

웨이브렛 변환의 모함수에 따른 ERG의 잡음제거 성능 비교

서정익*, 박은규, 장준영

*대구보건대학교 안경광학과

Comparison of ERG Denoising Performance according to Mother Function of Wavelet Transforms

Jung-Ick Seo*, Eun-Kyoo Park, Jun-Young Jang

Dept. of Ophthalmic Optics, Daegu Health College

(Received October 10, 2016; Received October 16, 2016; Accepted October 21, 2016)

Abstract

Purpose. Noise occurs at measuring Electoretinogram(ERG) signals as the other bio-signal measurement. It is compared the denoising performance according to the mother function of wavelet transforms.

Methods. The ERG signal that generated power supply noise and white noise was used as a sampling signal. The noise of ERG signal was filtered by using haar, db7, bior mother function. The filtering performance of each mother functions was compared using Fourier transform spectrum and SNR(signal to noise ratio).

Results. In the haar function, the result of the Fourier transform spectrum was that the power supply noise is removed and the white noise performance is not good. The SNR was 27.0404. In the db7 function, the results of Fourier transform spectrum was that the power supply noise is removed and the white noise performance is good. The SNR was 35.1729. In the db7 function, the results of Fourier transform spectrum was that the power supply noise is removed and the white noise performance is the bset. The SNR was 35.4445.

Conclusions. The db7, bior function was good results in power supply noise and white noise filtered. The bior function is suitable for filtering noise of the ERG signal.

Key Words: Electoretinogram, Noise, Wavelet

*Corresponding author : raphael@dhc.ac.kr

1. 서론

수명이 늘어남에 따라 건강관리에 대한 관심이 더욱 더 늘어나고 있다. 건강관리의 측정 척도로 많이 사용되고 있는 것이 생체신호이다. 일반적으로 가장 많이 사용되고 있고, 많은 사람들이 알고 있는 신호로는 심전도(electrocardiography, ECG)신호이다. 안과학 계열에서는 망막극에 대한 눈에서 발생하는 미세 전위차를 망막전도(electroretinogram, ERG)이다. 이를 이용해서 망막의 여러 병증을 진단할 수 있다. 대표적인 병증으로 당뇨망막병증, 망막색소변성증 등이 있다. ERG 신호는 이러한 병증에 대한 진단에 유용하게 사용된다¹⁾.

ERG 신호는 망막의 기능을 평가할 수 있는 신호로서 Holmgren이 1853년 처음으로 존재를 발견하였고, Dewar가 1877년에 인간의 ERG 신호를 측정하였다²⁾. 광범위하게 발생하는 망막 질환보다는 발견하기 어려운 국소적인 범위의 기능 이상을 발견하는데 ERG 신호가 좋은 결과를 보이기 때문에 현재 망막 기능 이상 진단에 많이 이용되고 있다³⁾. 측정 방법은 콘택트렌즈를 각막에 착용하여 기준 전극을 만들고 이마에 부착된 활성전극을 부착하여 측정하게 되는데, 암실에서 피검자가 암순응 후에 높은 조도의 빛을 조사했을 때 발생하는 전위차를 기록하게 된다. Figure 1은 ERG 신호를 나타내고 있다. a파는 암순응일 때 잠복기로 음성전위로 나타나게 되고, b파는 빛이 조사 되었을 때 발생하는 양성전위를 나타낸다. a파가 발생하는 부위는 추체와 간체에서 발생하게 되고, b파는 양극 세포와 신경절 세포에서 발생하게 된다⁴⁾. c파는 색소상피에서 발생하는 전위이다.

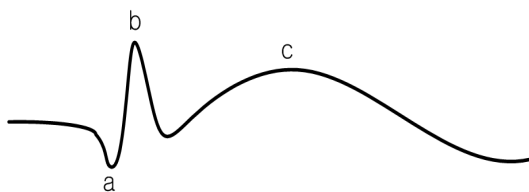


Figure 1. ERG signal

하지만, ECG, ERG 신호를 포함한 여러 생체 신호는 측정할 때 잡음이 발생하는데, 그 원인은 여러 가지가 있다⁵⁾. 근육의 움직임에 의한 저주파 근전도 잡음, 사용하는 전원에 따라 50~60Hz의 고주파 전원 잡음 등 여러 가지가 있다. 저주파와 고주파 잡음의 경우 즉, 일정 주파수를 가진 경우에는 측정할 때 일정 수준 제거가 가능하지만, 일정한 주파수가 없는 백색 잡음(white noise)은 측정할 때 제거가 어렵다. 일반적으로 고주파 및 저주파 잡음의 제거를 위해서 대역통과필터(band pass filter)를 이용하여 제거하였는데, 일정한 주파수가 있는 경우에는 좋은 결과를 얻게 되지만 그렇지 않은 경우에는 좋은 결과를 기대하기 어렵게 된다. 대역통과 필터의 단점으로는 신호의 왜곡이 일어난다는 점도 있다. 웨이브렛(wavelet) 필터는 신호를 여러 주파수로 분해하여 특정 주파수 및 진폭을 제거할 수 있는 특징을 가진다⁶⁾. 이 때 모함수의 역할이 중요하다. 모함수는 여러 형태의 함수가 존재하고, 분해하려는 신호의 형태와 가장 유사한 형태의 모함수를 적용할 때 잡음 제거에서 왜곡 없는 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 모함수에 따른 백색 잡음 제거 효과를 분석해 보았다.

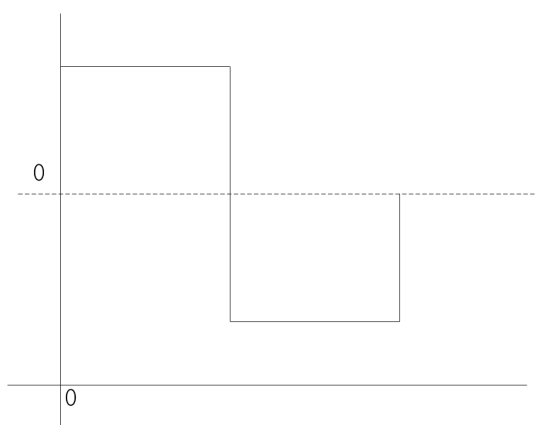
2. 실험방법

웨이브렛 변환은 sin, cos 등 삼각함수 이외의 여러 함수를 웨이브렛 모함수(mother function)로 사용한다. 이 모함수를 이용하여 신호를 고주파수 영역과 저주파수 영역으로 분리하는 다운 샘플링(down sampling)을 행하고, 분해하여 신호를 분석 및 원하는 주파수 영역을 제거할 수 있다. 이러한 작업은 다해상도 분해라고 하는데, 이는 아래의 식으로 정의 된다⁷⁾.

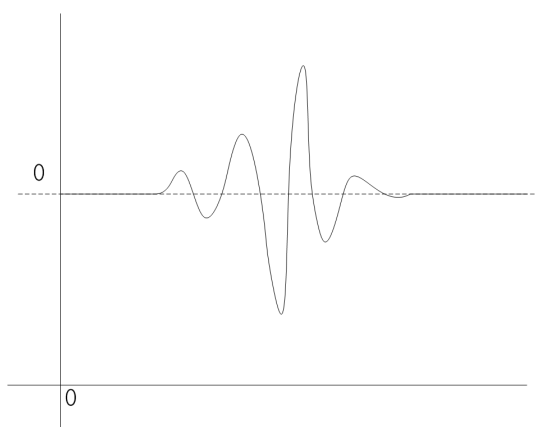
$$C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

$\psi(t)$ 는 wavelet 모함수이고 b는 $\psi(t)$ 를 이동하는 이동계수이고, a는 $\psi(t)$ 를 확장하는 확장

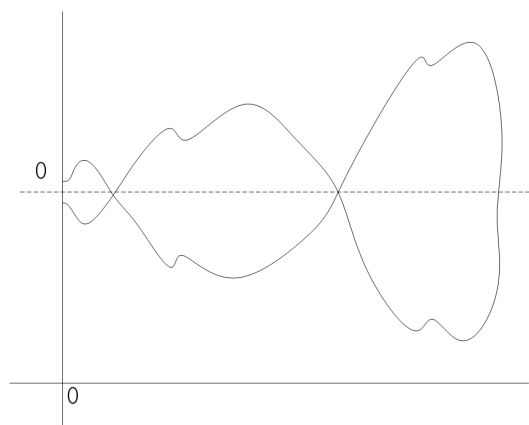
계수이다. 고주파신호의 경우 지속시간이 짧기 때문에 윈도우 함수 또한 짧은 함수를 사용해야 하고, 저주파신호의 경우 지속시간이 길기 때문에 긴 윈도우 함수를 사용해야 한다. 이런 이유로 웨이블릿 함수는 주파수 영역에 따른 다중해상도를 가지게 된다⁸⁾. 왜곡 없는 신호의 분해를 위해서는 모함수 $\psi(t)$ 의 선택이 가장 중요한 요소가 되는데, 대표적으로 많이 사용되는 모함수의 종류로는 haar, db7, bior 함수 등이 많이 사용 된다. Figure 2는 각 모함수 종류의 형태를 나타내고 있다.



(a) haar function



(b) db7 function



(c) bior function

Figure 2. wavelet mother function

본 연구에서 matlab(version 7.10.0, MathWorks, 미국)을 이용하여 신호를 처리하였다. 실험데이터는 ERG 신호로 샘플링 주파수가 400 Hz인 데이터를 사용하였다. 수학적 모형을 이용하여 ERG 신호를 제작하였다. 이는 모함수 비교 결과를 SNR(signal to noise ratio)을 이용하여 객관적으로 비교하기 위해서이다. 잡음은 일반적으로 많이 발생하는 전원 잡음과 백색 잡음(white noise)를 합성하였다. 전원 잡음 60Hz의 잡음으로 사용하였고, 백색 잡음은 무작위(random)로 생성된 잡음을 사용하였다.

웨이블릿 변환은 각 모함수를 사용하여 8단계(level)까지 분해하는 것으로 설정하였다. 분해된 신호에서 전원 잡음 제거를 위해서 3단계에서 문턱치(thresholding)를 이용하였고, 백색 잡음을 제거하기 위해서 3~8단계에 문턱치를 적용하였다. 처리된 신호를 업 샘플링(up sampling)하였다.

각 모함수에 따른 결과를 비교하기 위해서 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용하여 그래프로 비교하였고, SNR을 이용하여 수치로 비교하였다.

3. 결과

3.1. 파형 비교

Figure 3은 noisy ERG 신호로 ERG 신호에 전 원 잡음과 백색 잡음을 합성한 신호이다.

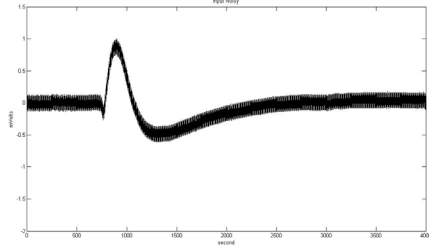


Figure 3. noisy erg signal

Figure 4는 haar 함수를 이용하여 잡음제거 한 결과이다. 전원 잡음은 제거가 되었지만 백색 잡음이 남게 되어 파형 형태가 부자연스러운 곡 선의 형태로 나타나게 된다. 전체 신호에서 왜 곡은 거의 나타나지 않았다.

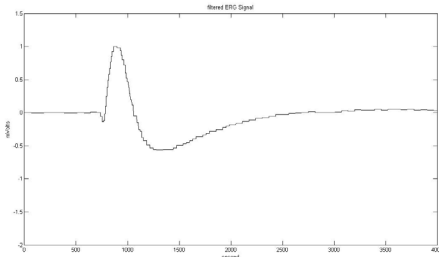


Figure 4. filtered by haar function

Figure 5는 db7 함수를 이용하여 잡음제거 한 결과이다. 전원 잡음은 제거가 되었지만 백색 잡음이 약하게 남아 있다. b파에 잡음이 남아 피크가 조금 변형된 형태를 나타내고 있다.

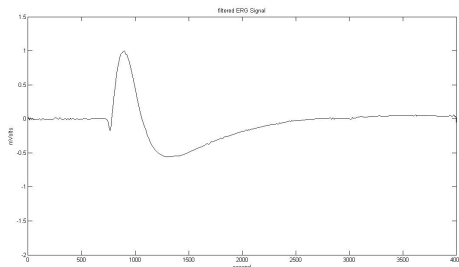


Figure 5. filtered by db7 function

Figure 6은 bior 함수를 이용하여 잡음제거 한 결과이다. 전원 잡음과 백색 잡음 모두 다른 모 함수와 비교해서 좋은 결과를 나타내고 있다. 전체 신호의 왜곡은 거의 나타나지 않았다.

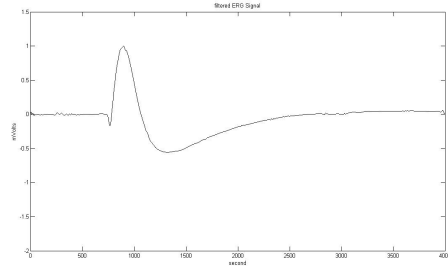
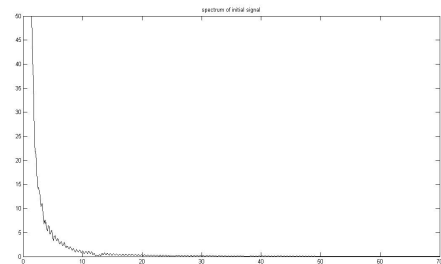


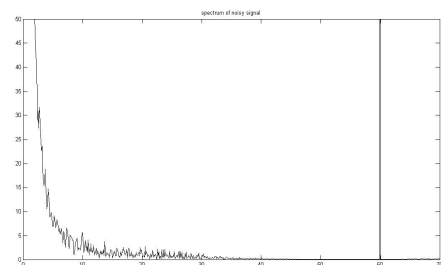
Figure 6. filtered by bior function

3.2. 푸리에 변환 스펙트럼 비교

Figure 7의 (a)는 ERG 신호만 푸리에 변환 스펙트럼 한 결과이고, (b)는 noisy ERG 신호를 푸 리에 변환 스펙트럼을 이용하여 분석한 결과이 다. (b)의 그래프에서 전체 스펙트럼에 백색 잡 음의 영향을 받은 형태를 보이고 있고, 60Hz의 전원 잡음을 그래프로 확인할 수 있다.



(a) ERG signal



(b) noisy ERG signal

Figure 7. Fourier transform spectrum

Figure 8은 haar 함수를 이용하여 noisy ERG 신호를 잡음제거 한 신호를 푸리에 변환 스펙트럼 한 결과이다. 60Hz 전원 잡음은 제거가 되었고, 백색 잡음이 전 주파수에 걸쳐 많이 남아 있는 결과를 그래프로 확인할 수 있다.

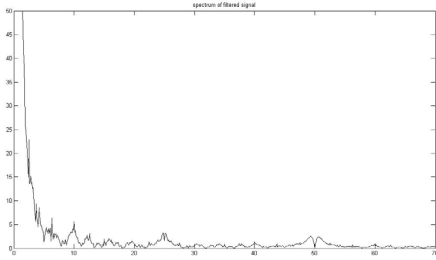


Figure 8. Fourier transform spectrum of haar function

Figure 9는 db7 함수를 이용하여 noisy ERG 신호를 잡음제거 한 신호를 푸리에 변환 스펙트럼 한 결과이다. 60Hz 전원 잡음은 완전히 제거가 되었고, 백색 잡음도 상당 부분 제거가 되어 전 주파수에 걸쳐 약하게 잡음이 남아 있는 것은 확인할 수 있다.

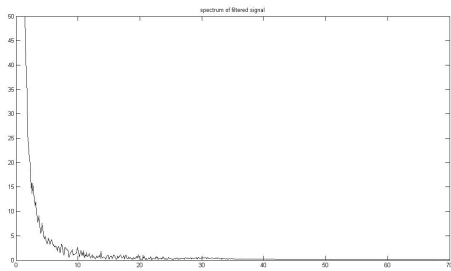


Figure 9. Fourier transform spectrum of db7 function

Figure 10은 bior 함수를 이용하여 noisy ERG 신호를 잡음제거 한 신호를 푸리에 변환 스펙트럼 한 결과이다. 60Hz 전원 잡음은 완전히 제거가 되었고, 백색 잡음은 상당 부분 제거 되어 전 주파수에 걸쳐 약하게 잡음이 남아 있음을 확인할 수 있다. 특히 10~20Hz 사이의 잡음이 db7 함수에 비해 잡음 제거가 조금 더 되어 있음을

확인 할 수 있다.

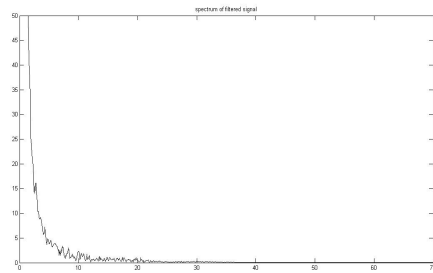


Figure 10. Fourier transform spectrum of bior function

3.3. 신호대잡음비(SNR) 비교

Table 1은 각 모함수의 잡음제거를 SNR 값으로 나타낸 결과이다. noisy는 잡음이 있는 신호의 SNR 값으로 나타내었고, filtered는 각 모함수를 이용하여 잡음이 제거된 신호의 SNR 값을 나타낸 값이다. 결과 SNR 값은 filtered SNR 값과 noisy SNR 값의 차이 값으로 제거된 잡음의 세기를 나타내게 된다.

haar 함수의 경우 27.0404로 가장 낮은 값을 나타냈고, db7 함수는 35.1729로 35.4445의 bior 함수 다음의 결과를 보여다.

Table 1. SNR value

	haar	db7	bior
noisy	-1.9711	-1.9711	-1.9711
filtered	25.0693	33.2018	33.4734
SNR	27.0404	35.1729	35.4445

4. 고찰

각 모함수를 적용하여 잡음을 제거한 filtered ERG 신호를 비교한 결과에서는 haar 함수를 적용한 경우 전원 잡음은 제거가 되었지만 백색 잡음이 상당부분 남아 있는 것을 확인할 수 있었고, db7, bior 함수를 적용한 경우는 전원 잡음은 제거가 되었고 백색 잡음도 많이 제거가 되어 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

푸리에 변화를 이용하여 filtered ERG 신호의 주파수를 분석한 결과는 haar 신호의 경우 전 주파수에서 백색 잡음이 상당 부분 남아 있음 을 확인할 수 있었고, db7, bior 함수를 적용한 결과는 bior 함수가 10~20Hz 주파수에서 bior 함수가 조금 더 좋은 결과를 보여주었다.

SNR 값을 비교한 결과에서는 bior 함수가 35.4445로 35.1729로 나타난 db7 함수나 27.0404 로 나타난 haar 함수를 적용한 결과보다 잡음 성능에서 우수하다는 결과를 나타내었다.

5. 결론

생체신호를 측정할 때 발생하는 잡음을 제거 하기 위한 연구는 오래전부터 진행되어 왔다. 웨이브렛을 이용한 생체신호에 대한 잡음제거 연구도 계속 진행 중이다. 웨이브렛을 이용한 잡음제거에서 모함수의 선택은 중요한 사항 중 에 하나이다. 본 연구에서는 모함수에 종류에 따른 ERG 신호의 잡음을 제거하였다. 그 결과 haar 함수는 SNR 값이 27.0404로 좋지 않은 결 과를 나타내었다. 제거된 ERG 신호의 모형도 전원 잡음에는 효과적이었으나 백색 잡음은 a, b, c파 등에 남아 있어 좋은 모형이 나타나지 않 았다. db7 함수는 SNR 값은 35.1729로 전원 잡 음과 백색 잡음이 상당부분 제거 되어 좋은 결 과를 보여주었다. 제거된 ERG 신호 모형도 a, c 파에서는 좋은 결과를 보여주었으나, b파의 피 크에서 잡음이 제거되지 않아 약간의 변형이 보 였다. bior 함수는 SNR 값이 35.4445로 전원 잡 음과 백색 잡음이 상당부분 제거 되어 가장 좋 은 결과를 보여주었다. 제거된 ERG 신호 모형 도 a, b, c파에서 모두 변형 없이 좋은 결과를 보여주었다. ERG 신호 잡음 제거를 위한 웨이 브렛 모함수로 bior 함수가 가장 적합한 것으로

나타났다.

백색 잡음은 제거하기 가장 어려운 신호 중의 하나이다. 특히 신호가 급격히 변화하는 지점에 서 잡음제거는 아직도 많은 연구가 필요하다.

References

1. Komaromy AM, Brooks DE, Dawson WW, Kallberg ME, Ollivier FJ, Technical issues in electrodiagnostic recording. Veterinary Ophthalmology. 2002;5(2):85-91.
2. Dewer J. The physiologic action of light. Nature. 1877;15:433-435.
3. On YH, An YS. Clinical applications of multi-focal electroretinography (mERG). Journal of Korean Ophthalmological Society. 2002;43(10) :1901-1917.
4. John GW. Medical instrumentation: Application and design, 4th Ed. New hersy: John Wiley&Sons Inc, 2011:160-162.
5. Mikhled Alfaouri, Khaled Daqrouq. ECG Signal Denoising By Wavelet Transform Thresholding. American Journal of Applied Sciences. 2008; 5(3):276-281.
6. R. Barraco, D. Persano Adorno, M. Brai. ERG signal analysis using wavelet transform. Theory Biosci. 2011:155-163.
7. Lee SH, Yoon DH. Introduction to the Wavelet Transform, 2nd edition, Jinhan books, seoul. 2003:51-53.
8. Kang HB, Kim DK, Wavelet Theory and Its Applications. first edition, Acanet, seoul. 2001:2-6.