

전력품질 왜곡 신호 압축에 관한 연구

정영식, 박찬웅
인천대학교 전기공학과

A Study of Data Compression of Power Quality Disturbance Signal

Young-Sik Chung, Chan-Woong Park
University of Incheon, Dept. of Electrical Engineering

Abstract - This paper introduces a compression algorithm for power quality disturbance signal via the discrete wavelet transform, DWT. Fundamental signal or stationary signal is estimated and then subtracted from a given signal to obtain a difference signal or nonstationary signal. DWT is applied to a difference signal to get coefficients that are thresholded to reduce a number of coefficients. Simulation results show the reasonable compression ratio while keep low signal distortion.

1. 서 론

전력품질 문제는 민감한 전자 장비들의 보급이 확대됨에 따라 근래에 전력공급자와 소비자 모두에게 관심이 고조되고 있다. 과거와 달리 전기품질의 저하로 인한 기기의 자동작이나 일시적인 정지 등은 사회·경제적 활동에 엄청난 손실을 발생시키므로 양질의 전기품질에 대한 소비자의 욕구가 점차 증가하고 있다. 소비자는 전력품질 문제로 인한 피해를 최소화하기 위해 적절한 보상 기기를 설치하는 등 전력 품질을 개선하기 위한 조치를 취하게 된다. 전력공급자는 전력 산업의 구조개편에 따라 공급 전력의 품질이 전력 공급 회사를 평가하는 중요한 기준으로 사용됨에 따라 전력품질 오염의 원인 파악과 책임규명을 중요시하게 되었다. 이에 따라, 전력 품질을 개선시키려는 노력과 더불어 이를 감시할 수 있는 시스템의 개발의 필요성이 요구된다. 전력 소비자 측에 발생한 경제적 손실이나 전력계통 장비에서 발생한 어떤 전기적 장애에 대한 기록데이터로부터 장애요인을 분석하는데 사용되며, 일반적으로 사고 발생 후 분석이 이루어진다. 따라서 중앙 모니터 센터에 신호들을 전송하고, 추후 분석을 하기 위해서는 데이터를 저장할 필요가 있다. 디지털 장애기록기(digital fault recorder, DFR)은 전력시스템의 주요 위치에 연결되어 전압 및 전류를 모니터링하여 장애가 발생하면 기록 저장하여 데이터를 통신채널을 통해 중앙에 전송된다. 이때 기록 또는 전송되는 데이터는 압축기법을 사용하여 데이터양을 현저히 줄여서 처리한다. 메모리양과 비용을 고려할 때 DFR을 사용한 데이터 기록 시간은 제한 될 수밖에 없으며, 전송되는 데이터 양 역시 제한이 될 수밖에 없다. 따라서 기록 또는 전송되는 데이터양을 효과적으로 감소 또는 압축하는 방법이 중요한 이슈가 되었다. 기존의 전력시스템에서 사용된 데이터 감소기법으로 “wrap-around” 기법과 양자화(quantization) 기법이 있다. Warp-around 기법은 새로운 데이터를 저장할 빈 메모리 공간이 없을 때 가장 오래 저장된 데이터 위에 덧씌우는 방법으로 한정된 메모리 용량을 재활용한다는 점에서 의미가 있다. 양자화 기법은 유사한 파형들을 묶어 하나의 파형으로 취급하여 나타내는 기법이다. 이 두 방법 모두 메모리 공간을 효

율적으로 이용하기 위한 것이지 진정한 데이터 압축이라고는 할 수 없다. 신호의 압축은 음성 및 영상 등 다양한 영역에서 활용되고, 연구되어 왔다. 그러나 과도 장애를 발생시킨 전력신호에 대한 압축은 상대적으로 연구가 활발하게 진행되지 않았으며, 근래에 웨이브렛 변환을 사용한 방법들이 발표되었다. 이산웨이브렛(DWT)는 신호의 특징을 보존하면서 중복(redundancy)되는 부분을 제거함으로써 높은 압축 효과를 얻을 수 있는 전처리 과정으로 데이터 압축에 많이 활용된다. 본 논문에서는 전력품질 왜란 신호에 DWT를 압축 전처리에 적용하여 압축시키는 방법에 대해 제안하며, 다양한 형태의 웨이브렛 모함수가 존재하지만, 이 논문에서는 Daubechies 웨이브렛 모함수를 사용한다.

2. 이산웨이브렛

과도현상 해석, 검출 및 압축에 적용된 웨이브렛 변환의 효과에 대해 많은 연구들이 제시되었으며 좋은 결과들을 보여준다. DWT는 필터뱅크 구현을 통해 실현할 수 있다. 필터뱅크를 이용한 DWT 구현으로 DFR에서 얻은 디지털 신호 $c_j[n]$ 을 두 단계로 분리를 한 것이다. 이와 같은 방법으로 분해한다면, 입력신호는 고주파수 성분과 저주파수 성분을 포함하고 있는 두 신호로 분리되며, 계산이 효율적이고, 고역통과필터의 출력은 신호의 고주파수 성분에 관한 상세정보를 제공한다. 고역통과필터를 $h[n]$ 그리고 저역통과필터를 $g[n]$ 이라하면, 신호 c_j 는 j -번째 레벨에서 얻은 신호이다. 이 신호에 대해서 분해된 두 출력을 다음과 같이 얻는다.

$$c_{j-1}[n] = \sum_k c_j[k]g[2n-k] \tag{1}$$

$$d_{j-1}[n] = \sum_k c_j[k]h[2n-k] \tag{2}$$

$$h[n] = (-1)^n g[n] \tag{3}$$

여기서 첫 번째 단계에서의 $d_{j-1}[n]$ 은 고주파 성분을 갖고 있는 신호이며, $c_{j-1}[n]$ 은 저주파 성분을 갖는 신호로 각각 분리된다. 고주파 성분 $d_{j-1}[n]$ 은 입력신호가 $c_j[n]$ 이 갖고 있는 세부적인 정보를 보여주며 그림 1의 레벨 j -번째 출력에 해당된다. 저주파 성분 $c_{j-1}[n]$ 은 입력 신호의 또 다른 상세정보를 얻기 위해 다시 분리되며, 레벨 $j-1$ 번째의 출력에 해당된다. 이러한 과정을 통해 신호는 다해상도 분해(multiresolution analysis, MRA)가 가능하다. 분해된 신호의 합성은 다음과 같이 이룰 수 있다.

$$c_j[n] = \sum_k c_{j-1}[k]g_1[2n-k] + \sum_k d_{j-1}[k]h_1[2n-k] \quad (4)$$

여기서 $g_1[n]$ 과 $h_1[n]$ 은 합성 필터로 $h[n]$ 및 $g[n]$ 으로부터 얻을 수 있다.

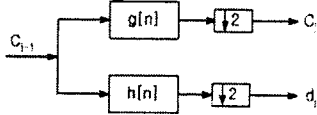


그림 1. DWT j-번째 분해과정.

필터 $g[n]$ 과 $h[n]$ 의 근간을 이루는 모웨이브렛 함수가 정규직교기저(orthonormal basis)인 경우 DWT의 출력은 유일하다. 이 유일성은 음성 및 영상 신호 압축에서 밝혀졌으며, 전력신호 데이터 압축에 활용할 수 있다. 전력신호에 고주파수 성분이 많이 존재한다면 분해 신호 d_j 계수에는 신호의 특성을 나타내는 계수들이 존재하지만 많은 계수들은 0에 가까운 값을 갖거나 매우 작은 값을 갖는다. 이러한 성질을 sparse 표현이라고 하며 전력신호 압축에 활용할 수 있는 유용한 성질이다. 웨이브렛 변환에 활용할 수 있는 모웨이브렛 함수는 많이 있으며, 응용의 성격에 따라 그 결과 역시 다양하다. 전력품질 응용에서 장애 검출, 국부화(localization) 및 분류에 가장 많이 사용되는 웨이브렛은 Daubechies 웨이브렛이다. Daubechies 웨이브렛은 정규직교 웨이브렛이며, 다양한 필터 길이를 사용할 수 있다. 참고문헌 [7]에 의하면 Daub4 필터는 필터 길이가 짧으며, 다른 웨이브렛보다 시간상에서 더 잘 국부화하는 것으로 알려져 있다. 또한 천천히 변화하는 주파수 장애를 갖는 신호는 4번째 레벨까지에서 검출할 수 있다.

3. 데이터 압축

데이터 압축의 목적은 신호가 갖고 있는 중복된 정보를 제거함으로써 신호 정보를 표현하는데 필요한 데이터를 줄이는 것이다. 따라서 데이터 압축에서 DWT의 성능은 적은 수의 계수들에 신호 전체 에너지가 얼마나 많은 부분이 집중되어 있는가에 따라 결정된다.

DWT는 전력품질 장애들을 효과적으로 검출하고 분리해 낼 수 있으며, 장애들에 관련된 DWT 계수들의 크기는 장애가 없는 곳의 계수들보다 매우 크다. 또한 sparse 성질을 가지므로 특성들 성 뛰어나 나타난다. 이러한 특성들은 전력품질 장애 데이터를 압축하는 효율적인 방법을 이끌어 낼 수 있다.

압축은 DWT 영역에서 전력 장애들과 관련된 웨이브렛 변환계수들은 보유하고, 상대적으로 매우 작은 계수 값을 갖고 있는 장애가 발생하지 않은 곳의 계수들을 제거함으로써 상당한 양의 데이터 압축을 이룰 수 있다.

압축된 신호로부터 장애신호 복구는 DWT 합성을 통해 이룰 수 있다. 문턱값(threshold) 적용으로 전체 웨이브렛 변환계수들의 약 90%를 제거하는 압축과정은 재구성 시 일부정보를 손실하게 한다. 그러나 대부분의 이들 계수들은 잡음과 관련된 계수들이므로 재구성된 신호의 왜곡 정도는 낮다고 할 수 있으며, 장애에 관련된 웨이브렛 변수들이 보존되어 있으므로 장애들은 재구성 신호에 잘 나타나 있다.

신호 $x(t)$ 를 웨이브렛 변환 후 계수들에 문턱값을 적

용한 후 N개의 계수를 사용하여 재구성된 신호를 $x_N(t)$ 라 하면 다음과 같은 norm 오차 $e(N)$ 을 갖는다.

$$\|x(t) - x_N(t)\|_2 \sim e(N) \quad (5)$$

N이 무한대, 즉 모든 계수를 다 사용할 수 있다면 $e(N)=0$ 이 될 것이다. 하지만 웨이브렛 계수들이 증가하면 그 만큼 압축에서의 효율성은 떨어진다. 또한 어떤 기저함수를 선택했는가에 따라 $e(N)$ 의 값이 달라질 것이다. 그러므로 적절한 웨이브렛 기저함수를 찾아 원래의 신호에 가장 근사한 함수를 찾아 압축하는 것이 요구된다.

그림 2는 본 논문에서 제안하고자 하는 알고리즘을 나타내고 있다. 프레임 단위로 buffer에 저장된 전력품질 왜곡 신호로부터 포함되어 있는 기본신호 또는 정상신호(stationary signal)를 추정하여 위상, 진폭, 주파수 등의 정보를 얻는다. 이들 기본 신호해당 되는 정보들을 그림 2(b)와 같이 코드화하여 전송한다.

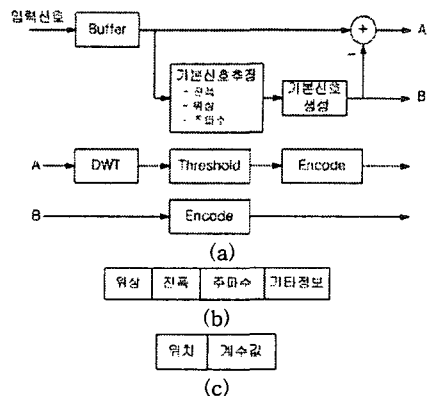


그림 2. (a)전력품질 신호 압축 알고리즘, (b)기본신호 정보 부호화 (c) DWT 계수 부호화

기본신호 또는 정상신호를 전력품질 왜곡 신호에서 빼면, 과도현상 또는 비정상신호(nonstationary signal), 오차를 함유하고 있는 신호를 얻게 되며, 이 신호에 DWT를 적용하여 계수들을 구한다. 이들 계수들에 대해 적절한 문턱값을 적용하여 문턱값보다 작은 값과 큰 값들에 대해 다른 값들을 부여하는 것이다. 문턱값 적용으로 잡음에 의한 계수들을 제거하는 효과도 이룰 수 있다. DWT의 계수들의 sparse 특성을 고려한다면 가장 간단한 방법으로 문턱값보다 작은 계수들을 0으로 하며, 문턱값보다 큰 계수들에 대해서는 그대로 보유한다. 이들 계수들에 대해 그림 2(c)와 같이 부호화(encode)하여 전송 또는 저장한다.

일반적으로 데이터의 압축에서 부호화 방법에는 무손실(lossless) 기법과 손실(lossy) 기법이 있다. 무손실 기법을 사용하여 압축한 결과를 복원할 경우 원래의 데이터를 그대로 재현할 수 있다. 그러나 무손실 기법을 사용할 경우 손실 기법보다 더 큰 압축 효과를 얻기 어렵다. 반면 손실 기법을 사용할 경우에는 그 이상의 압축 효과를 얻을 수 있다. 사용 목적에 따라 손실 기법과 무손실 기법의 두 가지가 모두 사용된다.

본 논문에서는 무손실 기법을 적용하여 계수들의 위치와 크기를 부호화하여 전송하며, 수신측에서는 이들을 디코드(decode)하여 해당되는 위치에 계수들을 놓고 그 이외의 값들은 0으로 하여 역DWT를 적용하여 신호를 복구한다.

4. 모의실험

모의실험에 사용되는 그림 3의 모니터 신호와 압축 알고리즘은 Matlab 소프트웨어를 사용하여 만들어졌다. 모니터 신호는 1000개의 샘플로 구성되어 있으며, 각 샘플은 12byte ASCII가 요구되므로 모니터 신호는 12000byte의 크기를 가지고 있다. 압축효율을 나타내기 위한 압축비(compression ratio, CR)는 다음과 같이 정의한다.

$$CR = \frac{\text{원래 신호의 파일 크기}}{\text{압축된 파일의 크기}} \quad (6)$$

압축된 신호를 복원한 후 신호의 왜곡정도를 평가하기 위해 정규평균제곱오차(normalized mean-square error, NMSE)를 적용하였다.

$$NMSE = \frac{(\text{원래 신호} - \text{복구 신호})^2}{\text{원래 신호}^2} \quad (7)$$

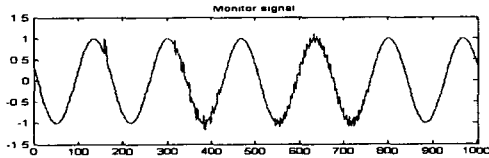


그림 3. 모니터 신호

그림 4는 모니터 신호에서 기본신호를 제외한 차이신호에 대해 matlab에서 제공하는 db4 웨이블릿을 적용한 것으로 가운데 두 그림은 차이신호의 근사화(approximation) 신호와 세부(detail) 신호를 나타낸다. 이 두 신호의 절대치 최대값의 20%되는 값을 문턱값으로 하여 적용한 신호들이 아래에 나타나 있다. 중간 신호들의 계수 수는 각각 501개로 1002개의 계수가 필요하지만 문턱값을 적용한 후 0이 아닌 계수의 수는 근사 신호는 45개, 세부신호는 51개로 전부 96개의 계수가 필요하다. 각 계수를 부호화하기 위해서 계수의 위치와 크기를 나타내기 위해 각각 12byte가 필요하므로 계수당 24byte가 필요하다. 따라서 전부 2304byte가 필요하다. 또한 기본파신호의 주파수, 위상 크기 등의 전송을 위해 각 12byte를 할당한다면 60byte 정도가 필요하다. 그러므로 전송에 필요한 전체 byte 수는 2364 byte이다. 따라서 압축비는 5.1 정도로 좋은 편이다. 그림 5는 압축된 신호를 다시 역변환하여 재구성한 신호이며 아래 신호는 모니터 신호와 재구성된 신호 사이의 오차 신호이다. NMSE는 7.68×10^{-4} 이다.

5. 결론

본 논문에서 전력품질 왜곡 신호를 압축하는 기본적인 알고리즘을 제안 하였으며, 시뮬레이션을 통해 상당한 압축률을 보였으나 실제 응용에 적용하기에는 많은 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 Daubechies 웨이블릿 db4 모함수를 적용하였으나, 왜곡 신호의 형태에 따라 더 좋은 결과를 보여주는 웨이블릿 모함수가 존재할 수 있다. 따라서 전력품질 왜곡에 범용적으로 적용할 수 있는 웨이블릿 모함수에 관해 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 DWT 적용시 어느 수준까지 분해를 수행해야하는가에 대한 최적 레벨에 관한 연구와 신호의 재구성을 하기 위해 가장 적절한 계수들의 수, 전력품질 왜곡 신호에서 기본신호를 추정하는 방법들에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

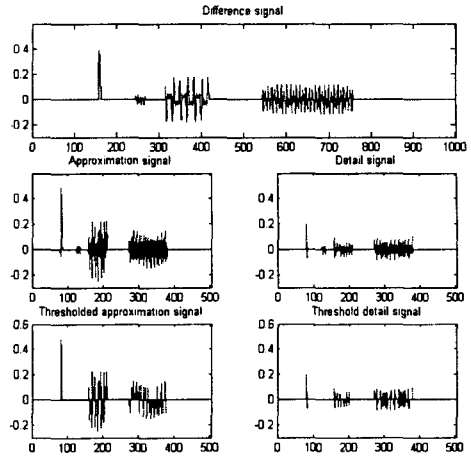


그림 4. 차이신호에 DWT를 적용한 신호

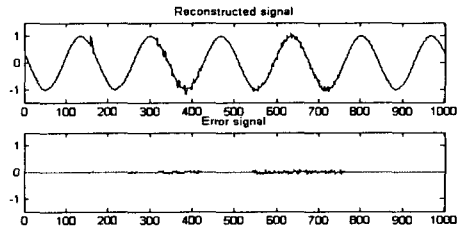


그림 5. 재구성된 신호와 오차신호

[참 고 문 헌]

- [1] S. Santos, E. J. Powers, and W. M. Grady, "Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Methods," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, pp. 1250-1256, July 1997.
- [2] D. C. Robertson, O. L. Camps, J. S. Mayer, and W. B. Gish, "Wavelets and Electromagnetic Power System Transients," Proceedings of IEEE PES Summer Meeting, July, 1995, Portland.
- [3] T. B. Littler and D. J. Morrow, "Wavelets for the Analysis and Compression of Power System Disturbances," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, pp. 358-362, April 1999.
- [4] E. Y. Hamid and Z. Kawasaki, "Wavelet-Based Data Compression of Power System Disturbances using the Minimum Description Length Criterion," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, pp. 460-466, April 2002.
- [5] M. Vetterli, "Wavelets, Approximation, and Compression," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 59-73, Sept. 2001.
- [6] M. V. Wickerhauser, Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software, IEEE Press, New York, USA, pp. 237-298, 1994.
- [7] N. S. D. Brito, B. A. Souza, F. A. C. Pires, "Daubechies wavelets in Quality of Power", 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens, Greece, Oct. 1998 pp.511-515.
- [8] M. Vetterli, "Wavelets, Approximations, and Compressions", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 59-73, Sept, 2001.