

QRS검출을 위한 Adaptive Filter

이 순혁, 전영일, 최경훈*, 윤형로

연세 대학교 보건과학대학 의용전자공학과
*연세 대학교 원주의과대학 심장내과

Adaptive Filtering for QRS Detection

Soon Hyouk Lee, Young IL Jun, Kyoung Hoon Choi*, Hyung Ro Yoon

Dept. of Biomedical Eng, Yonsei University

*Dept. of Cardiology, Yonsei University

국문요약

matched filter는 신호와 잡음의 통계적 값을 알고 있을 때 신호대 잡음비를 최대로 하는 filter이다. 그런데, matched filter가 최적화 되려면 잡음이 white noise이어야 한다. 그러나 ECG신호에 존재하는 잡음은 여러가지 성분이 공존하는 서로 연관되어있는 잡음이다. 따라서 whitening filter를 사용하여 잡음을 whitening시킨후에 matched filter를 통과 시켜야 한다.

본 논문에서는 QRS complex를 검출하기 위한 matched filter에 있어서 LMS방법을 이용한 linear whitening filter와 neural network을 이용한 non-linear whitening filter의 특성을 비교하였다.

segment를 계산해서 myocardial ischemia와 infarction등의 심장질환을 검사 할 수 있는 것이다.

지금까지의 QRS complex 검출 알고리즘들은 신호의 크기와 1차 혹은 2차의 미분을 이용하는 방법, low pass filter, band rejection filter, bandpass filter등의 digital filter를 이용한 방법등이 있었다. [2]

그러나 신호의 크기와 미분을 이용한 방법들은 각 잡음의 종류에 따라 각기 적합한 알고리즘을 적용시켜야 하며 low pass filter나 band pass filter, band rejection filter의 문제점으로는 잡음과 QRS complex의 통과 대역이 서로 겹치고 또한 고정된 주파수 대역의 filter로써 심전도 신호에 섞인 잡음을 제거 하기에는 무리가 있었다.

본 논문에서는 여러가지 복합적인 잡음에 효과적으로 적응하기 위해서 matched filter에 기반을 둔 adaptive filtering 방법을 사용하였다.

I. 서론

QRS complex는 심장의 정상과 비정상적인 상태를 나타낼 수 있는 중요한 척도가 된다. 따라서 ECG signal의 분석에 있어서 QRS complex의 검출이 무엇보다도 먼저 선행되어야 한다. ECG signal 특히 QRS complex의 정확한 검출이 있는 후에야 그 형태에 따른 심장의 질환을 분석할 수 있기 때문이다. R-point가 검출되면 R-R interval을 측정해서 심박동수(Heart Rate)를 계산할 수 있고, P-wave와 T-wave를 찾을 수 있고, S-T

II. Matched Filter and Whitening Filter

QRS의 존재여부를 검사하는 방법으로 matched filtering 방법을 사용하였다.

matched filter는 signal과 noise에 대한 통계적 값을 알고 있을때, signal의 SN비를 최대로 하는 filter이다. 그런데, 우리는 이미 QRS complex에 대한 전형적인 모양을 알고 있으므로 matched filter는 impulse response가 $h(t)=s(t-t_0)$ 인 FIR digital filter로써 구현할 수 있다. 그런데, matched filter는 white noise조건에서 최적 filter가 된다. 그러나 실제로 우리가 인체에서 측정한

신호는 power line noise, EMG신호, motion artifact, base line drift등의 복합적인 잡음이 서로 연관되어있다. 따라서 noise 상호간의 연관성을 와해시켜서 white Noise로 만들기 위해서는 whitening filter라는 전단계의 과정이 필요하다. 심전도 신호의 실시간 처리시 whitening filter를 구현하는 적절한 방법으로 autoregressive (AR) modeling 방법을 들수 있다. [1]

QRS 검출시 일정시간 t에서 발생하는 잡음 성분을 과거의 q개의 data sample의 linear combination에의해서 예측하게되면

$$n_t = \sum_{i=1}^q U_i n_{t-i} + E_t$$

(단, U는 AR Model 계수, q는 model차수, E_t는 modeling error)

여기서 차수 q가 충분히 크게되면 modeling error E_t는 white noise에 근접하게된다. AR model의 계수를 구하는 방법으로 LMS 방법을 이용하였다.

심전도 신호 x_t를

$$x_t = s_t + n_t$$

(s는 QRS complex, n은 QRS이외의 성분)

와 같이 표시하면,

whitening filter의 결과는

$$\begin{aligned} y_t &= x_t - \sum_{i=1}^q U_i x_{t-i} \\ &= s_t - \sum_{i=1}^q U_i s_{t-i} + W_t \\ &= s_p + W_t \end{aligned}$$

(s_p는 왜곡된 신호, W_t는 White Noise)

즉 distortion된 signal과 white Noise로 구성된다. 이제 matched filter의 template으로 사용된 QRS 신호도 whitening filter를 통과시키면 마찬가지로 왜곡된 모양이 나오고 두개의 결과를 matched filter에 통과시킨다.

matched filter output은 다음과 같으며

$$Out_m = \sum_{i=1}^L WQRS_i y_{t-i}$$

(WQRS는 white된 template, Y_t는 white된 신호, L은 template의 data sample 갯수)

이때 신호가 왜곡되더라도 QRS의 존재여부만을 판정하므로 무리가 없다.

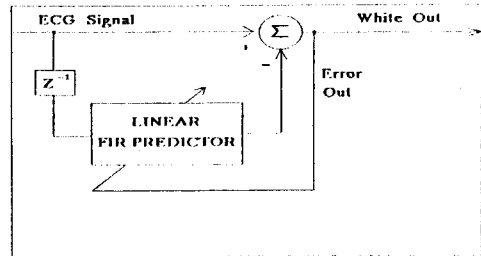


그림. 1. Linear Whitening Filter

III. Neural Network Whitening Filter

심전도 신호는 비선형 신호이다. 그런데 선형 model로써 비선형 신호에 적응하기에는 어려움이 따른다. 그래서 비선형 신호의 변화에 잘 적응하도록 neural network을 이용하여 심전도 신호의 잡음성분을 modeling하였다.

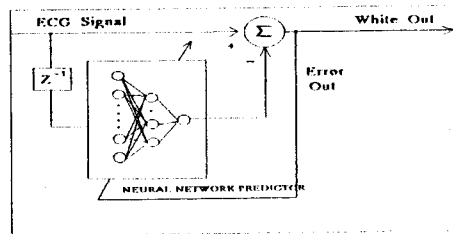


그림. 2. Neural Network Whitening Filter

입력층으로는 linear whitening filter에서 사용되었던 AR model을 그대로 사용하고 출력층과 입력층 사이에 hidden layer를 삽입하여 non-linear 성분에 적응되도록한다.

Hidden-layer out :

$$y_j = f \left[\sum_{i=1}^M W_{ji}x_{t-i} + b_j \right],$$

단, $f()$ =sigmoidfunction

Out-layer out :

$$z_o = \sum_{j=1}^q U_j f \left[\sum_{i=1}^M W_{ji}x_{t-i} + b_j \right]$$

Whitening Filter Out :

$$x_t - z_o = x_t - \sum_{j=1}^q U_j f \left[\sum_{i=1}^M W_{ji}x_{t-i} + b_j \right]$$

- i : 입력층
- j : 중간층
- m : 입력층 unit의 갯수
- q : 중간층 unit의 갯수
- x : 입력 data sample
- y_j : 중간층의 출력
- z_o : 출력층의 출력 (Predictor Out)
- W_{ji} : 입력층과 중간층 사이의 결합계수.
- U_j : 중간층과 출력층 사이의 결합계수.
- b_j : 중간층의 bias

즉, neural network을 이용한 non-linear whitening filter는 중간층과 출력층 사이의 결합계수는 LMS 방법의해해서, 그리고입력층과 중간층 사이의 결합계수는 LMS의 non-linear unit에 대한 확장인 back propagation방법의해해서 Mean Square Error를 최소화 시키는 방향으로 가변된다.

IV. 실험 및 결과

실험과 결과에대한 평가자료는 세계적으로 공인된 부정맥 data base 중의 하나인 MIT/BIH data base 중에서 비교적 잡음이 심한 105번 data base를 사용하였다.

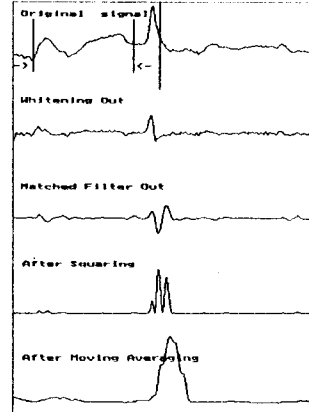


그림. 3. Linear Adaptive Matched Filter의 결과 a) Original Signal. b) Output of Linear Adaptive Whitening Filter. c) Output of Matched Filter. d) Output of Squaring. e) Output of Moving Averaging.

그림 3. 에서와같이 검색 구간은 정상 R-R interval의 1.5배로 잡았고 잡음의 modeling 구간은 QRS 부분이 modeling되지 않도록 최근에 검출된 QRS 부분에서 심실 이완기를 고려한 20 point 떨어진 곳에서부터 다음의 100 point, 약 정상 R-R interval의 2/3 정도로 잡았다. 잡음성분을 modeling하여 얻어진 AR model계수를 이용하여 검색 구간의 전체를 whitening시키고 105번 data base의 정상적인 QRS complex중 하나를 matched filter의 template으로 선정하여 마찬가지로 whitening filter를 통과시켰다. 각각의 출력을 이용해 matched filter를 구성하여 그 결과를 squaring하고 moving averaging한 후에 QRS 부분을 검출하였다. 검출된 QRS 부분은 다음 검색구간을 잡는 기준점으로 이용된다. 다음 검색 구간의 시작은 최근에 검출된 QRS부분이 된다. 그림 3.은 linear whitening filter를 사용한 matched filtering으로 QRS를 검출한 것이다. 표 1.에서 보듯이 false positive가 많이 발생하였다. 이를 개선하기위해서 neural network을 사용한 mached filter를 가지고 실험을 하였다. neural network으로 noise를 modeling시 신호의 비선형성을 잘 modeling하기위해서는 입력층과 중간층의 node 갯수를 충분히 크게 하여야되는데 그결과 계산이 복잡하게되고 수행시간이 오래걸리게되어 실시간 처리에 어려움이 있었다. [1]

본 논문에서는 이점을 개선하기의해서 data base 105번중에서 여러가지 noise부분을 선택해서 그때의 입력층에서 중간층 사이의 가중치와 중간층에서 출력층 사이의 가중치를 Off-Line상태에서 구한뒤 평균을 구해서 전체구간을 동시에 whitening시켰다. 그 결과 계산이 간편해지고 계산시간이 매우 절약되었다. 그럼에도 매 구간마다 가중치를 변경하는 방법 [1]의 검출율과 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 실시간 처리를 위한 system에는 더 적합하다고 볼 수 있다..

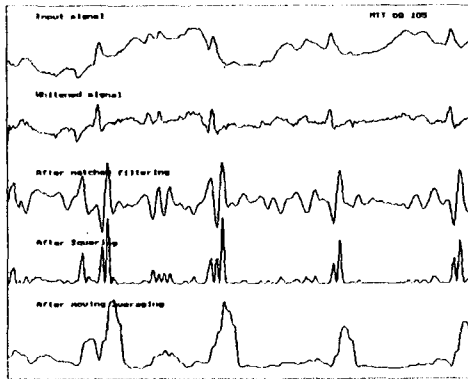


그림. 4. Neural Network Adaptive Matched Filter의 결과 a) Original Signal. b) Output of Neural network Adaptive Whitening Filter. c) Output of Matched Filter. d) Output of Squaring. e) Output of Moving Averaging.

표1. MIT/BIH Data base 105번을 가지고 알고리즘을 평가한결과.

방법	전체 Beats 수	FP	TN	잘못검출된 Beats 수	검출율 (%)
Neural network Filtering	1290	7	4	11	99.1
Linear Filtering	1290	13	8	21	98.4

(FP : false positive, TN : true negative)

V. 참고문헌

- [1] Qiuzhen Xue, Willis J. Tompkins, "Neural network based adaptive matched filtering for QRS detection," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 39, no. 4, April 1992.
- [2] Gary M. Friesen, Thomas C. Jannett, Manal Afify Jadallah, Stanford L. Yates, Stephen R. Quint, and H. Troy Nagle, "A Comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol 37. No. 1, 1990
- [3] J. Pan and W. J. Tompkins, "A real time QRS detection algorithm." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-32, pp. 230-236, 1985.
- [4] P. S. Hamilton and W. J. Tomkins, "Quantitative investigation of QRS detection rules using the MIT/BIH arrhythmia database." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-33, pp. 1157-1165, 1986.
- [5] P. S. Hamilton and W. J. Tomkins, "Adaptive matched filtering for QRS detection." in Proc. Ann. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 1988, pp. 145-146
- [6] 이운선. "심전도 해석을 위한 심박을 변화의 AR 파라미터 패턴분류." 연세대학교 박사 학위 논문. 1987.
- [7] J. Fraden and M. R. Neuman, "QRS wave detection," Med. Biol. Eng. Comput., vol. 18, pp. 125-132, 1980.
- [8] M. Okada, "A digital filter for QRS complex detection," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-26, pp. 700-703, Dec. 1979.
- [9] B. Widrow and S. D. Stearns. "Adaptive Signal Processing." Prentice Hall.
- [10] S. Haykin. "Adaptive Filter Theory." Prentice Hall.
- [11] Box and Jenkins. "Time Series Analysis." Holden Day.
- [12] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer. "Discrete-Time Signal Processing." Prentice Hall.
- [13] Nasir ahmed, T. natarajan, "Discrete-Time Signals and Systems."
- [14] Peyton Z. Peebles, Jr. "Probability, Random Variables, and Randon Signal Principles", McGRAW-Hill.
- [15] 박민용, 최항식 譯, "뉴로 컴퓨터", 大英社.