



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

ELEKTRONICZNE SYSTEMY DIAGNOSTYKI MEDYCZNEJ I
TERAPII

Porównanie metod filtracji sygnału EKG

Autorzy:

Piotr PAŁUCKI

Filip KUBICZ

Szczepan MRÓWKA

Mateusz WOŹNIAK

Tomasz GAWLIK

Tomasz KAŃKA

Konrad ADASIEWICZ

Michał MACIEJEWSKI

Kraków, styczeń 2017

Spis treści

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Wstęp | 2 |
| 2 | Jakościowe porównanie algorytmów | 3 |
| 2.1 | Widmowa gęstość mocy | 3 |
| 2.2 | Dyskusja zakłóceń w dziedzinie częstotliwości | 6 |
| 2.3 | Błąd średniokwadratowy | 7 |
| 3 | Testy wydajności algorytmów | 9 |
| 3.1 | Wyniki testów czasowych | 9 |

1 Wstęp

W ramach przedmiotu *Elektroniczne systemy diagnostyki medycznej i terapii* zadaniem czterech grup dwuosobowych było przygotowanie algorytmów wstępnego przetwarzania sygnału EKG. Niniejsze sprawozdanie porównuje metody filtracji, badając jakie zakłócenia można z ich pomocą usunąć i jakiego czasu wymaga ich wykonanie.

Praca przebiegała w następujący sposób: w pierwszej fazie przygotowano prototypy z użyciem języków skryptowych. Te wersje programów użyto do dobierania parametrów i badania zachowania algorytmów. Następnie grupy zrealizowały implementacje w języku C++ z użyciem biblioteki Eigen, w celu przyspieszenia programów i zmniejszenia ich zapotrzebowania na zasoby. Następnie wyniki zostały porównane, a algorytmy poddano ocenie której wyniki znalazły się w niniejszym opracowaniu.

Metody filtracji, które zostały zrealizowane, to metoda nielokalnych średnich (NLM), empiryczny rozkład modalny (EMD), filtracja z użyciem falek Wienera (WWF) i filtr Savitzky-Golay (SG). Zestawienie nazw, skrótów które będą używane w sprawozdaniu oraz języków prototypowania przedstawia tabela 1.

| Metoda filtracji | Skrót | Język prototypowania |
|-------------------------------------|-------|----------------------|
| Nonlocal Means | NLM | Matlab |
| Empirical Mode Decomposition | EMD | Matlab |
| Wiener Wavelet Filter | WWF | Matlab |
| Savitzky-Golay | SG | Python + SciPy |

Tablica 1: Zestawienie zrealizowanych algorytmów

2 Jakościowe porównanie algorytmów

Filtry przygotowane przez 4 zespoły zostały porównane pod względem jakości filtracji. Autorzy na etapie implementowania filtrów testowali swoje algorytmy pod kątem usuwania szumów wysokiej częstotliwości, a zatem wygładzania sygnału.

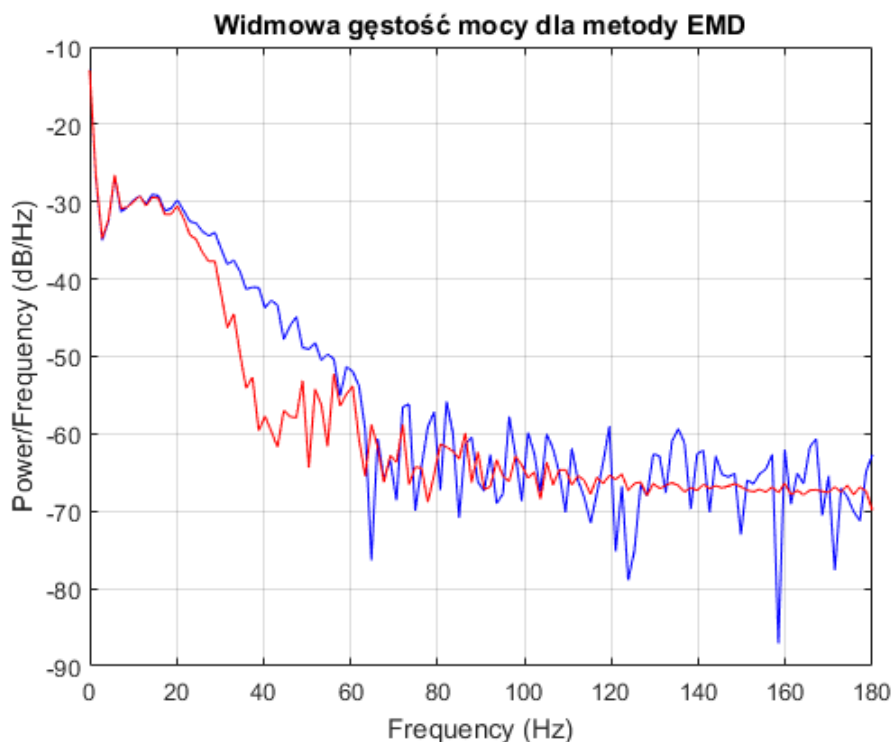
W celu sprawdzenia jak przygotowane filtry wpływają na sygnał, zostały wyznaczone: widmowa gęstość mocy sygnału EKG przed i po filtracji oraz błąd średniokwadratowy rozumiany jako różnica między sygnałem oryginalnym i odfiltrowanym. Testy były przeprowadzane na sygnale testowym z bazy MIT-BIH o numerze 100.

2.1 Widmowa gęstość mocy

Widmowa gęstość mocy (PSD) pozwala zobaczyć, które częstotliwości przenoszą największą energię w sygnale. PSD została wyznaczona na podstawie periodogramów wcześniej zebranych wyjść poszczególnych algorytmów.

Na wykresach gęstości mocy można zauważyć, które częstotliwości są usuwane przez filtr. Dzięki temu zyskujemy informację o typie zakłócenia, które możemy wygasić używając algorytmu o przyjętych parametrach.

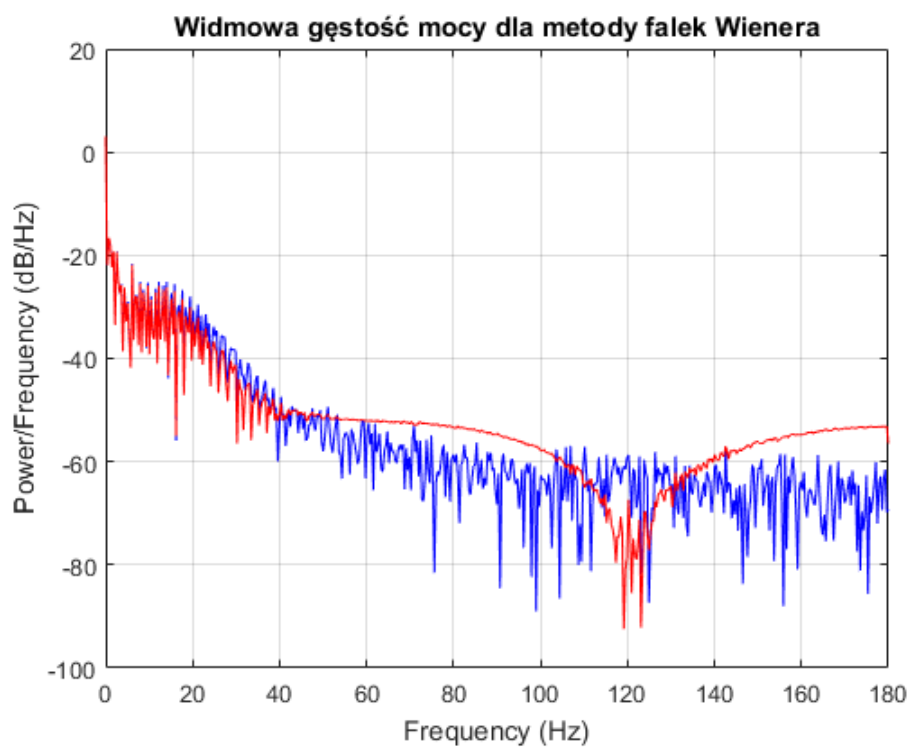
Na rysunkach 1, 2, 3, 4, 5 przedstawiono skutki użycia zaimplementowanych algorytmów w roli filtrów dolnoprzepustowych.



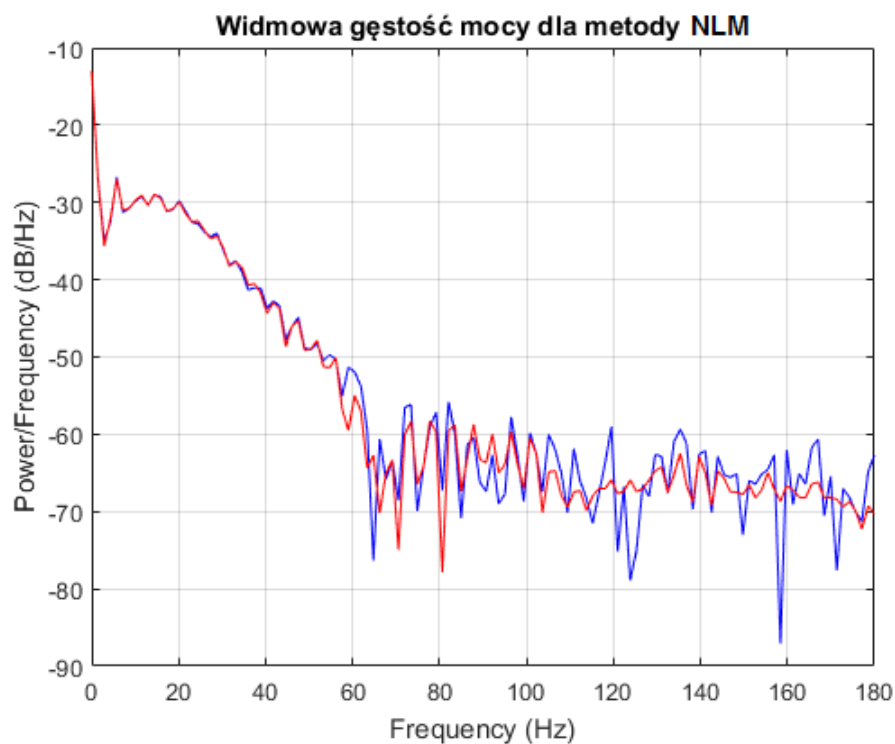
Rysunek 1: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału przefiltrowanego metodą EMD z usuniętą 1 składową IMF



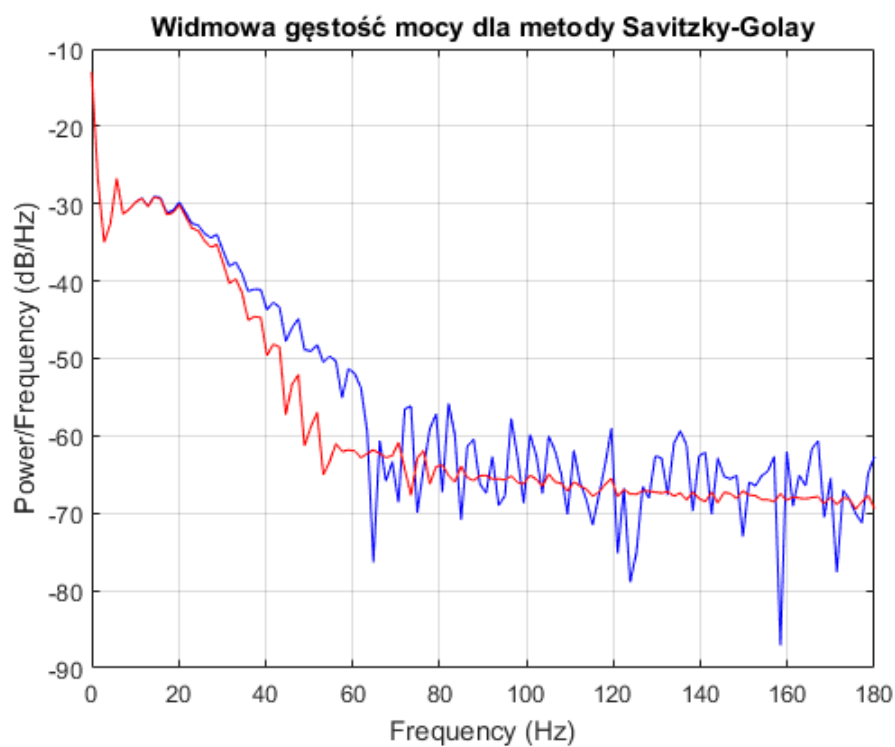
Rysunek 2: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału przefiltrowanego metodą EMD z usniętymi 2 składowymi IMF



Rysunek 3: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału przefiltrowanego metodą WWF, $TM = 1$, dekompozycja do 3 poziomu, rozmiar okna mediany = 201



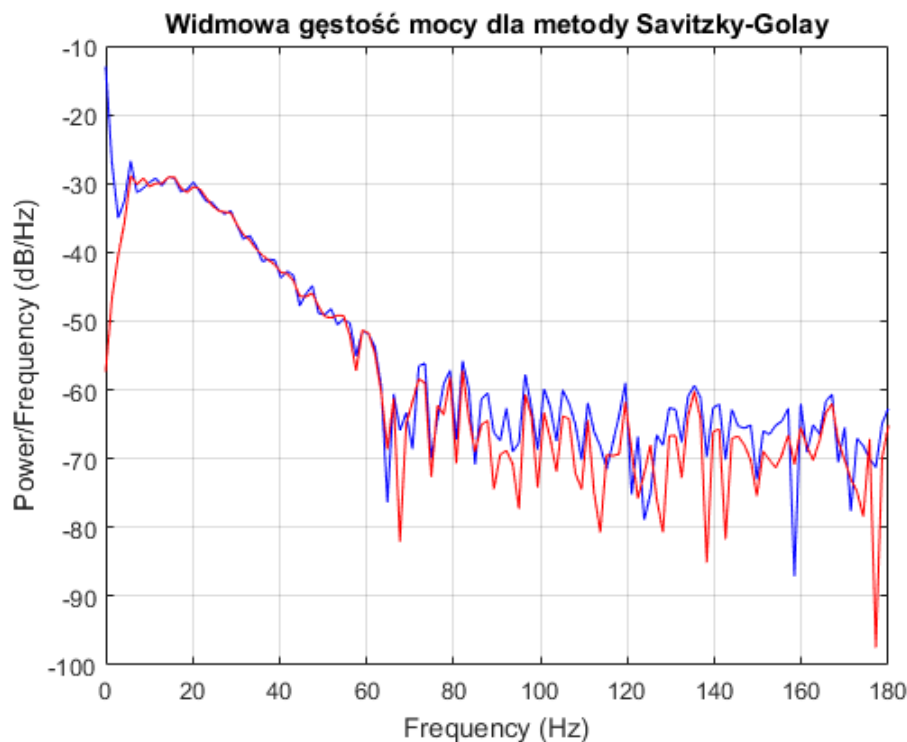
Rysunek 4: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału przefiltrowanego metodą NLM, otoczenie $P = 10$, połowa sąsiedztwa $M = 2000$



Rysunek 5: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału przefiltrowanego metodą SG, interpolacja wielomianem stopnia 2, szerokość okna 11 próbek

Możliwa jest również filtracja górnoprzepustowa, czyli usunięcie szumów o niskiej częstotli-

wości. Gęstość mocy filtra SG do wykrywania i usuwania składowych wolnozmiennych przedstawia rysunek 6.



Rysunek 6: Widmowa gęstość mocy sygnału EKG oraz sygnału, gdzie metodą SG odrzucono szum o niskiej częstotliwości, interpolacja wielomianem 2 stopnia, długość ramki 101 próbek

2.2 Dyskusja zakłóceń w dziedzinie częstotliwości

Aby ocenić metody pod kątem przydatności, należy podać informacje na temat typowych zakłóceń, które utrudniają pracę z sygnałem EKG. Są to m.in.: zakłócenia od sieci energetycznej, zmiany oporności kontaktu elektroda-skóra, artefakty pochodzące od ruchów i oddechu pacjenta i sprzężenia od EMG [?].

W tabeli 2 zebrano typy zakłóceń EKG wraz z ich możliwymi zakresami częstotliwości.

| Zakłócenie | Pasmo |
|------------------------------------|----------------------------|
| Szum zasilania | 50 lub 60 Hz i harmoniczne |
| Zmiana rezystancji elektroda-skóra | <0,5 Hz |
| Oddychanie pacjenta | 0,15 - 0,3 Hz |
| Ruchy pacjenta | <0,5 Hz |
| Szum elektromiogramu | 20 - 1000 Hz |

Tablica 2: Pasma typowych zakłóceń w sygnale EKG

Jeżeli za użyteczny zakres sygnału EKG przyjmiemy częstotliwości 0,5 - 50 Hz, to możemy ocenić użycie metod z wybranymi przez autorów parametrami. Filtracja metodą **NLM** najbardziej zachowuje przetwarzany sygnał. Osłabieniu ulegają tylko częstotliwości w okolicy 60Hz, co może posłużyć do usuwania wpływu linii zasilającej w niektórych państwach. Obcinana częstotliwość zależy od przyjętych parametrów algorytmu, lecz ze względu na jego długie działanie nie została przeprowadzona dokładna analiza ich wpływu na widmo sygnału wyjściowego.

Metody EMD i Savitzky-Golay zachowują się jak filtry dolnoprzepustowe. Metoda **EMD** przy badanych parametrach wygasza najbardziej częstotliwości od 40 Hz, jednak osłabienie zaczyna się już od 20 Hz. Na rysunku 2 widać, że odrzucenie dwóch składowych IMF obcina pasmo poczynając od jeszcze niższej częstotliwości. Daje to podstawy aby użyć filtra EMD również do usuwania artefaktów ruchu, oddychania czy poruszeń elektrod, jeśli usunie się więcej składowych IMF, a następnie odejmie wynik od oryginalnego sygnału.

Algorytm **Savitzky-Golay** dla okna o szerokości 11 próbek wygasza częstotliwości powyżej 50 Hz i zauważalnie osłabia składowe powyżej 30 Hz. Jeśli użyje się szerszego okna, dane są wygładzane mocniej i są usuwane też pasma o niższej częstotliwości. Na rysunku 6 przedstawiono przykład użycia filtru SG z oknem o szerokości 101 próbek do usunięcia zakłóceń wolnozmiennych poniżej 3 Hz. Z kolei przy ramce długości 1201 próbek zaobserwowano obcięcie szumów poniżej 1 Hz.

Metoda falek Wienera **WWF** przy badanych parametrach zadziałała jak filtr pasmowo-zaporowy usuwając składowe 115-125 Hz. Metoda nie wpłynęła znacząco na pasmo 0-40Hz. Odpowiedni dobór parametrów pozwala na usunięcie szumów o znanej częstotliwości, np. zakłócenia linii zasilającej 50 Hz.

2.3 Błąd średniokwadratowy

Między sygnałami oryginalnymi i odfiltrowanymi został wyznaczony błąd średniokwadratowy (MSE). Zdecydowano się na takie rozwiązanie, ponieważ nie dla wszystkich metod znaleziono rozwiązania referencyjne (funkcje biblioteczne).

Parametr MSE wyznaczony między sygnałem oryginalnym i przetworzonym nie daje zatem informacji czy filtracja jest poprawna, ale pozwala ocenić, jak bardzo filtracja zmienia i zniekształca sygnał.

Wyniki analizy zostały zebrane w tabeli 3.

| Algorytm | MSE |
|--|-----------|
| EMD, usunięto 1 IMF | 0,0015 |
| EMD, usunięto 2 IMF | 0,0063 |
| EMD, usunięto 3 IMF | 0.0115 |
| NLM, P = 10, M = 2000 | 6,9797e-5 |
| NLM, P = 5, M = 2000 | 7,0370e-5 |
| NLM, P = 5, M = 100 | 6,7657e-5 |
| WWF, rozmiar okna mediany = 201, poziom dekompozycji N = 3, TM = 1 | 0,0786 |
| WWF, rozmiar okna mediany = 201, poziom dekompozycji N = 2, TM = 1 | 0,0482 |
| SG, rozmiar okna M = 11, stopień wielomianu N = 2 | 3,4e-4 |
| SG, rozmiar okna M = 1001, stopień wielomianu N = 2 | 0,0283 |
| SG, rozmiar okna M = 41, stopień wielomianu N = 3 | 0,017 |

Tablica 3: Parametry filtru

Po wykonaniu szeregu testów metod okazało się, że błąd średniokwadratowy pomiędzy sygnałem zaszumionym a odfiltrowanym nie jest parametrem przydatnym w analizie metod.

Dla algorytmu **WWF** poziom dekompozycji 2 z użyciem falek Haara mimo niższej wartości MSE poważnie zniekształcał już załamek T. Najlepsze rezultaty wygładzania, mimo nieco większego MSE dawał rozkład na falki do 3 poziomu. W przypadku algorytmu **EMD** zgodnie z oczekiwaniami widać, że dekompozycja i usunięcie każdej kolejnej funkcji składowej IMF coraz bardziej zniekształca sygnał. Metoda **NLM** nawet przy zmianach parametrów otoczenia i sąsiedztwa branego pod uwagę charakteryzuje się podobnym poziomem zniekształcenia podczas

filtracji. Filtr **SG** charakteryzuje się niskim poziomem szumów, kiedy szerokość okna jest mała. Dla okna o szerokości 1001 próbek zniekształcenie jest bardzo duże, ponieważ jest to zestaw parametrów zupełnie wygładzający sygnał EKG i pozostawiający tylko izolinie.

3 Testy wydajności algorytmów

Wydajność algorytmu jest obok poprawności kluczową cechą. Niektóre szybko działające algorytmy można wykorzystać do analizy zbieranych danych w locie (on-line) i użyć do szybkiej diagnostyki np. w przenośnych aparatach EKG. Jeśli algorytm wymaga wielkich nakładów obliczeniowych, może posłużyć wyłącznie do przetwarzania danych po ich zebraniu.

3.1 Wyniki testów czasowych

Testy były przeprowadzane na komputerze z procesorem Intel i7-3610QM i pamięcią RAM 8GB DDR3. Prototypy były uruchamiane pod systemem Windows 8.1 64-bit, w Matlabie R2016a lub z użyciem Pythona 3.5.2 z NumPy 1.11.1 i SciPy 0.18.1. Implementacje C++ kompilowano z użyciem gcc 5.4 z optymalizacją -Ofast i uruchamiano pod systemem Ubuntu 14.04LTS 64-bit.

Wyniki testów czasowych umieszczono w tabeli 4.

| Algorytm | Czas wykonania, 250 próbek | Czas wykonania, 100000 próbek |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| EMD, Matlab, usunięto 1 IMF | 1,04s | 392,1s |
| EMD, Matlab, usunięto 3 IMF | 1,14s | - |
| EMD, C++, usunięto 1 IMF | 95ms | 31,7s |
| NLM, Matlab, P = 10, M = 2000 | 21ms | 83,1s |
| NLM, Matlab, P = 10, M = 100 | 44ms | - |
| WWF, Matlab, okno mediany = 201 | 82ms | 27,2s |
| WWF, Matlab, okno mediany = 21 | 53ms | - |
| WWF, C++, okno mediany = 201 | 51ms | 18,9s |
| SG, Python, M=500 | - | 90ms |
| SG, Python, M=5 | 5 ms | 19 ms |
| SG, C++, M=5 | 48 μ s | 2,3 ms |

Tablica 4: Parametry filtru

Bibliografia

Noise in ECG and how to deal with it Djordje Popovic
<http://www-classes.usc.edu/engr/bme/620/LectureECGNoise.pdf>

ECG Statistics, Noise, Artifacts, and Missing Data Gari D. Clifford <http://www.mit.edu/gari/ecgbook/ch3.pdf>