

웨이브렛과 평균 Shannon 에너지를 이용한 심음 신호 분석에 관한 연구

장권세*, 이아오차오*, 김동준*
 청주대*

A Study on Heart Sound Analysis Using Wavelet and Average Shannon Energy

Kwen-Se Jang*, Chao Yao*, Dong-Jun Kim*
 Cheongju University*

Abstract - The structural defects of a heart often reflects the sounds that the heart produces. This paper describes heart sound analysis method using Wavelet transform and average Shannon energy. This can extract the features of heart sounds in various disease identify the heart sounds. Experimental results show that the presented method has potential application in detecting various heart diseases.

1. 서 론

심장청진은 청진기를 이용해서 심장에 나온 소리(심음)를 청진하며 심장질환 진단을 위한 보조방법이다. 심음 중에 심장에 관한 질병의 정보를 많이 포함한다는 심음의 변화 및 심잡음이 있는 상태는 항상 심장기관에 대한 질병(Organic Heart Disease, OHD)의 최초표징이며 그것은 다른 증상과 표징이 나오기 전에 심장청진으로 나타낼 수 있다. 그러나 기존의 청진은 귀의 민감도 및 의사의 주관적 경험을 의존하여 심음의 정확한 진단이 어렵다.

본 연구는 웨이브렛 변환과 평균 Shannon 에너지를 이용하여 심음 신호의 스펙트럼 분석 및 특징 파라미터를 추출해 보고자 하였다.

2. 본 론

심음은 심음데이터수집 시스템으로 얻으며 심음의 High-Fidelity, 재생(playback)을 위해서 심음 샘플링 주파수 11,025Hz가 채용한다. 심음신호 주파수 주요한 성분이 300Hz 이하 있으며 심잡음의 주요한 성분이 600Hz가 이하 있기 때문에 심음신호 분석 처리하기 전에 샘플링 데이터를 5 주파수 분할할 것이다. 샘플링 주파수가 2,205Hz 있는 데이터를 얻으며 2,205Hz는 600Hz의 유효한 범위보다 더 크다. 이러한 처리는 데이터 처리 속도가 훨씬 증가할 것이다.

2.1 웨이브렛 분석

다른 시간에서 다른 주파수를 나온 심잡음은 다른 심장질환을 대표하며 심장질환의 보조진단하기 위해서 먼저 심음 시간 영역에서 분석할 것이다. 본 연구는 웨이브렛 분석의 Subband filter 특징을 이용하고 웨이브렛 분해(decomposition)와 재건(reconstruction)한 방법을 채용해서 심음 시간-주파수 관계를 얻을 것이다[4].

웨이브렛 이론, 대칭성, 주파수 응답특성, 계산속도등 때문에 본 연구는 모함수(mother wavelet)Coif5를 채용해서 심음신호에 대한 4차 분할을 할 것이다. 웨이브렛 Subband Filter 특징에 의하여 심음신호 데이터 샘플링 주파수가 2205Hz 있을 때 웨이브렛 분할계수와 신호 주파수 범위의 관계는 다음과 같다.

- 1차 분해한 세부(detail) 신호, d1: 551-1102Hz;
 - 2차 분해한 세부(detail) 신호, d2: 275-551Hz;
 - 3차 분해한 세부(detail) 신호, d3: 138-275Hz;
 - 3차 분해한 근사(approximation) 신호, a3: 0-138Hz.
- 재건한 심음신호는 다음과 같이 표시할 수 된다.

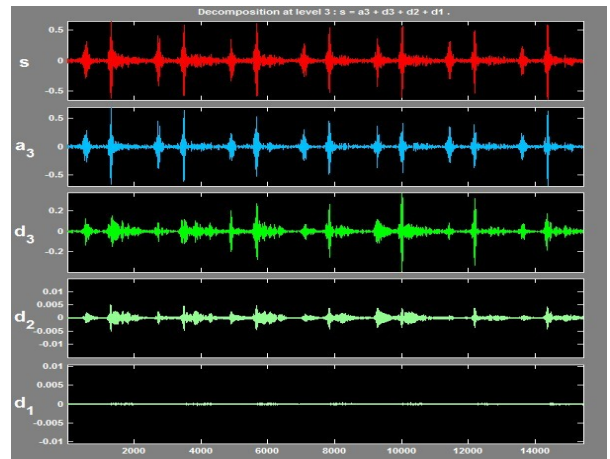
$$S = d1+d2+d3+a3.$$

본 연구는 600Hz 이하 주파수 범위에 있는 데이터만 연구할 것이고 d1(551-1102Hz)은 생략할 것이다. 이 방법을 이용해서 얻은 심음신호 분해한 주파수 범위의 파형에서 다음과 같이 특징을 나타낼 수 있다.

- 1. 심음신호 잡음 여부;
 - 2. 잡음 나온 시기: 수축기 혹은 이완기;
 - 3. 잡음 주파수의 구성: 고, 중 혹은 저 주파수.
- 그림1은 어느 심음신호의 웨이브렛 분해한 파형이다. 그림1에 때문에 다음과 같이 특징을 알 수 있다.

- 1. 이 심음은 심잡음이 있다;
- 2. 이 심음의 심잡음은 이완기에 나온다;

- 3. 이 심음의 심잡음 성분이 거의 d3(138-275Hz)과 d2(275- 551Hz) 중 고 주파수 범위이다.



〈그림 1〉 웨이브렛 Subband filter를 이용한 대동맥 역류의 심음
 〈Fig. 1〉 Wavelet decomposition and reconstruction of Aortic regurgitation

2.2 평균 Shannon 에너지

웨이브렛 분석방법은 심음신호의 주파수영역에서 특징이 정확하게 나올 수 있지만 시간 영역 특징이 정확하게 나타낼 수 없는데 그래서 본 연구는 심음신호에 Normalized average Shannon energy(NASE) 분석을 이용할 것이다. 웨이브렛 분할 방법을 이용해서 모함수Coif5이 있는 심음신호를 4차 분할한다. 얻은 파형에서 제 1심음과 제 2심음신호 주파수 성분이 거의 a3(0-138Hz)범위에서 알 수 있다. 본 연구의 데이터원(data source)은 재건한 d3이 있고 그것의 NASE를 이용해서 연구할 것이다[4].

먼저, 데이터를 분할 처리하는데 0.02초가 한 단이 있고 각 0.01초가 새로운 단을 추출한다. 데이터가 한 단한테 평균 Shannon 에너지 정의가 다음과 같다.

$$E_s = \frac{-1}{N} \sum_{i=1}^N x_{norm}^2(i) \log x_{norm}^2(i) \quad (1)$$

위 식에서 x_{norm} 는 샘플링 값과 분석한 주파수 범위에서 샘플링 데이터의 최대 절대값의 비율이다. N은 0.02초에서 샘플링 수(hits)가 있는데 샘플링 주파수가 2,205Hz 때문에 N이 44이다. 그러므로 전체 심음신호의 NASE는 다음과 같다.

$$P_a(t) = \frac{E_s(t) - M(E_s(t))}{S(E_s(t))} \quad (2)$$

여기서 $M(E_s(t))$ 는 $E_s(t)$ 의 평균값이고, $S(E_s(t))$ 는 $E_s(t)$ 의 표준편차이다.

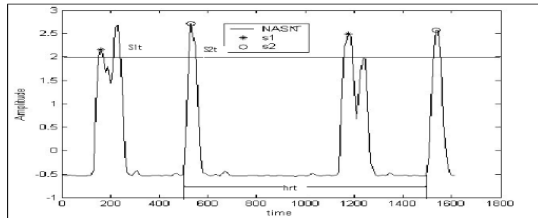
심음 NASE 그림에서 먼저 제 1심음(S1)과 제 2심음(S2)을 분별하며 S1은 '*'을 표시하고 S2는 'o'를 표시한다. 심동주기 hp, S1의 기간S1t와 강도I1, S2의 기간S2t와 강도I2 등이 계수로 나타낼 수 있다. 이들 계수를 토대로 다음과 같이 특징값을 얻을 수 있다.

1. 심박동수 : $hr=1/hp$;
2. S1 기간과 심동주기의 비율 : $S1t/hp$;
3. S2 기간과 심동주기의 비율 : $S2t/hp$;
4. S1 강도와 S2 강도의 비율 : $A1/A2$.

위 특징값 때문에 다음과 같이 심음 특징을 나타낼 수 있다.

1. 심박동수의 정상 여부;
2. S1과 S2의 분열 여부;
3. S1과 S2의 강화/약화 여부.

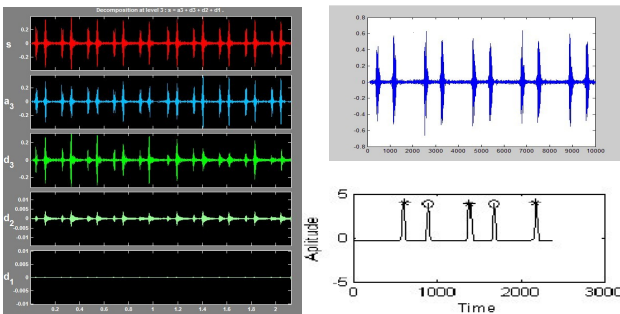
그림 2는 심음신호의 NASE 그림이다. 여기서 이 심음 S1은 분열임을 알 수 있다.



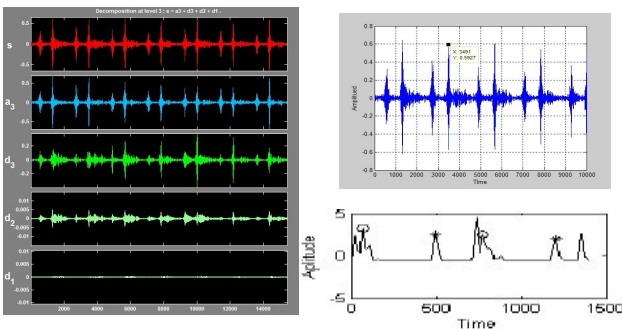
〈그림 2〉 평균 Shannon 에너지를 이용한 심음신호의 스펙트럼
〈Fig. 2〉 Average Shannon Energy of Heart Sound

2.3 정상적 및 비정상적인 심음 비교

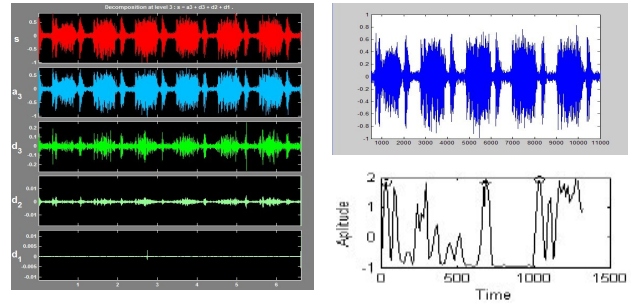
위에 웨이블릿 및 평균 Shannon 에너지는 두 방법을 이용해서 정상심음과 몇 가지 전형적인 심장 판막질환의 심음신호를 분석하였다. 다음 그림3을 얻었다. 그림 3-5는 세 개 subgraph(original HR signal, wavelet analysis HR signal, average Shannon energy analysis HR signal)을 포함하다.



〈그림 3〉 정상적인 심음 분석도
〈Fig. 3〉 Analyzing results graph of the normal heart sound



〈그림 4〉 대동맥판폐쇄부전증 심음 분석도
〈Fig. 4〉 Analyzing results graph of the heart sound with Aortic Insufficiency



〈그림 5〉 승모판협착증 심음 분석도
〈Fig. 5〉 Analyzing results graph of the heart sound with Mitral Stenosis

그림 3은 정상적인 심음신호 분석도 및 몇 가지 전형적인 심장 판막질환 심음신호 분석도가 대비한다. (a)는 정상적인 심음 분석도이다. 정상적인 심음은 제 1심음과 제 2심음을 포함하고 심잡음이 없다. 신호주파수가 거의 저중 주파수영역이다. (b)는 대동맥판폐쇄부전증 심음 분석도이다. 이 심음은 수축만기 잡음이 있고 잡음은 거의 중고 주파수영역이다. (c)는 승모판협착증 심음 분석도이다. 이 심음은 이완기잡음이 있고 잡음은 거의 저중 주파수 영역이다. 각 심음특징을 추출하면 표 1을 얻는다.

〈표 1〉 심음신호 특징 대비

〈Table 1〉 Comparison between the normal and abnormal heart sounds

	HR	S1T/HP	S2T/HP	A1/A2	잡음 시간	잡음 주파수
NHS	76	0.08	0.07	1.02		
MS	60	0.08	0.05	1.02	DTM	LM
AS	106	0.12	0.07	1.74	STM	H
PS	84	0.07	0.12	0.54	STE	MH
AI	85	0.08	0.07	0.77	STM	MH

NHS- 정상 심음(normal heart sound)
MS- 승모판협착증(mitral stenosis)
AS- 대동맥판협착증(aortic stenosis)
PS- 폐동맥판협착증(pulmonary stenosis)
AI- 대동맥판폐쇄부전증(aortic insufficiency)

표에서 “잡음 시간”에서 ‘DT’는 이완기(diastolic)를 나타내고, ‘ST’는 수축기(systolic)를 나타낸다. 또한 ‘E’-초기, ‘M’-중기, ‘L’-만기를 표현한다. “잡음 주파수”에서 ‘L’-저주파수, ‘M’-중주파수, ‘H’-고주파수를 각각 나타낸다.

3. 결 론

본 연구는 웨이블릿 분석의 Subband filter 특징을 이용하고 웨이블릿 분해와 복원 방법을 적용해서 심음 시간-주파수 관계를 얻고, 평균 Shannon 에너지를 이용해서 심음의 시간영역에서 특징을 얻을 수 있게 된다. 실험을 통해서 이 분석 방법은 각 심음을 유효하게 구분할 수 있고, 심장판막 질환의 보조 진단 방법을 제공할 수 있을 것이다. 본 분석방법을 통해 얻은 심음의 특징들이 인공 신경회로망, 지능 시스템 등을 이용하면 심장 판막질환의 자동 진단이 가능할 수도 있을 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Carolyn Jarvise et. al., “Physical Examination & Health Assessment (Forth Edition)” 덩답미디어, pp. 534-547, 2006.
- [2] Abdelghani D,Fethi BR, “Short-time Fourier Transform Analysis of The Phonocardiogram Signal” Electronics, Circuits and Systems, 2000. ICECS 2000. The 7th IEEE International Conference on 2000, 2; pp. 844-847.
- [3] Asir B El, Khadra L, et al. , “Time-frequency Analysis of Heart Sounds” 1996 IEEE TENCON. Digital Signal Processing Applications, 1996, 2; pp. 553-558.
- [4] H. Liang, S. Lukkatinen, I. Hartimo, “A Heart Sound Segmentation Algorithm using wavelet decomposition and reconstruction” 19th international conference IEEE/EMBS Chicago, IL. USA, Oct.30-Nov.2, 1997; pp. 1630-1633.