

패턴인식형의 신경회로망 거리계전 기법

이복구*, 윤석무*, 박철원**, 정호성***, 신명철***

*충남전문대학 제어계측과, ** 원주전문대학 전기과, *** 성균관대학교 전기공학과

Pattern Recognition based Neural Networks Distance Relaying Scheme

B.K.Lee*, S.M.Yun*, C.W.Park**, H.S.Jung***, M.C.Shin***

*Chungnam College, **Wonju National College, ***S.K.K. Univ.

Abstract - A new typed distance relaying scheme is proposed. Artificial neural networks are applied to the distance relaying system composed of pattern recognition based.

The proposed distance relaying scheme have the two block of pattern recognition stages to estimate the fundamental frequency and to classify the fault types. The advantage of this approach is demonstrated by the random waves and the fault transient wave signals of EMTP(electromagnetic transients program) in power systems fault conditions. The proposed method is compared with the conventional method and the simulation results show the efficiency of the neural networks.

지능 기법인 신경회로망 기법(5)을 이용하여 신경회로망 맵핑필터(neural networks mapping filter)와 신경회로망 고장패턴추정기(fault pattern estimator)를 제시하고 이러한 기법들을 일련의 패턴인식 형태로 구성하므로써 효율적으로 기본파성분을 추정하고 고장형태를 판별할 수 있도록 하였다.

신경회로망 맵핑필터는 필터링특성에 적절한 구조의 신경회로망을 구성하여 효율적으로 기본파 성분을 추출하도록 하므로써 고장거리를 산정하는데 용이하도록 하며, 또한 출력된 전류의 기본파성분을 입력패턴으로 처리하여 고장상태, 고장종류를 고속으로 판별하는 신경회로망 고장패턴추정기를 개발하여 일련의 패턴인식 시스템으로 구성된 신경회로망에 의한 패턴인식형 거리계전 기법을 제안 하였다.

1. 서 론

보호계전 시스템은 릴레이 입력신호의 왜곡에도 불구하고 고장을 신속정확하게 감지하여야 한다. 그런데 대부분의 디지털 거리계전 알고리즘은 기본파 성분에 기초를 두고 최적의 직교함수를 적용하여 계통의 고장 상태와 고장지점을 추정,판단(1,2)하므로 알고리즘의 신뢰도와 속도는 보호계전시스템의 왜곡된 입력신호에서 기본파 성분을 얼마나 신속하고 정확하게 추출 하느냐에 따라 결정된다. 그런데 이와 같은 디지털 계전기법은 알고리즘의 연산부담이 결정적인 제한요소로 작용하기 때문에 이를 개선하기 위해 주로 수치적인 연산 수를 감소시키거나 데이터 윈도우의 크기를 줄이는 방법등을 사용하고 있으나, 이러한 기법은 순차적 처리방식(sequential processing)으로서 한 샘플 윈도우내의 입력데이터를 동시에 모두 동작 시킬 수 없는 구조적인 제한 조건을 가지고 있어 실시간(real time)처리에 문제점을 갖으며 정확한 고장형태 및 분석에는 미흡한 기능을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 noise에 강인(robust)하고 복잡한 신호처리(signal processing)와 패턴인식(pattern recognition)을 적용하는데 알맞는 인공

2. 신경회로망의 맵핑특성

1957년 최초로 임의의 연속함수를 근사화 할 수 있는 Kolmogrov의 신경회로망 존재이론(3)이 발표된 이후, 신경 회로망 응용에 있어서 널리 사용되고 있는 다층퍼셉트론은 입력 x_k 에 대한 원하는 출력 y_k 를 수행하는 임의의 전달함수 $f(x_k)$ 의 기능을 갖으며 $(x_1, y_1) (x_2, y_2) \dots (x_k, y_k)$ 의 근사화를 수행 시킬 수 있으며 이와같은 신경회로망의 맵핑 수행은 다음과 같이 표현된다.(3)

$$\int_{[0,1]^n} |f_1(x) - \sum C_{1k} \text{EXP}(j2\pi k \cdot x)|^2 dx < \delta_1$$

여기서 $[0,1]^n$ 은 n 차원의 단위입방체이며, 임의의 주어진 오차 δ_1 범위 내에서 계수 C_{1k} 가 존재하게 되는데 이는 $f_1(x)$ 의 복소 Fourier 급수의 cosine항과 sine항이 신경 회로망에 의해 임의의 원하는 정도의 오차범위 이내로 근사화 될 수 있음을 나타낸다.

그러므로 임의의 원하는 범위내의 오차를 충분히 작게하여 평균자승오차 ϵ 를 $\epsilon \approx 0$ 로 취한다면 다음 식과 같이 근사화 된다.

$$\int_{(0,1)^n} |f(x) - y'(x)|^2 dx < \epsilon$$

따라서 맵핑된 임의의 함수에 대한 오차의 제곱적분 특성인 평균자승오차가 0에 근사화 되어 원하는 정도의 오차범위 안에서 그림 1과 같이 임의의 함수 $f(\cdot)$ 를 $X_n \subset R_n \rightarrow R_1$ 으로 맵핑시킬 수 있으며, 신경회로망의 입출력 공간의 맵핑특성에 따라 연상 기억, 필터(filter), 변환(transform), 분류(classification), 인식(perception), 최적화(optimization)등의 기능을 수행할 수 있다.

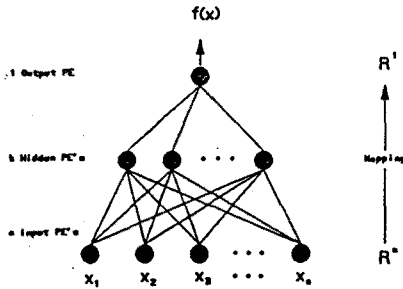


그림 1. 신경회로망의 맵핑

3. 패턴인식형 거리계전

전력계통의 사고는 고장발생시에 고장의 상태, 고장의 형태 및 고장 거리에 따라 고유의 패턴을 가지고 있는데, 거리계전 시스템은 CT 및 PT를 통하여 A/D 변환기로부터 입력되는 그 고유의 패턴이 어떤 부류에 속하는 패턴인지를 분석하여 분류, 판별하고 상태를 추정하는 것으로 고장의 발생 여부, 형태 및 거리를 추정하고 적절한 트립(trip) 신호를 내보내는 일종의 패턴인식 시스템이다. 이와같은 거리계전 시스템을 본 연구에서는 신경회로망을 이용하여 그림 2와 같은 패턴인식 기법으로 구성하였다

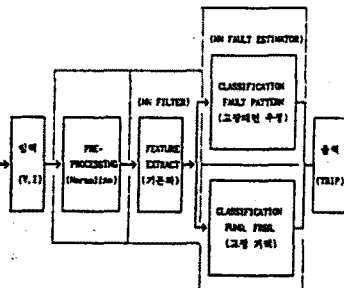


그림 2. 패턴인식 거리계전시스템 블록도

일반적인 패턴인식 시스템은 전처리단계, 특징추출(feature extraction)단계, 분류단계로 구성되는데 신경회로망을 적용하는 방법으로 분류 단계만을 적용하였을 경우에 많은 계산이 요구되는 특징추출 단계를 순차적 계산에 의해 처리해야 한다면 시스템

전체의 처리속도를 향상시킬 수 없을 뿐만아니라 신경회로망을 이용하는 장점을 살릴 수 없으므로써 보호계전시스템에서는 전혀 무의미 하게 되며, 특징추출 단계를 거치지않고 입력신호를 직접 신경회로망에 입력하여 패턴을 인식하는 방법은 고장점과 고장 패턴을 모두 출력하는 보호계전 시스템에서는 효율적이지 못하게 된다. 따라서 본 연구에서는 추출단계와 분류단계의 각각에 대하여 모두 적용토록하는 패턴인식 기법으로 그림 2와 같이 구성하였다.

이와같이 제안한 패턴인식형 신경회로망 거리계전 알고리즘은 크게 두 블럭으로 구분된다. 그 첫째 단계는 신경회로망 맵핑필터를 통하여 기본파 성분을 추출하여 고장 거리를 산정하는 단계와, 둘째는 신경회로망 맵핑필터를 거쳐 산출된 특징벡터 즉 기본파 성분을 이용하여 고장상태 및 형태를 판별하는 신경회로망의 고장패턴추정 블럭으로 구성되어지고 판별된 고장형태에 따라 신경회로망 필터로부터 얻어진 파형의 기본파성분으로부터 각 고장점의 거리를 추정하도록 하였다.

3.1 신경회로망 맵핑필터

신경회로망의 맵핑특성을 이용하여 필터링함수를 구현하기 위하여 임의의 필터링함수의 맵핑기능을 갖도록 역전파학습 알고리즘인 GDR을 이용하여 학습시키면 구성된 신경회로망이 임의의 필터링 함수를 구현 할 수 있게 된다.

본 연구에서 신경회로망 맵핑필터(4)을이용하여 기본파 성분을 추출 할 수 있도록 다층퍼셉트론 신경회로망으로 구성하고, 출력패턴인 목표필터(target filter)는 DFT로 맵핑시켰다. 신경회로망 맵핑필터의 학습에 사용된 입력 랜덤파형은 다음 식과 같다.

$$x(k) = \sum_{i=1}^n (\text{amp}(i) * \sin(2\pi k i / N + \text{phase} * 2\pi))$$

$$\text{amp}(i) = \sum_{m=1}^n (1.0 / m^1) * \text{rand}()$$

$$\text{phase} = \text{rand}() / 32767$$

여기서 n 은 고조파 차수, N 은 한주기당 샘플수, 그리고 m 은 고조파 상수, $\text{rand}()$ 는 난수를 나타내며 랜덤파형은 최대 32767의 크기와 2π 이내의 위상을 갖는다.

이와같이 구성된 신경회로망 맵핑필터는 신경회로망의 고도의 병렬처리, 일반화특성 및 보간성능에 따라 선형 및 비선형 필터링 특성을 갖게되며, 학습되지 않은 전력계통의 불평형 과도상태의 전압 전류의 과도파형으로부터 기존의 순차적 필터링 방법에서 기대할 수 없었던 고속 동작으로 기본파 또는 고조파성분을 추출한다.

3.2 신경회로망의 고장패턴추정

신경회로망 맵핑필터로부터 추출된 전류의 기본파성분을 입력패턴으로하여 고장의 상태 및 형태를 추정하기 위하여 신경회로망 맵핑필터와 같이 다층퍼셉트론으로 구성하고 학습은 GDR을 이용하였다. 신경회로망 고장패턴추정기의 입력패턴은 동작속도를 증진시키기 위하여 각 상의 기본파성분 전류 I_a , I_b , I_c 와 영상분전류 I_0 의 윈도우 크기를 각각 3 샘플로하여 대응되는 입력층 유니트 수를 12개로 표1과 같이 구성하였으며,

표1. 기본파성분 입력패턴

A- Phase Fund. Current			B- Phase Fund. Current			C- Phase Fund. Current			Zero Sequence Fund. Current		
$I_a(t-1)$	$I_a(t)$	$I_a(t+1)$	$I_b(t-1)$	$I_b(t)$	$I_b(t+1)$	$I_c(t-1)$	$I_c(t)$	$I_c(t+1)$	$I_0(t-1)$	$I_0(t)$	$I_0(t+1)$
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12

목표출력 패턴은 출력층을 4개의 유니트로 구성하여 각상의 기본파성분 전류 I_a , I_b , I_c 와 영상분 I_0 에 대응시켜 출력층의 각 유니트가 정상상태 일때 0, 고장상태 일때 1로 하고 지락고장인 경우 영상분 유니트가 1, 단락고장인 경우 0으로 하여 4개의 출력층 유니트를 갖는 신경회로망으로 표2와 같이 맵핑하였다.

표2. 고장패턴추정기의 출력패턴

Output nodes Oa Ob Oc Oo	Meaning
1 0 0 1	A-phase ground fault
0 1 0 1	B-phase ground fault
0 0 1 1	C-phase ground fault
1 1 0 1	AB-phase ground fault
0 1 1 1	BC-phase ground fault
1 0 1 1	AC-phase ground fault
1 1 0 0	AB-phase short fault
0 1 1 0	BC-phase short fault
1 0 1 0	AC-phase short fault
1 1 1 0	Three-phase fault
0 0 0 0	None fault

이와같이 구성된 신경회로망을 이용한 고장패턴추정기는 적절한 은닉층과 유니트를 선정하여 학습시키므로써 신경회로망의 특성에따라 전력계통에서 발생하는 각종 고장패턴을 신속하게 추정하여 판별하게 된다.

또한 고장거리 추정은 신경회로망 맵핑필터로부터 추출된 전압, 전류의 기본파성분에 의해 고장패턴추정기의 출력인 고장종류에 따라 고장점을 추정하게된다. 고장상의 기본파성분의 전압과 전류에 대하여 계전기에서 본 고장점의 임피던스 Z_f 는 1선지락사고종의 A상 지락인 경우

$$Z_f = V_a / I_a'$$

$$I_a' = I_a + I_0(Z_0 - Z_1)/Z_1$$

이며, 여기서 Z_0 와 Z_1 는 각각 선로의 영상분 임피

던스와 정상분 임피던스이다. 그리고 2선지락, 선간 단락 및 3상고장은 모두 고장상에 따라 다음 식과 같다.[2]

$$Z_f = (V_a - V_b) / (I_a - I_b)$$

$$= (V_b - V_c) / (I_b - I_c)$$

$$= (V_c - V_a) / (I_c - I_a)$$

이와같이 각 상에 대한 전압 전류의 기본파성분을 추출하는 신경회로망 맵핑필터와 고장발생 여부와 고장형태를 추정하는 신경회로망 고장패턴추정기를 이용하여 신속하게 고장형태 및 고장점을추정할 수 있도록 하는 신경회로망을 이용한 패턴인식형 거리계전시스템을 구성할 수 있게된다.

4. 시뮬레이션 및 결과고찰

4.1 모델계통 적용

제안한 패턴인식형 신경회로망 거리계전 기법을 검증하기위해 선택한 모델계통은 154(KV), 송전 선로로서 최대 200(Km)의 공장을 갖으며, 선로정수는 EMTP 선로정수루틴을 이용하였으며 시뮬레이션의 전체적인 수행 블록도는 그림3과 같다.

일반적으로 고장파형은 여러가지 요소들에 의해 영향을 받지만 본 연구에서는 고장거리, 고장점저항, 그리고 고장 발생각을 고려하여 한 주기당 30° 간격(1.38(ms))으로 12번 샘플링하여 한 샘플씩 이동하는 moving 윈도우 방식으로 모델 시스템을 시뮬레이션 하였다.

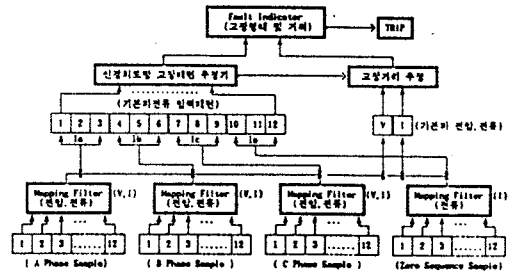
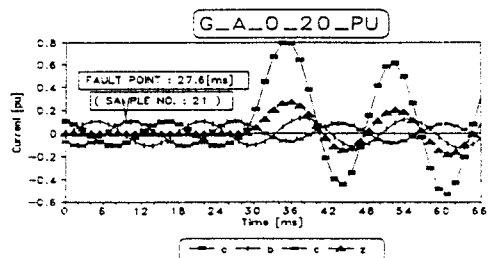


그림 3. 신경회로망 시뮬레이션 블록도

4.2 과도파형에 대한 기본파성분 추정

신경회로망 맵핑필터의 과도파형에대한 전압위상각 0도와 90도의 추정 결과인 그림4와 그림5에서 보는 바와같이 DFT보다 0도의 경우 더욱 안정된특성을 보여주고 있다.



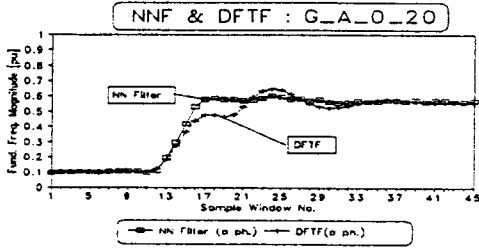


그림4. 신경회로망 맵핑필터의 기본파추정(0도)

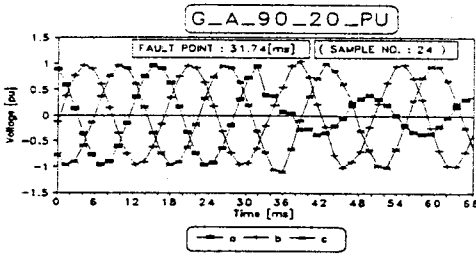
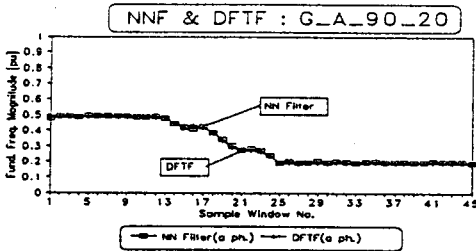


그림5. 신경회로망 맵핑필터의 기본파추정(90도)



4.3 고장패턴 추정기의 판별 특성

그림6과 그림7은 신경회로망 고장패턴 추정기의 고장패턴을 추정한 결과로서 고장발생후 3샘플 이내에서 고장상태를 고장형태별로 판별하고 있음을 보여 주고있다.

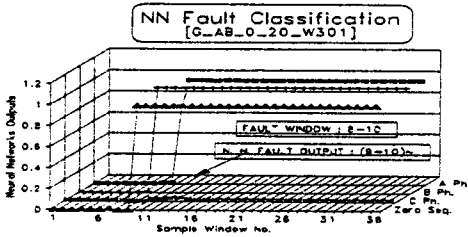


그림6. 고장패턴추정기의 고장패턴추정(AB상지락)

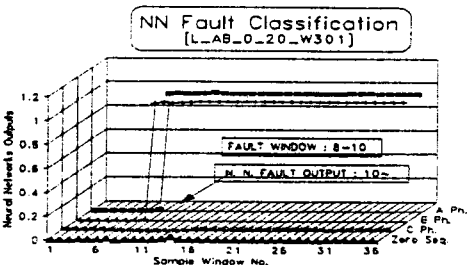


그림7. 고장패턴추정기의 고장패턴추정(AB상단락)

4.4 고장거리에 대한 추정결과

그림8은 신경회로망 고장패턴추정기에서 판별된 고장종류에 따라 맵핑필터를 통하여 얻은 기본파성분을 기초로 고장점의 거리를 추정한 결과를 보이고 있는데 DFT보다 과도상태에서 안정된 수렴을 나타 있다.

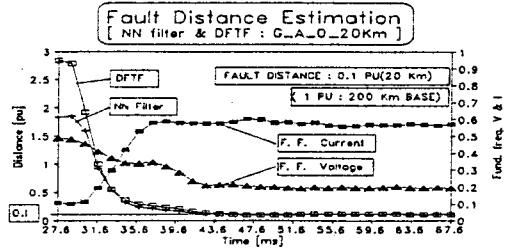


그림8. A상 지락사고의 고장점추정

5. 결 론

본 연구에서는 제안한 신경회로망 맵핑필터와 신경회로망 고장패턴추정기를 일련의 패턴인식 거리계전시스템으로 구성하여 고장발생후 3샘플 이내의 고속으로 고장패턴을 판별할 수 있도록 함과 아울러 효율적으로 고장점의 거리추정을 산정될 수 있는 제안된 기법의 신뢰성을 검증하였다.

이상의 결과는 신경회로망 하드웨어에 구현하는 경우 디지털 거리계전기법에 효과적으로 이용될 수 있으며 기존의 아날로그 보호계전방식 및 디지털 보호계전방식의 종래의 문제점을 보완, 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- (1) The Electricity Council, *Power system prototion, vol. I, II*, Peter Pergrinus Ltd., 1981.
- (2) A.G. Phadke, J.S. Thorp, *Computer relaying for power systems*, RSP 1988.
- (3) Robert Hecht-Nielsen, "Theory of the backpropagation neural networks," IJCNN, vol. I, pp. 593~605, 1989.
- (4) 신명철, 이복구, "신경회로망을 이용한 과도파형의 기본파성분 추출에 관한 연구," 대한전기학회 논문지, vol.43, no.4, pp.553-563, 1994.
- (5) K. Hornik, "Multilayer feedforward networks are universal approximator," *Neural Networks*, vol.2, pp.359-366, 1989.
- (6) Y.H.Pao, *Adaptive pattern recognition and neural networks*, Addison-Wesley, 1989.