

두 성분을 이용한 전력품질 신호의 압축 및 복구

정영식, 김철
인천대학교 전기공학과

Power Quality Signal Compression and Restoration based on Two Component

Young-Sik Chung, Cheol Kim
Dept. of Electrical Engineering, University of Incheon

Abstract - Data storage and data communication currently pose a major problems for all parties involved with power quality and power system monitoring. The problem arises from the tremendous amount of data involved. There is a common desire in the power industry to find new techniques for high-accuracy data compression and data storage. This paper introduces a data compression technique that is very suitable for application to power quality waveforms. The proposed technique is applied in splitting the monitored signal into two components. Those are stationary and nonstationary components. Each component is compressed and encoded.

1. 서 론

전력품질에 대한 이슈들이 범세계적으로 에너지 시장에 대한 규제 완화(deregulation)와 더불어 많은 관심을 모으고 있다. 상업용 센터 및 산업플랜트에 전자적 장비들과 비선형부하들의 사용이 증가함에 따라 전력품질 문제들에 대해 더 많은 관심을 가지게 되었다.

현대 전력시스템에서 모니터링(monitoring)과 리코딩(recording)은 전력 품질을 관리하는데 중요한 역할을 하고 있으며, 일반적으로 다음과 같은 목적들을 수행한다. 설치 장비들의 상태에 관한 정보를 제공하며, 고장들(events)을 분류하고, 발생 원인들을 밝혀내며, 정보를 알릴지를 판단하며, 고장 해석 위해 데이터를 기록하는 등 다양한 역할들을 한다. 궁극적인 목적은 전체 시스템에 대해 더 정확한 상황을 끌어내어 동작과 유지비용을 감소시키고 시스템의 효율과 전력 품질을 개선하기 위한 것이다. 이러한 모든 동작들은 시스템의 신뢰성을 향상시키고 규제완화 환경에서 경쟁력을 유지하기 위해 도움을 준다.

리코딩 과정에서 발생하는 엄청난 양의 데이터와 다양한 데이터 때문에 얻어지는 전력품질 데이터를 적절히 효율적으로 처리하는 방법에 대해 많은 연구들이 진행되고 있다. 변전소 내에 있는 digital protective relays, digital fault recorder, intelligent electronics device 및 remote terminal units 등은 변전소 호스트 컴퓨터와 상호 정보교환을 ethernet, 광통신 또는 무선통신을 사용하여 데이터를 전송할 수 있을 것이다. 호스트 컴퓨터는 중앙 제어센터 컴퓨터에 전용 또는 공중망을 통해 연결될 것이다. 이러한 방법을 통해 수집된 데이터를 효율적으로 저장 및 전송을 하기 위해서 데이터 압축이 요구된다.

이 논문에서는 전력품질 데이터의 저장 또는 전송을 위해 전력품질 신호의 특성을 고려하여 두 성분들로 분해(split)를 한 후 각각 성분에 대해 압축을 한 후, 추후 필요시 데이터 복구를 위해 합성(merge)하는 방법을 제안한다. Split-merge 방법은 주어진 복잡한 데이터를 일정한 수의 부집단(subset)으로 분리(split)하면, 각 부집단은 더 간단한 독립된 문제로 표현될 수 있으므로, 이 부집단을 통해 상대적으로 더 쉽게 문제를 해결 할 수 있다. 각 부집단으로 분리된 상태에서 처리된 결과들을 다시 통합(merge)하여 원하는 결과를 얻는다.

본 논문에서는 전력품질 특성을 고려하여 이 신호를 두 성분, 즉 정상상태 성분(stationary component)과 비정상상태 성분(nonstationary component)으로 분리하여, 각각의 신호에 대해 부호화 또는 압축을 시도하여 저장 또는 전송을 한 후, 필요시 두 부분을 복구한 후 합성하여 원래의 신호를 복구할 수 있다. 사용된 압축 방법에 따라 복구된 신호와 원래의 신호 사이에는 압축에 따라 오차가 발생 할 수 있으나, 그 오차는 상당히 작은 편이다. 비정상 성분의 압축도구로서 이산 웨이브렛변환(DWT)을 사용한다. 웨이브렛 변환을 사용한 압축방법은 어느 정도의 해상도를 갖는 신호로 복구 하고 싶은가에 따라 압축효율을 조절할 수 있다. 해상도를 열악하게 할수록 더 높은 압축효율을 얻을 수 있게 된다.

2. 전력품질 신호의 두 성분 분리

모니터된 전력신호는 다음과 같이 여러 형태의 현상들이 결합되어 있는 것으로 모델화할 수 있으며, 이산시간 신호로 표현하면 다음과 같다 [1].

$$y(n) = f(n) + h(n) + t(n) + v(n) \tag{1}$$

여기서 $y(n)$ 은 모니터된 신호, $f(n)$ 은 기본파, $h(n)$ 은 고조파 성분, $t(n)$ 은 과도현상 성분 그리고 $v(n)$ 은 잡음성분으로 독립적이고 동일하게 분포(i.i.d.)된 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 이다. 이 성분들 이외에 다양한 현상들을 더 추가할 수 있다. 기본파 성분은 상용주파수를 갖고 있는 정현파이다. 즉,

$$f(n) = V_m \sin(\omega n + \theta^o) \tag{2}$$

식 (1)은 정상상태 신호에 외란들이 첨가된 신호이므로 압축 알고리즘을 직접 적용하여 압축을 시도하기보다는 다루기 편리한 두 성분으로 분리하는 것이 바람직하다. 즉,

$$y(n) = f(n) + e(n) \tag{3}$$

여기서

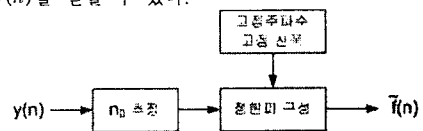
$$e(n) = h(n) + t(n) + v(n) \tag{4}$$

식 (3)은 정상상태 성분인 기본정현파 $f(n)$ 와 외란들에 의해 발생된 비정상상태 성분 $e(n)$ 으로 구성되어 있다. 실세계에서 기본파의 기본성분인 진폭, 주파수, 위상은 시간에 따라 어느 정도 변화하는 특성을 보여주지만, 기본파 식 (2)에서 진폭과 주파수는 일정한 값을 가지고 있다고 모델링한다. 실세계의 기본파와 모델링한 기본파와의 차이는 잡음성분으로 비정상상태 성분에 포함하게 될 것이다. 데이터 압축의 목적이 신호의 중복부분(redundancy)을 제거하여 처리할 데이터의 동적변화를 줄여 압축하는 것이다. 따라서 전력신호에서 과도현상이 발생하는 시간과 크기가 정상상태 신호보다 상대적으로 작기 때문에 이 부분을 분리하여, 정상상태 신호와 분리된 부분의 신호에 대해 각각의 신호 특성에 맞는 알고리즘을 적용하면 더 효율적인 압축을 얻을 수 있을 것이다. 즉 복잡한 신호를 상대적으로 덜 복잡한 신호로 분리(split)하여 처리함으로써 신호를 다루는데 효율성을 높일 수 있다.

모니터된 신호 $y(n)$ 으로부터 정상상태 신호를 추정하여 유사정상상태신호(pseudo-stationary signal) $\tilde{f}(n)$ 을 얻는다. 정상상태 신호 $f(n)$ 가 고정된 진폭과 주파수를 갖고 있다는 가정아래 시간이동 n_0 를 식 (5)를 사용하여 참고문헌 [2]에서 제안한 방법을 적용하여 얻는다.

$$n_0 = n - \frac{1}{\omega} \sin^{-1} \left(\frac{y(n)}{V_m} \right) \tag{5}$$

그림 1과 같이 고정된 진폭과 주파수에 추정된 n_0 를 적용하여 유사정상신호 $\tilde{f}(n)$ 을 얻을 수 있다.



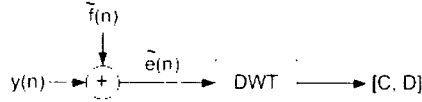
〈그림 1〉 유사정상상태 신호 $\tilde{f}(n)$ 추정

모니터된 신호에서 유사정상상태 신호를 제거하면 비정상상태 신호 $\tilde{e}(n)$ 을 얻게 된다. 이 신호에는 외란현상들과 정상상태 신호 추정에서 발생하는 오차를 포함하고 있다. 이 신호에 DWT를 적용하여 압축을 하게 된다.

3. 전력품질 신호의 압축 및 복구

신호 압축의 목적은 신호가 갖고 있는 중복된 정보를 제거함으로써 신호정보를 표현하는데 필요한 데이터수를 줄이는 것이다. 압축은 크게 무손실압축(lossless compression)과 손실압축(lossy compression)으로 분류할 수 있다. 무손실 압축은 압축을 하고 난 후의 데이터에서 다시 이전의 데이터로 복구했을 때 데이터가 갖고 있는 정보나, 크기의 손실이 없는 압축기법이다. 손실압축은 압축을 하고 난 뒤 복구를 하였을 때, 데이터가 압축 전의 데이터가 갖고 있는 정보를 인식을 하는데 영향을 주지 않을 정도로 데이터를 삭제함으로써 압축효율을 높이는 방법이다. 본 논문에서 사용되는

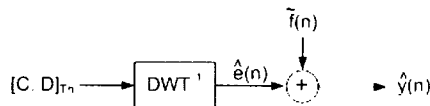
DWT는 손실압축방법의 한 종류이다.



<그림 2> 비정상신호 분리(split) 과정

전력품질 영역에서의 압축은 다른 분야에서의 데이터 압축과는 다른 특성을 갖고 있다. 전력품질 신호는 기본 신호 정현파에 짧은 기간 동안 비정상적 왜곡된 장애를 갖고 있는 부분이 중첩되어 있는 신호이다. 이러한 장애를 과도현상이라고 하며, 이 현상의 주파수 스펙트럼은 전 주파수 영역에 걸쳐 퍼져있다. 본 논문에서 제한한 정상상태신호와 비정상상태신호로 분리하게 되면 정상상태신호는 추정된 위상 값을 부호화하여 전송하면 되지만, 비정상상태신호는 외란의 원인이 되는 성분들과 추정된 위상 값의 사용으로 발생되는 오차가 포함되어 있는 $\hat{e}(n)$ 에 그림 2와 같이 DWT를 적용하여 압축을 시도 하게 된다. DWT는 정규직교(orthonormal) 기저함수를 갖고, 이 성질은 변환된 신호에서 중복성(redundancy)을 제거하므로 효과적이고, 우수한 데이터 압축 능력을 다양한 응용들에서 보였다. 각 신호들은 고유한 특성을 가지고 있으므로 압축 기법도 그 특성을 고려하여 적용되어야 한다. 따라서 특정 압축 기법이 특정신호에 대해서는 잘 적용이 될 수 있으나, 다른 신호에도 똑같이 효율적으로 적용되는 것은 아니다. 따라서 본 논문에서는 전력품질 신호의 특성을 고려하여 정상상태 신호를 분리한 후, 비정상신호에 DWT를 적용하는 방법을 제안한다. 비정상신호에 포함되어 있는 외란들에 관련된 DWT 계수들의 크기는 외란이 발생되지 않은 곳의 계수들 $[C, D]$ 보다 상대적으로 매우 크며, 계수들의 sparse한 성질 때문에 등성 등성 나타난다. 이러한 특징들을 전력품질 외란데이터들의 압축에 효율적으로 적용할 수 있다. 외란들이 포함되어 있지 않은 부분들을 정상상태 신호가 제거된 상태이므로 거의 0에 가까운 값들을 갖게 될 것이며, 이 들 값들을 문턱값을 적용하여 제거함으로써 외란에 의해 발생하는 계수들의 값들 $[C, D]_{T_k}$ 만 보유하게 될 것이며, 나타내는 계수의 수를 줄여 압축효과를 얻게 된다.

복구는 압축된 신호를 역 DWT를 통해 비정상상태 신호 $\hat{e}(n)$ 을 복구한 다음, 유사 정상상태 신호 $\tilde{f}(n)$ 를 합하여 재구성된 신호 $\hat{y}(n)$ 복구를 할 수 있다.



<그림 3> 합성(merge)과정

데이터 압축의 정도를 나타내는 척도로 영-비율(zero ratio, ZR)과 압축오차(compression error, CE)를 사용 한다.

$$ZR = \frac{N_0}{N} \times 100 [\%] \quad (6)$$

$$CE = \frac{\|y(n) - \hat{y}(n)\|_2}{\|y(n)\|_2} \quad (7)$$

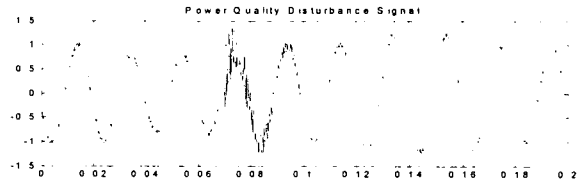
여기서 N 은 문턱값이 적용되기 전의 계수들의 개수이며, N_0 는 영으로 표현되는 계수들의 개수이다. 따라서 더 많은 계수들이 0으로 표현된다면 더 작은 계수들의 수로 신호를 나타낼 수 있음을 의미하므로 더 압축률이 높다고 할 수 있다. 그러나 압축률이 높아도 복구하였을 때 원래의 신호와 근접하지 않는다면, 의미가 없으므로 복구된 신호와 원래 신호의 유사성을 측정하는 척도로 압축오차를 사용 한다. 압축오차는 정규화된 평균제곱오차(NMSE)를 사용하여, 오차가 작을수록 복원된 신호가 원래의 신호에 더 근접함을 의미한다.

4. 모의실험

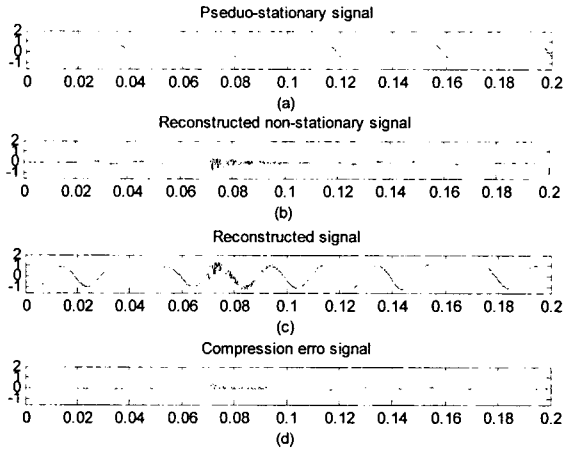
모의실험에 사용되는 전력품질 신호에는 자주 발생하는 외란들이 전압강하(sag), 전압상승(swell)과 커패시터 스위칭 현상들을 정현파 정상신호에 중첩해 놓았다. 이 신호에 백색잡음을 가해 그림 4와 같은 파형의 matlab 프로그램을 사용하여 만들었다. 웨이브렛 계수는 웨이브렛 모함수 Daubechies 4를 사용하였다.

그림 4의 모니터된 신호에서 그림 5(a)의 정상상태를 추정하여 이 성분을 제거한 비정상상태 신호가 그림 5(b)에 나타나 있다. 이 신호에는 외란 성분들이 포함되어 있어, 비정상상태 신호를 외란 검출 또는 분류에 활용할 수 있다. 그림 5(b)의 신호에 DWT 알고리즘을 적용한 다해상도해석(MRA) 통해 웨이브렛 계수들을 얻는다. 각 단계에서 구한 계수들의 에너지 분포가 그림 6(a)에 나타나있다. 이 분포의 최대값의 30%에 해당하는 값을 문턱값으로 하여 적용한 결과가 그림 6(b)에 나타나 있다. 에너지 분포가 작은 부분의 계수들을 0으로 한다. 영-비율 ZR는 51.1%이다. 문턱값보다 큰 부분의 계

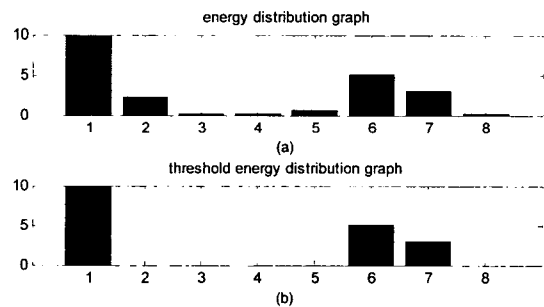
수들은 그대로 유지하여 역 DWT를 사용하여 복구한 비정상상태 신호에 유사 정상상태 신호를 합성한 결과가 그림 5(c)에 나타나 있다. 이 신호는 그림 4의 외란 특성들을 잘 간직하고 있음을 볼 수 있으며, 그림 4와의 오차가 그림 5(d)에 나타나있다. 이 오차의 NMSE는 3.28×10^{-3} 이다.



<그림 4> 전력품질 외란신호



<그림 5> (a) 유사정상상태 신호 (b) DWT 계수들의 에너지분포에 문턱값을 적용한 후 복구한 비정상상태신호 (c) (a)와 (b)의 신호를 합성한 신호 (d) 압축오차신호



<그림 6> 해상도에 따른 DWT 계수들의 에너지 분포

5. 결론

많은 양의 데이터가 모니터링 시스템에서 얻어져 전력시스템의 분석, 관리 및 제어를 하기 위해 수집, 전송과 저장을 효율적으로 할 수 있도록, 전력품질 데이터를 압축하기 위한 방법이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 신호처리 알고리즘의 하나인 split-merge 알고리즘을 적용하여 정상상태 신호와 비정상상태 신호로 분리하여 압축을 시도한 다음에 다시 합성하여 복원하는 방법을 제안하였다. 복잡한 문제일수록 분리하여 간단한 문제로 만들어 해결한 후 다시 합하여 복구하는 방법을 적용하여 외란들이 포함되어 있는 신호에 DWT를 적용하여 압축을 시도하여 상당한 압축율을 얻을 수 있었다. 이 비정상상태 신호는 외란 분류 또는 검출에 사용될 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] C. A. Duque, M. V. Ribeiro, F. R. Ramos, and J. Szczupak, "Power quality event detection based on the divide and conquer principle and innovation concept," IEEE Trans, Power Del., vol. 20, no. 4, pp. 2361-2369, Oct. 2005.
- [2] 정영식, "웨이브렛 변환을 이용한 전력품질 데이터 압축에 관한 연구," 전기학회논문집, 54권 12호, pp.561-566, 2005.