

이산 웨이블릿 변환(DWT)의 모함수에 따른 배터리 전압의 노이즈 제거 성능 비교 분석

윤창오, 김종훈
조선대학교 전기공학과

A Comparative Analysis of Denoising Performance based on the Mother Wavelet of the Discrete Wavelet Transform(DWT)

C. O. Yoon, J. H. Kim

Department of Electrical Engineering, Chosun University

ABSTRACT

이산 웨이블릿 변환(DWT:discrete wavelet transform)의 다해상도 분석(MRA:multi resolution analysis)을 효율적으로 수행하기 위해서는 적절한 모함수(mother wavelet)의 선택이 필수적이다. 본 논문에서는, 노이즈가 포함된 충방전 전압의 디노이징(denoising)을 구현할 때, 모함수에 따른 디노이징 성능을 비교 및 분석한다. 고정된 MRA 레벨에서 6개의 모함수를 비교하되, 각 모함수에서 최대 SNR(signal-to-noise ratio)을 가지는 타입을 대푯값으로 정하여 모함수에 따른 디노이징 성능을 비교한다. 이를 위해, 하드 임계화(hard-thresholding) 및 소프트 임계화(soft-thresholding) 기법을 적용한다.

1. 서론

고전압/고용량을 요구하는 전기자동차(EV:electric vehicle) 및 에너지 저장장치(ESS:energy storage system)의 효율적 운영을 위해서는 배터리 관리시스템(BMS:battery management system)이 필요하며, 특히 배터리의 충전상태를 정확히 체크하여 과충전 및 과방전을 방지하는 SOC 추정알고리즘 구축이 반드시 요구된다. SOC 추정알고리즘은 배터리의 실제 측정전압과 전기적 등가회로 모델 기반 추정전압과의 차이를 줄여나가는 방향으로 설계된다. 이 때, 측정전압에 노이즈가 포함될 경우 SOC 추정알고리즘의 정확성이 저하될 수 있으므로 이산 웨이블릿 변환(DWT:discrete wavelet transform)[1]을 적용한 디노이징(denoising) 기법을 적용하여 노이즈를 제거해야 한다.

노이즈가 포함된 충방전 전압의 디노이징을 위해서는 우선 기존 전압성분을 저주파 전압성분과 고주파 전압성분으로 분해하는 다해상도 분석(MRA:multi resolution analysis)이 요구되며, 이 때 충방전 전압의 형태에 따라 DWT에 사용되는 적절한 모함수(mother wavelet)의 선택이 필수적이다. 그러므로, 본 논문에서는, MRA에 사용되는 모함수에 따른 충방전 전압의 디노이징 성능을 비교 및 분석한다. 이를 위해, 6개의 모함수(dB9, coif3, bior55, rbio55, meyr, sym8)를 고정된 MRA 레벨에서 사용하였다. 특정 모함수에서 각 타입별(예:dB1~dB20) SNR(signal-to-noise ratio)을 구하고, 이 때 최대 SNR을 가지는 타입을 대푯값으로 정하여 모함수에 따른 디노이징 성능을 비교한다. 디노이징 기법인 하드 임계화(hard-thresholding) 및 소프트 임계화(soft-thresholding) 기법 적용에 따른 각 모함수별 디노이징 성능을 비교하여 각 기법에 맞는 최적 모함수를 선택한다. 본 논문에서의 모든 충방전 실험은 직병렬조합 배터리(LiCoO₂) 원통형팩(2S3P)을 이용하였다.

2. 이산 웨이블릿 변환 기반 노이즈 제거 원리

$$W^f(j, k) = \langle x(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t - k2^j}{2^j} \right) dt \quad (1)$$

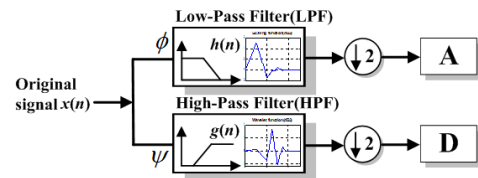


그림 1 웨이블릿 변환 필터링 과정

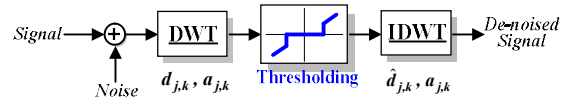


그림 2 DWT 기반 디노이징(denoising) 기법

비정상신호(non-stationary)의 시간-주파수의 효율적 분석을 위한 DWT는 식(1)에서 보듯이, 스케일에 따라 크기가 변화되는 모함수 $\psi(t)$ 를 사용한다. 그림 1의 웨이블릿 변환 필터링 과정을 적용한 MRA를 통해 저역통과필터 $h(n)$ 과 고역통과필터 $g(n)$ 를 사용하여 근사성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해한다. 이를 토대로 그림 2의 DWT 기반 디노이징을 수행할 수 있다. 디노이징 원리는 변환에 의해 구해지는 웨이블릿 계수 중에서 노이즈에 해당하는 고주파 계수들을 적절한 임계(threshold)에 의해 제거 및 축소하는 원리이다. 대표적인 기법은, 하드 임계화(hard-thresholding) 및 소프트 임계화(soft-thresholding)이며 고주파의 상세계수 $d_{j,k}$ 를 임계값의 절대값과 비교하고 그 결과에 따라 보정된 고주파의 상세계수를 적용한다.

3. 모함수에 따른 디노이징 성능 비교 분석

3.1. MRA 고정레벨 시 모함수별 타입(order) 선택

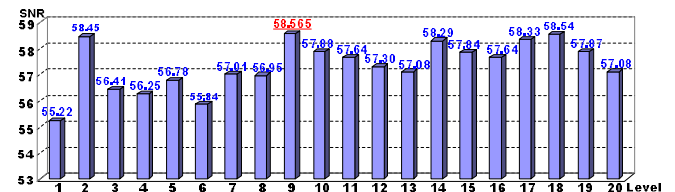


그림 3 Daubechies 웨이블릿 타입(order)별 SNR(레벨5, 소프트 임계화)

각 모함수별 최적 타입(order)를 결정하기 위하여 MRA 고정레벨(5)에서 Daubechies 웨이블릿을 모함수로 사용하여 소프트 임계화 기법을 적용한 디노이징을 수행하였다. 그림 3을 통

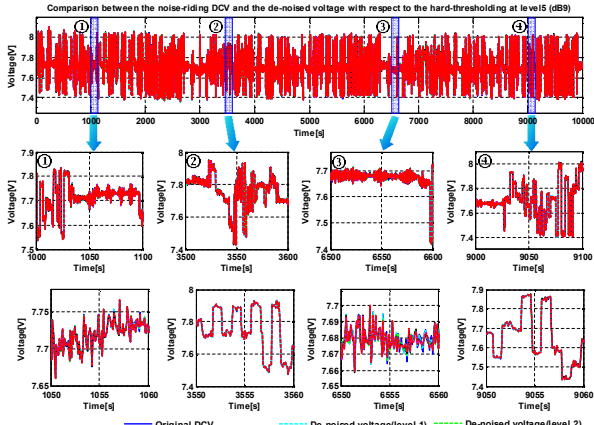


그림 4 Daubechies (dB9) 적용 시 디노이징(레벨5, 하드 임계화)

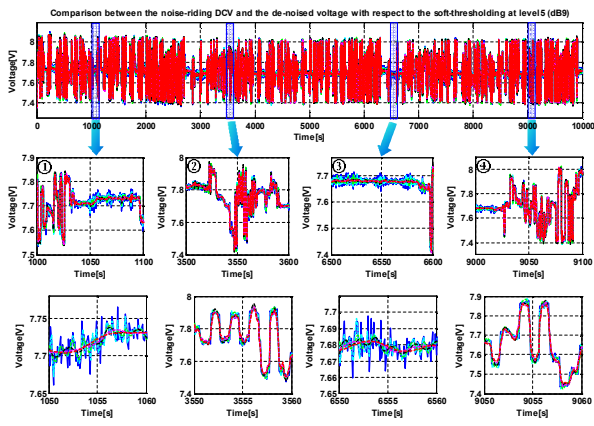


그림 5 Daubechies (dB9) 적용 시 디노이징(레벨5, 소프트 임계화)

해 dB9에서 최대 SNR을 가짐을 확인할 수 있다. 그러므로, 본 논문에서 Daubechies 웨이블릿 모함수의 대푯값을 dB9로 결정하였다. 동일한 방법을 적용하여 5개의 모함수(coif3, bior55, rbio55, meyr, sym8)를 추가로 확장하였다. 그림 4와 5는 dB9를 이용한 MRA 기반 하드 임계화 및 소프트 임계화 기법의 디노이징 결과를 나타낸다.

3.2. 모함수별 디노이징 성능 비교 분석

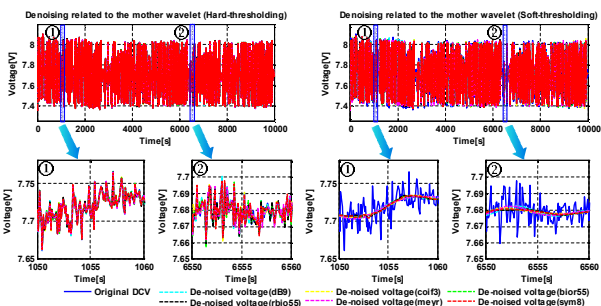


그림 6 모함수별 두 임계화 기법에 따른 디노이징 성능 비교

최종 선택된 6개의 모함수를 이용하여 MRA를 적용하고 두 임계화 기법에 따라 디노이징 성능을 비교 분석하였다. 그림 6은 6개의 모함수를 MRA에 적용 시 두 임계화 기법에 따른 디노이징 성능을 비교 분석하였다. 우선, 소프트 임계화 기법을 고려한 디노이징 성능이 하드 임계화 기법보다 우수함을 볼 수 있다. 그러나, 육안으로 모함수에 따른 디노이징 성능차이를 자세히 볼 수 없으므로, 각 모함수별 기법에 따른 SNR을 구하였고 이를 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 통해 하드 임계화의

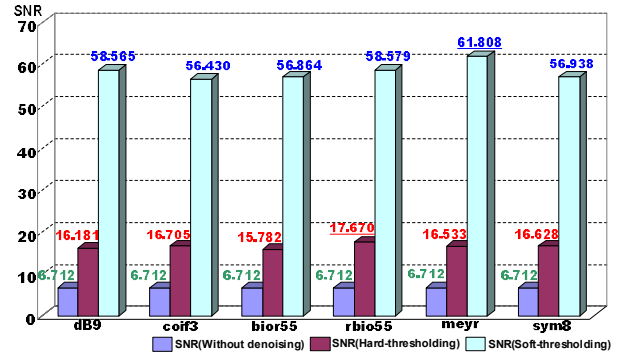


그림 7 모함수별 임계화 기법(hard & soft)에 따른 SNR

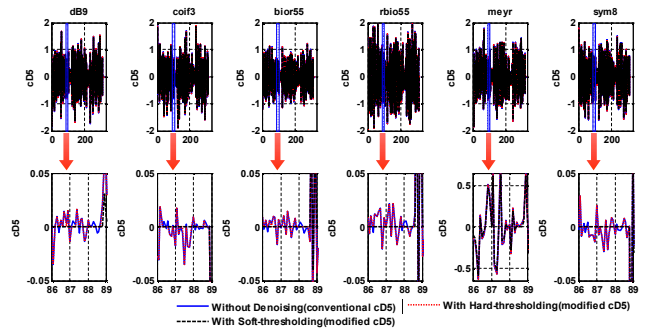


그림 8 각 모함수별 고주파 계수 보정

경우 모함수 rbio55, 소프트 임계화의 경우 meyr 적용 시 최대 SNR을 얻을 수 있다. 그림 8은 각 모함수별 디노이징 수행을 위한 고주파 계수 보정을 나타낸다. 각 기법별 고주파 계수 보정은 식 (2)-(3) 및 그림 9를 따른다.

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} d_{j,k} & |d_{j,k}| \geq \text{threshold value } \delta^T \\ 0 & |d_{j,k}| < \text{threshold value } \delta^T \end{cases} \quad (2)$$

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(d_{j,k})(|d_{j,k}| - \delta^T) & |d_{j,k}| \geq \text{threshold value } \delta^T \\ 0 & |d_{j,k}| < \text{threshold value } \delta^T \end{cases} \quad (3)$$

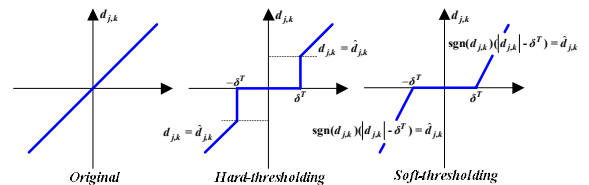


그림 9 임계화 기법(Original, Hard-, Soft-thresholding)

4. 결론

본 논문에서는, 노이즈가 포함된 충방전 전압의 디노이징을 구현할 때, 모함수에 따른 디노이징 성능을 비교 및 분석한다. 각 모함수별 임계화 기법에 따른 SNR을 비교하여 최적의 디노이징 성능을 갖는 모함수를 선택할 수 있다.

이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066713)

참고 문헌

[1] J. Kim, G.-S. Seo, B. H. Cho, W. Kim, J. Park, and T. Ishikawa, "Discrete Wavelet Transform-Based Characteristic Analysis and SOH Diagnosis for a Li-Ion Cell," in Proc. IEEE Int. Power Electronics and Motion Conference, Haerbin, China, Jun. 2012.