의공학회지 : 제16권, 제1호, 1995
J. of KOSOMBE : Vol. 16, No. 1

연 구 논 문
95-16-1-07

실시간 ECG 분석을 위한 QRS 검출에 관한 연구
-2단 적응필터을 이용한-

이 순 혁 · 윤 형 로

=Abstract=

Design of Two Stage Apative Filters for Real time QRS Detection

Soon Hyouk Lee, Hyung Ro Yoon

This paper is a study on the design of adptive filter for QRS complex detection. We propose a simple adaptive algorithm to increase capability of noise cancelation in QRS complex detection with two stage adaptive filter. At the first stage, background noise is removed and at the next stage, only spectrum of QRS complex components is passed. Two adaptive filters can afford to keep track of the changes of both noise and QRS complex. Each adaptive filter consists of prediction error filter and FIR filter. The impulse response of FIR filter uses coefficients of prediction error filter. The detection rates for 105 and 108 of MIT/BIH data base were 99.3% and 97.4% respectively.

Key words : QRS complex detection, Adaptive filter, Prediction error filter

서 론

심전도 신호의 해석은 심장에서 발생하는 전기적인 신호를 분석하여 심장병 진단에 이용하는 비관혈적(non-invasive)인 심장병 진단법 중의 하나이다.

심전도 신호의 해석에는 다음과 같은 몇가지 단계가 있다. 인체로부터의 생체신호 획득, 잡음 제거, 기준점 설정(QRS complex detection), 특징점 추출, 병에 따른 pattern 분류, 진단의 단계로 나눌 수 있다. 그 중에서도 QRS complex 검출은 가장 중요한 단계로, QRS complex의 R-point가 검출되면 R-R interval을 계산해서 심박동수를 알 수 있고, P-wave와 T-wave를 찾을 수 있고, S-T segment등을 계산해서 myocardial ischemia, infarction 등의 심장병 진단을 위한 parameter 추출에 있어서 기준점이 된다[1]. 따라서 아무리 좋은 진단 알고리듬이라도 정확한 QRS complex의 검출이 선행되지 않으면, 심장병 진단에 오차를 가져오게 된다.

QRS complex 검출은 크게 나누어 2 단계로 구분할 수 있다. 첫째, 잡음을 제거하여 신호대 잡음비를 높이는 전처리 여파기 부분과 둘째, QRS complex 부분을 찾는 검출 부분으로 나눌 수 있다. 그런데, 이중에서 잡음을 제거하는 전처리 과정에 따라서 그 알고리듬의 성능이 좌우된다. 지금까지의 QRS complex 검출 알고리듬들은 전처리 과정으로써 신호의 크기와 일차 혹은 이차의 미분을 이용하는 방법, 저역 통과 여파기, 대역 저지 여파기, 대역 통과 여파기 등의 디지탈 여파기를 이용하는 방법 등이 있었다[2-6]. 그러나 신호의 크기와 미분을 이용하는 방법은 각 잡음의 종류에 따라 매번 각기 다른 계수를 적용시켜야 하며, 고

연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과
Dept. of Biomedical Eng., College of Health Science, Yonsei Univ.
본 연구는 1993년도 연세대학교 학술 연구비에 의해 이루어 졌음.
통신저자: 이순혁, (222-701) 강원도 원주군 흥업면 매지리 234, Tel. (0371) 760-2431, Fax. (0371) 760-2197

정된 통과 대역을 갖는 디지탈 여파기들의 문제점으로는 잡음과 QRS complex의 통과 대역이 서로 겹치게 되므로 여파기 통과후에 QRS complex에 대한 정보의 손실을 가져와 검출에 오차를 가져오게 된다. 또한 고정된 통과 대역을 갖는 여파기로써 상황에 따라 변하는 잡음과 QRS complex에 대처하기에는 무리가 있었다. 따라서, 최근에는 적응 여파기를 설계하여 다양하게 변하는 잡음에 적응하려 하고 있다. 그 예로, whitening filter와 matched filter를 사용한 적응 여파기를 설계하여 QRS complex 검출에 이용한 경우가 있는데[1, 7, 8], 이 방법은 배경 잡음이 완전하게 제거되지 않으면 matched filter가 잡음 부분도 QRS complex와 마찬가지로 강조시킬 수가 있으므로 오차가 생길 수 있다.

본 논문에서는 전처리 과정에서 2단계의 적응 여파기를 설계하여 1단계로 배경 잡음을 제거하고 2단계로 QRS complex만을 통과시켜서 잡음 제거 능력을 향상 시키는데 주력하였다. 2단계 적응 여파기의 특징은 잡음뿐만 아니라 QRS complex의 변화에도 적응할 수 있도록 하였다는 점이다. 2단계 적응 여파기는 모두 예측 오차 여파기 (Prediction error filter)와 유한 임펄스 응답 여파기 (FIR filter)의 한조로 구성되어 있다. 일반적으로 여파기의 통과 후에 신호대 잡음비를 좀 더 높이기 위해 사용하는 제곱 함수 (squaring)와 이동 창 적분(moving window integral)은 기존의 방법을[9] 그대로 사용하고, 검출 알고리듬에서는 신호의 크기가 작을 경우에 대비하여 2 채널(channel)을 선택적으로 참조하여 처리된 신호를 서로 합하는 방법을 사용함으로써 신호대 잡음비를 높였다. 실험은 MIT/BIH 데이타 베이스(data base) 중에서 비교적 잡음이 심한 105번과 108번을 가지고 하였다.

2단계 적응 여파기의 설계

2단계 적응 여파기의 기능은 1단계로 잡음 성분을 제거하고 2단계에서는 QRS complex 성분만을 통과시켜서 다른 신호 성분은 감소시키고 QRS complex 부분만을 강조하는데 있다. 1단계와 2단계 적응 여파기는 모두 각각 한조의 예측 오차 여파기와 유한 임펄스 여파기를 갖고 있다. 예측 오차 여파기는 과거의 data sample을 가지고 현재의 data sample을 예측해내는 적응 여파기의 한 종류로서, 그림 1에서와 같이 예측기를 사용하여 과거 값들의 weighted linear combination으로 현재의 값을 예측하고, 이때의 값과 desired signal과의 오차의 제곱값을 반복적으로 최소화 시키면, 예측 오차 여파기의 계수가 구해지는데 이

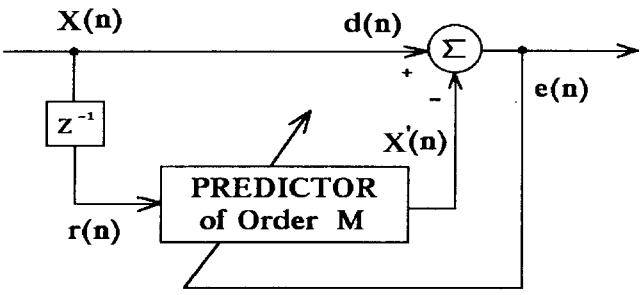

그림 1. 예측 오차 여파기
Fig. 1. Prediction error filter

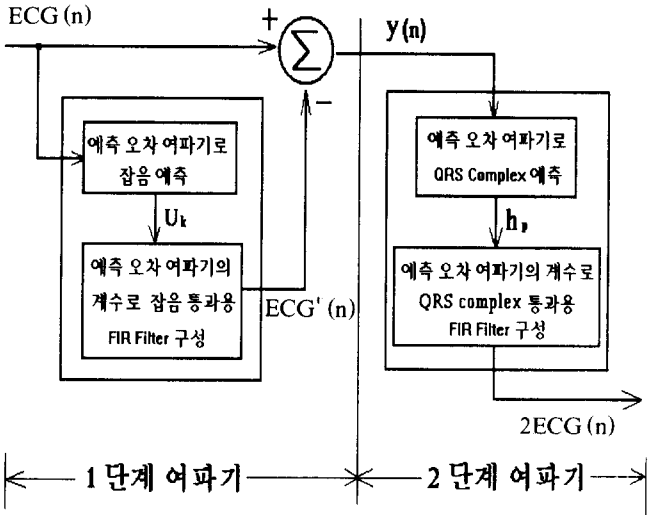

그림 2. 2단계 적응 여파기의 블럭 선도
Fig. 2. Block diagram of two-stage adaptive filter

때의 계수는 신호의 주파수 성분을 나타낸다[10-12]. 따라서 그 계수를 이용하여 유한 임펄스 응답 여파기를 구성하면 그 신호의 주파수 성분만을 통과 시키는 특성을 갖는다.

심전도 신호는 QRS complex가 계속해서 반복적으로 나타나는 신호이다. QRS complex만을 신호로 간주하고 나머지 성분을 모두 잡음 성분으로 간주하면, 심전도 신호는 잡음 성분과 신호 성분이 계속 반복되는 신호로 볼 수 있다. 이러한 특성을 이용하여, 심전도 신호를 그림 5의 (a)와 같은 적절한 소구간으로 나누고 그 한 소구간을 '검색 구간'이라 정하고 그 구간안에서 잡음이 있을 것으로 예상되는 구간을 '잡음 예측 구간' 이라 정한다.

ECG(n) : 한 검색 구간의 심전도 신호
ECG' (n) : ECG(n)에서 잡음성분만 통과된 신호

y(n) : 1 단계 적응 여파기의 출력
2ECG(n) : 2 단계의 적응 여파기의 출력
U_k : 잡음 예측을 위한 예측 오차 여파기의 계수, 1 단계 여파기 부분의 유한 임펄스 응답 여파기의 임펄스 응답
h_p : QRS complex 예측을 위한 예측 오차 여파기의 계수, 2 단계 여파기 부분의 유한 임펄스 응답 여파기의 임펄스 응답

이제 이 한 구간의 심전도 신호를 가지고 그림 2와 같이, 1 단계에서는 예측 오차 여파기로 '잡음 예측 구간'의 잡음 성분을 예측하고 이때 생기는 계수로 유한 임펄스 응답 여파기를 구성한 다음 그 구간의 심전도 신호를 통과 시키면, 잡음 성분만이 통과된다. 이제 이 잡음 성분만 통과된 신호를 그림 5의 (a)와 같은 한 '검색 구간'의 아무런 처리를 하지 않은 원래의 심전도 신호에서 빼주면 그림 5의 (b)와 같이 잡음 성분이 제거된 효과를 갖는다. 2 단계에서는 1 단계 여파기를 통과한 그림 5의 (b)와 같은 신호에서 적절한 구간을 QRS complex 예측용 template로 정하여 다른 예측 오차 여파기로 예측하고 그 계수로 유한 임펄스 응답 여파기를 구성한 다음, 1단계 여파기 통과 후의 신호인 그림 5의 (b)신호를 통과 시키면 그림 5의 (c)와 같이 QRS complex 부분만 통과되는 효과를 갖는다. 따라서 1단계에서는 2잡음을 제거하고 2단계에서는 잡음이 제거된 상태에서 QRS complex만을 강조하게 된다.

이제 한 '검색 구간' 내에서 2단계의 필터링(filtering)이 끝나면 제곱 함수와 이동 창 적분을 수행 한 후에 그 구간 내에서 QRS complex를 검출하고, 이것을 기준으로 다음의 새로운 심전도 구간을 읽어들인다. 새로운 '검색 구간'이 설정되면 그 구간에서 2 단계의 여파기의 계수 U_k와 h_p가 각각 새로 결정된다. 이와 같은 이유로 2단계의 여파기는 그림 3과 같이 매 '검색 구간'마다 변하는 잡음 성분과 QRS complex의 변화에 적응하는 적응 여파기가 되는 것이다.

1. 잡음 제거용 적응 여파기의 설계

먼저 한 구간의 심전도 신호를 식 (1)과 같이 잡음 성분과 신호 성분으로 표현하면,

$$ECG(n) = s(n) + n(n) \quad (1)$$

s(n) : QRS complex
n(n) : QRS complex 이외의 나머지 성분

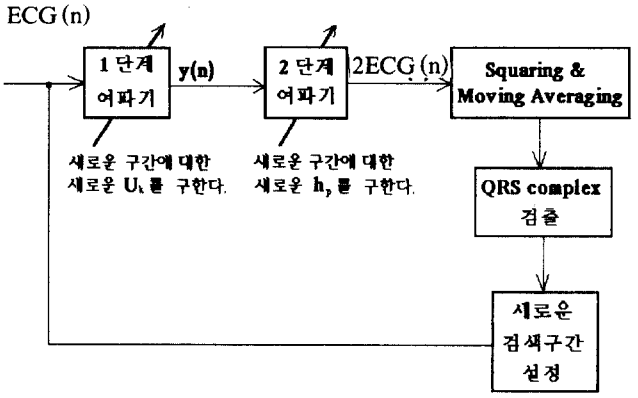

그림 3. 전체 알고리듬의 블럭 선도
Fig. 3. Block diagram of total algorithm

그림 4. 잡음 통과를 위한 유한 임펄스 응답 여파기
Fig. 4. Noise pass FIR filter

잡음 제거 여파기의 구성은 다음과 같은 3단계로 표현할 수 있다. 첫째, 예측 오차 여파기를 사용하여 식 (2)와 같이 잡음 구간을 예측한다.

$$n(n) = \sum_{k=1}^{q} U_k n(n-k) + en(n) \quad (2)$$

n(n) : 한 심전도 구간의 잡음 구간에서의 n번째 잡음 sample
U_k : 잡음 예측 오차 여파기의 계수
q : 잡음 예측 오차 여파기의 차수
$e_n(n)$: 예측 오차

두번째 단계로, 그 계수 U_k를 이용하여 유한 임펄스 응답을 갖는 여파기를 구성하면[13] 그 여파기의 전달함수 특성은 잡음 성분의 주파수 대역만을 통과 시키는 여파기가 된다.

셋번째 단계로, 식 (3)과 같이 한 '검색 구간'의 심전도 신호에서 잡음 통과 유한 임펄스 여파기의 결과를 빼준다. 이것은 신호의 전체 주파수 대역에서 2잡음의 주파수 성

분만을 제거하는 효과를 나타낸다.

ECG′(n) : ECG(n)를 잡음 통과용 유한 임펄스 응답 여파기를 통과 시켜서 얻은 잡음 성분
y(n) : 잡음 제거 적응 여파기의 최종 출력
$s_d(n)$: 왜곡된 QRS complex 신호
en(n) : 예측 오차 일 때,

$$\begin{aligned} y(n) &= ECG(n) - ECG'(n) \\ &= ECG(n) - \sum_{k=1}^{q} U_k(n) ECG(n-k) \\ &= [s(n)+n(n)] - [\sum_{k=1}^{q} U_k s(n-k) + \sum_{k=1}^{q} U_k n(n-k)] \\ &= [s(n) - \sum_{k=1}^{q} U_k s(n-k)] + [n(n) - \sum_{k=1}^{q} U_k n(n-k)] \\ &= s_d(n) + e_n(n) \end{aligned} \quad (3)$$

2. QRS complex 통과용 적응 여파기의 설계

1단계에서 잡음이 제거된 한 '검색 구간'의 심전도 신호 즉, 그림 5 (c)에서 적절한 구간을 QRS complex 예측용 template으로 설정하여 그 부분에 대한 예측 오차 여파기의 계수를 구하고 그 계수를 이용하여 유한 임펄스 응답을 갖는 여파기를 구성하면, 그림 5 (d)와 같이 QRS complex의 주파수 성분만을 통과 시키는 특성을 갖는다. Template에 있는 신호를 예측하게 되면 식 (4)와 같이 되고,

$$TEMP(n) = \sum_{p=1}^{m} hp\ TEMP(n-p) + e_{QRS}(n) \quad (4)$$

TEMP(n) : QRS complex 예측용 template의 n번째 sample
h_p : QRS complex 예측용 예측 오차 여파기의 계수
$e_{QRS}(n)$: 예측 오차

계수 h_p를 이용하여 유한 임펄스 응답기를 구성하면, 식 (5)와 같이 된다.

$$2\ ECG = \sum_{p=1}^{m} hpy(n-p) \quad (5)$$

y(n) : 1 단계 잡음 제거 여파기를 거친 심전도 신호
2ECG(n) : 2 단계 여파기의 출력, QRS complex의 주파수 성분만 통과된 결과

알고리듬

적응 알고리듬을 적용하기 위해서는 심전도 신호를 '검색 구간' 이라는 소구간으로 나누고 이 구간에 대해서 2단계의 적응 여파기, 제곱 함수(squaring), 이동 창 적분(moving window integral), QRS complex 검출 등의 모든 알고리듬을 수행한다. 2단계의 적응 여파기를 구성하기 위해서는 신호의 예측이 필요한데, 한 '검색 구간' 안에 '잡음 예측 구간' 과 'QRS complex template'이라는 일정한 구간을 정하여, 1단계에서는 예측 오차 여파기로 '잡음 예측 구간'의 신호를 예측하고 여기서 생긴 계수로 유한 임펄스 응답 여파기를 구성하여 '검색 구간'의 신호를 통과 시키면 잡음 성분만이 통과되고 이 신호를 다시 '검색 구간'의 신호에서 빼주면 잡음 성분이 제거된다. 2단계에서는 예측 오차 여파기로 'QRS complex template'의 신호를 예측하고 이때의 계수를 이용해서 QRS complex 통과용 유한 임펄스 응답 여파기를 구성하여 여기에 1단계 여파기의 최종 출력 신호를 통과 시키면 QRS complex의 주파수 성분만이 통과된다. 이제 이 결과를 가지고 제곱함수와 이동 창 적분을 수행한 후에 QRS complex의 위치를 찾은 후에 이 점을 중심으로 같은 크기의 새로운 '검색 구간'을 정한다. 새로운 구간에 대해서 2단계의 적응 여파기의 계수가 모두 다시 구해지므로 변화하는 잡음과 QRS complex에 적응할 수 있는 것이다. 그러나 제곱 함수와 이동 창 적분의 계수는 변하지 않는다. 만일 QRS complex의 크기가 작을 경우에 대비하여 이동 창 적분 후의 신호의 최대값이 어느 임계값 이하일 경우에는 다른 채널의 신호를 위와 같은 순서로 다시 구하여 처음 값과 합쳐서 검출에 사용한다.

실험 및 결과

MIT/BIH 데이타 베이스는 2개 채널의 심전도가 들어있으므로 그 중에서 비교적 잡음이 심한 105번과 108번을 가지고 실험하였다. 채널 1의 신호를 일반적으로 사용하고 검출이 않될 경우에는 채널 2의 신호를 이용하였다. 알고리듬을 적용하기 위한 '검색 구간'의 설정은 일반적인 정상 R-R interval의 약 1.5배인 1.5sec, 즉 샘플링 주파수가 200Hz인 MIT/BIH data base의 경우에 300 sample 정도를 한 '검색 구간'으로 정했다. '잡음 예측 구간'의 설정은 여러 번의 실험을 거쳐서 600 msec에 해당하는 120 sample로 정하였다. 초기의 QRS complex template은 정상적인 QRS

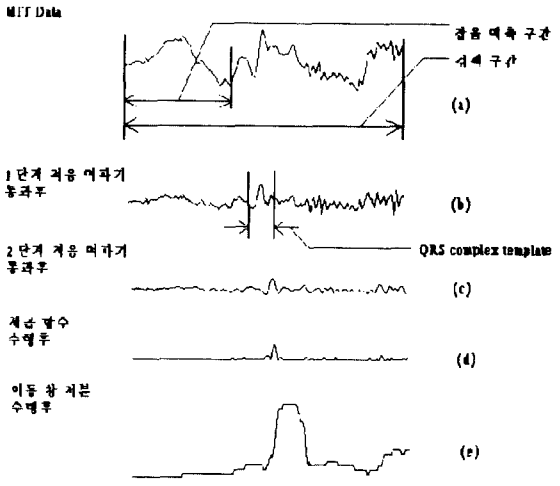

그림 5. 한 검색 구간의 심전도 신호에 2단계 적응 여파기, 제곱 함수, 그리고 이동 창 적분을 수행한 결과.
Fig. 5. Results after two stage adaptive filtering, squaring, and moving window integral of ECG signal in a search section.

complex의 R peak 점을 중심으로 좌우 각각 100 msec, 전체 200 msec에 해당하는 40 sample로 정하였다. 알고리듬을 시작하기 위해서 채널 1의 처음 300 sample을 읽어들인 후 사용자가 QRS complex의 R peak 부분을 미리 정한다. 이 R peak 부분의 좌우로 각각 20 sample씩 모두 40 sample을 초기의 QRS complex template으로 정하여 별도의 버퍼(buffer)에 저장한다. 이제, 알고리듬의 수행에 필요한 구간을 그림 5의 (a)와 같이 설정한 뒤에 먼저 1단계의 적응 여파기를 구성하여 잡음을 제거하기 위해 '잡음 예측 구간'에 대해서 예측 오차 여파기의 계수를 구한다. 예측 오차 여파기 차수는 3개로 하였으며 그 계수는 LMS 방법을 이용해서 구하였다. LMS 방법에서 사용되는 step size는 여러 번의 실험을 거쳐서 0.0002로 정했다. 이와 같이 하여 구해진 계수는 '잡음 예측 구간'의 주파수 성분을 내포하고 있으므로 이 계수를 이용하여 유한 임펄스 응답을 갖는 여파기를 구성하여 '검색 구간'에 있는 심전도 신호를 통과 시키면 잡음 성분만을 통과시키게 된다. 이때 여파기 통과 전의 신호와 통과 후의 신호는 각각 따로 저장되며 여파기를 통과한 후의 신호를 통과하기 전의 신호 즉, 잡음 제거가 되지 않은 '검색 구간'의 신호에서 빼주게 되면 그림 5의 (b)와 같이 잡음 성분은 제거되고 QRS complex 부분은 왜곡되어 나타난다.

이제 2단계로 알고리듬 시작 전에 설정한 QRS complex template 신호를 차수 10개의 또 다른 예측 오차 여파기의 입력으로 사용하여 마찬가지로 LMS 방법에 의해서 계수를 구한 후에 그 계수를 이용해서 유한 임펄스 응답 여파기를 구성한다. 그러면 이번의 유한 임펄스 응답 여파기는 QRS complex의 주파수 성분만을 통과 시키는 특성을 갖는다. 이 여파기의 입력으로는 1단계에서 이미 배경 잡음이 제거된 '검색 구간'의 신호, 즉 그림 5의 (b) 신호를 유한 임펄스 응답을 갖는 여파기의 입력으로 사용한다. 그 결과 그림 5의 (c)와 같이 QRS complex 이외의 성분은 거의 제거가 되었다.

다음에 그림 5의 (c)와 같이 2 단계의 적응 여파기를 통과한 '검색 구간'의 심전도 신호를 제곱 함수로 처리하게 되면 그림 5의 (d)와 같은 그림이 되고 이 신호를 다시 정수형의 이중 버퍼를 사용한 이동 창 적분[9]을 취하고 최대값을 구해서 규준화 시킨 것이 그림 5의 (e) 신호이다. 이동 창 적분을 수행한 신호의 크기가 작을 때에는 잡음과 구분할 수 없으므로 일정한 값 이하일 경우에는 채널 2의 심전도 신호를 이용한다. 채널 2의 신호에서 다시 '검색 구간'과 '잡음 예측 구간'을 정하고 예측 오차 여파기로 잡음 성분을 다시 예측하여 유한 임펄스 여파기를 구성하고 이 여파기로 잡음을 제거한다. QRS complex 통과용 제 2 단계의 적응 여파기의 계수는 그대로 사용하고 제곱 함수와 이동 창 적분을 수행한 후 채널 1의 이동 창 적분을 거친 신호와 합쳐서 신호대 잡음비를 높인 후 검출에 사용한다.

이제 일정한 임계값을 정하여 QRS complex의 부위를 찾는다. 이때 이 부위는 이동 창 적분의 특성상 R peak 점보다 지연된다. 따라서 그 위치에서 다시 앞으로 20 sample의 검색 구간을 설정하여 R peak 점을 찾아서 최종 QRS complex 부위로 정한다. 이 최종 QRS complex 부위를 중심으로 300 sample의 새로운 '검색 구간'을 정한다. 이때 만일 QRS complex를 검출하지 못했으면, 그 '검색 구간'에는 QRS complex가 없는 것으로 간주하여 현재의 '검색 구간'의 끝점을 기준으로 새로운 '검색 구간'을 정한다.

새로운 QRS complex template의 설정은 역시 최종 QRS complex 부위를 기준으로 좌우 20 개씩의 새로운 template 후보를 설정하고 만일 잡음 성분이 QRS complex로 잘못 검출되어 그 다음 '검색 구간'의 잡음 제거에 있어서 발생할 오차를 줄이기 위해 우선 현재의 QRS complex template과 새로운 QRS complex template 후보의 상관 관계 계수를 구하여 그 값이 60%가 넘으면 QRS complex가 제대로 검출된 것으로 보고 현재의 QRS complex template과 새로운 QRS complex template 후보의 평균을 취해서 새로운 QRS complex template으로 결정한다.

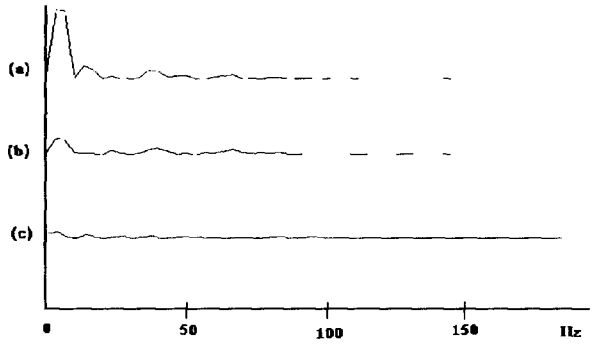

그림 6. **(a)** 잡음 예측 구간의 신호를 FT 한 것, **(b)** 1 단계 적응 여파기를 통과한 후의 신호를 FT 한 것, **(c)** 2 단계 적응 여파기를 통과한 후의 신호를 FT 한 것.
Fig. 6. **(a)** FT of signal in noise prediction section **(b)** FT of signal after 1st stage adaptive filter **(c)** FT of signal after 2nd stage adaptive filter.

표 1. MIT/BIH 데이타 베이스 105번, 108번에서의 검출율
Table 1. Detection rates for 105 and 108 of MIT/BIH data base

MIT/BIH Data	전체 Beats 수	FP	FN	잘못 검출된 총 Beats 수	검출율 (%)
105	2572	12	6	18	99.3
108	1763	34	11	45	97.4

(FP : false positive, FN : false negative)

1단계의 여파기만 사용했을 경우와 2단계의 여파기까지 모두 통과 시킨 경우의 잡음 제거 정도는 현저한 차이를 보이게 된다. 이것은 주파수 영역에서 살펴보더라도 그림 5에서와 같이 현저하게 나타난다.

그림 6의 (a)는 심전도의 한 검색 구간에서 '잡음 예측 구간'에 있는 잡음 성분을 Fourier Transform(FT)한 그림이고 그림 6의 (b)는 그 신호를 1 단계 잡음 제거용 적응 여파기에 통과시킨 후 FT한 것으로 잡음 주파수 대역의 크기가 줄어들었음을 알 수 있고, 그림 6의 (c)는 1 단계 적응 여파기 통과 후에 연속해서 2 단계의 QRS complex 통과용 적응 여파기까지 통과 시킨 신호를 FT한 것으로 잡음의 주파수 성분의 크기가 현저하게 감소함을 볼 수 있다. 본 논문의 알고리듬으로 실제적인 QRS complex 검출 정도를 알아보기 위해 MIT/BIH의 데이타 베이스 중에서 비교적 잡음이 심한 105번과 108번에 실제로 알고리듬을 적용시켜 본 결과 표 1에서와 같이 105번은 99.3%의 검출율을 얻을 수가 있었고 108번의 경우에는 97.4%의 검출율을 나타내었다.

결론 및 고찰

기존의 적응 여파기는 한 개의 잡음 제거용 적응 여파기를 사용하여 QRS complex의 변화에는 대처하지 못했으나 잡음 제거용 적응 여파기와 QRS complex 통과용 적응 여파기를 순차적으로 사용함에 따라 잡음의 변화와 QRS complex의 변화 모두에 적응하여 잡음을 제거함으로써 QRS complex 부분을 더욱 강조할 수 있었다. 그러나 본 논문에서 사용한 알고리듬에서는 '검색 구간', '잡음 예측 구간', 'QRS complex template 구간'이 모두 고정되어 있기 때문에 앞으로 이 구간도 가변 시킨다면 더 좋은 검출율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Qiuzhen Xue, Willis J. Tompkins, "*Neural network based adaptive matched filtering for QRS detection*", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 39, no. 4, pp. 317-329, 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, pp. 85-98,. 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. J. Fraden and M. R. Neuman, "*QRS wave detection*", Med. Biol. Eng. Comput., vol. 18, pp. 125-132, 1980.
6. M. Okada, "A digital filter for QRS complex detection," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-26, pp. 700-703, Dec. 1979.
7. P. S. Hamilton and W. J. Tomkins, "*Adaptive matched filtering for QRS detection*", in Proc. Ann. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. pp. 145-146, 1988.
8. 이순혁, 윤형로 외, "QRS 검출을 위한 Adaptive Filter", 대한 의용 생체 공학회 추계 학술대회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 167-170, 1993.
9. Willis J. Tompkins, "*Biomedical Digital Signal Processing*", Prentice Hall, International Editions, pp. 24-53, pp. 236-262.
10. John Makhoul, "*Linear Prediction: A tutorial review*", Proceedings of the IEEE, vol. 63, No. 4, pp. 561-579, April 1975.

11. Simon Haykin, "*Adaptive filter theory*" Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632, pp. 17-73, pp. 186-210, pp. 307-310.
12. B. Widrow and S. D. Stearns, "*Adaptive signal processing*", Prentice Hall,Englewood Cliffs, NJ 07632, pp. 99-110, pp. 302-354.
13. Nasir ahmed, T. natarajan, 배명진, 임운천 외 譯, "이산 신호 시스템", 대영사, pp. 287-313.

=국문초록=

본 논문은 새로운 QRS comlex의 검출 알고리듬의 설계에 관한 연구로서 전처리 과정에 있어서 2 단계의 적응 여파기를 설계하여 효과적인 잡음 제거 능력을 갖는 알고리듬을 제안 하였다. 1 단계에서는 배경 잡음을 제거하고 2단계에서는 QRS complex만을 통과시킴으로, 잡음의 변동 뿐만 아니라 QRS complex의 변화에도 적응할 수 있게 하였다. 2 단계의 적응 여파기는 각각 예측 오차 여파기와 유한 임펄스 응답을 갖는 여파기로 구성된다. 이때, 유한 임펄스 여파기의 계수는 예측 오차 여파기의 계수를 이용하였다. MIT/BIH 데이타 베이스 중에서 비교적 잡음이 심한 105번과 108번을 가지고 실험을 한 결과 각각 99.3%와 97.4%의 검출율을 나타내었다.