

이산 웨이블릿 변환의 디노이징 기법을 적용한 이차전지 SOC 추정알고리즘 구현

김중훈
조선대학교 전기공학과

Implementation of State-of-charge(SOC) Estimation using Denoising Technique based on the Discrete Wavelet Transform(DWT)

J. H. Kim

Department of Electrical Engineering, Chosun University

ABSTRACT

높은 SOC(state of charge) 추정알고리즘의 성능을 위해서는 측정된 배터리 단자전압의 정확도가 요구된다. 그렇지만, 예기치 않은 에러로 인해 단자전압에 노이즈 성분이 추가될 경우 SOC 추정성능의 저하를 피할 수 없다. 그러므로, 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(DWT;discrete wavelet transform)의 다해상도 분석(MRA;multi resolution analysis)의 디노이징(denoising)기법을 적용한 이차전지의 SOC 추정방법을 소개한다. MRA의 시간 주파수 분석을 통해 분해(decomposition)된 저주파 성분(approximation; A_n)과 고주파 성분(detail; D_n)중 노이즈에 관계된 D_n 의 고주파 상세 계수(detail coefficient) $d_{j,k}$ 를 새로이 조정하고 이를 합성(synthesis)하여 디노이징을 마무리한다. 확장 칼만필터(EKF;extended Kalman filter)의 비교 분석을 통해 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

1. 서론

리튬이차전지 배터리 관리시스템(BMS;battery management system)에서 SOC는 이차전지 내부의 충전상태를 주기적으로 모니터링 하여 이차전지의 과충전 및 과방전을 방지하고 수명 보장을 위해 없어서는 안 될 중요요소이다. 현재, 전기적 등가 회로 모델링을 바탕으로 칼만필터와 슬라이딩 모드 제어 방법 등의 적응제어 방법이 광범위하게 연구되고 있다. 적응제어를 이용한 SOC 추정알고리즘의 고성능을 위해서는 측정된 단자전압 데이터의 정확도가 요구된다. 그렇지만, 예기치 않은 에러로 인해 노이즈가 추가된 단자전압이 SOC 추정알고리즘에 적용되어 추정성능의 저하를 피할 수 없다. 그러므로, 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환 DWT의 디노이징 기법을 적용한 새로운 방법을 소개한다. MRA를 통해 시간 주파수 분석을 수행시, 노이즈 성분은 급격하게 변하는 성분으로서 고주파 전압 성분으로 고려될 수 있다. 이 때, 고주파 성분의 상세 계수를 새로이 조정하여 분해된 신호를 원래의 신호로 되돌리기 위한 합성과정을 수행할 때, 조정된 상세 계수를 사용함으로써 디노이징을 마무리 한다. 제안된 방법은 확장 칼만필터 기반 SOC 추정알고리즘을 적용하여 검증하였다.

2. DWT 기본원리 및 디노이징 기법

2.1. DWT 기본원리

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

대표적인 비정상신호의 시간 주파수 분석인 이산 웨이블릿 변환[1]은 식(1)로 표현된다. 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. 원이산신호 $x(n)$ 는 다해상도 분석을 통해 주파수가 다른 여러 개의 부대역으로 분해되고 이를 복원하는 시스템으로 되어 있으며 저역통과필터 $h(n)$ 와 고역통과필터 $g(n)$ 를 사용하여 근사 성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해한다. 분해 및 합성 시 데이터의 양이 증가 및 감소하므로 다운샘플링(down sampling)과 업샘플링(up sampling)을 각각 수행한다. 모함수는 Daubechies 웨이블릿(dB)을 사용하며 스케일 함수 $\phi(t)$ 와 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 는 식(2)와 같다. 그림 1은 웨이블릿 변환 필터링 과정, 그림 2는 필터 뱅크(filter bank)를 각각 나타낸다.

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

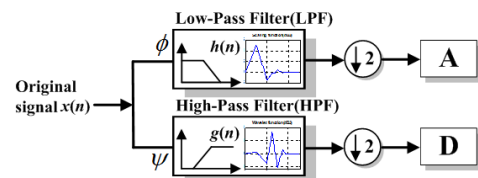


그림 1 웨이블릿 변환 필터링 과정

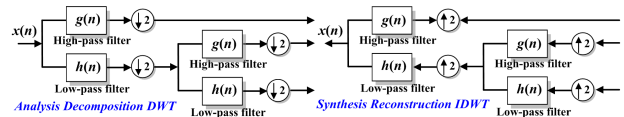


그림 2 필터 뱅크 시스템

2.2. DWT를 이용한 디노이징(denoising) 기법

이산 웨이블릿 변환 기반 노이즈 제거는 변환에 의해 구해지는 웨이블릿 계수 중에서 노이즈에 해당하는 계수들을 적절한 임계값(threshold)에 의해 제거 및 축소하는 원리이다. 충전전 전압을 비정상 신호로 고려하고 전압에 포함되는 노이즈를 비정상 가우시안 성분으로 고려하여 노이즈 제거를 실시하였다. 임계값이 결정된 후 고주파의 상세 계수 $d_{j,k}$ 를 임계값의 절대값과 비교할 때, 임계값보다 큰 경우 기존의 상세 계수 그대로를 사용하며, 작은 경우 상세 계수로서 0을 사용한다. 이를 하드 임계화(hard threshold)으로 정의한다.

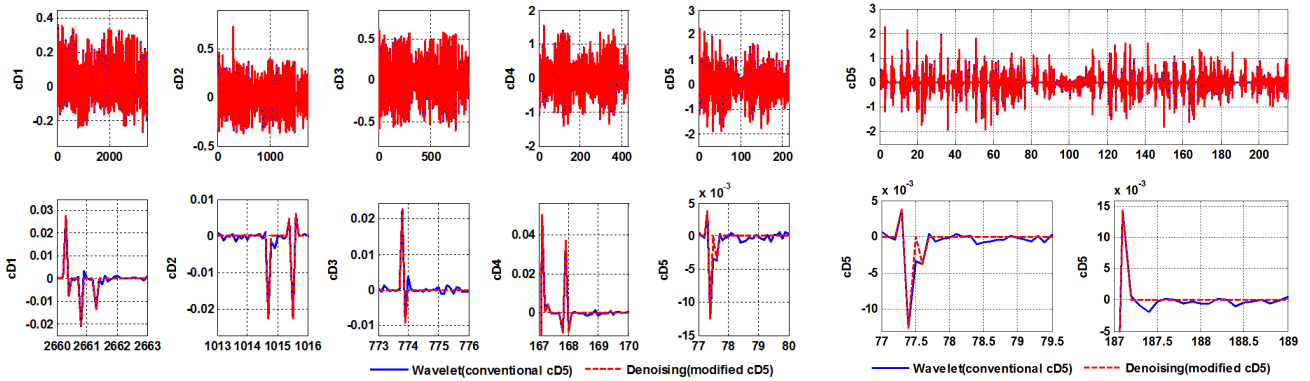
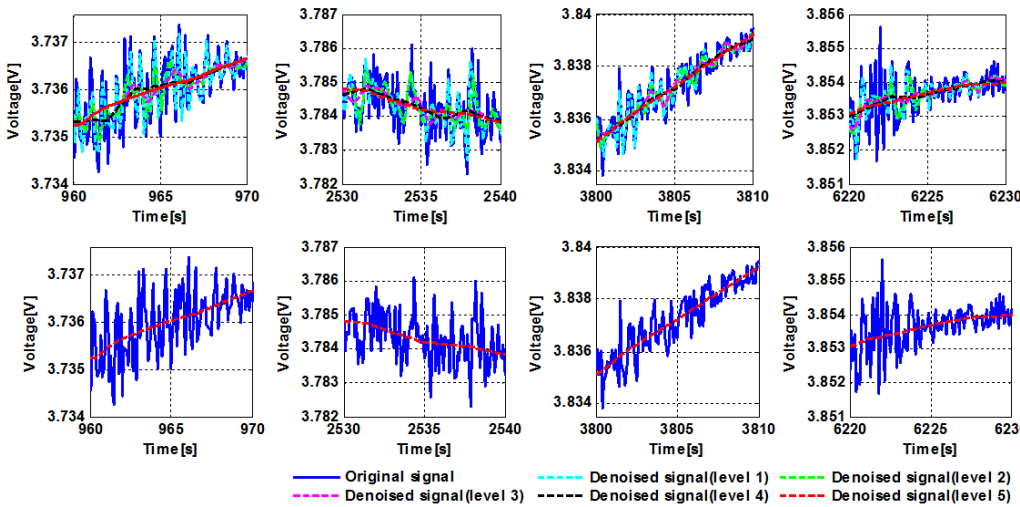
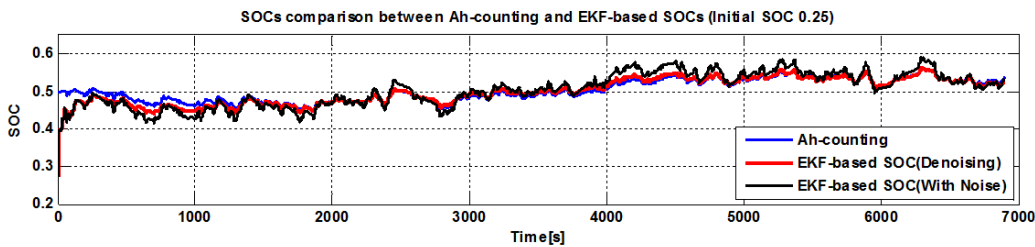


그림 3 고주파 전압 성분 계수 $c_{D1} \sim c_{D5}$ 의 하드임계화



← 그림 4
기준 원신호 대비 각 레벨(1-5)별 디노이징된 전압성분

↓ 그림 5
확장 칼만필터 기반 SOC 추정알고리즘 검증결과 (알고리즘 초기값 0.25)



3. 제안된 방법

실제 주행용 충방전 전류프로파일을 스케일 다운하여 이차전지에 적용하고 충방전 전압을 확보하였다. 이 때, 예기치 않은 에러로 인해 노이즈 발생 시 이의 제거를 위한 디노이징 기법이 요구된다. 다해상도 분석을 통해 분해된 저주파 전압성분과 고주파 전압성분 중 노이즈에 관계된 고주파 상세 계수 d_{jk} 의 조정이 불가피하다. 그림 3은 고주파 상세 계수 $c_{D1} \sim c_{D5}$ 의 하드 임계화를 나타낸다. 특정 임계값 설정 시, 임계값보다 큰 경우 디노이징 이전의 고주파 상세 계수 그대로를 사용하며, 작은 경우 0을 사용한다. 기존 다해상도 분석을 통해 분해되었던 저주파 전압성분과 고주파 전압성분은 합성과정을 통해 다시 원래의 신호로 복원되며, 이 때, 조정된 고주파 상세 계수를 복원과정에 사용하여 디노이징을 마무리한다. 그림 4는 기준 원신호인 기준 원신호인 충방전 전압 대비 디노이징된 충방전 전압성분을 나타내었다. 실험 결과, 5단계에서의 디노이징을 통한 노이즈 제거 성능이 가장 우수함을 보인다. 참고로, 신호의 샘플링 주파수에 따라 분해 5단계 및 이의 다해상도 분석이 수행되었으며, 5단계에서 디노이징 성능이 가장 우수함은 당연한

결과이다.

제안된 방법의 검증을 위해 디노이징 유무에 따른 확장 칼만 필터 기반 SOC 추정알고리즘의 결과를 그림 5에 나타내었다. 디노이징을 적용한 배터리 단자전압을 추정알고리즘에 적용하였을 때, 전류적산법 대비 추정성능이 우수함을 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 DWT 다해상도 분석의 디노이징 기법을 적용한 이차전지의 SOC 추정방법을 소개하였다. 확장 칼만 필터의 비교 분석을 통해 제안된 방법의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 조선대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

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.