

웨블레트변환에 기초한 음향신호의 잡음제거에 합리적인 한가지 턱값처리방법

김경일, 김성철, 이성천

수중에서 발생하는 많은 종류의 음향신호들은 정상신호와 달리 짧은 시간동안에 많은 변화를 포함하는 비정상신호이다. 비정상음향신호에 대한 잡음제거에 효과적인 방법은 웨블레트변환에 기초한 잡음제거방법이다.[1-6]

웨블레트변환에 기초한 잡음제거에서 음향신호의 정보손실을 최소로 줄이고 SNR를 높이는 데서 음향신호의 특성에 맞는 턱값처리방법이 매우 중요하게 제기된다. 웨블레트변환에 기초한 잡음제거에 이용되는 고전적인 턱값함수에는 일반적으로 hard턱값함수와 soft턱값함수가 있으며 신호와 잡음의 특성에 따르는 여러가지 수정한 턱값함수들도 신호의 잡음제거에 이용되고 있다.[1-3] 특히 고전적인 턱값함수인 hard와 soft턱값함수를 결합한 결수두제곱턱값함수가 웨블레트변환에 기초한 음향신호의 잡음제거에 적합하다는 것이 밝혀졌다.[1] 그러나 이 방법은 잡음성분제거에서는 성능이 좋은 우점이 있지만 음향신호의 에네르기성분에 대한 정보손실을 최소로 하지 못하는 결함이 있다.

우리는 백색가우스잡음배경속에서 음향신호를 탐지하기 위하여 웨블레트변환에 기초한 잡음제거에서 중요한 인자인 턱값처리방법을 음향신호의 특성에 맞게 개선하여 잡음제거의 성능을 높였다.

1. 음향신호의 잡음제거에 합리적인 한가지 턱값처리방법

웨블레트변환에 기초한 잡음제거를 위한 턱값처리에서 음향신호의 정보손실을 최소로 하자면 음향신호의 정보를 반영한 웨블레트결수들을 평탄하게 처리하는 것이 필요하다.

우리는 음향신호의 에네르기성분에 대한 손실을 최소로 하고 잡음제거성능을 개선하기 위하여 음향신호의 웨블레트잡음제거에 적합한 결수두제곱턱값함수에 음향신호의 손실을 최소로 하는 보정항을 삽입한 새로운 턱값함수를 제기하였다.

논문에서 제기한 새로운 턱값함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} \text{sign}(w_{j,k}) \cdot \sqrt{(w_{j,k})^2 - \lambda^2 + E_j^2} & |w_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |w_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (1)$$

여기서 λ 는 턱값, $w_{j,k}$, $\hat{w}_{j,k}$ 은 각각 웨블레트변환의 j 번째 분해준위에서 k 번째 결수와 턱값처리한 결수, E_j 는 j 번째 분해준위에서 음향신호와 주위잡음의 특성을 반영한 보정항이며 다음과 같이 정의한다.

$$E_j = \frac{A \cdot \sigma}{B^j} \quad (2)$$

여기서 A 는 음향신호의 특성을 반영한 상수이고 σ 는 잡음의 표준편차이며 B 는 $1 < B < 2$ 인 임의의 상수이다.

웨블레트변환에 기초한 음향신호의 잡음제거에서 분해준위가 증가하는데 따라 잡음의 웨블레트결수들의 진폭은 감소하며 반대로 큰 분해준위에서 유효신호는 보다 명백히 세진다. 그러므로 매개 분해준위에서 같은 턱값을 리용하는것은 적합하지 않다. 이리하여 분해준위에 따라서 서로 다른 턱값을 리용하는것이 웨블레트변환에 기초한 잡음제거에서 보다 합리적이다. 만일 턱값이 너무 작으면 잡음의 상세한 정보가 지나치게 많아져서 잡음제거의 효과성이 약화되며 턱값이 지나치게 크면 유효신호의 손실이 많아진다.

논문에서는 턱값의 적응성을 높이기 위하여 웨블레트분해준위에 따라서 지수함수적으로 감소하는 턱값을 선택하였다. 다시말하여 잡음성분이 많은 낮은 분해준위에서는 큰 턱값을 선택하고 잡음성분이 적은 높은 분해준위에서는 작은 턱값을 선택하였다.

논문에서 제기한 새로운 턱값은 다음과 같이 정의한다.

$$\lambda_j = \frac{\sigma \sqrt{2 \ln N_j}}{a^j} \quad (3)$$

여기서 λ_j 는 웨블레트변환의 j 번째 분해준위에서 턱값, $\sigma = \frac{\text{median}\{|w_{j,k}|\}}{0.6745}$ (median{}은 중간값)는 잡음의 표준편차, N_j 는 j 번째 분해준위에서 웨블레트결수의 길이, a 는 음향신호와 주위잡음의 특성을 반영한 상수($1 < a < 2$)이다.

논문에서 제기한 새로운 턱값처리방법은 웨블레트분해준위에 따라서 서로 다른 턱값을 가지고 웨블레트결수들을 처리하여 음향신호의 손실을 최소로 하고 잡음성분을 효과적으로 제거하여 SNR를 높이는 턱값처리방법이다.

2. 모의실험결과

우리는 모의실험을 통하여 논문에서 제기한 새로운 턱값처리방법의 정확성을 검증하였다. 모의실험에 리용된 음향신호는 순간신호의 합성신호이며 지속시간이 짧은것으로 하여 비정상특성을 가지는 비정상신호이다. 표본화주파수는 20kHz이며 표본화자료의 개수는 13 600개이다. 이 신호는 지수함수적으로 감소하는 세가지 신호로 되어있으며 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} S_1 &= \exp(-2j\pi f_1 k_1) \cdot \exp(-200k_1), \quad k_1 = 1, 2, \dots, 250 \\ S_2 &= \exp(-2j\pi f_2 k_2) \cdot \exp(-200k_2), \quad k_2 = 1, 2, \dots, 200 \\ S_3 &= \exp(-2j\pi f_3 k_3) \cdot \exp(-200k_3), \quad k_3 = 1, 2, \dots, 150 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $f_1 = 3\,000\text{Hz}$, $f_2 = 3\,500\text{Hz}$, $f_3 = 4\,000\text{Hz}$ 이다. 그리고 신호 S_1 과 S_2 는 2 000개의 표본자료만큼 떨어져있고 S_2 와 S_3 은 1 000개의 표본자료만큼 떨어져있다.

우리는 MATLAB 6.5를 리용하여 500번의 반복실험을 진행하고 평균하여 모든 모의실험결과를 얻었다. 또한 모의에 리용한 백색가우스잡음은 정규분포우연수(normally distributed random number)를 발생하는 randn함수로 형성하였다.

여러가지 종류의 웨블레트변환에 기초한 잡음제거방법의 효과성을 평가하기 위하여

평가기준으로 SNR와 RMSE(2차뿌리평균두제곱오차)를 정의하였다. 즉

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{\sum_{k=1}^N f^2(k)}{\sum_{k=1}^N (\tilde{f}(k) - f(k))^2} \right), \quad (5)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\tilde{f}(k) - f(k))^2}{N}}. \quad (6)$$

여기서 f 는 원천신호, \tilde{f} 은 잡음이 섞인 신호, N 은 신호의 길이이다.

론문에서 제기한 텍값처리방법에 기초한 웨블레트잡음제거의 성능을 평가하기 위하여 선행연구들[1, 2]에서 제기한 hard텍값처리방법, soft텍값처리방법, 수정한 soft텍값처리방법, hard와 soft텍값함수를 결합한 결수두제곱텍값함수방법 1, 2와 새로운 텍값처리방법을 비교하였다.

론문에서 제기한 텍값처리의 보정항에서 음향신호의 특성을 반영하는 상수들은 각각 $A=5$, $B=1.9$ 로, 분해준위에 따르는 적응텍값에서 상수 a 는 1.1로 설정하였다. 음향신호의 웨블레트변환에 리용한 모웨블레트는 음향신호의 SNR를 개선하는데 가장 좋은 sym4 웨블레트[3, 5, 6]이며 웨블레트분해준위는 5이다. 그리고 잡음제거를 위한 텍값처리는 5번째 분해준위의 근사화결수와 1~5번째 분해준위의 상세결수들에 적용하였다. 또한 텍값처리한 웨블레트결수들을 가지고 거꾸웨블레트변환을 하여 신호를 재구성하였다.

높은 잡음(SNR=-8dB)과 낮은 잡음(SNR=8dB)이 각각 섞인 음향신호에 대하여 여러가지 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법들의 잡음제거능력을 평가하였다.(표)

표. 여러 텍값처리방법에 기초한 웨블레트잡음제거방법들의 SNR와 RMSE

No.	텍값처리방법	높은 잡음환경(SNR=-8dB)		낮은 잡음환경(SNR=8dB)	
		SNR/dB	RMSE	SNR/dB	RMSE
1	hard텍값처리방법	-1.684 0	0.070 8	30.260 0	0.001 8
2	soft텍값처리방법	3.285 8	0.040 0	28.078 2	0.002 3
3	수정한 soft텍값처리방법	-0.065 4	0.058 8	31.169 4	0.001 6
4	hard와 soft텍값함수를 결합한 결수두제곱텍값함수방법 1	-0.687 5	0.063 1	30.932 9	0.001 7
5	hard와 soft텍값함수를 결합한 결수두제곱텍값함수방법 2	2.940 2	0.041 6	31.997 0	0.001 5
6	새로운 방법	3.321 1	0.039 8	33.673 1	0.001 2

표에서 보는바와 같이 높은 잡음환경에서 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법의 SNR와 RMSE는 3.321 1dB, 0.039 8이며 낮은 잡음환경에서 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법의 SNR와 RMSE는 33.673 1dB, 0.001 2이다. 이로부터 높은 잡음환경과 낮은 잡음환경에서 새로운 텍값처리방법의 SNR가 가장 크며 RMSE가 가장 작다는것을 알수 있다.

또한 높은 잡음과 낮은 잡음이 각각 섞인 음향신호에 대하여 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법으로 개선된 SNR는 대략 11.32, 25.67dB로서 잡음제거능력이 훨씬 높다.

장애안정성에 대한 평가는 웨블레트변환에 기초한 잡음제거방법의 성능을 평가하는데서 중요한 징표로 된다.

우리는 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법의 장애안정성을 SNR를 변화시키면서 여러 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법과 비교하여 평가하였다.

여러 텍값처리방법에서 SNR에 따르는 RMSE곡선은 그림과 같다.

그림에서 보는바와 같이 SNR에 따라서 새로운 텍값처리방법의 RMSE는 제일 작다.

따라서 논문에서 제기한 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법의 장애안정성이 제일 높다.

이로부터 새로운 텍값처리에 기초한 웨블레트잡음제거방법이 잡음이 섞인 음향신호의 잡음제거능력을 높인 방법이라는것을 알 수 있다.

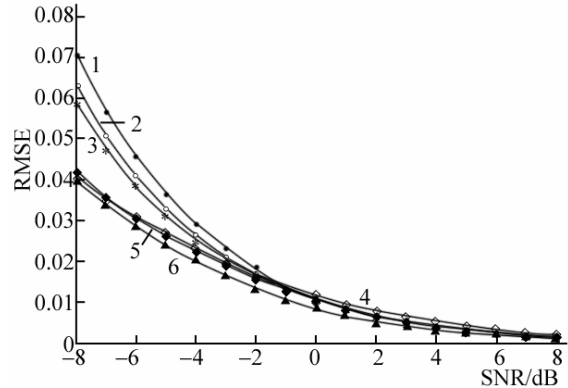


그림. SNR에 따르는 RMSE곡선

1-6은 표의 No. 1-6과 같음

맺는 말

백색가우스잡음배경속에서 음향신호를 탐지하기 위하여 웨블레트변환에 기초한 잡음제거에서 중요한 인자인 텍값처리방법을 음향신호의 특성에 맞게 새롭게 제기하였다. 모의 실험결과들은 논문에서 제기한 새로운 텍값처리방법이 이전의 방법들보다 웨블레트변환에 기초한 음향신호의 잡음제거에서 보다 합리적인 텍값처리방법이라는것을 보여준다.

참고 문헌

- [1] H. L. Wang et al.; 2nd International Congress on Image and Signal Processing, Tianjin China, 3977, 2009.
- [2] Y. C. Du et al.; IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Singapore, 139, 2009.
- [3] M. M. Khan et al.; Journal of Electromagnetic Analysis and Application, 7, 53, 2015.
- [4] M. Kharrat et al.; Mechanical Systems and Signal Processing, 70-71, 1038, 2016.
- [5] Sauda Sadaf et al.; International Journal of Computer Engineering and Science, 1, 1, 2015.
- [6] A. N. Kawade et al.; International Journal of Science Technology & Engineering, 2, 7, 150, 2016.

An Appropriate Thresholding Method for Acoustic Signal Denoising based on Wavelet Transform

Kim Kyong Il, Kim Song Chol and Ri Song Chon

To detect the acoustic signal affected by white gaussian noise, new thresholding method that is the key to the denoising based on wavelet transform was proposed to be suitable for the characteristics of acoustic signal. Simulation experiment results show that the thresholding method proposed in the paper is more appropriate for the acoustic signal denoising based on the wavelet transform than previous one.

Key words: wavelet transform, thresholding