

COMPARISON OF HEART ACTIVITY SENSING DEVICES

Martina Babicová

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xskrab09@vutbr.cz

Supervised by: Radovan Smíšek

E-mail: smisek@feec.vutbr.cz

Abstract: The goal of this work is comparison of heart activity sensing devices. ECG record cannot be evaluated in the presence of large amounts of muscle noise. Removing this noise is one of the needs for devices success. The discrete wavelet transform is used to separate the useful and noise component. The result is an estimate of SNR for four devices: CorScience, Faros, BiosignalPlux, CardioSignal and a comparison between them. Quality measurement and evaluation indicates that Faros device is the most reliable.

Keywords: ECG signal, quality of ECG signal, noise, SNR, wavelet transform, wearable devices

1 ÚVOD

Elektrokardiografia ako hodnotná súčasť kardiologických vyšetrení je dnes rozšírená v mnohých medicínskych aplikáciách. S novým trendom všetko miniaturizovať a prenášať sa do popredia dostávajú nositeľné zariadenia schopné zmerať elektrické potenciály srdca. Prinášajú možnosť dlhodobu získať informáciu o aktivite srdca a tým prispieť ku kvalitnejšej diagnostike kardiovaskulárnych ochorení. Niektoré patologické stavy sa prejavia len pri záťaži srdca, niektoré aj v pokoji. Pacient je preto pozorovaný dlhší čas pri najrôznejších činnostiach a lekár má komplexnejšie dáta pre potvrdenie diagnózy. Pri každom snímaní signálu hrá veľkú rolu šum. U nositeľných zariadení sú hlavnou šumovou zložkou myopotenciály. Odhad množstva týchto myopotenciálov je jedným z dôležitých cieľov tejto práce.

2 DÁTA

V tejto práci boli využité umelé a reálne dáta predstavujúce signál EKG so šumovou zložkou. Pre odhad kvality boli vytvorené umelé signály s frekvenčnými vlastnosťami EKG a EMG signálu. Softvér pre tvorbu EKG a EMG bol prevzatý z [1] [2] a funkčne doplnený o možnosť zadania požadovanej hodnoty SNR (Signal to Noise Ratio). Dĺžka umelého signálu bola 10 000 vzoriek a vzorkovacia frekvencia 250 Hz.

Nasnímanie vlastných signálov bolo prevedené zariadeniami: Faros (vzorkovacia frekvencia 1000 Hz), BiosignalPlux (vzorkovacia frekvencia 3000 Hz) a CorScience (vzorkovacia frekvencia 500 Hz). V ďalšom meraní boli vzájomne porovnané zariadenia Faros (vzorkovacia frekvencia 500 Hz) a CardioSignal (vzorkovacia frekvencia 500 Hz). Reálne signály boli namerané v pokojnom stave, zatínaní svalov (brucha a rúk) a pri záťaži drepmi. Rozdiel medzi prvým a druhým snímaním bol v dĺžke zarušeného signálu. U prvého merania bola polovica signálu pokrytá myopotenciálmi. Pri druhom meraní bola už len tretina signálu zarušená. Signály z jednotlivých meraní boli získané súčasne, aby boli objektívne porovnateľné. Všetky záznamy boli snímané pomocou elektród z hrudníku.

3 HODNOTENIE KVALITY EKG ZÁZNAMOV

Celkové hodnotenie kvality EKG signálu spočívalo vo viacerých krokoch: rozklad signálu pomocou vlnkovej transformácie, filtrácia prahovaním a výpočet parametru SNR. Pri reálnych signáloch bol

naviac využitý rozklad signálu algoritmom EMD (empirický rozklad signálu) a nižšie frekvencie boli odčítané zo signálu. Práve údaj o tom, aké množstvo je v signále užitočnej zložky a šumu po filtrácii slúžilo pre odhad parametru SNR.

3.1 FILTRÁCIA S VYUŽITÍM VLNKOVEJ TRANSFORMÁCIE

Vygenerovaný umelý signál popísaný v kapitole dáta sa stal vstupom pre stacionárnu vlnkovú transformáciu. Ďalším vstupom tejto funkcie je stupeň dekompozície, ktorý určí počet frekvenčne rozložených pásiem a typ vlnky. Hodnotu stupňa dekompozície bolo potrebné meniť kvôli rozdielnej vzorkovacej frekvencii. Nutnosťou bolo zachovať frekvenčné pásma, ktoré obsahujú predovšetkým užitočnú zložku signálu.

Po použití stacionárnej vlnkovej transformácie boli pásma v rozsahu frekvenčne od QRS komplexu do polovice vzorkovacej frekvencie filtrované. Princíp filtrácie spočíval v prahovaní signálu. Signál bol prechádzaný plávajúcím oknom s krokom vzorkovacej frekvencie. V každom okne bola vypočítaná smerodajná odchýlka. Zo smerodajnej odchýlky prah, ktorý sa aplikoval na všetky vzorky v rámci okna. Pri hodnote vzorku vyššej ako prahová sa typom prahovania hodnota pozmenila, alebo v prípade, že bola nižšia sa nulovala. Všetky výpočty boli vytvorené zvlášť pre každé frekvenčné pásmo. Spolu bolo vyskúšaných 810 rôznych kombinácií parametrov pre vlnkovú transformáciu. 3 rôzne vlnky (bior1.1, bior1.3, bior1.5), 2 typy prahu (univerzálny, empirický s konštantou 3), 3 typy prahovania (tvrdé, mäkké, hybridné), počet vyfiltrovaných pásiem (1.pásmo (125 Hz – 62,5 Hz), 2.pásmo (62,5 Hz – 31,25 Hz), 3. pásmo (31,25 Hz – 15,625 Hz)) a 16 rôznych hodnôt SNR (od -20 dB do 30 dB). Vo výsledku bola najlepšou možnosťou kombinácia: vlnka bior1.5, empirický prah, tvrdé prahovanie a filtrovanie všetkých 3 pásiem (frekvenčne 125 Hz až 15,625 Hz), ďalšie 2 pásma (frekvenčne 0 Hz až 15,625 Hz) boli ponechané.

3.2 ODHAD KVALITY PARAMETROM SNR (SIGNAL TO NOISE RATIO)

Parametrom SNR bolo možné vyhodnotiť úspešnosť filtrácie ako pomer výkonu užitočného signálu a výkonu šumu.

$$SNR_{vystup} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} [s(n) - S]^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [y(n) - s(n)]^2} \right) [dB], \quad (1)$$

kde $s(n)$ je užitočná časť signálu, S je stredná hodnota signálu $s(n)$, N je počet vzoriek signálu, $y(n)$ je signál po filtrácii (výstup filtru). Rovnica bola prevzatá z [3].

Hodnota SNR bola počítaná v plávajúcom okne s krokom vzorkovacej frekvencie. Z týchto výsledných hodnôt bol vytvorený medián pre 1 celý signál, ktorý sa porovnával so vstupným zadaným SNR. Priemerný rozdiel vygenerovaného SNR a získaného SNR po filtrácii pre 16 rôzne zašumených variant signálu (16 možností hodnôt SNR) bola 0,23 dB. Dokonca v rozmedzí SNR od -10 dB do 20 dB bol rozdiel len 0,1 dB. Uvedené dáta sú v Tabuľke 1 vo výsledkoch. Z tohto dôvodu bola v ďalšej časti pre filtrovanie reálnych signálov využitá zmienaná kombinácia.

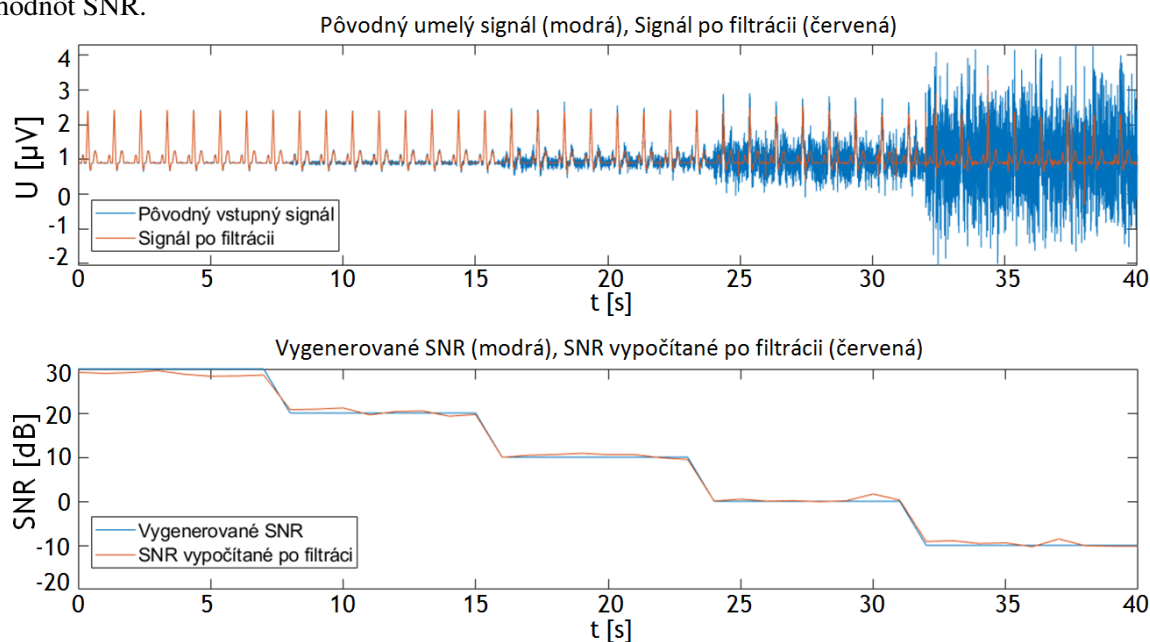
Hodnotenie kvality reálnych signálov bolo prevedené rovnakým algoritmom ako u umelých signálov vysvetlenom v druhej kapitole. Pri reálnych signáloch sa objavili aj nízkofrekvenčné zložky šumu, ktoré boli pred vstupom do vlnkovej transformácie rozložené metódou EMD prevzatej z [4] na 10 pásiem a z nich najnižšie 2 odstránené.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Spôsob ohodnotenia kvality zariadení spočíval v číselnom porovnaní vývoja SNR počas rôzne zarušených častí signálu. Pri zámernom vytvorení myopotenciálov sa predpokladalo zníženie hodnoty SNR.

4.1 UMELE SIGNÁLY EKG

Na Obrázku 1 je ukážka umelo vytvoreného signálu aditívnym sčítaním EKG signálu a myopotenciálov v pomere určenom SNR. Hodnota SNR bola menená každých 8 sekúnd. Použité hodnoty SNR boli 30 dB, 20 dB, 10 dB, 0 dB a -10 dB. V prvej časti obrázku je porovnanie vstupného signálu (modrá krivka), signálu zbaveného šumu rozkladom pomocou algoritmu EMD a odstránením 2 frekvenčne najnižších pásiem, vlnkovou transformáciou a následným prahovaním (červená krivka). V druhej časti obrázku je zobrazený priebeh vygenerovaného SNR a SNR vypočítaného zo signálu po filtrácii. Úspešnosť odhadu SNR je vyjadrená aj číselne Tabuľkou 1, ktorá predstavuje porovnanie hodnôt SNR.



Obrázok 1: Umelo zarušený signál pred a po filtrácii s vývojom hodnoty SNR od 30 db do -10 db

SNR1 [dB]	-10	-5	0	5	10	20	30
SNR2 [dB]	-9,9242	-4,95	0,0341	5,0627	10,073	19,9342	28,3728

Tabuľka 1: Porovnanie vygenerovaného SNR (SNR1) s vypočítaným SNR po filtrácii umelo zarušených signálov (SNR2)

4.2 REÁLNE SIGNÁLY EKG

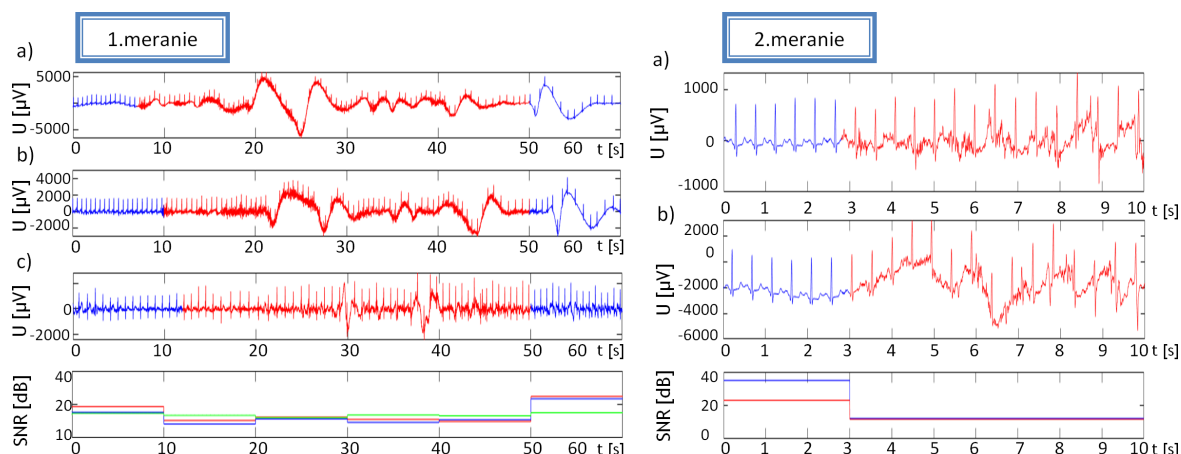
S využitím vlnkovej transformácie boli vyfiltrované aj reálne signály zo 4 zariadení. Na prehľadovom obrázku 2 je vykreslený pôvodný signál zo zariadenia (modrá krivka). V spodnej časti je vývoj hodnoty SNR pre rôzne zariadenia, ktorý viditeľne kopíruje kvalitu signálu.

Číselným zhodnotením výsledkov je Tabuľka 2. Pri oddelení užitočnej zložky signálu algoritmom EMD a následným odstránením 2 najnižších pásiem, vlnkovou transformáciou a prahovaním vykazujú takmer všetky zariadenia maximálnu hodnotu SNR 31 dB až 33 dB. Zariadenie BiosignalPlux má hodnotu zníženú na približne 24 dB. Za použitia vyššie zmienených metód filtrovania predstavuje najmešiu schopnosť signál nasnímať kvalitne, čo dokazuje aj jeho priemerná hodnota SNR 15 dB. Ako najefektívnejšia varianta zisku užitočného signálu pripadá zariadenie Faros, pretože vo všetkých kritériách (maximálne SNR, priemerné SNR, minimálne SNR) je jeho odhad kvality parametrom SNR najvyšší. Zariadenie CardioSignal v tomto testovaní uspelo taktiež veľmi dobre a oproti Faros je jeho hodnota v kritériách menšia o maximálne 3 dB. Z Tabuľky 2 je viditeľné, že v druhom meraní (Faros2, CardioSignal) sú hodnoty SNR vyššie. Dôvodom je, že v prvom meraní je dlhší zarušený úsek voči signálu bez myopotenciálov, čo v hodnotení signálu ako jedného celku hodnotu SNR zní-

žuje. Avšak hodnota SNR pri zariadení Faros z prvého merania vypovedá o jeho kvalitnom snímaní aj počas dlhšie navodeného rušenia.

Zariadenie	Minimálne SNR [dB]	Maximálne SNR [dB]	Priemerné SNR [dB]
CorScience	3,6199	32,0639	17,7816
Faros	3,6608	33,2164	16,9813
BiosignalPlux	8,9122	24,1303	15,6926
CardioSignal	10,7185	31,0978	25,8209
Faros 2	13,5061	33,3828	25,8278

Tabuľka 2: Porovnanie minimálnych, maximálnych a priemerných hodnôt SNR z jednotlivých zariadení (1.meranie zahŕňa CorScience, Faros, BiosignalPlux a 2.meranie oddelne CardioSignal, Faros2)



Obrázok 2: Reálne signály z jednotlivých zariadení. 1.meranie zobrazuje časť signálu z prístrojov: a) CorScience, b) Faros, c) BiosignalPlux a ich vývoj hodnoty SNR (CorScience - modrá farba, Faros - červená farba, BiosignalPlux - zelená farba). 2. meranie zobrazuje časť signálu z prístrojov: a) CardioSignal, b) Faros 2 a ich vývoj hodnoty SNR (CardioSignal - červená, Faros 2 - modrá farba)

5 ZÁVER

V práci bola potvrdená účinnosť vlnkovej transformácie a následného prahovania pre odhad šumovej zložky zo svalov v EKG signále. Robustnosť filtrácie dokazuje využitie algoritmu pre reálne zarušené signály z viacerých nositeľných zariadení. Vývoj hodnoty SNR v čase kopíruje kvalitu signálu u jednotlivých zariadení. Pri porovnaní zariadení je podľa výsledkov najspoľahlivejším prístrojom Faros. BiosignalPlux vykazuje vhl'adom na dosiahnuté hodnoty SNR najmenšiu kvalitu snímania.

LITERATÚRA

- [1] SMITAL, L. a J. KOZUMPLÍK. *Software pro generování myopotenciálů*. Česká republika, 2010.
- [2] SMITAL, L. a M. VÍTEK. *ECG Maker*. Česká republika, 2010.
- [3] SMITAL, Lukáš. *Vlnková filtrace elektrokardiogramů*. Brno, 2013. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jiří Kozumplík, CSc.
- [4] WANG, Yung-Hung, Chien-Hung YEH, Hsu-Wen Vincent YOUNG, Kun HU a Men-Tzung LO. On the computational complexity of the empirical mode decomposition algorithm. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [online]. 2014, 400, s. 159–167 [cit. 2019-03-29]. ISSN 0378-4371. DOI: 10.1016/j.physa.2014.01.020. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437114000247>