

이차전지의 이산 웨이블릿 변환(DWT) 및 웨이블릿 패킷 변환(WPT) 비교 분석

김중훈
조선대학교 전기공학과

A Comparative Study of Discrete Wavelet Transform(DWT) and Wavelet Packet Transform(WPT) for a Li-Ion Cell

J. H. Kim

Department of Electrical Engineering, Chosun University

ABSTRACT

본 논문에서는 이차전지의 특성비교/분석을 위해 이산 웨이블릿 변환(DWT; discrete wavelet transform)과 웨이블릿 패킷 변환(WPT; wavelet packet transform)을 적용한 연구를 소개한다. 다해상도 분석(MRA; multi resolution analysis)의 시간 주파수 분석을 통해 저주파 성분(approximation; A_n)과 고주파 성분(detail; D_n)로 분해되는 것은 두 방법 동일하다. 하지만, 이산 웨이블릿 변환이 단순히 저대역 부분만 계속 분해하는 것과 달리 웨이블릿 패킷 변환은 저대역과 고대역을 모두 분해하여 높은 분해성능을 가지는 웨이블릿의 일반화이다. 웨이블릿 패킷 변환을 자세히 소개하고 이를 이차전지에 적용하여 이산 웨이블릿 변환과의 상관성을 정리하였다.

1. 서론

리튬이차전지의 정확한 전기화학적 특성분석을 위해서는 충방전 전류프로파일에 따른 충방전 전압데이터의 체계적인 분석이 요구된다. 기존 등가회로 모델 파라미터의 측정방법은 이차전지의 특정 운용영역에서 펄스전류에 따른 전압의 변화를 확인하는 방법으로서 이차전지 전 운용영역에 있어 전기화학적 특성 파악이 불가능하다. 따라서, 이산 웨이블릿 변환(DWT) 기반 충방전 전압데이터를 이용한 이차전지의 전기화학적 특성분석 관련 연구[1]를 진행하였다. 그러나, 다해상도 분석에 따른 저주파 영역의 분해(decomposition)만 진행되어 고주파 영역에서의 전기화학적 특성분석이 추가적으로 요구된다. 더불어, 이차전지의 스크리닝 및 SOC/SOH 추정알고리즘의 정확도를 높이기 위해서는 전 대역의 다해상도 분석이 요구된다. 본 논문에서는 DWT와 WPT를 이용한 이차전지의 특성비교 및 분석을 실시하였다. WPT는 DWT의 일반적인 형태로서, DWT가 단순히 저대역 부분만 계속 분해하는 것과 달리 WPT는 저대역과 고대역을 모두 분해하여 높은 분해성능을 가진다. 전 영역을 분석함으로써 이차전지의 체계적인 전기화학적 특성분석이 가능하며, 이를 통해 스크리닝 및 SOC/SOH 추정알고리즘을 위한 이차전지 BMS의 중요데이터로 활용할 수 있다.

2. 웨이블릿 패킷 변환(WPT)의 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 변환은 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) 를 이용한다. 원 이산신호는 다해상도 분석의 다운샘플링(down sampling)을 통해 주파수가 다른 여러 개의 부대역으로 분해되고, 업샘플링(up sampling)을 통해 원이산신호로 합성(synthesis)된다. 그림 1은 웨이블릿 변환 필터링 과정을 나타낸다. 저역통과필터 $h(n)$ 와 고역통과필터 $g(n)$ 을 사용하여 근사성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해한다. 이 때, 사용된 스케일 함수 $\phi(t)$ 와 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 는 식(2)와 같다.

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

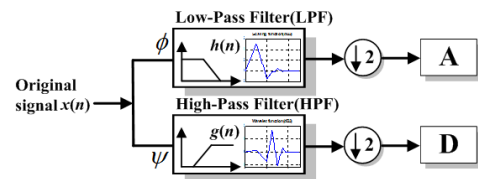


그림 1 웨이블릿 변환 필터링 과정

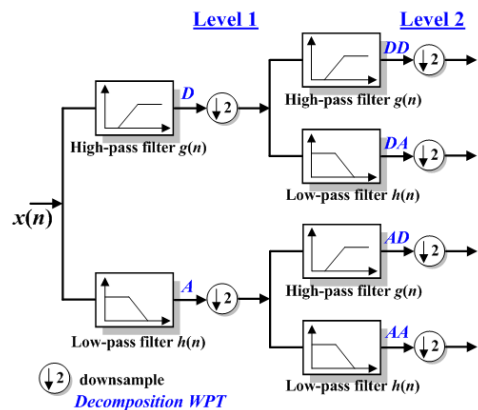


그림 2 웨이블릿 패킷 변환 필터 बैं크 시스템

이산 웨이블릿 변환이 저대역 부분만 계속 분할해 나가는 것과 달리, 웨이블릿 패킷 변환은 다해상도 분석 방법을 더욱 일반화한 방법으로서 이산 웨이블릿 변환보다 더 높은 분해성능을 가진다. 웨이블릿 패킷 함수는 식(3)으로 표현된다.

$$W_{j,k}^n(t) = 2^{\frac{j}{2}} W^n(2^j t - k) \quad (3)$$

스케일 함수 $W_{0,0}^0(t) = \phi(t)$, 웨이블릿 함수 $W_{1,0}^1(t) = \psi(t)$ 라 하면, 웨이블릿 함수 $W_{2^n,0}^{2^n}(t)$ 와 $W_{2^{n+1},0}^{2^{n+1}}(t)$ 는 각각 식 (4)와 (5)이다.

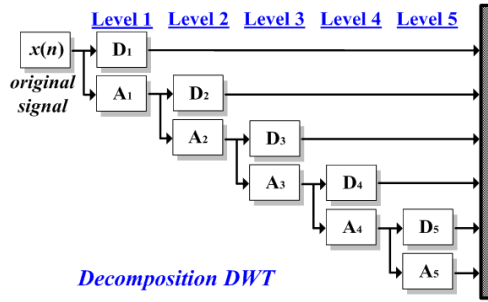


그림 3 5단계 다해상도 분석의 필터 뱅크(DWT)

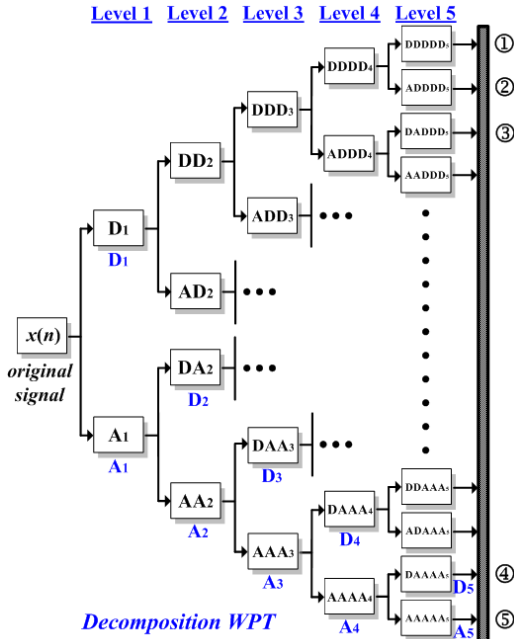


그림 4 5단계 다해상도 분석의 필터 뱅크(WPT)

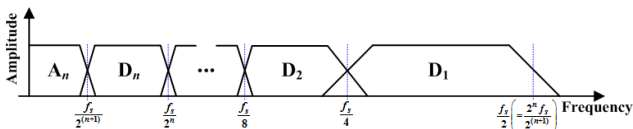


그림 5 이산 웨이블릿 변환(DWT)의 스펙트럼 분리

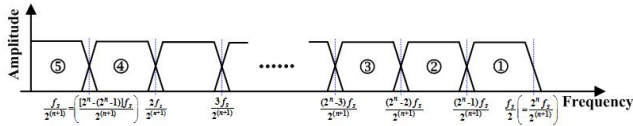


그림 6 웨이블릿 패킷 변환(WPT)의 스펙트럼 분리

$$W_{0,0}^{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k) W_{1,k}^n(2t-k) \quad (4)$$

$$W_{0,0}^{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k) W_{1,k}^n(2t-k) \quad (5)$$

그림 3과 4는 다해상도 분석 5단계 시 이산 웨이블릿 변환과 웨이블릿 패킷 변환의 필터 뱅크를 각각 나타내었다. 웨이블릿 패킷 변환의 경우 전 대역에 걸쳐 분해가 진행됨을 확인할 수 있으며 웨이블릿 패킷 변환의 저대역 부분의 분해는 이산 웨이블릿 변환과 동일함을 확인할 수 있다. 그림 5와 6은 두 변환의 스펙트럼 분리를 나타내었다. 이산 웨이블릿 변환과 달리 웨이블릿 패킷 변환의 경우 동일 크기의 주파수 대역을 가짐을 확인할 수 있다.

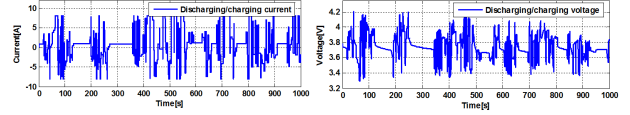


그림 7 이차전지의 충방전 전류 및 전압데이터

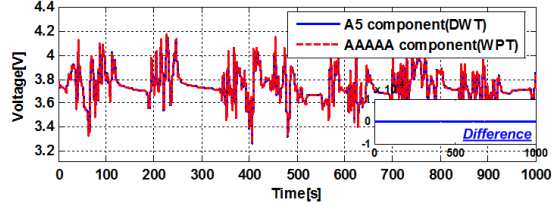
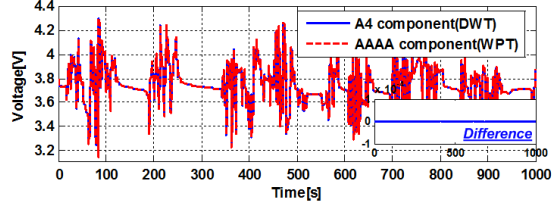
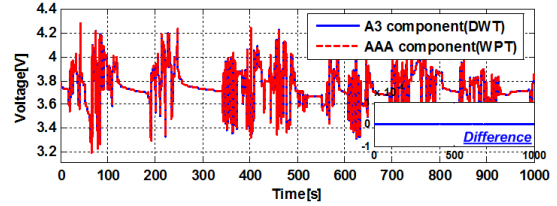
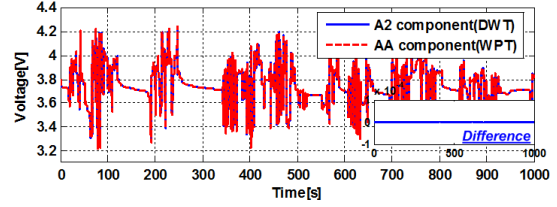


그림 8 DWT 및 WPT 비교분석

3. DWT 및 WPT 비교분석

실제 주행용 충방전 전류프로파일을 스케일 다운한 뒤 이를 이차전지에 적용하여 충방전 전압데이터(그림 7)를 확보 후 이산 웨이블릿 변환과 웨이블릿 패킷 변환의 다해상도 분석을 실시하였다. 웨이블릿 패킷 변환은 이산 웨이블릿 변환의 일반화로서 그림 8을 통해 웨이블릿 패킷 변환의 저주파 대역 분해는 이산 웨이블릿 변환과 동일함을 확인할 수 있다(차이 0). 고주파 대역 분해도 수행함으로써 높은 분해성능을 갖는다.

4. 결론

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환과 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 이차전지의 특성비교 및 분석을 실시하였다. 이를 통해 체계적인 전기화학적 특성분석이 가능하며, 스크리닝 및 추정 알고리즘을 위한 BMS의 중요데이터로 활용할 수 있다.

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.