

論文98-35T-12-6

웨이브렛 변환을 이용한 EMI 신호해석 및 잡음제거에 관한 연구

(A Study on the EMI Signal Analysis and Denoising Using a Wavelet Transform)

尹基邦*, 朴制憲**, 金基斗**

(Kee-Bang Yun, Je-Heon Park, and Ki-Doo Kim)

요 약

본 논문에서는 웨이브렛 변환을 이용하여 EMI(Electromagnetic Interference: 전자파 장애) 신호로부터 각각 다른 주파수 성분과 시간정보를 동시에 추출하고, 시간과 주파수 영역에서 웨이브렛 변환의 수행결과를 해석할 수 있도록 하였다. Daubechies-4 필터 계수를 사용한 다중해상도 해석(multiresolution analysis)을 수행하여 EMI 신호로부터 대상 신호의 주파수 성분이 속하는 주파수 대역을 추출하고, 웨이브렛 변환 결과를 통하여 시간정보를 얻었다. 또한 웨이브렛 변환 결과를 평가하기 위해 상관해석법을 시도하고, 웨이브렛 함수에 따른 변환 결과를 비교함으로써 해석하고자 하는 신호에 가장 적합한 웨이브렛 함수를 선택하여 신호의 파형분석과 고주파 해석을 시뮬레이션으로 검증하였다. 그리고 soft thresholding 기법을 이용하여 EMI 신호에 대한 잡음제거의 효과를 입증하였다.

Abstract

In this paper, the different frequency component and time informations from an EMI signal are extracted simultaneously using a wavelet transform and the results of transform in the time and frequency domain are analyzed. Frequencies are extracted from the EMI signal by performing the multiresolution analysis using the Daubechies-4 filter coefficients and the time information through the results of wavelet transform. We have tried the correlation analysis to evaluate the results of wavelet transform. We have chosen the optimal wavelet function for an object signal by comparing the transformed results of various wavelet functions and verified the simulation examples of waveform and harmonic analysis using a wavelet transform. We have proved the denoising effect to the EMI signal using the soft thresholding technique.

I. 서론

전기전자기기의 EMI 대책으로서 전자(방사) 잡음(noise)의 발생원을 탐색하고 잡음 발생에 관련된 정

* 正會員, 仁川專門大學 電子科

(Dept. of Electronics, Junior College of Incheon)

** 正會員, 國民大學校 電子工學部

(School of Electronics Engineering, Kook-Min University)

接受日字: 1998年8月19日, 수정완료일: 1998年12月4日

보를 입수하는 것이 중요하다. 이를 위한 방법으로는 10 m법 등에 의한 원방계 측정이나 EMSCAN 등에 의한 근방계분포의 측정이 있다. 이와같은 방법에 따라 수집된 데이터를 해석하여 얻어지는 정보는 대부분 Fourier 해석을 기초로한 주파수축 상에서의 진폭 정보이다. 그러나 EMI 대책의 가장 핵심에 있는 회로 설계자는 회로 설계시 시간영역에서 타이밍을 고려해야 할 필요가 있기 때문에 주파수 정보가 아닌 전압 파형이나 전류 파형과 같은 시간축 상에서의 파형정보를 이해하는 것이 중요하다.

많은 공학자들이 신호를 주파수 성분으로 나타내기

위해 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용한다. FFT는 시간 정보가 중요하지 않은 여러 응용분야에서는 데이터 해석을 위한 우수한 수단이 되지만 해석하고자 하는 신호에 대해 원하는 모든 정보를 주는 것은 아니다. FFT를 이용한 신호 해석에는 한계가 있다. 즉 신호내의 특정 주파수 성분이 언제 발생하였는지는 알 수가 없다. 각기 다른 주파수 성분이 다른 시간대에 발생하는 신호에 대해 FFT를 수행하면 특정 주파수의 발생 시간에 상관없이 언제나 같은 결과를 얻을 것이다.

웨이브렛 변환은 이와같은 데이터 해석 문제에 대한 해결책을 제시해 준다. 웨이브렛 변환을 이용한 해석 방법은 진폭정보와 위상정보를 포함하고 있기 때문에 주파수와 시간정보 또는 공간주파수와 위치정보라는 2개의 파라미터를 동시에 취급하게 된다. 푸리에 해석은 지속시간이 짧고 비정재성을 갖는 신호의 특성을 표현하는데 적합하지 않지만 웨이브렛 변환은 시간 및 주파수의 국부성(localization)을 가지므로 통계적 특성을 모르거나 시간적으로 예측하기 힘든 신호를 해석하는데 용이할 뿐만 아니라 다중 해상도를 갖는 신호의 해석이 가능하므로 유용하게 이용될 수 있다^[1]. 따라서 웨이브렛 변환은 FFT와는 달리 각기 다른 주파수 해상도로 저주파와 고주파 신호 모두를 동시에 추출해 낼 수 있고, FFT를 통해서 얻을 수 없었던 시간 정보를 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 EMI 신호에 대해 웨이브렛 해석을 적용하여 각기 다른 주파수 성분을 동시에 추출하고 이들의 위상변화를 살펴봄으로써 시간과 주파수 영역에서 동시에 해석할 수 있도록 하였다.

II. 웨이브렛 변환

1. 웨이브렛 변환

신호 $s(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 라 하면 연속 웨이브렛 변환은 다음과 같이 정의된다^[4].

$$\text{CWT}(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (1)$$

여기서 $\psi(t)$ 는 mother(또는 Basic) wavelet이고 $\psi((t-\tau)/a)/\sqrt{a}$ 는 baby wavelet이라 하며 $\psi(t)$ 를 이동(shift)과 확장(dilation)하여 얻을 수 있다. 따라

서 짧은 지속시간을 갖는 고주파 신호에 대해서는 짧은 윈도우 함수를 사용하고 긴 지속시간을 갖는 저주파 신호에 대해서는 긴 윈도우 함수를 이용하는 결과가 되어 주파수 영역에 따른 다중해상도를 갖게 된다.

한편 역 웨이브렛 변환은 다음과 같이 정의된다^[4].

$$s(t) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \text{CWT}(a, \tau) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \frac{1}{a^2} da d\tau, \quad a > 0 \quad (2)$$

여기서 c_ψ 는 $\psi(t)$ 에만 관련된 상수이고, 역 웨이브렛 변환이 성립되기 위한 허용 조건(admissibility condition)인 식 (3)을 만족해야만 한다^[4].

$$c_\psi = \int_0^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (3)$$

여기서 $\Psi(\omega)$ 는 $\psi(t)$ 의 푸리에 변환이다.

2. 시간과 주파수의 해상도

신호의 해석은 신호를 기저함수의 가중된 합(weighted sum)으로 표현하여 이 가중치들을 해석함으로써 가능하다. 사용하는 기저함수의 성질에 따라 시간과 주파수의 해상도가 결정된다. 예를 들어 임펄스 함수를 시간 축에서의 기저함수로 이용하면 시간축에서의 해상도는 높고 주파수의 해상도는 낮다. 반면에 정현파 함수를 기저함수로 이용할 경우, 주파수 해상도는 높지만 시간 해상도는 낮은 현상을 보인다. 일반적으로 시간 축과 주파수 축의 해상도를 동시에 만족시키는 기저함수는 존재하지 않는다.

Gabor^[5]에 의해서 착안된 STFT(Short Time Fourier Transform)는 기저함수가 주파수의 스케일링만을 갖는 푸리에 변환과는 달리 시간 천이와 주파수의 스케일링만을 갖는 기저(basis)를 사용함으로써 시간과 주파수 특성을 동시에 표현할 수 있다. 이산 신호에 대한 STFT와 그의 역변환은 각각 식(4.a)와 식(4.b)로 표현된다.

$$X_{\text{STFT}}(\omega, m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} w(n-m) x(n) e^{-j\omega n} \quad (4.a)$$

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} X_{\text{STFT}}(\omega, m) w^*(n-m) e^{j\omega n} d\omega \quad (4.b)$$

여기서 $w(n)$ 은 윈도우 함수를 나타낸다. $x(n)$ 에 시간축으로 일정하게 이동하는 시간 윈도우 $w(n)$ 을 적용하고 푸리에 변환을 수행함으로써 신호에 대한 스펙

트로그램(spectrogram)이라고 하는 시간-주파수 표현을 얻을 수 있다. 시간축으로 이동하는 윈도우에 의해 시간 국부성을 확보하고 이것에 푸리에 변환을 취하여 주파수 특성을 파악함으로써 시변 주파수 특성을 해석할 수 있다. 그러나 푸리에 변환에서와 같이 STFT는 윈도우에 의해 결정되는 시간-주파수 간의 국부성이 상충관계(tradeoff)를 갖는다. 즉, 윈도우 함수 $w(n)$ 의 길이가 고정되어 있으므로 시간-주파수 해상도 역시 고정되게 되며, 시간(또는 주파수) 해상도를 증가시키면 주파수(또는 시간) 해상도는 감소된다. 따라서 분석하고자 하는 신호의 성질에 따라 시간-주파수 간의 해상도를 결정짓는 윈도우를 설계해야 하며, 지속시간이 짧고 비정재성을 갖는 신호의 특성을 표현하는데 STFT는 적합하지 않다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 다중 해상도를 갖는 신호해석 방법이 필요하게 되는데 이를 위해 웨이블릿 변환을 이용한다.

그림 1은 STFT와 웨이블릿 변환의 기저 함수에 따른 시간 및 주파수의 해상도를 비교한 것이다.

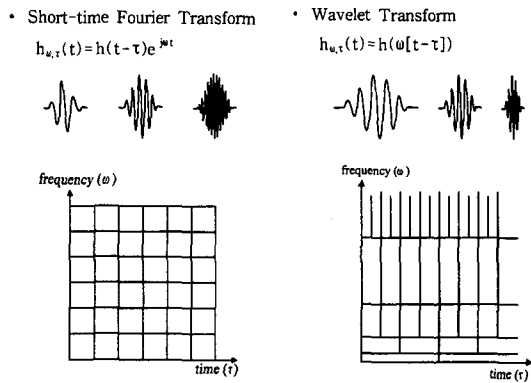


그림 1. STFT와 웨이블릿 변환의 시간 및 주파수 해상도의 비교

Fig. 1. Comparison of resolution of time and frequency for the wavelet transform vs. STFT.

3. 이산 웨이블릿 변환과 다중해상도 해석

웨이블릿의 기저함수들은 해상도가 다른 함수들의 집합으로 이루어져 있기 때문에 웨이블릿 변환은 다중 해상도 해석에 적합하다. 신호의 다중해상도 표현은 신호 $x(t)$ 를 일련의 내포 부공간(embedded subspace) $V_m \subset L^2(\mathbb{R})$, $m \in \mathbb{Z}$ 상으로 투영(projection)시킴으로써 이루어진다. 신호 $x(t)$ 의 다중해상도 표현 $X_m(t)$ 와 내포 부공간들의 관계는 식 (5)와 같다^[4].

$$\begin{aligned}
 &V_m \subset V_{m-1}, \quad m \in \mathbb{Z} \\
 &\bigcap_m V_m = \{0\} \\
 &\bigcup_m V_m = L^2(\mathbb{R}) \\
 &x(t) \in V_m \Leftrightarrow x(2t) \in V_{m-1} \\
 &X_m(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \langle x(t), \phi_{m,n}(t) \rangle \phi_{m,n}(t)
 \end{aligned} \tag{5}$$

부공간 V_0 의 정규직교 기저 $\phi(t-n)$, $n \in \mathbb{Z}$ 를 생성하는 스케일 함수 $\phi(t)$ 가 존재하며, 각 내포 부공간의 기저들은 식 (6)에서와 같이 스케일 함수를 시간천이 및 스케일링 시킴으로써 생성된다^[4].

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \phi(2^{-m}t - n), \quad m, n \in \mathbb{Z} \tag{6}$$

또한, 상하위 해상도 공간과 직교하는 공간 사이의 관계는 식 (7)과 같다.

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m, \quad V_m \perp W_m \tag{7}$$

부공간 V_m 의 스케일 함수 $\phi(t)$ 와 유사하게 부공간 W_m 을 구성하는 정규직교 기저가 존재하며 기저를 생성하는 mother wavelet $\psi(t)$ 가 존재한다. 식 (8)에서와 같이 각 부공간의 기저는 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 를 스케일링과 시간천이를 수행함으로써 생성된다. $R_m(t)$ 는 직교 여 부공간 W_m 상으로의 신호의 투영을 말한다^[2,4].

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m/2}t - n), \quad m, n \in \mathbb{Z} \tag{8a}$$

$$X_{m-1}(t) = X_m(t) + R_m(t) \tag{8b}$$

$$R_m(t) = \sum_n \langle x(t), \psi_{m,n}(t) \rangle \psi_{m,n}(t) \tag{8c}$$

하나의 해상도 부공간은 더 낮은 해상도 부공간과 직교 여 부공간으로 표현이 가능하고, 반복적용을 하면 여 부공간만으로 표현이 가능하다. 따라서 식(9)과 같이 신호 $x(t)$ 는 W_m 의 기저들로 표현할 수 있다.

$$V_m = W_m \oplus W_{m-1} \oplus W_{m-2} \dots \tag{9a}$$

$$L^2(\mathbb{R}) = \bigcup_m (\oplus W_m), \quad m \in \mathbb{Z} \tag{9b}$$

$$x(t) = \sum_{m,n} \langle x(t), \psi_{m,n}(t) \rangle \psi_{m,n}(t) \tag{9c}$$

한편 $\phi(t) \in V_m$ 이면 $\phi(2t) \in V_{m-1}$ 이고, 식 (10)과

같은 관계를 만족한다.

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2t-n), \quad n \in Z \quad (10a)$$

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \phi(2t-n), \quad n \in Z \quad (10b)$$

$$\sum_n h(n) = \sqrt{2} \quad (10c)$$

$$g(n) = (-1)^n h(1-n) \quad (10d)$$

$$\sum_n g(n) = 0 \quad (10e)$$

신호 $x(t)$ 에 대해 $c_{mn} = \langle x(t), \phi_{m,n}(t) \rangle$, $d_{mn} = \langle x(t), \psi_{m,n}(t) \rangle$ 일 때 부공간 V_m , W_m 과 $h(n)$, $g(n)$ 간의 관계는 그림 2와 같이 2진 트리(binary tree) 구조를 형성한다.

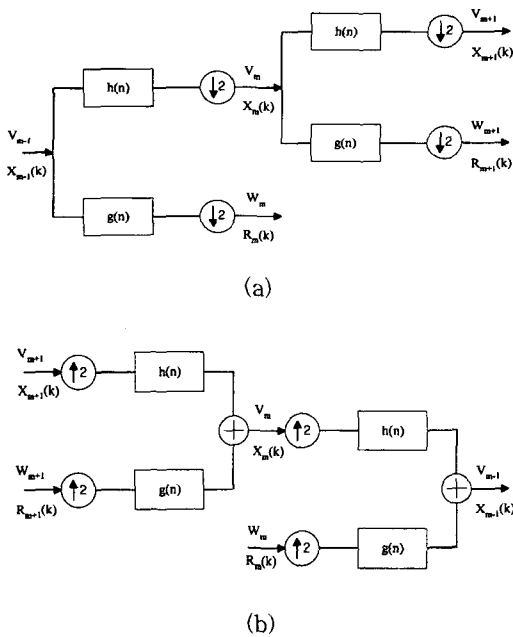


그림 2. 2진 트리구조의 웨이브렛 분해와 합성
(a) 웨이브렛 분해 (b) 웨이브렛 합성
Fig. 2. Wavelet analysis and synthesis of binary tree-structure.
(a) Wavelet analysis
(b) Wavelet synthesis

III. 웨이브렛 변환을 이용한 파형분석 및 신호해석

1. 웨이브렛 변환을 이용한 파형분석

그림 3(a)의 파형은 정현파와 펄스파형의 합으로 이

루어진 것이며, 그림 3(b)는 이를 Morlet wavelet 함수를 이용하여 웨이브렛 변환한 결과로서 높은 스케일 영역에서는 정현파가 나타나고 낮은 스케일 영역에서는 펄스파가 나타난다. 이에 반해 그림 4(a)와 같이 동일한 주파수 성분을 갖는 정현파와 구형파 그리고 삼각파의 합으로 이루어진 신호를 웨이브렛 변환할 경우에 그림 4(b)의 변환 결과로부터 특정 스케일 영역의 스펙트럼 $CWT(a, \tau)$ 을 사용한 파형 분리가 곤란함을 알 수 있다. 따라서 주파수가 동일한 파형이 섞여 있는 경우에는 웨이브렛 해석결과로부터 직접 파형분리가 곤란하나, 주파수가 다른 파형이 섞여있는 경우에는 웨이브렛 해석을 통하여 직접 파형을 분리할 수 있다. 그림 3(b)와 그림 4(b)에서 횡축 t 는 식 (1)에서의 시간 t 에 대응되고, 종축 a 는 스케일이며 높이는 웨이브렛 변환된 계수들의 크기를 나타낸다.

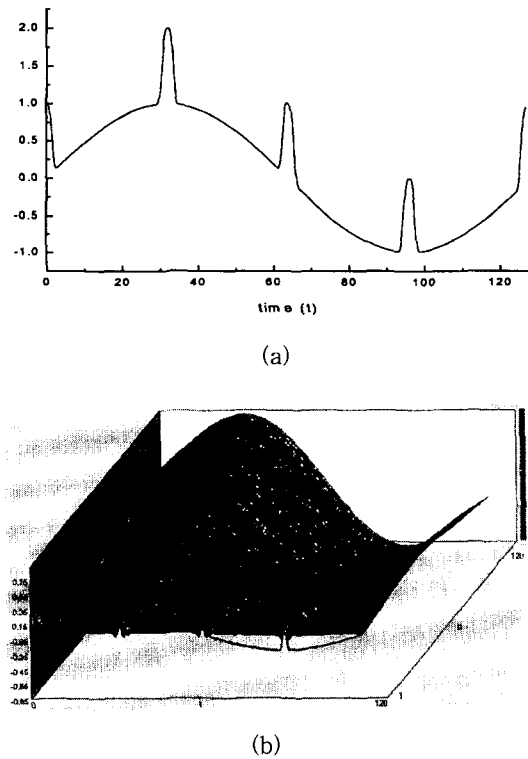


그림 3. 상이한 주파수 성분을 갖는 파형의 분석 예
(a) 정현파와 펄스의 합인 신호
(b) 웨이브렛 변환 결과
Fig. 3. The example of waveform-analysis with alternative frequency component.
(a) The sum of sinusoidal and pulse wave
(b) Result of wavelet transform

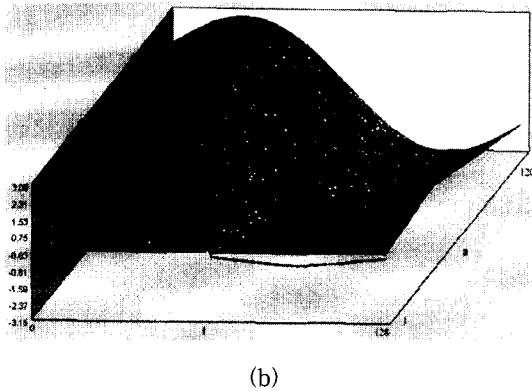
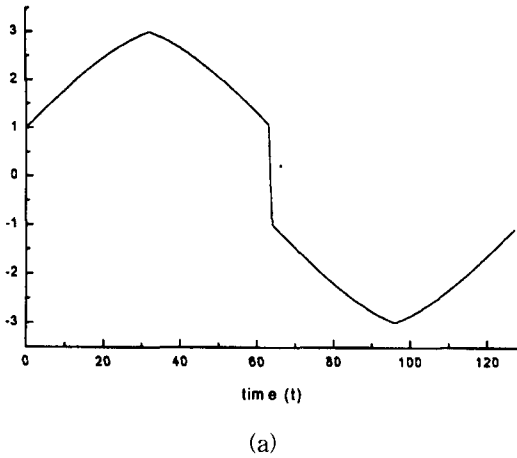


그림 4. 동일한 주파수 성분을 갖는 파형의 분석 예
(a) 정현파와 구형파 및 삼각파의 합인 신호
(b) 웨이블릿 변환 결과

Fig. 4. The example of waveform-analysis with same frequency component.
(a) The sum of sinusoidal, rectangular and triangular wave
(b) Result of wavelet transform

2. 웨이블릿 변환을 이용한 고조파 해석

그림 5(a)는 식 (11)에 주어진 바와 같이 기본파, 제 3 고조파, 제 9 고조파의 합으로 이루어진 신호를 나타낸다.

$$f(t) = \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t) \quad (11)$$

그림 5(b)는 식 (11)의 입력신호에 웨이블릿 변환을 적용한 결과를 보여준다. 그림 5(b)의 결과에서 높은 스케일 영역에서는 기본파가 나타나고, 중간 스케일 영역에서는 제 3 고조파, 그리고 낮은 스케일 영역에서 제 9 고조파가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b)에서 횡축 t는 식 (1)에서의 시간 t에 대응되고, 종축

a는 스케일이며 높이는 웨이블릿 변환된 계수들의 크기이다.

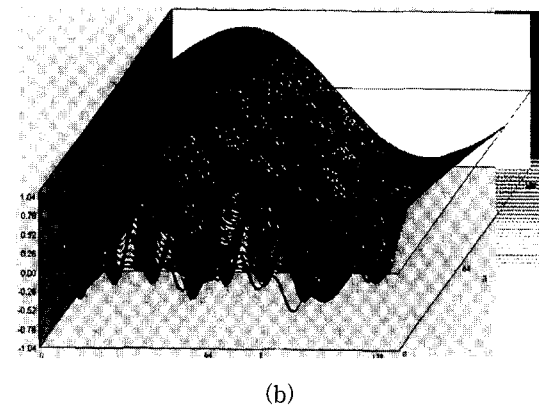
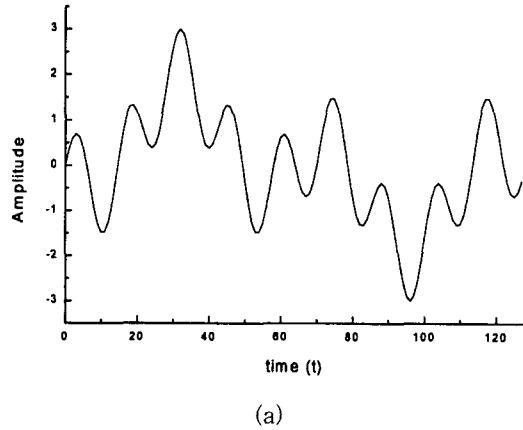


그림 5. 고조파 신호해석의 예
(a) $f(t) = \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t)$
(b) 웨이블릿 변환 결과

Fig. 5. The example of harmonic analysis.
(a) $f(t) = \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t)$
(b)Result of wavelet transform

3. 웨이블릿 변환의 상관분석

여러파형의 합으로 이루어진 신호를 각각의 파형으로 웨이블릿 해석을 이용하여 분리하는 경우 웨이블릿 변환된 결과를 평가하는 수단이 필요하다. EMI 대책에 이를 응용하기 위해서는 웨이블릿 변환된 결과가 어떤 형태의 의미를 가지고 있는지를 명확히 파악해야 한다. 웨이블릿 변환된 결과를 평가하는 방법으로 상관분석이 있다. 주어진 파형 $f(t)$ 가 $g(t)$ 와 $h(t)$ 의 합, 즉

$$f(t) = g(t) + h(t) \quad (12)$$

일 때 $f(t)$, $g(t)$, $h(t)$ 각각의 웨이브렛 계수 벡터를 $T_f(a)$, $T_g(a)$, $T_h(a)$ 로 표시하면, $T_f(a)$ 와 $T_g(a)$ 및 $T_h(a)$ 의 상관계수는 다음 식(13)으로 표현된다.

$$\gamma_{fg}(a) = \frac{[\overline{T_f(a)}]^T \overline{T_g(a)}}{|\overline{T_f(a)}| |\overline{T_g(a)}|} \quad (13.a)$$

$$\gamma_{fh}(a) = \frac{[\overline{T_f(a)}]^T \overline{T_h(a)}}{|\overline{T_f(a)}| |\overline{T_h(a)}|} \quad (13.b)$$

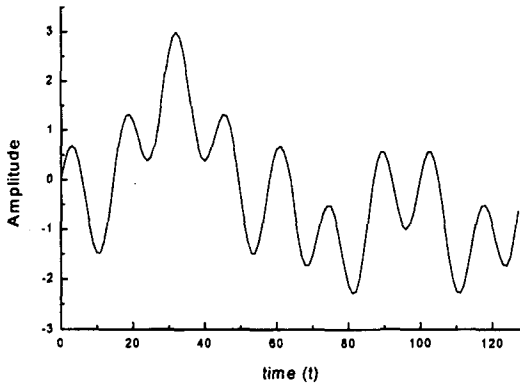
여기서 $\overline{T_f(a)}$, $\overline{T_g(a)}$, $\overline{T_h(a)}$ 는 각각 벡터 $T_f(a)$ 와 $T_g(a)$ 및 $T_h(a)$ 의 정규화된 벡터이다. 식 (13)에서 $\gamma_{fg}(a) \approx 1$ 이고 $\gamma_{fh}(a) \ll 1$ 인 경우, 주파수 $1/a$ 에서의 웨이브렛 계수 $T_f(a)$ 는 $f(t)$ 중의 $g(t)$ 성분 에 의한 파형을 나타낸다. 따라서 각각의 전자파 신호들의 웨이브렛 계수들 사이의 상관함수를 이용하여 전자파의 영향이 가장 지배적인 (dominant) 신호를 찾아낼 수 있다.

IV. EMI 신호해석 및 잡음제거

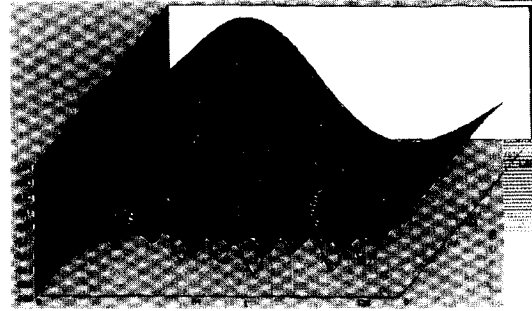
1. EMI 신호 해석

1) 시뮬레이션 결과

그림 6(a)는 그림 5(a)의 고조파 성분 중 제 3고조파 성분의 위상이 시간 π 에서 바뀐 신호이며, 그림 6(b)는 웨이브렛 해석을 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과이다. 그림 5(b)와 비교해 보면 중간 스케일 영역의 제 3고조파 성분의 위상이 변화되었음을 알 수 있다. 그림 6(b)에서 횡축은 식 (1)에 대응되는 시간(t)이고, 종축은 스케일(a)이며 높이는 웨이브렛 변환된 계수들의 크기를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 6. 시뮬레이션 결과

$$(a) f(t) = \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t), \quad t \leq \pi$$

$$f(t) = \sin(\omega t) + \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t), \quad t > \pi$$

(b) 웨이브렛 해석 결과

Fig. 6. Simulation result.

$$(a) f(t) = \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t), \quad t \leq \pi$$

$$f(t) = \sin(\omega t) + \sin(3\omega t) + \sin(9\omega t), \quad t > \pi$$

(b) Result of wavelet transform

2) EMI 신호의 파형 및 스펙트럼 분석

회로를 설계하는 설계자들은 EMI 대책을 위해 주파수에 대한 크기의 정보는 물론 전압이나 전류와 같은 시간에 대한 정보를 알아야 할 필요가 있다. 따라서 회로 설계시 웨이브렛 해석을 이용하여 타이밍 정보를 얻을 수 있게 된다. EMI 신호를 측정하여 특정 주파수 성분을 추출하고 위상의 변화를 알아내기 위해서는 먼저 해석하고자 하는 신호에 가장 적합한 mother wavelet을 선택하여야 한다. 그리고 mother wavelet을 해석하고자 하는 원신호(original waveform)에 적응시키기 위해 시간에 대해 스케일링(확장 혹은 압축)시킨 baby wavelet을 만든 후, 원신호를 따라 천이시킴으로써 웨이브렛 계수를 얻는다. 본 논문에서는 EMI 신호에 대해 웨이브렛 변환을 적용할 때 가장 적합한 mother wavelet을 찾기 위해 Modulated Gaussian(Morlet), Second derivative of a Gaussian, Haar, Shannon 등의 웨이브렛 함수를 사용하여 웨이브렛 계수를 산출하였으며, 각각의 웨이브렛 함수를 똑같이 적용하였을 때 계산된 웨이브렛 계수 중 해석하고자 하는 신호를 가장 잘 나타낸다고 생각되는 함수를 선택하였다. 그림 7은 이러한 웨이브렛 해석 과정을 나타낸다. 그림 8은 외부로부터

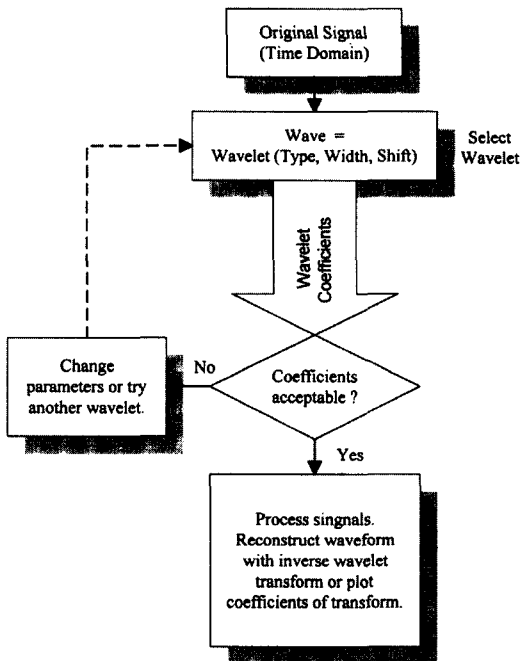


그림 7. 웨이브렛 해석 과정
Fig. 7. Wavelet analysis process.

과 $2^m n$ 의 천이를 갖는다. 따라서 스케일이 작은 것이 고주파 성분을 나타내며 스케일이 증가할수록 저주파 성분을 나타낸다. 또한 다중해상도 해석을 위한 Daubechies-4 필터 계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} c_0 &= (1+\sqrt{3})/4\sqrt{2}, & c_1 &= (3+\sqrt{3})/4\sqrt{2} \\ c_2 &= (3-\sqrt{3})/4\sqrt{2}, & c_3 &= (1-\sqrt{3})/4\sqrt{2} \end{aligned} \quad (14)$$

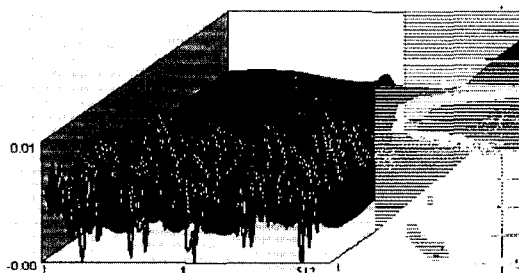


그림 9. 그림 8의 EMI 신호에 대한 웨이브렛 해석 결과
Fig. 9. Result of wavelet analysis on the EMI signal of Fig. 8.

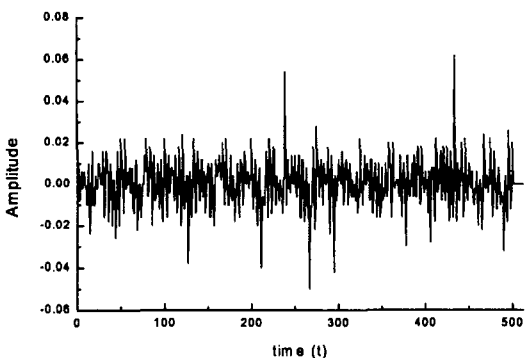


그림 8. 펜티엄 전원부분에서의 EMI 신호
Fig. 8. The EMI signal from power of pentium.

의 불요전파의 출입을 막기 위하여 전자파 반무향실 (semi-anechoic chamber)내에서 펜티엄 컴퓨터의 전원단으로 부터 직접 전도성 방해전자파(conducted EMI)를 측정된 데이터에 의한 EMI 신호이다. 그림 9 는 그림 8의 EMI 신호에 대한 웨이브렛 해석 결과이고, 그림 10은 Daubechies-4 필터 계수를 이용한 다중해상도 해석을 수행하여 EMI 신호의 고주파와 저주파 성분을 동시에 추출한 결과이다. 스케일이 증가함에 따라 웨이브렛 함수의 폭이 증가하고 이에 비례하여 샘플링 간격이 늘어나게 된다. 즉, 2^{-m} 의 확장

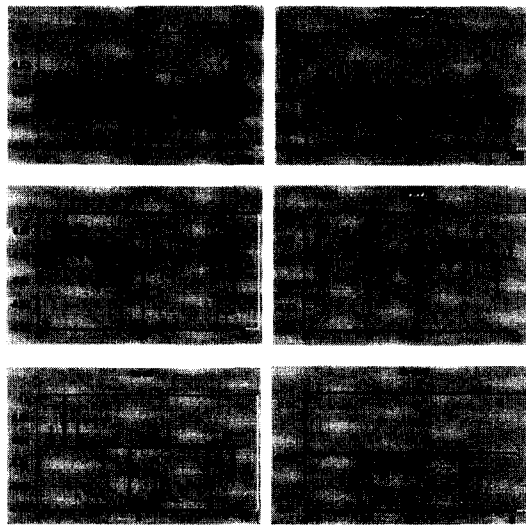


그림 10. EMI 신호의 스케일별 분포
Fig. 10. Spectrum of the EMI signal.

그림 9의 결과로 부터 웨이브렛 해석을 함으로써 FFT에서는 얻을 수 없는 시간 정보(위상의 갑작스런 변화 등)를 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 이러한 시간 정보는 해석하고자 하는 신호의 폭에 대한 웨이브렛 함수의 폭의 비에 따라 결정된다. 또한 웨이브렛 해석은 해석하고자 하는 신호의 폭에 따라 윈도우 함수의

폭이 가변되지 않는 FFT와는 달리 각기 다른 주파수 해상도로 저주파와 고주파 신호 모두를 동시에 추출해 낼 수 있다.

2. 웨이브렛 변환을 이용한 잡음제거

웨이브렛을 이용한 잡음제거 과정은 다음과 같다^[5].

- (i) $Y = W_y$ 를 계산
- (ii) 잡음 성분을 정규화
- (iii) Hard 또는 soft thresholding 방법으로 웨이브렛 도메인에서 thresholding을 수행한다.

Hard thresholding :

$$\hat{X} = T_h(Y, th) = \begin{cases} Y, & |Y| > th \\ 0, & |Y| < th \end{cases} \quad (15)$$

Soft thresholding :

$$\hat{x} = M\hat{X}$$

$$\hat{X} = T_s(Y, th) = \begin{cases} \text{sgn}(Y)(|Y| - t), & |Y| \geq th \\ 0, & |Y| < th \end{cases} \quad (16)$$

- (iv) Inverse DWT

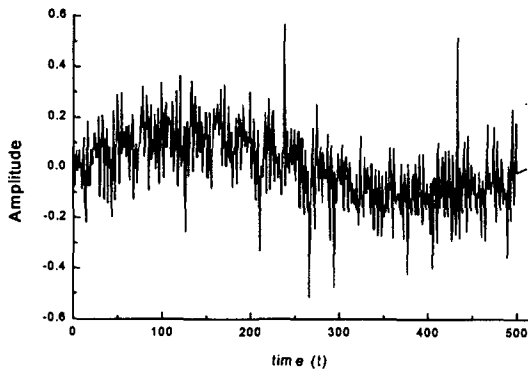


그림 11. 잡음(EMI 신호)제거 전의 신호
Fig. 11. The signal of before denoising.

여기서 $\cdot th$ 는 임계값^[5]으로서 $th = \sqrt{2 \log(n)}(2\sigma) / \sqrt{n} 2^{(j-j_0)/2}$, $j = j_0, \dots, J$ 이고 J 는 각 스케일을 나타내며 n 은 각 스케일에서의 샘플수를 나타낸다. σ 는 웨이브렛 도메인 상에서 각 스케일의 표준편차를 나타낸다. 그림 11은 정현파 신호에 EMI 신호가 잡음으로 첨가된 신호를 나타낸다. 그림 12는 그림 11의 신호에 soft thresholding 기법^[5]을 이용하여 잡음을 제거한 후의 신호를 나타낸 것으로 원래의 정현파 신호를

추출해 낼 수 있음을 볼 수 있다. 그림 12에서 원래의 정현파 신호에 비해 약간 일그러진 부분이 있음을 볼 수 있는데, 이는 thresholding시 전체 신호에 미치는 영향이 고주파 영역과 저주파 영역에서 다르기 때문이다.

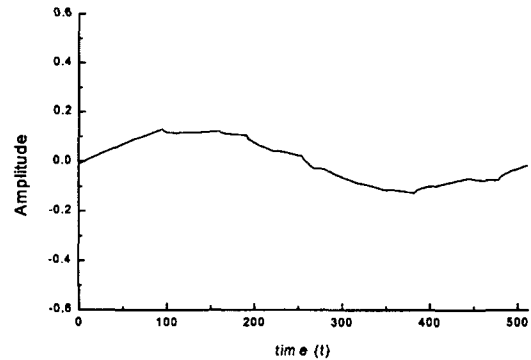


그림 12. Soft thresholding 기법에 의한 잡음제거 후의 신호

Fig. 12. The signal using the soft thresholding techniques.

V. 결 론

본 논문에서는 EMI 신호에 대해 웨이브렛 해석을 적용하여 각기 다른 주파수 성분을 동시에 추출하고 또한 이들의 시간정보를 얻음으로써 시간과 주파수 영역에서 동시에 해석할 수 있도록 하였다. 웨이브렛 변환을 이용하여 신호의 고주파 해석과 주파수가 상이한 신호가 섞여 있는 신호와 주파수가 동일한 신호가 섞여 있는 경우에 대해 파형분석의 예를 보였고, 신호 해석의 다른 예로서 임의의 시간에 갑작스런 위상의 변화가 있는 신호에 대해 웨이브렛 변환을 적용하여 위상의 변화를 관측하였다. 또한 해석하고자 하는 신호의 특성에 가장 적합한 mother wavelet을 선택함으로써 보다 우수한 주파수 및 시간 정보를 얻어낼 수 있음을 보였다. 펜티엄 전원에서 EMI 신호를 측정 후 Daubechies-4 필터 계수를 사용한 다중해상도 해석을 수행하여 각각 다른 주파수 해상도로 저주파와 고주파 신호 모두를 동시에 추출하였고 웨이브렛 함수에 따른 변환 수행결과를 통해 시간정보를 알아내었다. 또한 EMC 대책으로 이를 응용하기 위해 웨이브렛 변환된 결과가 어떤 형태의 의미를 가지고 있는지를 명확히 평가하기 위한 방법으로 상관해석을 함으로

써 전자파에 영향을 주는 가장 지배적인 신호를 찾아 낼 수 있도록 하였다. 그리고 정현파 신호에 잡음(EMI 신호)이 첨가된 신호에 대하여 이산 웨이브렛 변환을 적용한 후 soft thresholding 기법을 통해 잡음제거의 효과를 보였다.

추후 본 논문을 토대로 이산 웨이브렛 변환의 실제 하드웨어의 구현을 통한 신호해석이나 EMI 신호에 가장 적합한 웨이브렛 필터의 설계 그리고 보다 나은 잡음제거 기법의 연구 등이 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] I. Daubechies, "The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 36, no. 5, Sept. 1990.

[2] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," IEEE Trans. Pattern Analysis, Machine Intelligence, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.

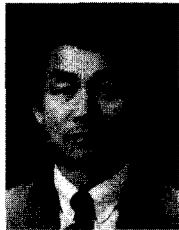
[3] M. Vetterli, "Wavelets and subband coding," Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.

[4] Y. T. Chan, "Wavelet Basics," Royal Military College of Canada, Kluwer Academic Publishers, 1995.

[5] D. L. Donoho, "Denoising by soft thresholding," IEEE Trans. on Info. Theory, pp. 961-1005, Sept. 1994.

[6] G. Strang, T. Nguyen, "Wavelets and Filter Banks," Wellesley-Cambridge Press, pp. 103-113, 1995

저 자 소 개



尹 基 邦(正會員)

1976년 2월 숭실대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1981년 2월 숭실대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1996년 3월 ~ 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1981년 3월 ~ 현재 : 인천전문대학 전자과 교수. 주

관심분야는 전자파 측정, 디지털 신호처리 등



朴 制 憲(正會員)

1995년 2월 국민대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1998년 2월 국민대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 주 관심분야는 디지털 신호처리 및 이동 통신

金 基 斗(正會員) 第 32卷 B編 第 10號 參照

현재 : 국민대학교 전자공학과 부교수