

ST 세그먼트 분류를 위한 기저선 제거용 디지털 필터의 성능 분석

°장 재 호, 이 병 채, 이 명 호

연세대학교 공과대학 전기공학과

A Study on Performance evaluation of digital filter Removal of baseline wandering for accurate ST segment analysis

Jaeho Jang, Byungchae Lee and Myoungcho Lee
Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract

This paper propose a two pole phase compensated filter to remove baseline wandering and preserve ST-segment accuracy in real time environment.

Bilinear transformed null phase filter(ideal filter), Standard FIR filter and Cubic spline filter are evaluatued in the same condition. The proposed phase compensated filter shows better performance than standard filter in real ECG test and triangular pulse test.

1. 서 론

심전도 신호해석에서 ST 세그먼트 변위의 정확한 모니터링은 중환자실에서나 수술 중의 환자의 ischemia등에 있어서 매우 중요한 요소이다.

ST 세그먼트 뿐만 아니라 심전도 신호해석에 있어서, 정확한 측정에 가장 큰 요인이 되는 것은 기저선 변동이다. 많은 연구자들이 심전도 모니터링에 있어서 위상 비선형성에 의한 ST 세그먼트의 왜곡을 최소화하는데 노력하고 있다. 근잡음등을 제거하기 위한 알고리즘들이 ST 세그먼트에 심각한 영향을 미치는 것 또한 간과할 수 없는 것이다. 이러한 신호의 왜곡을 최소화 하기 위해 1975년 미국심장협회(AHA)는 1개의 극점과 0.5 Hz의 차단 주파수를 갖는 고역통과 필터를 권고 하였고, 현재 표준 필터로서 상업적으로도 가장 많이 쓰이고 있다. 이 필터는 신호의 왜곡은 적지만 기저선을 효과적으로 제거 하지는 못한다. 대표적인 기저선 제거용 필터로써 사용되는 Cubic Spline 필터는 기저선을 효과적으로 제거하지만 신호

가 규칙성을 갖지 않는 경우에는 심각한 오차를 발생시키는 등의 단점이 있다. 본 논문에서는 위상 비선형성에 의한 신호의 왜곡을 최소화 하기 위해서 위상 보정 필터를 제안하고 이를 일반적인 디지털 필터와 성능비교하여 유용함을 보이고자 한다.

2. 위상보정 필터의 설계

본 연구에서 제안 한 위상 보정 필터는 Bilinear transformed null phase filter 의 전방향, 후방향 처리가 갖는 실시간 부적합성을 개선하기 위한 것이다.

전방향만을 처리후 지연된 시간 만큼을 데이터에서 빼줌으로써, 위상보정의 효과를 갖음과 동시에 실시간 환경에 적합하도록 하였다. Pottala등이 제안한 BL/NP 필터는 다음과 같다.

고역 통과 필터는 저역 통과필터의 결과를 원신호에서 빼줌으로써 얻어 진다.

$$Z[n] = X[n-d] - Y[n]$$

(d = delayed data sample)

저역 통과 필터는 다음과 같은 일반식으로 표현된다.

$$Y[n] = a_1X[n] + a_2X[n-1] + a_3X[n-2] - b_2Y[n-1] - b_3Y[n-2]$$

$X[n]$ 은 n 번째 데이터의 값이며, 계수는 다음과 같다.

$$a_1 = a_3 = \frac{k^2}{k_1}, a_2 = \frac{2k^2}{k_1}, b_2 = \frac{k_2}{k_1}, b_3 = \frac{k_3}{k_1}$$

여기에서 $k = \tan(\phi f_c s_i)$

$$k_1 = 1 + 2k\delta + k^2$$

$$k_2 = 2k^2 - 2$$

$$k_3 = 1 - 2k\delta + k^2 (\delta = 0.6)$$

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 위상보정 필터의 성능 분석 뿐만 아니라 일반적으로 기저선 변동 제거용으로 많이 사용되고 있는 표준필터 및 Cubic spline 필터를 제안한 필터와 함께 BL/NP 필터와 비교하였다.

3.1 AHA 데이터 베이스 파일 적용

시뮬레이션에 사용된 데이터는 미국심장학회 부정맥 데이터 베이스를 사용하였다. AHA 데이터 베이스는 80여개의 다양한 파형들로 구성된 유용한 데이터 베이스이다. 4종류의 필터를 80개의 다양한 심전도 파일에 적용하여 각각에 대한 SNR을 구하였다.

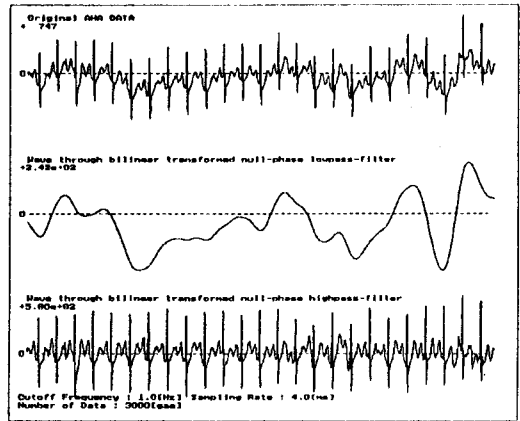
그림 1은 입력이 2204인 경우에 각각의 필터를 통과 후의 파형을 보였다.

표 1에는 80개 데이터 파일에 대한 SNR을 보였다.

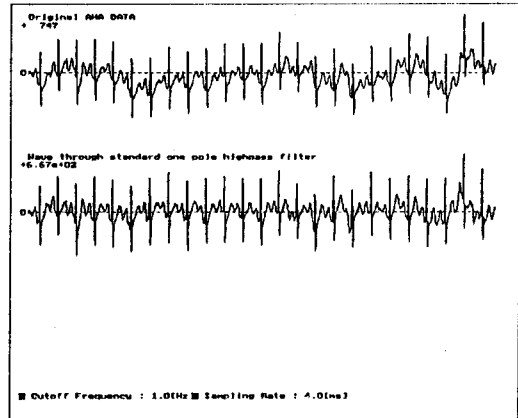
표 1. AHA 데이터 베이스에 대한 필터의 성능비교

	BLT/NP Filter			Cubic-spline		
	Signal Power	Noise Power	Total	Signal Power	Noise Power	Total
Original AHA-data SNR[dB]	100.08	95.89	3.49	100.08	95.89	3.49
Filtered AHA-data SNR[dB]	99.54	72.11	28.38			
Difference SNR[dB]	0.54	23.78	24.89			

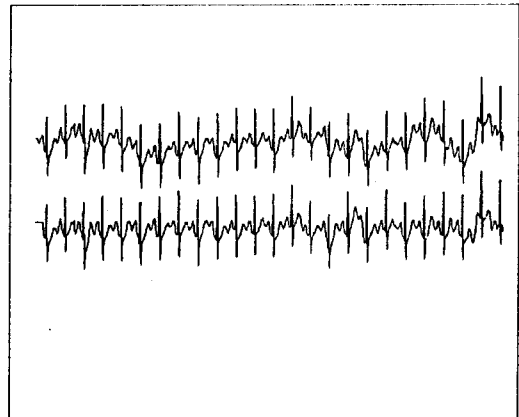
	Standard Filter			위상보정필터		
	Signal Power	Noise Power	Total	Signal Power	Noise Power	Total
Original AHA-data SNR[dB]	100.08	95.89	3.49	100.08	95.89	3.49
Filtered AHA-data SNR[dB]	99.61	78.43	18.88	99.43	76.11	22.31
Difference SNR[dB]	0.47	17.46	15.39	0.65	19.78	18.82



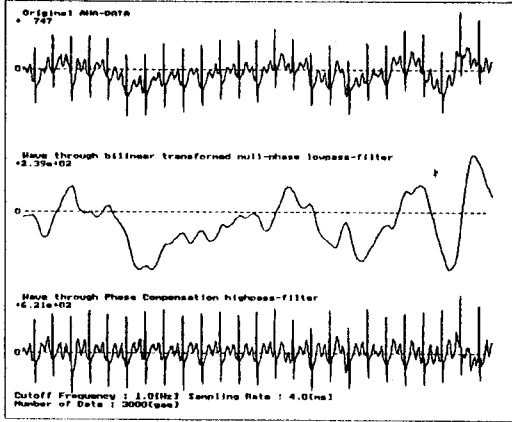
(a) 입력신호(2204), BL/NP



(b) 표준필터(One-pole Highpass)



(c) Cubic-spline Filter

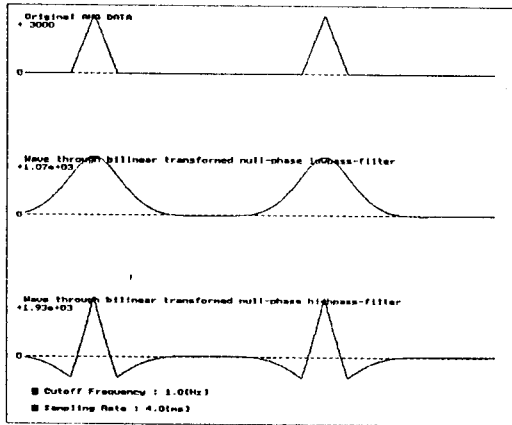


(d) 위상보정 필터

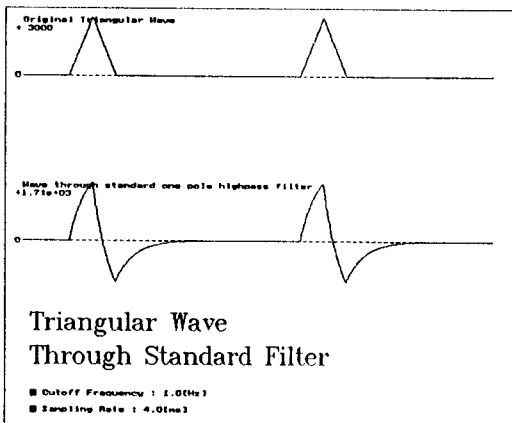
- 그림 1 - AHA-Database에 의한 테스트

3.2 AHA 권고 Triangular 신호 적용

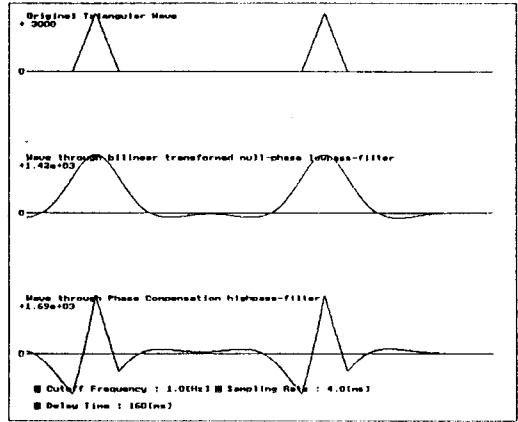
그림 2는 Triangular 각각의 필터를 통과한 후의 파형을 보였다.



(a) BL/NP Filter



(b) 표준 필터



(c) 위상보정 필터

- 그림 2 - AHA 권고 Triangular Wave에 의한 테스트

표 2. AHA 권고 Triangular Wave에 대한 필터의 성능비교

	BLT/NP Filter	Standard	PC Filter
Depression	0.0074	1221.86	472.14
Percentage refer to Standard filter	Approx. 0 %	-	38.64 %

4. 결론 및 토의

본 논문에서는 실시간 환경에서 심전도 신호의 정확한 해석을 위한 위상 보정 필터를 제안하고, 기존의 BL/NP, cubic spline, 표준필터와 함께, 부정맥 데이터 베이스와 Triangular 펄스에 대한 성능 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부정맥 데이터 베이스에 적용하여 얻은 신호대 잡음비는 BL/NP 필터와 표준필터가 각각 28.38dB, 18.88dB였으며 위상보정 필터의 경우 22.31dB로 나타나 표준필터보다 훨씬 좋은 성능을 나타내었다.

(2) Cubic-spline filter는 심전도 신호의 QRS onset 이, 미리 설정된 RR-Interval에 충실한 경우에만 정확한 filtering이 이루어진다. 즉, PVC를 가진 심전도 신호라든지 spike artifact가 존재하는 신호의 경우 filtering이 제대로 이루어지지 않았다.

(3) 미국심장협회의 권고에 따른 Peak치 3000mV의 triangular 파형에 적용한 결과 BL/NP는 ST-segment의 depression이 거의 0에 가까운

0.0074mV로 나타났고, 표준필터가 1221.86mV 인 것에 비해 위상보정 필터는 472.14mV로 표준필터의 38.64%에 해당하는 ST-segment depression을 나타냈다.

(4) Cubic spline 필터는 신호가 규칙적인 경우에 정확한 필터링이 가능하며, BL/NP 필터는 전,후방향의 처리로 실시간 환경에 부적합한 반면 위상보정 필터는 실시간 환경에 적합한 동시에 ST-segment depression에서도 표준필터보다 훨씬 왜곡이 적은 것으로 나타났다.

더불어 SNR 성능 테스트에서도 BL/NP 필터에 비해 큰 차이를 보이지 않음으로써 제안된 위상보정 필터는 실시간 환경에서 임상적으로 유용함을 입증하였다.

참고 문헌

- (1) Tayler DI et.al., "Artefactual ST segment abnormalities due to electrocardiograph design", Br. Heart Jr. 54:128,1985
- (2) Bragg-Remschel DA et.al., "Frequency response Characteristics of ambulatory ECG monitoring systems and their implications for ST segment analysis", American Heart Jr. 103:20,1982
- (3) Pottala et.al., "Suppression of baseline wander in the ECG using a bilinearly transformed, null phase filter", Jr. of Electrocardiology. No.22(suppl):128,1989
- (4) Van Alste JA et.al., "Removal of baseline wander and power line interference from ECG by an efficient FIR filter with a reduced number of taps", IEEE Trans. BME, BME-32:1052,1985
- (5) C.R. Meyer et.al., "Electrocardiogram Baseline Noise estimation and removal using cubic splines and state-space computation techniques", Computers and biomedical research No.10,pp.459-470,1977