전력 외란 자동 식별을 위한 특징 벡터 추출 기법

이 철호, 이 재상, 조 관영, 정 지현, 남 상원
한양대학교 전기공학과

A Feature Vector Extraction Method For the Automatic Classification of Power Quality Disturbances

Chul-Ho Lee, Jae-Sang Lee, Kwan-Young Cho, Ji-Hyun Chung, Sang-Won Nam
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract **- The objective of this paper is to present a new feature-vector extraction method for the automatic detection and classification of power quality(PQ) disturbances, where FFT, DWT(Discrete Wavelet Transform), and data compression are utilized to extract an appropriate feature vector. In particular, the proposed classifier consists of three parts: i.e., (i) automatic detection of PQ disturbances, where the wavelet transform and signal power estimation method are utilized to detect each disturbance, (ii) feature vector extraction from the detected disturbance, and (iii) automatic classification, where *Multi-Layer Perceptron(MLP)* is used to classify each disturbance from the corresponding extracted feature vector. To demonstrate the performance and applicability of the proposed *classification algorithm, some test results obtained by analyzing* 7-class power quality disturbances generated by the EMTP are also provided.**

1. 서론

최근에 전력 품질(Power Quality: PQ)에 대한 관심이 높아지고 있는데, 이는 외란에 민감한 전자 장비의 사용이 늘어감에 따라 양질의 전력 공급이 점점 더 강조되고 있기 때문이다. 이러한 전력 품질의 문제를 해결하기 위하여 요구되는 절차는 다음과 같다: (i) Power 시스템을 계속적으로 모니터하고, (ii) 전력 파형의 외란을 검출하며, (iii) 검출된 외란을 voltage sag, swell, impulse, interruption, harmonic *distortion* 등과 같은 외란의 범주로 분류한다. 또한, *(iv)* 분류된 각각의 외란을 해결하기 위한 방안을 강구한다. 그러나 모니터 과정에서 수집된 데이타는 대단히 방대하기 때문에 각 외란의 식별을 위해 많은 양의 계산이 요구되고 실시간에서의 해석이 어려운 문제점이 있다. 따라서 전력 품질 문제에서의 주된 관심사는 어떻게 외란을 자동으로 검출하고 적절히 분류하느냐에 있다.

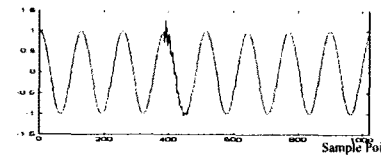
본 논문의 목적은 전력 품질 외란의 자동 식별을 위한 특징 벡터 추출을 위한 실용적 접근법을 제시하는 데 있다. 제시된 방법은 웨이블렛 변환에 의한 외란의 검출과 신경 회로망을 이용한 천이 신호의 분류에 관한 최근의 결과에 근거하고 있다[1,2]. 특히, 특징 벡터 추출법은 외란을 검출하고, 검출된 외란으로부터 특징 벡터를 추출하고 조합하는 두 단계로 이루어져 있다(2절 참조). 마지막으로, 제시된 방법의 실용성과 응용성을 예시하기 위하여 EMTP(Electromagnetic Transient Program)에 의해 발생시킨 7종류의 외란 데이타를 테스트한 결과를 3절에서 보였다.

2. 외란 검출 및 특징 벡터 추출

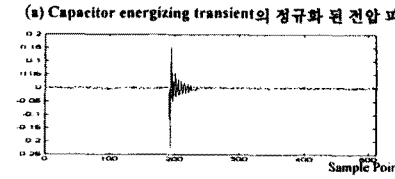
2.1 외란 검출

2.1.1 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 이용한 검출

신호를 시간-주파수 영역에서 해석하는 웨이블렛 변환은 고주파에서 좋은 시간 분해능을 가진다. 이러한 특성으로 인해 Scale 1에서의 웨이블렛 계수는 impulse나 capacitor energizing transients와 같은 고주파의 전력 외란을 검출하는 데 효과적으로 사용될 수 있다[1]. 그림 1은 scale 1에서의 웨이블렛 계수를 이용한 전력 외란 검출의 한 예이다. 여기서 웨이블렛 계수의 급격한 변화는 전력 외란의 발생으로 간주되어진다. 그러나 harmonic distortion, outage와 같은 저주파 외란의 경우에는 잡음의 영향으로 인해 외란이 잘 검출되지 않는다. 이러한 특성은 그림 2에서 잘 나타난다.

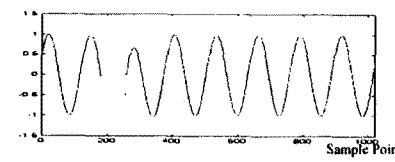


(a) Capacitor energizing transient의 정규화 된 전압 파형

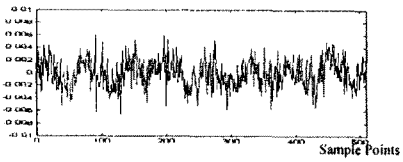


(b) Scale 1에서의 웨이블렛 계수

그림 1. 웨이블렛을 이용한 Capacitor energizing transient의 검출



(a) Outage의 정규화 된 전압 파형



(b) Scale 1에서의 웨이블렛 계수

그림 2. 웨이블렛을 이용한 Outage의 검출

2.1.2 신호의 Power를 이용한 검출

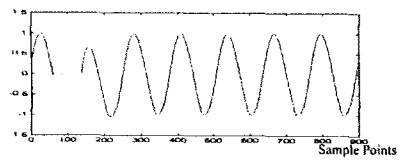
DWT는 저주파에서 낮은 시간 분해능을 갖기 때문에 저주파 외란의 검출에 부적합하다. 이런 경우 저주파 외란에 대해 신호의 한 주기 power를 이용한 검출법이 더 효과적일 수 있다. 신호의 한 주기 power는 다음과 같이 정의된다.

$$P(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} x^2(k) \qquad n = 0,1,2,\cdots \qquad (2.1.2.1)$$

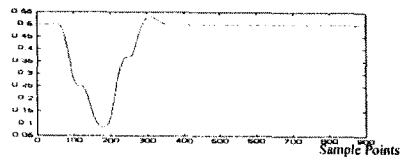
N : 한 주기 당 sample 개수
x(k) : 신호 함수
P(n) : 한 주기 신호의 Power

위와 같은 방법으로 신호의 power는 sample 포인트를 하나씩 이동시키면서 연속적으로 계산되고, 그림 3의 (b)와 같은 power의 급격한 변화는 전력 외란의 발생으로 간주될 수 있다. 그러나 이 방법은 그림 4에서 알 수 있는 것처럼 고주파 외란의 검출에는 적합하지 않다.

이러한 결과로부터, 저/고주파의 외란을 검출하기 위해서는 DWT와 신호의 power를 이용한 검출법을 동시에 적절히 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

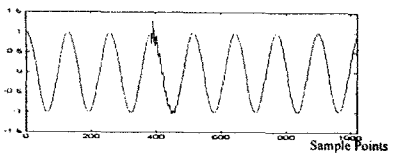


(a) Outage의 정규화 된 전압 파형

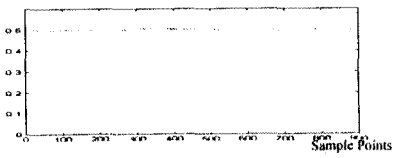


(b) 신호의 power

그림 3. power를 이용한 outage의 검출



(a) Capacitor energizing transient의 정규화 된 전압 파형



(b) 신호의 power

그림 4. power를 이용한 Capacitor energizing transient의 검출

2.2 특징 벡터 추출

검출된 외란의 유형을 보다 효과적으로 식별하기 위해, 외란 파형으로부터 특징 벡터라는 새로운 형태의 정보를 추출할 필요가 있다. 특징 벡터를 추출하는 과정은 다음과 같다(그림 5 참조).

i) 전력 외란의 주파수 특성이 두드러지게 하기 위해 FFT를 이용하여 60Hz 기본파를 제거한다.
ii) 기본파를 제거한 신호를 Daub 4를 이용하여 웨이블렛 변환한다.
iii) 데이타 압축 기법을 사용하여 일정 값 이하의 크기를 갖는 웨이블렛 계수들을 버린다[3]. 이렇게 함으로 0이 아닌 값을 갖는(non-zero points), 전체의 1/3 내지 1/4 의 계수들만이 특징 벡터 추출에 사용된다. 따라서 전체 계산량은 훨씬 줄어들게 된다.
iv) 특징 벡터 결합: 저주파 외란의 식별 성능을 개선시키기 위해 신호의 power값을 i) - iii)의 방법들을 이용해 얻은 특징 벡터에 결합한다.
v) 제시된 방법의 성능을 테스트하기 위해 Multilayer perceptron (MLP)을 이용하여 전력 외란의 유형을 식별하였다. 추출된 특징 벡터는 MLP의 입력으로 사용하였다.

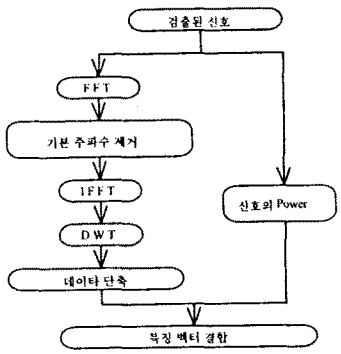


그림 5. 특징 벡터 추출 과정

3. 테스트 결과

본 논문에서 제안된 특징 벡터 추출 방법의 성능을 알아보기 위해 EMTP를 사용하여 7종류의 전력 외란 데이타를 발생시켰고 그 중 70개의 데이타는 training에, 나머지 70개의 데이타는 test에 사용되었다. 각 데이타의 특징 벡터는 표 1에서처럼 서로 다른 4가지 방법으로 추출되었고 그에 따른 각각의 식별 결과를 표 2에서 보였다. 본 모의 실험에서 식별기로 사용된 MLP는 한 개의 은닉층을 가지며 역전파 알고리듬에 의해 학습되는 가중치들로 연결되어 있다. 테스트된 데이타의 잡음은 백색 가우시안 잡음(신호 대 잡음비 50dB)으로 하였다.

표 1. 특징 벡터의 4가지 추출법 및 각각의 데이타 압축률

	기본 주파수	신호의 power 값	non-zero points
방법1	Daub4 를 이용한 제거	비 결합	48/124 (38.7%)
방법2	Daub4 를 이용한 제거	결합	49/125 (39.2%)
방법3	FFT 를 이용한 제거	비 결합	33/128 (25.8%)
방법4	FFT 를 이용한 제거	결합	34/129 (26.4%)

표 2. 7가지 전력외란에 대한 제시된 알고리듬의 식별률

Class	방법1	방법2	방법3	방법4
Voltage sag	9/10	9/10	6/10	9/10
Waveshape disturbance	10/10	10/10	10/10	10/10
Harmonic	9/10	9/10	10/10	10/10
Impulse	10/10	10/10	10/10	10/10
Capacitor energizing	9/10	9/10	10/10	10/10
Voltage swell	8/10	9/10	5/10	9/10
Outage	9/10	9/10	9/10	10/10
Total	64/70 (91.4%)	65/70 (92.8%)	60/70 (85.7%)	68/70 (97.1%)

표 2의 결과로부터 웨이블랫 계수로 이루어진 특징 벡터에 측정된 신호의 power값을 결합함으로써 식별 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 (i) outage, overvoltage, voltage sag와 같은 저주파 외란들이 비슷한 주파수 특성을 갖는 반면, (ii) 각각의 power 값들이 뚜렷이 구별되고(그림 6), (iii) 데이타 압축 기법에 의해 계산량(표 1 참조)과 잡음의 영향을 줄일 수 있다는 사실에 기인한다.

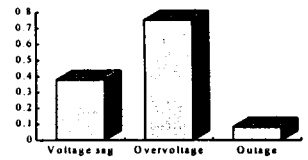


그림 6. 저주파 외란들의 평균 power

4. 결론

본 논문에서는 전력 외란의 자동 식별에 적합한 특징 벡터를 추출하는 체계적 접근법을 제시하였다. 외란을 검출하고 특징 벡터를 추출하기 위해 웨이블랫 변환과 신호의 power 값을 이용한 검출법이 사용되었고, FFT와 데이타 단축 기법을 통해 식별 성능을 향상시킬 수 있었다. 이렇게 해서 얻어진 특징 벡터를 EMTP에 의해 발생시킨 외란 식별에 적용했을 때 외란의 97.1%가 정확히 식별되었다. 이것은 제시된 접근법의 좋은 성능과 실제 응용 가능성을 보여 준다.

본 논문에서는 외란의 식별보다는 특징 벡터의 추출에 중점을 두었으므로 앞으로 (i) 실제 외란 데이타에 적용해 보고 (ii) 더 나은 성능을 가지는 식별 알고리듬(예를 들어, RBF, Recurrent neural network, HMM 등과 MLP와의 결합)의 개발이 요구된다.

본 연구는 96년도 한국 전력공사 전력기술 기초 연구비 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. D. Robertson, O. I. Camps, and J. S. Mayer, "Wavelets and power system transients: Feature detection and classification," SPIE International Symposium on Optical Engineering in Aerospace Sensing, 2242:474-87, April 1994.
2. A.K. Ghosh and D.L. Lubkeman, "The classification of power system disturbance waveforms using a neural network approach," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 10, No.1, pp. 109-115, Jan. 1995.
3. S. Santoso, E.J Powers, and W.M Grady, "Power quality disturbance data compression using wavelet transform methods," paper no. 96 SM 427-5 PWRD, 1996.