

WAVELET WIENER FILTER OF ECG SIGNALS

Joshua Janů

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xjanum02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Smital

E-mail: smital@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper focuses on the use of a wavelet wiener filter for suppression of EMG noise in ECG signals. The article describes the basic principle of the filter and the properties of the numerical parameters. Numerical values of these parameters affect the filtration efficiency.

Keywords: filter, ECG, EMG interference, wavelet transform, Wiener filter, optimization

1. ÚVOD

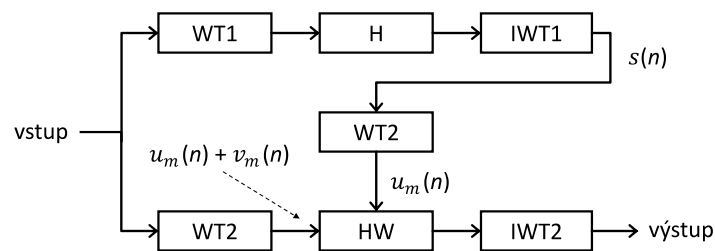
Jednou z možných aplikací vlnkové transformace je její využití v oblasti potlačení svalového rušení EKG signálů. Filtry založené na vlnkové transformaci se ukazují jako výhodné zvláště tam, kde se vyskytuje vzájemné překrytí frekvenčních spekter užitečného signálu a šumu. Do procesu takové filtrace obvykle vstupuje celá řada parametrů, přičemž volba jejich hodnot není triviální. Tento článek pojednává o závislosti účinnosti vlnkového wienerovského filtru na číselných parametrech.

2. PRINCIP FILTRU

Filtr využívá metodu pilotního odhadu užitečného signálu popsanou v publikaci [1]. Princip filtru je znázorněn na obrázku č. 1. Vstupní signál je podroben vlnkové transformaci WT1, jež realizuje rozklad signálu do frekvenčních pásem. V těchto pásmech je prováděno prahování jednotlivých vlnkových koeficientů blokem H. Následuje inverzní vlnková transformace IWT1, jejímž výstupem je pilotní odhad užitečného signálu $s(n)$. Vlnkovou transformaci WT2 je pak podroben jak signál $s(n)$ tak i vstupní signál. Jednotlivá frekvenční pásma m , získaná rozkladem vstupního signálu v bloku WT2 obsahují přitom aditivní směs vlnkových koeficientů užitečného signálu $u_m(n)$ a šumu $v_m(n)$. V bloku HW je na základě odhadu velikosti rozptylu šumu $\sigma_{v_m}^2$ získaného dle vztahu (3) a velikosti hodnot koeficientů odhadu užitečného signálu $u_m(n)$ vypočítán wienerův korekční faktor $g_m(n)$ dle vztahu (1).

$$g_m(n) = \frac{u_m^2(n)}{u_m^2(n) + \sigma_{v_m}^2} \quad (1)$$

Wienerův korekční faktor $g_m(n)$ je aplikován na jednotlivé vlnkové koeficienty vstupního signálu (vlnkové koeficienty jsou jím vynásobeny). Transformací IWT2 je pak získán výstupní signál.



Obrázek 1: Princip vlnkového wienerovského filtru.

3. PARAMETRY FILTRU

Do uvedeného filtračního algoritmu vstupuje celá řada parametrů. V rámci této práce je analyzován vliv číselných parametrů na účinnost filtrace vyjádřenou pomocí hodnoty SNR (tj. poměru signálu k šumu) před filtrací a po filtraci signálů. Nečíselné hodnoty parametrů (typ vlnkové transformace, rozkladové a rekonstrukční banky filtrů a způsob prahování) byly převzaty od jiných autorů, zejména z článku [2]. Číselné parametry jsou reprezentovány stupni rozkladu transformací WT1 a WT2. Dalším číselným parametrem je pak empirická konstanta K , která slouží pro výpočet prahové hodnoty λ_m pro jednotlivá frekvenční pásma m dle vztahů (2) a (3), kde $x_m(n)$ označuje vlnkové koeficienty frekvenčního pásma m .

$$\lambda_m = K\sigma_{v_m} \quad (2)$$

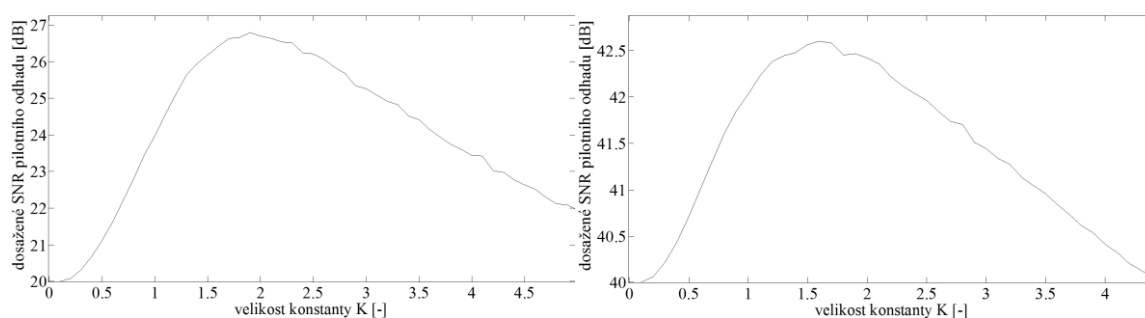
$$\sigma_{v_m} = \frac{\text{med}(|x_m(n)|)}{0,6745} \quad (3)$$

Ze schématu na obrázku č. 1 je patrné, že velikost empirické konstanty K může mít přímý vliv na kvalitu pilotního odhadu užitečného signálu $s(n)$. Naopak velikostí stupně rozkladu WT2 může být ovlivněn až pouze výstupní signál. Z tohoto důvodu byla zjišťována závislost velikosti konstanty K na velikosti SNR pilotního odhadu užitečného signálu. Závislost počtu stupňů rozkladu transformací WT1 a WT2 byla zjišťována vzhledem k SNR výstupního signálu celého filtru.

Test byl proveden na sto náhodně vybraných signálech filtrované databáze CSE (původní šum byl odstraněn šetrným způsobem, tj. s vizuální kontrolou případného zkreslení užitečného signálu), do kterých bylo přidáváno uměle generované svalové rušení (EMG signál) o známé intenzitě. Testovací konfigurace sestaveného filtru pro odlišné intenzity vstupního rušení je uvedena v tabulce č. 1. Testování proběhlo pro úroveň vstupního rušení 20 dB a 40 dB. Dosažené výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 2. Závislost SNR pilotního odhadu užitečného signálu na velikosti konstanty K je znázorněna na obrázku č. 2. Konstanta K přitom byla volena v rozsahu 0,1 až 5 s krokem 0,1.

SNR _{in} [dB]	vlnka WT1	vlnka WT2	typ prahování
20	db4	sym4	hybridní
40	bior3.9	sym4	hybridní

Tabulka 1: Testovací konfigurace filtru. Hodnota v sloupci SNR_{in} označuje intenzitu rušení vstupního signálu, sloupce vlnka WT1 a vlnka WT2 označují druh použitých rozkladových a rekonstrukčních filtrů.



Obrázek 2: Závislost SNR pilotního odhadu užitečného signálu na velikosti empirické konstanty K . Vlevo: pro intenzitu vstupního rušení 20 dB (maximální hodnota v bodě [1,9; 26,8]), vpravo: pro intenzitu vstupního rušení 40 dB (maximální hodnota v bodě [1,6; 42,6]).

Výstupní SNR filtru pro vstupní SNR 20 dB

Stupeň WT1	1	20,10	20,58	21,93	23,12	23,03	21,39
	2	20,16	20,95	22,55	23,94	23,86	21,97
	3	20,17	21,22	24,18	26,45	26,30	23,54
	4	20,17	21,23	24,55	27,75	27,34	24,17
	5	20,16	21,22	24,57	27,45	25,34	22,51
	6	20,17	21,23	24,56	27,38	23,68	17,18
		1	2	3	4	5	6

Stupeň WT2

Výstupní SNR filtru pro vstupní SNR 40 dB

Stupeň WT1	1	40,10	40,58	41,85	41,81	35,94	27,51
	2	40,15	40,88	42,31	42,30	36,10	27,54
	3	40,15	41,10	43,25	43,01	36,33	27,58
	4	40,16	41,11	43,21	41,04	35,40	27,40
	5	40,15	41,10	43,12	39,26	31,55	25,84
	6	40,15	41,11	43,12	39,28	28,60	19,23
		1	2	3	4	5	6

Stupeň WT2

Tabulka 2: Výstupní hodnoty SNR v dB pro úrovně vstupního rušení 20 dB a 40 dB v závislosti na zvoleném stupni rozkladu vlnkové transformace v blocích WT1 a WT2. Nejlepší dosažená hodnota pro obě úrovně vstupního rušení je vyznačena tučně.

4. SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Na základě provedených testů lze vyvodit tato tvrzení:

- 1) Optimální číselné parametry je vhodné hledat zvláště pro jednotlivé úrovně vstupního rušení.
- 2) Optimální stupeň rozkladu transformací WT1 i WT2 se jeví vhodné volit stejný. Žádoucí stupeň rozkladu se snižuje s rostoucím vstupním SNR.
- 3) Optimální velikost hodnot empirické konstanty bude pravděpodobně klesat pro snižující se úroveň vstupního rušení.
- 4) Funkce reprezentující závislost SNR pilotního odhadu užitečného signálu na velikosti empirické konstanty mají pouze jeden globální extrém.

5. ZÁVĚR

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že účinnost realizovaného filtru je výrazně závislá na volbě jeho jednotlivých číselných parametrů. Zjištěné výsledky mohou posloužit jako východisko pro volbu dalšího optimalizačního postupu těchto parametrů a vymezují rozsahy, do kterých budou optimální hodnoty spadat.

REFERENCE

- [1] Kozumplík, J.: Vlnkové transformace a jejich využití pro filtraci signálů EKG. Habilitační práce ÚBMI FEKT VUT v Brně, 2004.
- [2] Smital, L., M. Vítek, J. Kozumplík a I. Provažník. Adaptive Wavelet Wiener Filtering of ECG Signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2013, roč. 60, č. 2, s. 437–445. ISSN 0018-9294.