

이산 웨이블릿 변환(DWT)의 디노이징 최적 성능을 위한 다해상도 분석의 레벨 선택 연구

황주영, 김종훈
조선대학교 전기공학과

Level Selection of the Multi-Resolution Analysis(MRA) for Optimum Denoising Performance of the Discrete Wavelet Transform(DWT)

J. Y. Whang, J. H. Kim

Department of Electrical Engineering, Chosun University

ABSTRACT

배터리 관리시스템(BMS;battery management system)의 중요 고려요소인 SOC(state-of-charge) 및 SOH(state-of-health)의 전기적 등가회로 모델 기반 고성능 추정의 전제 조건은 배터리 단자전압의 안정된 실험데이터 확보이다. 그러나, 예상치 않은 에러로 인해 배터리 단자전압에 노이즈 성분이 포함될 경우 SOC 및 SOH 추정알고리즘의 성능저하가 우려된다. 이를 위해, 본 논문은 이산 웨이블릿 변환(DWT;discrete wavelet transform)의 다해상도 분석(MRA;multi resolution analysis) 레벨에 따른 디노이징 최적 성능을 소개하고자 한다. 하드 임계화(hard-thresholding) 및 소프트 임계화(soft-thresholding) 기법에 따른 디노이징 성능 차이를 보이고, 각 임계화 기법 적용 시 디노이징 최적 성능을 보이는 레벨을 선택한다.

1. 서 론

리튬이온 및 리튬폴리머 배터리의 안정적인고 효율적인 운용을 위해서는 배터리 관리시스템(BMS;battery management system)의 구축이 필수적이다. 특히, SOC(state-of-charge) 및 SOH(state-of-health)는 리튬배터리의 충전상태 및 수명상태를 실시간적으로 모니터링하기 위한 BMS의 중요요소이다.

대표적인 SOC 및 SOH 추정알고리즘은 전기적 등가회로 모델 기반의 적응제어(adaptive) 방법(칼만필터, 슬라이딩모드 제어)으로서, 모델을 통해 추정된 배터리의 단자전압과 실제 측정된 단자전압을 비교하여 이를 줄여나가는 방향으로 알고리즘을 구성한다. 하지만, 충방전 시 예상치 않은 에러로 인해 배터리의 실제 측정 단자전압에 노이즈가 포함될 경우 이로 인한 SOC 및 SOH 추정알고리즘의 성능저하를 야기할 수 있다. 그러므로, 이산 웨이블릿 변환(DWT;discrete wavelet transform)의 디노이징(denoising)기법을 통해 노이즈가 제거된 배터리의 단자전압이 추정알고리즘에 적용되어야 한다. 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환의 다해상도 분석(MRA;multi resolution analysis) 레벨에 따른 디노이징 최적 성능을 새로이 제한한다. 하드 임계화(hard-thresholding) 및 소프트 임계화(soft-thresholding) 기법에 따른 디노이징 성능 차이를 보이고, 각 임계화 기법 적용 시 디노이징 최적 성능을 보이는 레벨을 선택한다.

2. DWT 디노이징(denoising) 기법

2.1. DWT 기본 원리

정상신호의 분석을 위한 푸리에 변환과 달리 이산 웨이블릿 변환[1]는 비정상신호의 시간-주파수 분석을 위한 방법이다(1).

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

이 때, 2^j 는 크기를 결정하는 압축계수, $k2^j$ 는 시간 축으로의 이동에 관계되는 전이계수로서 스케일에 따라 크기가 변화하는 모함수(mother wavelet) $\psi(t)$ 를 이용한다. 이산 웨이블릿 변환은 직교 기저함수 사용에 따른 중복성을 억제하며, 다해상도 분석을 통해 효율적인 계산을 수행한다. 원래의 이산신호 $x(n)$ 은 다해상도 분석을 통해 주파수가 다른 여러개의 부대역으로 분해되고 이를 복원하는 시스템으로 되어 있으며 저역통과필터 $h(n)$ 과 고역통과필터 $g(n)$ 을 사용하여 근사성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해한다. 분해 및 합성 시 데이터의 양이 증가 및 감소하므로 이를 해결하기 위해 다운샘플링(down-sampling)과 업샘플링(up-sampling)을 각각 수행한다. 모함수는 Daubechies 웨이블릿을 사용하며, 스케일 함수 $\phi(t)$ 와 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 는 식(2)와 같다. 그림 1은 웨이블릿 변환 필터링을 적용한 필터 뱅크(filter bank)를 나타낸다.

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2t-n) \quad \psi(t) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \psi(2t-n) \quad (2)$$

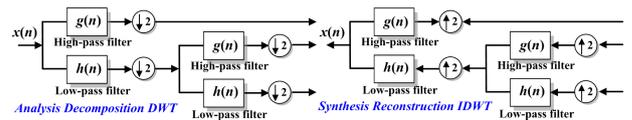


그림 1 필터 뱅크 시스템

2.2. DWT 디노이징(denoising)

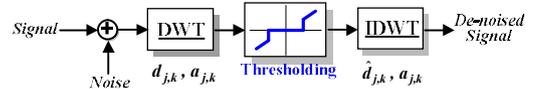


그림 2 디노이징(denoising) 기법

그림 2는 이산 웨이블릿 변환의 디노이징 기법을 나타낸다. 이산 웨이블릿 변환 기반 노이즈 제거는 변환에 의해 구해지는 웨이블릿 계수 중에서 노이즈에 해당하는 고주파 계수들을 적절한 임계(threshold)에 의해 제거 및 축소하는 원리이다. 본 논문에서는 충방전 전압을 비정상신호로 고려하고 전압에 포함되는 노이즈를 비정상 가우시안 성분으로 고려하여 노이즈 제거를 실시하였다. 대표적인 임계화 기법은 하드 임계화(hard-thresholding)와 소프트 임계화(soft-thresholding)기법이며, 이를 그림 3과 식(3)-(4)에 나타내었다. 고주파의 상세계수 $d_{j,k}$ 를 임계값의 절대값과 비교하고 그 결과에 따라 보정된 고주파의 상세계수를 적용한다.

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

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(d_{j,k})(|d_{j,k}| - \delta^T) & |d_{j,k}| \geq \text{threshold value } \delta^T \\ 0 & |d_{j,k}| < \text{threshold value } \delta^T \end{cases} \quad (4)$$

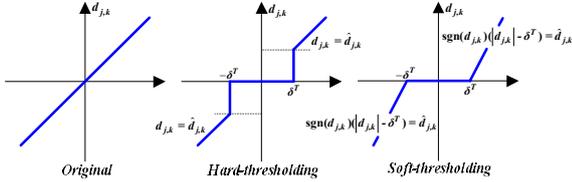


그림 3 임계화 기법(Original, Hard-, Soft-thresholding)

3. DWT 디노이징(denoising) 레벨 선택

실제 주행용 전류프로파일을 스케일 축소 후 배터리팩에 적용하되 임의로 에러를 적용하여 노이즈가 포함된 증방전 전압 확보하였다. Daubechies 웨이블릿을 모함수로 사용하는 MRA를 통해 저주파와 전압성분과 고주파와 전압성분으로 분해하고, 이때 노이즈와 연관된 고주파 상세 계수 $d_{j,k}$ 의 조정을 실시한다.

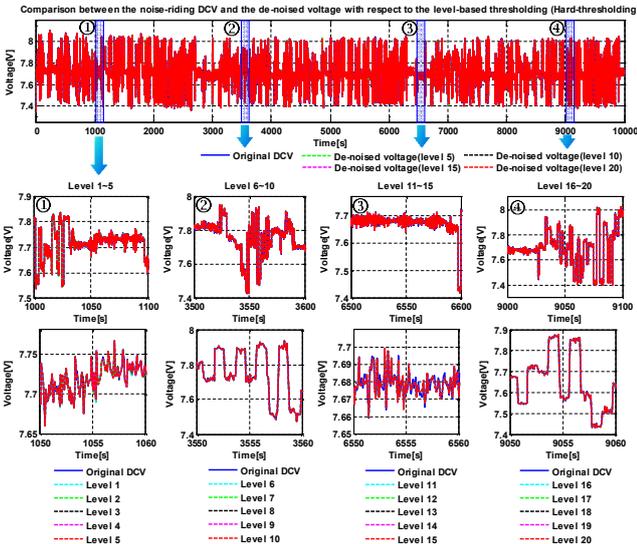


그림 4 하드 임계화 기법을 적용한 증방전 전압의 디노이징(20레벨)

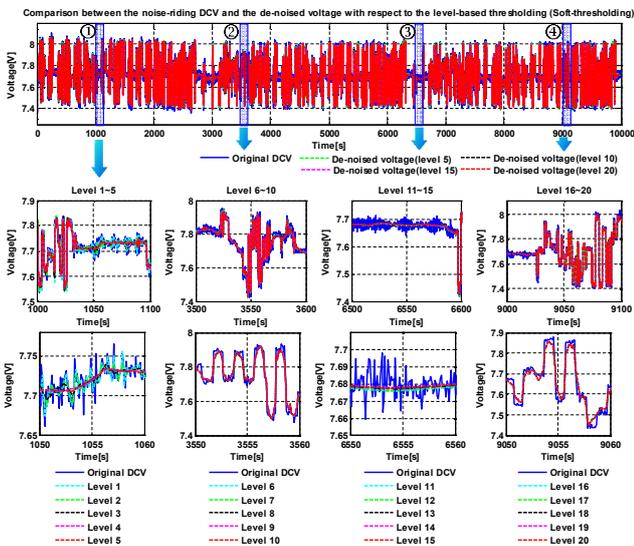


그림 5 소프트 임계화 기법을 증방전 전압의 디노이징(20레벨)

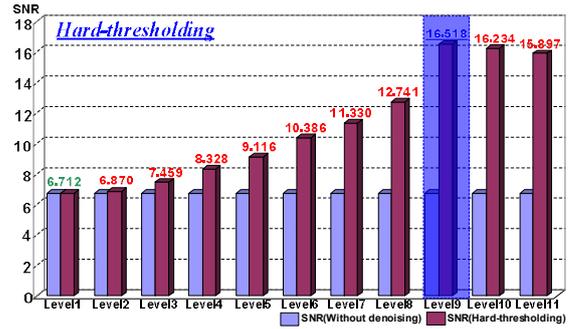


그림 6 하드 임계화 기법 시 MRA 레벨 별 SNR (Level 9)

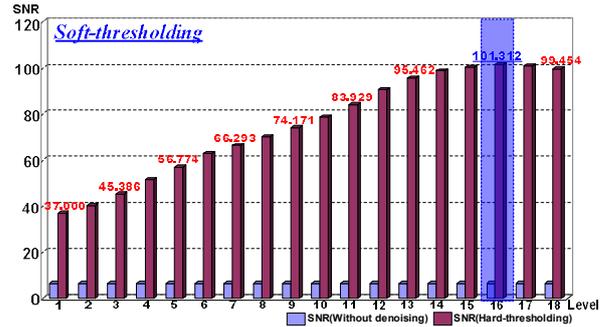


그림 7 소프트 임계화 기법 시 MRA 레벨 별 SNR (Level 16)

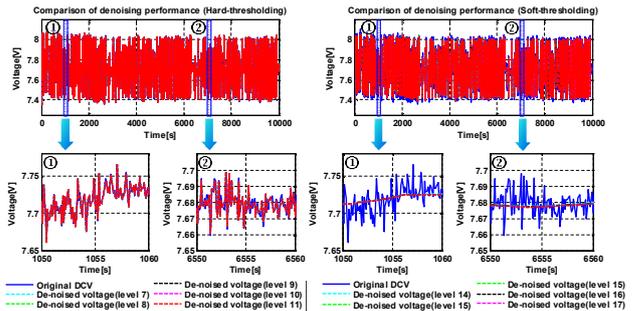


그림 8 하드 및 소프트 임계화 기법 시 MRA 최적 레벨

그림 4와 그림 5는 MRA의 20개 레벨을 고려 시 하드 및 소프트 임계화 기법을 적용한 증방전 전압의 디노이징을 나타낸다(하드 임계화 $\delta^T=0.005783$, 소프트 임계화 $\delta^T=0.041144$). 우선 소프트 임계화 기법 적용 시 디노이징 효과가 우수함을 알 수 있다. 추가로, 각 기법 별, MRA 레벨에 따른 디노이징을 비교하기 위하여 SNR(signal-to-noise ratio)을 측정하였고 이를 그림 6과 7에 나타내었다. 하드 및 소프트 임계화 기법 적용 시, 레벨 9와 16에서 각각 최대 SNR을 가지며, 레벨 9 및 16 이상 일수록 SNR이 오히려 작아짐을 확인할 수 있다. 이를 통해, 각 임계화 기법 별 MRA의 디노이징 최적 성능을 위한 레벨이 쉽게 결정된다(그림 8 참고).

4. 결론

본 논문은 이산 웨이블릿 변환의 MRA 레벨에 따른 디노이징 최적 성능을 소개하였다.

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.