

# 웨이블릿 임계치와 전변분 알고리즘을 사용한 실시간 잡음제거

## Real-time Denoising Using Wavelet Thresholding and Total Variation Algorithm

이진종, 박영석, 하판봉, 정원용

Jin-Jong Lee, Young-Seak Park, Pan-Bong Ha, Won-Yong Chong

### 요 약

기존의 웨이블릿 임계치를 이용한 잡음제거 방법은 기저함수가 천이 불변이 되지 않아 불연속점 주위에 의사 깃스 현상을 발생시킨다. 본 논문에서는, 이러한 의사 깃스 현상을 감소시키기 위해 웨이블릿 임계치 기법으로 재생성된 웨이블릿 계수의 전변분을 준경도 강화법을 이용하여 최소화하는 방향으로 구현하였다. 객관적인 평가는 비실시간상에서 실험하였고 실시간 적용여부는 주위환경의 영향을 고려하여 실시간 신호 획득 보드를 사용하여 확인하였다. 비실시간의 경우 블록 신호를 예를 들면 기존의 강성 임계치 기법보다 SNR이 2.794dB정도 개선되었고 시각적으로도 불연속점 주위의 의사 깃스 현상이 현격히 감소됨을 확인하였다. 실시간 실험의 경우, 수행시간을 고려하여 반복 횟수를 60번으로 제한한 결과 0.49초의 수행시간이 소요되었고 불연속점 주위의 의사 깃스 현상 역시 제거됨을 확인할 수 있었다.

### ABSTRACT

Because of the lack of translation invariance of wavelet basis, traditional wavelet thresholding denoising leads to pseudo-Gibbs phenomena in the vicinity of discontinuities of signal. In this paper, in order to reduce the pseudo-Gibbs phenomena, wavelet coefficients are thresholded and reconstruction algorithm is implemented through minimizing the total variation of denoising signal using subgradient descent algorithm. Most of experiments were performed under the non-real-time and real-time environments. In the case of non-real-time experiments, the algorithm that this paper proposes was found more effective than that of wavelet hard thresholding denoising by 2.794dB(SNR) based on the signal to noise ratio. And lots of pseudo-Gibbs phenomena was removed visually in the vicinity of discontinuities. In the case of real-time experiments, the number of iteration was restricted to 60 times considering the performance time. It took 0.49 seconds and most of the pseudo-Gibbs phenomena were also removed.

**Key words** : Denoising, Wavelet thresholding, Total variation, Subgradient, Realtime

### I. 서 론

신호 잡음제거의 목적은 신호 획득, 처리시 주변환경과 처리장치 등에서 오염된 신호로부터 원래의 고유 신호를 정확히 복원함으로써 이후 신호처리 과정에서 사용되어질 고유 신호의 특징 추출을 효과적으로 하는데 있다. 전형적으로 이것은 Wiener 필터링과 같이 선형처리에 의해 성취되어지고 최근 몇 년 동안 많은 문헌에서 부가적인 백색 가우시안 잡음의 설정 위에서 비선형 기술을 이용하여 신호의 잡음을 제거하는 방법이 소개되었다.

신호처리 분야에 웨이블릿 변환이 소개된 이후, 웨이블릿

임계치 잡음제거 기법(wavelet thresholding denoising)이 신호의 잡음제거에 효과적임이 Donoho와 Johnstone에 의해 증명되었다.[1][2] 이는 비선형 임계치 추정치가 Fourier나 여현과 같은 어떠한 직교기저(orthogonal basis)에서도 계산되어질 수 있지만 웨이블릿 계수의 감소(decay)가 가장 빠르기 때문이다. 그러나 웨이블릿 임계치 잡음제거 기법 역시 불연속점 주위에서 의사 깃스(pseudo-Gibbs) 현상을 일으키는 단점을 가지고 있다. 이러한 현상을 부분적으로 감소시키기 위해 천이 불변 임계치 알고리즘(translation invariant thresholding algorithm)이 제안되었으나 만족할 만큼 의사 깃스 현상을 줄이지

는 못했다.[2] 최근 들어 Drogotti와 Vetterli에 의해 웨이블릿 변환 발자국 흔적(footprints) 알고리즘이 소개되었다. 웨이블릿 영역에서 시간의 특이점들에 의해 남겨진 흔적이라는 의미를 가지는 발자국 흔적의 새로운 개념을 도입해 불연속점들 주위에서 탁월한 잡음제거 효과를 가지지만 계산량이 많아 실시간 적용이 힘들고 2차원 이상의 신호에 대한 확장이 어려운 단점을 가지고 있다.[3]

Rudin, Osher과 Fatemi에 의해 처음 소개된 전변분(total variation : TV)을 이용한 잡음제거는 불연속점 주위의 깃스 현상은 제거되는 반면에 TV의 정칙도(regularity)의 부족으로 인해 그림 7의 (c)에서 확인할 수 있는 계단효과를 발생시킨다. Vogel과 Oman은 정칙변수를 두어 계단효과를 제거했지만 최적의 정칙변수를 찾아야하는 문제점을 가지고 있었다. 이후로 Chan과 Zhou에 의해 웨이블릿과 TV를 결합하여 상호보완적인 효과를 얻으려는 시도가 행해졌고 현재 많은 연구가 진행되어지고 있다. [4][5]

일정한 상수 신호나 부드러운 저차 다항식 신호의 잡음제거에는 웨이블릿 임계치 기법이 효과적이거나, 블록신호나 스카이라인과 같은 불연속점이 많은 신호를 처리할 때는 의사 깃스 현상을 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 전변분을 사용하였으나 정칙도의 부족으로 계단효과를 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 두가지 문제점, 즉 의사 깃스 현상과 계단효과를 함께 개선하고자 한다. 그리고 기존의 연구는 실시간 환경이 아닌 비실시간 환경에서 신호의 잡음이 제거되었으나 본 연구에서는 구형파, 톱니파와 같은 불연속점을 가지는 실시간 파형을 함수 발생기에서 발생시켜 데이터 획득 처리 보드를 이용하여 제안한 기법을 실시간적으로 수행하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 웨이블릿 임계치 잡음제거 기법을 소개하고 3장에서 본 논문에서 채택한 웨이블릿 전변분 알고리즘을 소개한다. 4장에서 실험환경 및 결과를 검토한 후 마지막 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 웨이블릿 임계치 잡음제거 기법

웨이블릿 변환을 이용하여 잡음을 제거하는 가장 보편적인 방법은 강성/연성 임계치 잡음제거(hard/soft thresholding denoising)이다. 이 기법은 다음의 3단계로 나누어진다.[2]

- 1단계 : 잡음이 있는 신호를 웨이블릿 변환한다.
- 2단계 : 얻어진 계수가 강성/연성 임계치  $\lambda$  값보다 작으면 제거한다.
- 3단계 : 남은 계수를 역변환하여 원신호를 복원한다.

잡음이 없는 원신호  $u$ 에 백색 가우시안 잡음  $\varepsilon$ 을 첨가한 잡음신호  $\hat{u}$ 는 식 (1)로 모델링된다.

$$\hat{u} = u + \varepsilon \tag{1}$$

구간  $I=[a,b]$  에서  $\{\{\Psi_{j,n}\}_{j,n \in \Psi}, \{\Phi_{j,n}\}_{n \in \Phi}\}$  를 웨이블릿과 스케링함수라 둔다면,  $\hat{u} \in L^2(I)$ 는 식 (2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\hat{u} = \sum_{(j,n) \in \Psi} \langle \hat{u}, \Psi_{j,n} \rangle \Psi_{j,n} + \sum_{n \in \Phi} \langle \hat{u}, \Phi_{j,n} \rangle \Phi_{j,n} \tag{2}$$

그림 1에서 보는 바와 같이, 강성 임계치 연산자  $\tau$ 는 식 (3)으로 표시되고

$$\tau(x) = \begin{cases} x & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \tag{3}$$

연성 임계치 연산자  $\tau$ 는 식 (4)로 정의된다.

$$\tau(x) = \begin{cases} x - \text{sgn}(x)\lambda & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda \end{cases} \tag{4}$$

임계치  $\lambda$ 를 설정하는 다양한 방법이 있으나 가장 보편적인 방법은 식 (5)과 같다.

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log N} \tag{5}$$

$N$ 은 신호의 샘플수이고,  $\sigma$ 는 선택되어진 웨이블릿 계수의 표준편차이다. 표준편차는 잡음이 포함된 웨이블릿 계수의 중간값을 이용하여 식 (6)과 같이 계산한다.

$$\sigma = \text{median}/0.6745 \tag{6}$$

본 논문에서는 웨이블릿 미세계수(detail coefficients)에 독립적인 고정 임계치,  $\lambda = \sqrt{2 \log N}$  을 사용하였다.

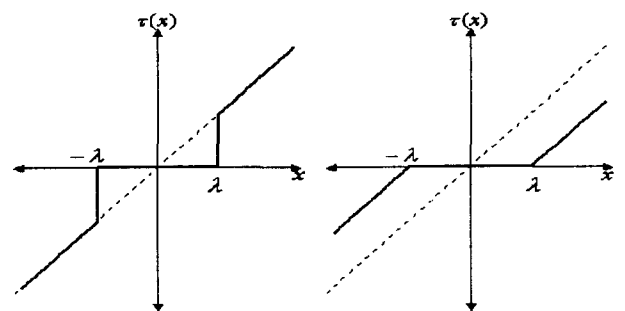


그림 1. 강성과 연성 임계치 연산자

Fig 1. Hard and soft thresholding operator

강성 임계치 잡음제거는 신호의 절대값이  $\lambda$ 미만일 경우

는 제거하고  $\lambda$  이상의 값만을 이용하여 신호의 잡음을 제거한다. 반면에 연성 임계치 잡음제거는 신호의 절대값이  $\lambda$  미만일 경우는 제거하고  $\lambda$  이상일 경우는 원래 값이 아닌 축소된 값으로 변형하여 신호의 잡음을 제거한다.

임계치 연산자를 사용한 잡음이 제거된 신호  $u_0$ 는 식 (7)과 같이 표현한다.

$$u_0 = \sum_{(j,n) \in \Psi} \tau(\langle \hat{u}, \Psi_{j,n} \rangle) \Psi_{j,n} + \sum_{n \in \Phi} \tau(\langle \hat{u}, \Phi_{j,n} \rangle) \Phi_{j,n} \quad (7)$$

연성 임계치 잡음제거는 연산자의 연속성 때문에 웨이블릿 계수들의 구조가 잘 보존되는 장점을 가지고 있어 강성 임계치 잡음제거에 비해 의사 깃스 현상이 감소된다. 그러나 모든 웨이블릿 계수의 값이 작아지고 지역 평균이 보존되지 않아 첨두점이 손실(erosion)된다는 단점을 가지고 있다.

### III. 웨이블릿 전변분 알고리즘을 사용한 잡음제거

#### 1. 전변분(TV : Total Variation)

TV는 신호 진동의 전체 진폭의 측정을 의미한다. 구간  $I=[0,1]$  상의 함수  $u$ 의 TV는 식 (8)로 정의 된다.[6]

$$TV(u) = \sup \sum_i |u(x_i) - u(x_{i-1})| \quad (8)$$

구간  $I=[0,1]$  에서  $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = 1$  인 여러 경우의  $x$ 가 존재 할 수 있는데  $\sum_{i=1}^n |u(x_i) - u(x_{i-1})|$  이 가장 크게되는  $x$ 가 선정될 때의  $TV(u)$ 가 함수  $u$ 의 TV가 된다. 만일  $u$ 가 유한개의 불연속점을 가지는 구간별 상수 함수라면,  $TV(u)$ 는 불연속점 전체 진폭의 합을 나타낸다. 만일 부드러운 함수 즉, 미분 가능하다면  $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$  로 나누고  $\Delta x_i \rightarrow 0$ 하여 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TV(u) = \int_0^1 \left| \frac{du}{dx} \right| dx \quad (9)$$

$\frac{du}{dx}$  는  $\Delta u$ 로 표시할 수 있고, 경도(gradient)를 나타낸다.

#### 2. 준경도(Subgradient)

볼록함수(convex function)가 가지는 유용한 미분 특성들 중 하나가 함수 전체에 한쪽 방향 도함수(one-sided directional derivative)가 존재한다는 것이다. 미분 가능한 함수  $f$ 의 양쪽 방향 도함수(two-sided directional derivative)

는 경도 벡터들로 표현되고, 필수적으로 미분 가능하지 않는 볼록함수  $f$ 의 한쪽 방향 도함수는 준경도 벡터들로 표현된다.[7]

벡터  $x^*$ 가 식 (10)을 만족하면 점  $x$ 에서 볼록함수  $f$ 의 준경도가 된다.

$$f(z) \geq f(x) + \langle x^*, z-x \rangle, \quad \forall z \quad (10)$$

그리고  $x$ 에서  $f$ 의 모든 준경도의 집합을  $x$ 에서  $f$ 의 준미분(subdifferential)이라고 하고  $\partial f(x)$ 로 표시한다.

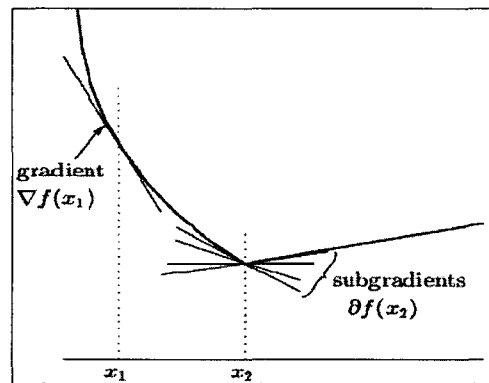


그림 2. 경도와 준경도

Fig 2. Gradient and subgradient

#### 3. 전변분을 사용한 웨이블릿 계수의 재생성

본 논문이 채택하는 알고리즘은 기존의 웨이블릿 임계치 기법을 이용한 잡음제거 결과가 좋은 부드러운 영역은 최대한 보존하고, 불연속주위에 발생하는 의사 깃스 현상은 신호의 전변분을 최소화함으로써 개선하고자 한다.  $u_0$ 가 웨이블릿 임계치에 의해 잡음이 제거된 신호이고 식 (9)를 이산신호형태로 바꾸면  $N$ 개의 샘플을 가지는  $u_0$ 의 TV는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$TV(u_0) = \sum_{n=1}^N |u_0^{n+1} - u_0^n| \quad (11)$$

여기서 찾고자 하는 최적의 신호는 최소화된  $TV(u_0)$ 를 구하는 문제이고 식 (12)을 반복 수행함으로써 얻을 수 있다.

$$u_{k+1} = u_k - t_k \cdot g_k \quad (12)$$

$t_k$ 는 수렴성을 얻기 위한 단계 크기(step size)로서 식 (13)과 같고

$$t_k > 0, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} t_k = 0, \quad \sum_{k=0}^{\infty} t_k = +\infty \quad (13)$$

그때 식 (14)와 같은 수렴성을 가지게 된다.

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} \min \|u_k - u^*\| = 0 \text{ and } \lim_{k \rightarrow +\infty} TV(u_k) = \min TV(u) \quad (14)$$

$u^*$ 는 최소화된  $TV(u_0)$ 를 나타낸다.  $u_k$ 에서 전변분의 준경도를 나타내는  $g_k$ 는 식 (15) 같이 정의된다.[8]

$$\forall n=2, \dots, N-1, \quad \begin{aligned} g_k^n &= \text{sgn}(u_k^n - u_k^{n-1}) - \text{sgn}(u_k^{n+1} - u_k^n), \\ g_k^1 &= -\text{sgn}(u_k^2 - u_k^1), \\ g_k^N &= \text{sgn}(u_k^N - u_k^{N-1}) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (16)$$

이다.

#### IV. 실험 및 고찰

##### 1. 실험 환경

일반적인 실시간 데이터 획득시스템의 개념도를 그림 3에 나타낸다.

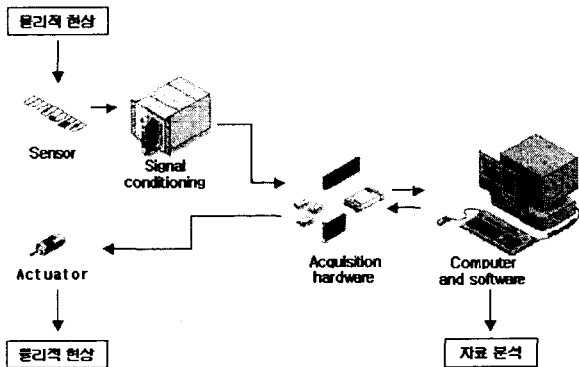


그림 3. 실시간 데이터 획득 시스템

Fig 3. Real-time data acquisition system

실제 외부신호가 센서에 입력, 조정되어 컴퓨터가 읽어 들일 수 있는 비트로 변환되어져 의미 있는 정보를 추출할 수 있도록 분석되어진다. 또한, 컴퓨터 출력 데이터는 아날로그 신호로 변화되고 액츄에이터(actuator)로 출력되어 외부 환경을 제어할 수 있다.

그림 4는 본 논문의 실시간 실험 환경을 나타낸다. I/O 컨넥터 SCB-68을 사용하여 두 대의 함수 발생기로부터 생성된 신호와 잡음을 결합하여 DAQ 보드로 전달한다. DAQ 보드는 National Instruments사의 PCI-6110E를

사용하였고 보드 사양은 다음과 같다.

- 샘플링율 : 5MS/s
- 입력 해상도 : 12bits
- 출력 해상도 : 16bits

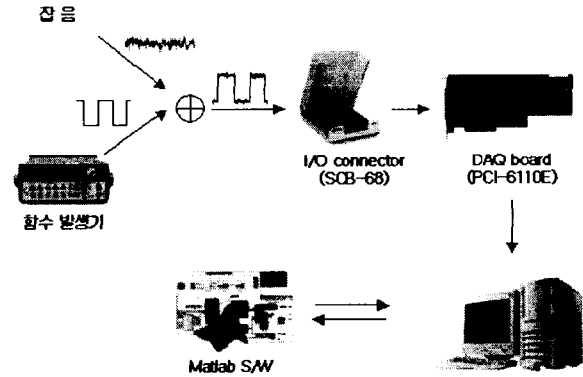


그림 4. 실시간 실험 환경

Fig 4. Real-time experiment environment

본 실험에서 사용한 소프트웨어 환경을 그림 5에 나타낸다.[9]

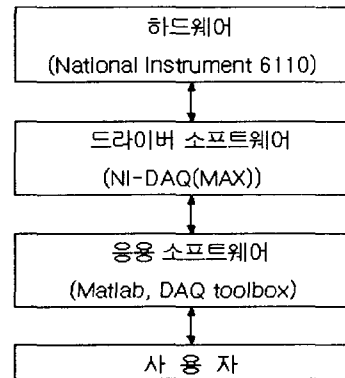


그림 5. 데이터 획득 소프트웨어 시스템

Fig 5. DAQ software system

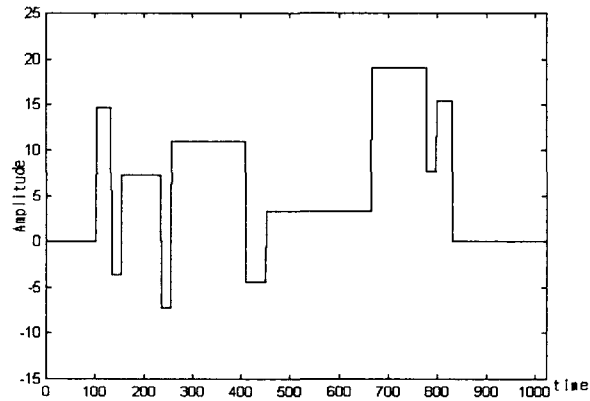
드라이버 소프트웨어(NI사의 MAX(Measurement & Automation eXplorer))는 하드웨어(NI사의 PCI-6110E)를 접근, 제어할 수 있도록 하여주며 데이터를 보드 내외로 제어, 이동시킨다. 또한 프로세서 인터럽트, DMA, 메모리 등의 원활한 제어를 담당한다. 응용 소프트웨어로서 MathWorks사의 Data Acquisition Toolbox를 사용하여 이미 컴퓨터 메모리에 획득된 데이터를 처리하고 그 결과를 그림으로 표시하는 역할을 담당한다.

##### 2. 실험 결과

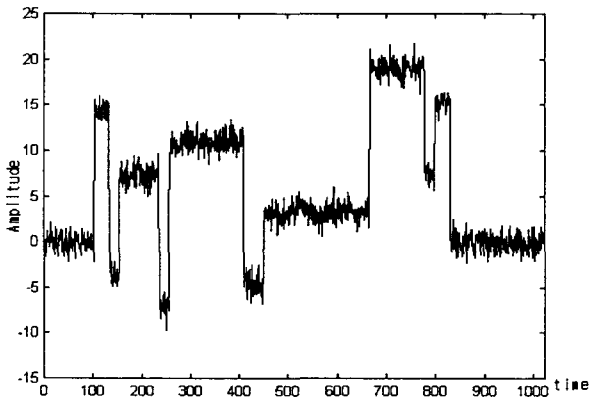
본 논문의 실험은 비실시간과 실시간의 두 환경에서 수행하였다. 실험 데이터로는 비실시간 실험의 경우, 1024개

의 샘플수를 가지는 구간별 상수 신호 블록과 두 곳에서 불연속점을 가지는 정현파 신호 HeaviSine을 사용하였고 실시간 실험의 경우에는 함수발생기에서 생성되는 백색 잡음이 첨가된 구형파, 사인파, 톱니파를 사용하였다. 두 환경 모두 실험의 전과정을 Matlab 소프트웨어를 사용하였고 수행률의 척도는 SNR을 사용하였다.

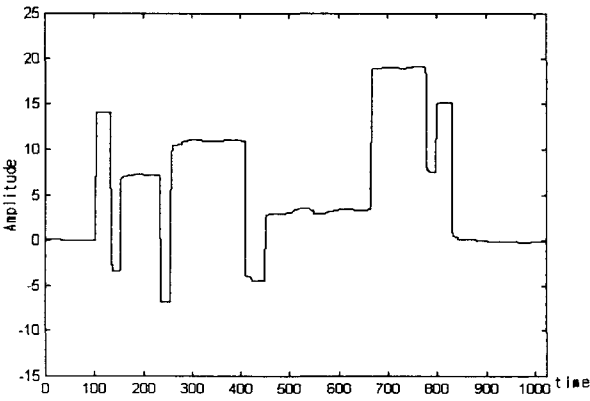
그림 6, 7은 블록가 HeaviSine 신호에 백색 잡음을 첨가한 후, 전변분 최소화, 웨이블릿 연성 임계치, 웨이블릿 강성 임계치, 웨이블릿 전변분의 4가지 잡음제거 알고리즘을 비교한 결과이다.



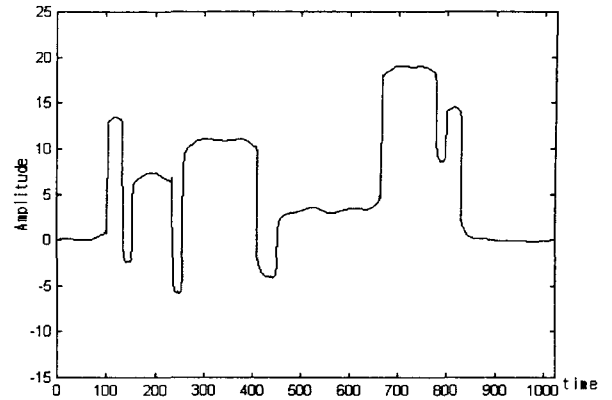
(a)



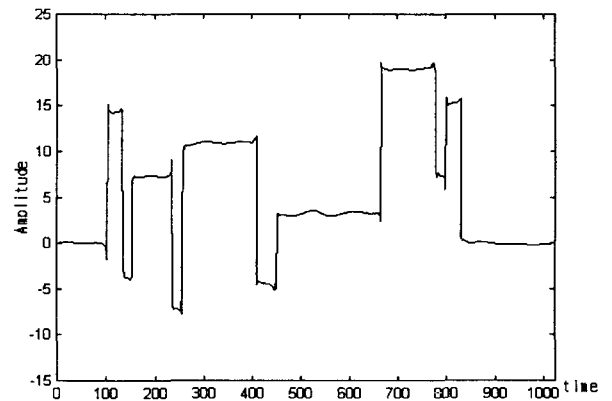
(b)



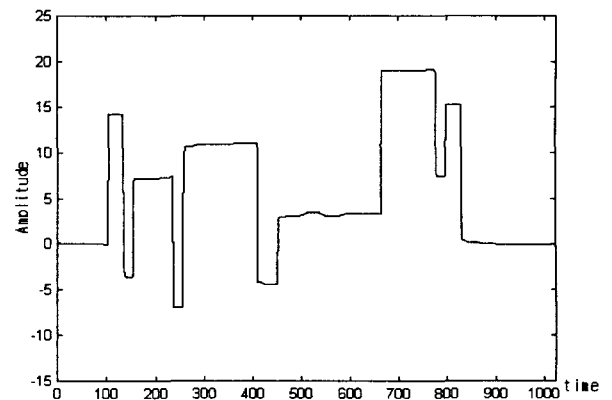
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 6. 블록 신호 결과 비교

- (a) 원신호(블록신호)
- (b) 잡음이 첨가된 신호
- (c) 전변분 최소화 기법
- (d) 연성 임계치 기법
- (e) 강성 임계치 기법
- (f) 웨이블릿 임계치와 전변분 최소화 기법

Fig 6. Result comparison of Blocks signal

- (a) Original signal(Blocks signal)
- (b) Noisy signal

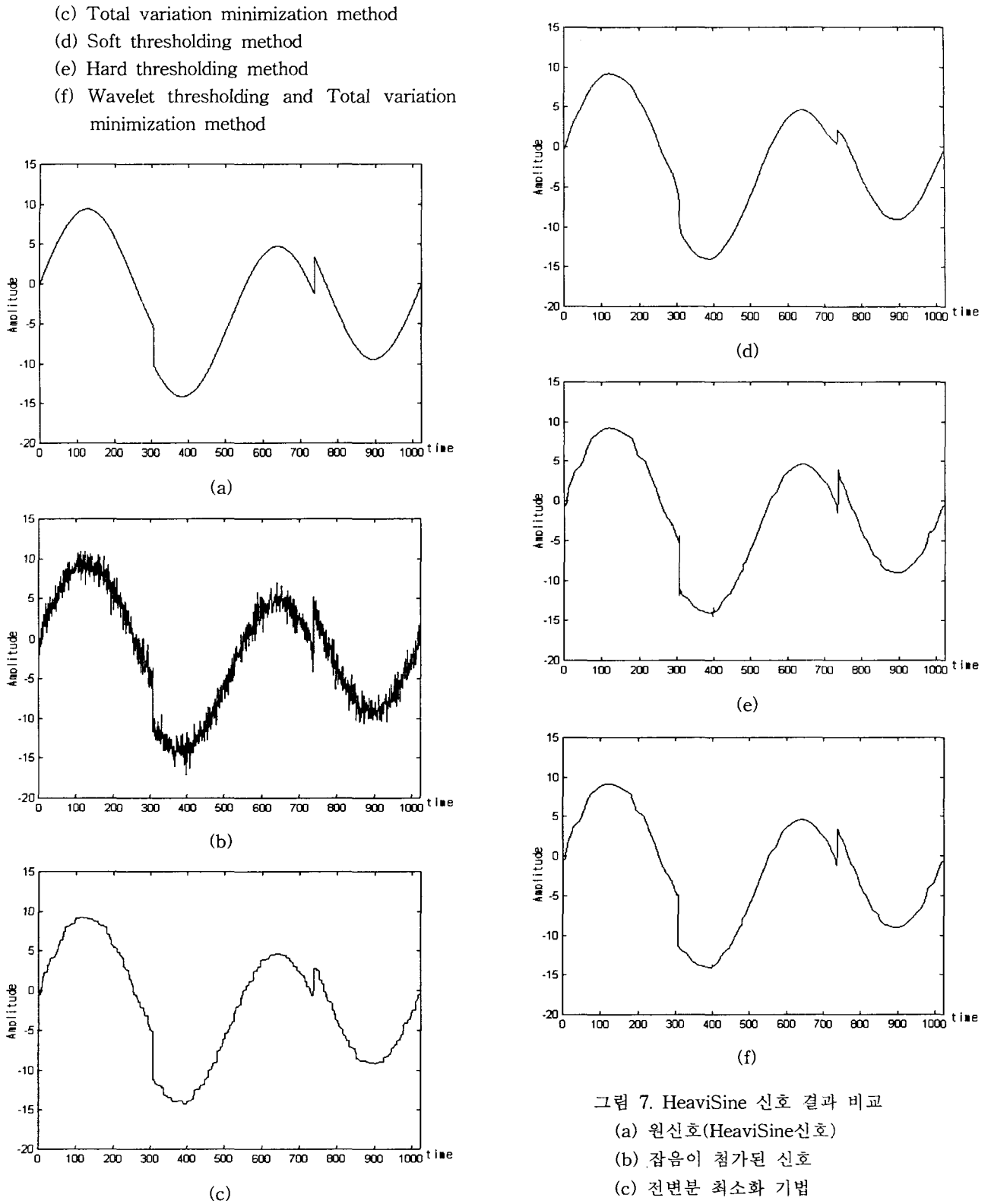


그림 7. HeaviSine 신호 결과 비교

- (a) 원신호(HeaviSine신호)
- (b) 잡음이 첨가된 신호
- (c) 전변분 최소화 기법
- (d) 연성 임계치 기법
- (e) 강성 임계치 기법
- (f) 웨이블릿 임계치와 전변분 최소화 기법

Fig 7. Result comparison of HeaviSine signal  
 (a) Original signal(HeaviSine signal)

- (b) Noisy signal
- (c) Total variation minimization method
- (d) Soft thresholding method
- (e) Hard thresholding method
- (f) Wavelet thresholding and Total variation minimization method

전변분 최소화 알고리즘은 블록 같은 구간별 상수 신호의 잡음제거에는 효과적이지만 부드러운 영역을 가지는 HeaviSine과 같은 신호에는 계단효과가 발생함을 확인할 수 있었다. 연성 임계치 잡음제거는 비록 부드러운 영역에서는 탁월한 잡음제거 효과를 가지지만 불연속점 주위에 많은 손실이 있었고, 강성 임계치 잡음제거 역시 불연속점 주위에 의사 깃스 현상이 발생하였다. 그림 6, 7의 (f)는 본 논문에서 제안한 웨이블릿 임계치와 전변분을 결합한 알고리즘을 사용한 결과이다. 기저함수로 Haar를 사용하였고 각각 초기 단계 크기를 0.001, 0.01로 두고 2,000번 반복 수행하였다. 수행결과, 부드러운 영역은 최대한 보존하면서 불연속점 주위의 의사 깃스 현상을 현격히 감소시켰다.

표 1은 4가지 잡음제거 기법들의 SNR 결과를 비교한 것이다. 본 논문에서 제안한 기법(Wavelet + TV)이 HeaviSine 신호에 대한 연성 임계치 기법의 결과를 제외하고는 다른 잡음제거 기법보다 좋은 결과를 가짐을 확인할 수 있다. 하지만 HeaviSine 신호에 대해 가장 좋은 결과를 가지는 연성 임계치 기법은 블록신호에 대해서는 SNR이 급격히 떨어지는 치명적인 단점을 가짐을 객관적으로 확인할 수 있다. 다시 말하면, 제안한 기법이 블록신호의 경우에는 기존의 기법보다 3dB 정도 개선되었고, HeaviSine의 경우에는 미미한 개선이 이루어졌으나, 두 신호 모두 국부적인 불연속점에서는 의사 Gibbs 현상이 현저히 개선되었음을 알 수 있다.

표 1. SNR 비교(dB)

Table 1. SNR comparison(dB)

신호	TV	Soft thresh	Hard thresh	Wavelet+ TV
Blocks	31.241	22.069	31.852	34.256
HeaviSine	27.366	28.572	28.275	28.382

실시간 실험은 200Hz, 4V의 구형파, 사인파, 톱니파에 잡음을 첨가하고 12bit, 1.024kHz로 샘플링하여 수집하였다. 지연이 없는 실시간 실험을 위해 결과가 비실시간의 경우보다 다소 나빠지더라도 반복횟수를 60번으로 제한하여 수행속도를 단축시켰다. 구형파와 톱니파의 경우 초기 단계 크기를 0.01로 하였고 사인파는 0.001로 두었다. 그림 8은 본 논문에서 구현한 실시간 알고리즘 흐름도를 나타내고 그림 9는 실시간 파형들의 한 프레임에 대한 강성 임계치 잡음제거와 웨이블릿 전변분의 비교 결과를 나타낸다.

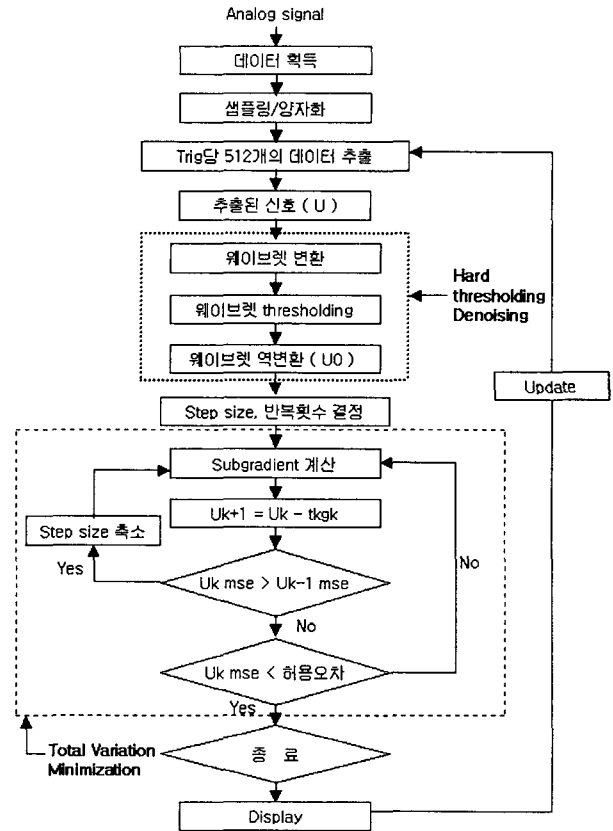
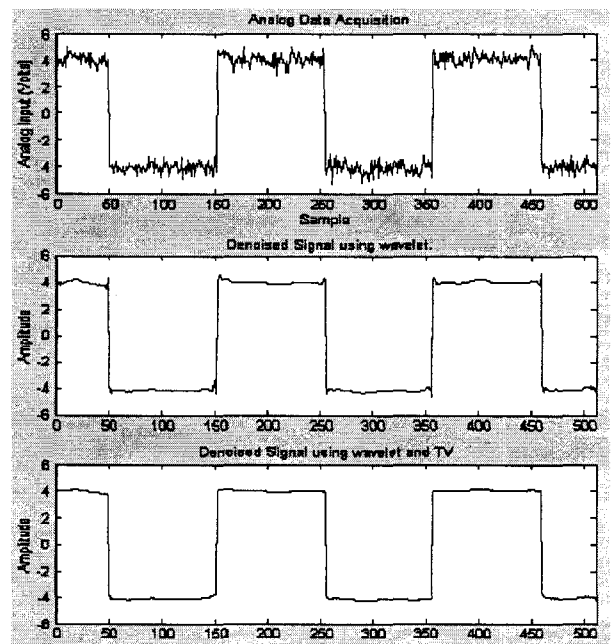
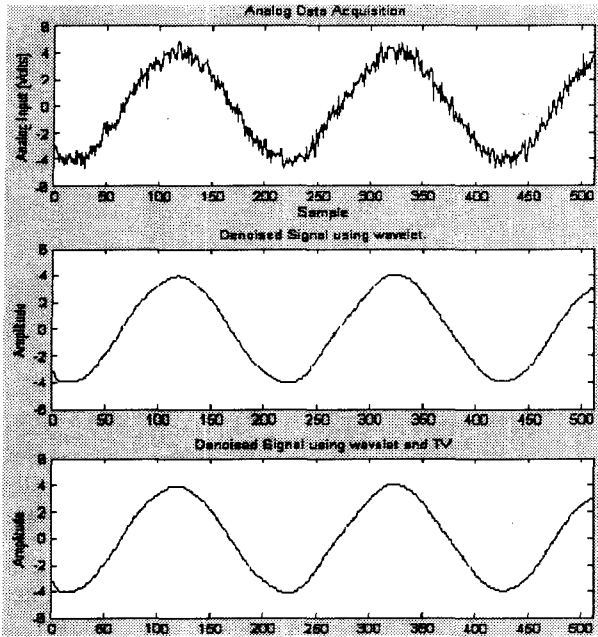


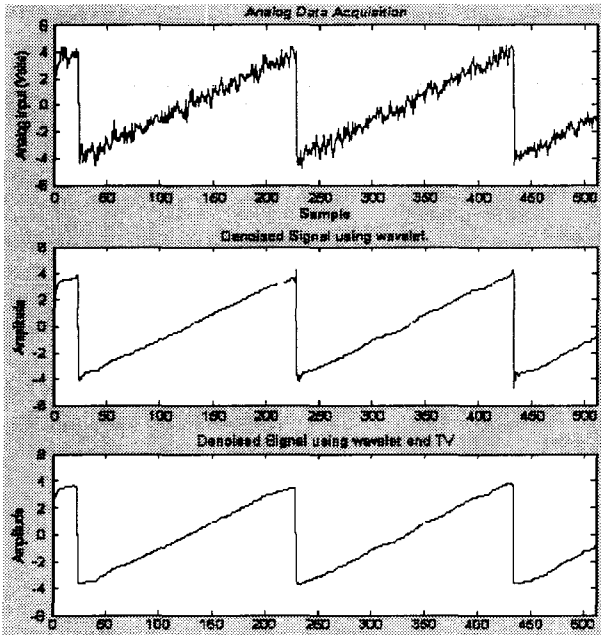
그림 8. 실시간 알고리즘 흐름도  
Fig 8. Real-time algorithm flow chart



(a)



(b)



(c)

그림 9 실시간 잡음제거 결과

- (a) 구형파
- (b) 사인파
- (c) 톱니파

Fig 9. Result of real-time denoising

- (a) Rectangular signal
- (b) Sine signal
- (c) Saw tooth signal

실험 결과, 소요되는 시간은 데이터 획득 시 0.03초, 강성 임계치 잡음제거 0.04초, 전변분 최소화 알고리즘과 표현까지 0.42초, 총 0.49초가 소요되었다. 이상의 결과로 볼 때 실시간 데이터 획득 및 실시간 잡음제거 과정이 시간적으로 충분히 실시간적이며 의사 깁스 현상 제거에 많은 효과가 있음을 확인하였다.

## V. 결론

기존의 웨이블릿 임계치 기법과 전변분 최소화 기법을 잡음제거에 각각 독립적으로 적용하면 의사 깁스 현상 또는 계단효과를 발생시키는 단점을 가지고 있었다. 이러한 단점을 개선하기 위해 웨이블릿 임계치와 전변분을 결합시킨 알고리즘을 구현하여 실시간 환경에 적용해 보았다. 전변분 최소화 알고리즘으로 미분 불가능한 함수에 유용한 준경도 강화법을 사용하여 빠른 수렴성과 안정성을 얻을 수 있었다. 비실시간 환경에서는 기존의 강성 임계치 잡음제거보다 SNR이 최대 2.796dB가 개선되었고 시각적으로도 불연속점 주위의 의사 깁스 현상이 현격히 감소됨을 확인하였다.

실제 환경에 적용하기 위해 함수 발생기로부터 정현파, 구형파, 톱니파 신호를 획득하는 실시간 데이터 획득 환경을 구성하였다. 이 환경에서 얻은 잡음신호를 실시간적으로 잡음 제거를 한 결과, 비실시간 실험과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 수행시간은 총 0.49초가 소요되어 대부분 응용 환경에서는 충분히 실시간적이라고 판단되어 지나 산업체 환경에서의 신호, 심전도 신호, 음성신호와 같은 다양한 환경에서의 데이터에 적용하기 위해서 최적화된 알고리즘 구현이 필요하다. 그리고 2차원 이상의 신호에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

접수일자 : 2002. 12. 31      수정완료 : 2003. 1. 19

본 연구는 2003년도 경남대학교 학술연구장려금에 의해 수행되었음

## 참고 문헌

- [1] D.L. Donoho, and I. Johnstone, "Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage", *Biometrika*, vol. 81, pp. 425-455, 1994.
- [2] D.L. Donoho and R.R. Coifman, "Translation Invariant De-Noising", Pages 125--150 of: Antoniadis, A., & Oppenheim, G. (eds), *Wavelet and Statistics*, Lecture Notes in Statistics 103. New-York: Springer-Verlag, 1995.
- [3] Pier Luigi Dragotti and Martin Vetterli, "Shift-Invariant Gibbs Free denosing Algorithm based on Wavelet Transform Footprints", *Proc. of Data Compression Conference, Snowbird (UT)*, March



2000.

- [4] CR Vogel and ME Oman, "Iterative methods for total variation denosing", SIAM J. Sci. Comp. pp. 227-238, 1996.
- [5] Tony Chan and H.M. Zhou, "Total variation improved wavelet thresholding in image compression", In Proc. of ICIP' 2000, 2000.
- [6] Stephane Mallat, "a Wavelet tour of signal processing", Academic press, 1999.
- [7] R.T.RockFellar, "Convex Analysis", PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 1972.
- [8] Sylvain Durand, Jacques Froment, "Reconstruction of wavelet coefficients using total variation minimization", Preprint CMLAN 2001-18, November 2001.
- [9] MATHWORKS Inc, "Data Acquisition Tool Box with MATLAB", 2001



하 판 봉(Pan-Bong Ha)

正會員

1981년 부산대학교 전기공학과

(공학사)

1983년 서울대학교 전자공학과

(공학석사)

1993년 서울대학교 (공학박사)

1983년 ~ 1985년 한국전자통신연구소 연구원

1998년 ~ 1999년 Lancaster University 교환교수

1997년 ~ 현재 창원대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 인공신경망, 음성/영상신호처리, Turbo Coding/Equalization, Multi-Carrier Modulation 등



정원용(Won-Yong Chong)

正會員

1975년 부산대학교 전기공학과

(공학사)

1977년 부산대학교 전기공학과

(공학석사)

1983년 Florida Institute of Technology, EE 졸업(M.S)

1988년 Georgia Institute of Technology, EE

(박사과정수료)

1992년 영남대학교 전기 공학과 (공학박사)

1999년 ~ 2000년 Boston university 교환교수

1979년 ~ 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 디지털 신호처리, 적응 신호처리, 신경회로망, 영상처리 등



이 진 중(Jin-Jong Lee)

準會員

2001년 경남대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 경남대학교

정보통신공학과 (공학석사)

관심분야 : 웨이블릿 기반 신호처리, 영상처리, MPEG, wireless communication 등



박 영 석(Young-Seak Park)

正會員

1979년 영남대학교 전자공학과

(공학사)

1981년 한양대학교 전자공학과

(공학석사)

1985년 한양대학교 전자공학(공학박사)

1990년 ~ 1991년 일본 우정성 통신종합연구소

(관서선단 연구센터) 초빙과학자

1990년 ~ 1991년 일본 긴끼이동통신센터 객원연구원

2000년 ~ 2001년 미국 North Carolina 주립대학(NCSU)

교환교수

1985년 ~ 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : Software Engineering, Web-based Software Design & Development, Pattern Recognition, Image Processing, Computer Network & Network Computing 등