popisem.

denzátor či rezistor). Příklad velmi jednoduchého analogového filtru, který propouští pouze vyšší frekvence je na obrázku 2.1.1³. dnes je ve velké míře analogová filtrace nahrazena digitální filtrací, přesto se analogové filtry stále používají například jako antialiasingový filtr, který má za úkol zabránit překročení Nyquistova limitu při digitalizaci signálu.

Digitální filtraci lze rozdělit na filtraci filtrem typu IIR (Infinite Impulse Response - nekonečná doba odezvy) a filtrem typu FIR (Finite Impulse Response - konečná doba odezvy). Filtry typu IIR při svém návrhu využívají znalosti analogových filtrů, využívají mnohem menší počet koeficientů a jsou tudíž mnohem méně výpočetně náročné. Velké nevýhoda filtrů typu IIR spočívá v nelinearitě fázové charakteristiky filtrů. IIR filtry mohou být navíc při špatném navržení nestabilní. Filtry typu FIR jsou naopak výpočetně mnohem náročnější, ale ze své podstaty jsou vždy stabilní a při správném návrhu filtru mají i lineární fázovou charakteristiku.

³CircuitDigest, Passive High Pass Filter, 21.2.2018, <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/passive-high-pass-filter>

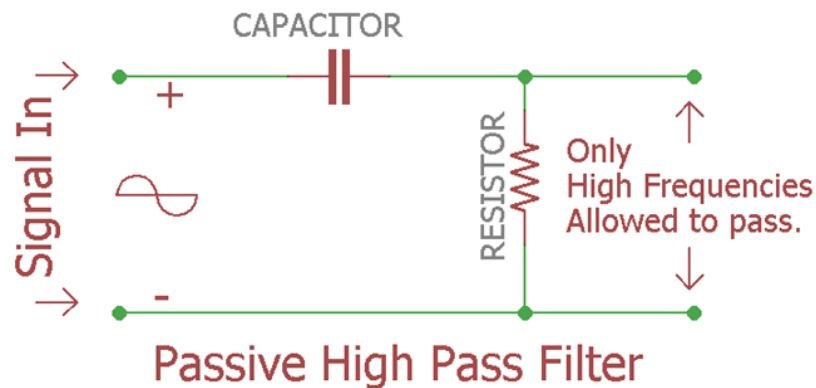


Figure 3: Schéma zapojení základního jednoduchého analogového filtru typu horní propust.

3 Zadání cvičení

Během cvičení postupujte dle následujícího zadání a svoje kroky konzultujte s vyučujícím.

3.1 Sestrojení EKG modulu

Při sestavování EKG budou studenti využívat modul ARDUINO se senzorem EKG signálu. Studenti budou mít zároveň k dispozici desku plošných spojů, základní elektrotechnické prvky a EKG elektrody.

3.1.1 Zapojení EKG modulu

Dbejte pokynů vyučujícího a nezapínejte žádný systém bez výslovného souhlasu vyučujícího!

- Propojte vhodně ARDUINO UNO se senzorem EKG.

Pro propojení využijte desku nepájivého pole.

- Otevřete si aplikaci ARDUINO a naprogramujte procesor ARDUINO UNO tak, aby jste nahrávali signál z elektrod.

Využijte přitom znalosti nahrávání EKG signálu a zohledněte Vámi vybrané vstupy do procesoru ARDUINO UNO.

- Naprogramujte ukládání měřeného signálu do textového souboru.

Zvýšenou pozornost věnujte identifikaci adresy přes kterou se budou zasílat do počítače data.

3.2 Vytvoření EKG záznamu

3.2.1 Nahrávání EKG záznamu

Využijte Vámi vytvořený modul pro nahrávání EKG signálu a nahrajte EKG záznam před a po fyzické aktivitě. Nahraný EKG záznam řádně uložte to textového souboru. Pro nahrávání využijte zapojení s Einthovenovými svody.

3.2.2 Vytvoření hlavičky EKG záznamu

Na základě Vámi získaných informací z předchozí hodiny definujte informace, které by měly být zahrnuty v hlavičce Vámi nahraného EKG záznamu. Získejte informaci o vzorkovací frekvenci, s kterou jste nahrávali EKG záznam a zahrňte jí do hlavičky. Vytvořte hlavičku podle Vašeho návrhu a vytvořte soubor obsahující nahraný EKG záznam a Vaší hlavičku

V případě dostatku času naprogramujte v prostředí ARDUINO automatické ukládání hlavičky a naměřte EKG záznam, který uložíte s automatickou hlavičkou

3.2.3 Načtení EKG záznamu

V programovacím prostředí MATLAB načtete Váš EKG záznam. Při načtení EKG záznamu využijte informace z hlavičky souboru. Tyto informace načítejte automaticky. Zobrazte si Vámi načtený EKG záznam.

3.3 Filtrace EKG záznamu

- Navrhněte jednoduchý analogový filtr typu dolní propust
- Realizujte tento filtr a implementujte jej do Vašeho modulu pro nahrávání EKG signálu
- Natočte jeden záznam s filtraceí a druhý bez filtrace pomocí analogového filtru
- Načtete oba záznamy pomocí programovacího prostředí MATLAB
- Neodfiltrovaný signál odfiltrujte pomocí digitálního IIR filtru typu dolní propust
- Porovnejte výstup z digitálně filtrovaného signálu, analogově filtrovaného signálu bez použití doplňujících filtrů