

Tabu 탐색학습알고리즘에 의한 신경회로망을 이용한 결함진단

양 보 석, 신 광 제**, 최 원 호***

(Fault Diagnosis using Neural Network by Tabu Search Learning Algorithm)

(Bo-Suk Yang, Kwang-Jae Shin, Won-Ho Choi)

1. 서론

계층형 신경회로망은 학습능력이나 비선형사상능력을 가지고 있고, 그 특징을 이용하여 패턴인식이나 동정 및 제어 등에서의 적용이 시도되어 성과를 올리고 있다⁽¹⁾. 현재, 그 학습법으로 널리 이용되고 있는 것이 역전파학습법으로 최급강하법이나 공액경사법 등의 최적화 방법이 적용되고 있지만, 학습에 많은 시간이 걸리는 점, 국소적 최적해(local minima)에 해의 수렴이 이루어져 오차가 충분히 작게 되지 않는 점 등이 문제점으로 지적되고 있다⁽²⁾.

본 논문에서는 Hu⁽³⁾에 의해 고안된 random 탐색법과 조합된 random tabu 탐색법으로 최적결합계수를 구하는 학습 알고리즘으로, 국소적 최적해에 수렴하는 것을 방지하고, 수렴정도를 개선하는 새로운 방법⁽⁴⁾을 이용하여 회전기계의 이상진동진단에 적용가능성을 검토하고 오차역전파법에 의한 진단결과와 비교검토한다.

2. 신경회로망의 개요

신경회로망(neural network)이란, 인간의 신경세포(neuron)의 모델을 네트워크화 하고, 고도병렬분산처리를 실현한 정보처리 시스템의 총칭이다. 신경회로망은 그 구조에 의해 계층형과 상호결합형으로 대별된다. 그 중 계층형 신경회로망에 관해서는 진단, 문자인식, 로봇트 관절(manipulator)의 제어, 패턴인식 등의 응용에도 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

신경회로망의 학습이란, 정보처리 시스템의 목적에 맞도록 유니트간의 결합계수를 조절하는 것이다. 따라서 학습은 신경회로망에 있어서 가장 중요한 것이며, 최적 분류 패턴을 하기 위하여 결합계수를 수정하는 것이다. 이러한 결합계수의 수정에 의한 학습을 수행하기 위해서 평가기준이 필요하며, 외부에서 교사신호로 입력신호에 대한 이상적인 출력을 부여하여 비교평가하는 교사있는 학습방식과 평가기준을 내장해서 외부에서 하나하나 교사신호를 부여하지 않는 교사없는 학습방식으로 구분할 수 있다.

계층형 신경회로망은 유니트가 연결되어 그림 1과 같이

구성된다. 이 네트워크에서 입력유니트 i의 출력 I_i 와 중간층 유니트 j의 출력 H_j 그리고 출력층 유니트 k의 출력 O_k 의 관계는 다음과 같다.

$$H_j = f(\sum_i W_{ji} \cdot I_i + W_{j0}) \quad (1)$$

$$O_k = f(\sum_j V_{kj} \cdot H_j + V_{k0})$$

여기서

W_{ji} : 입력층 유니트 i에서 중간층 유니트 j로의 결합계수

V_{kj} : 중간층 유니트 j에서 출력층 유니트 k로의 결합계수

W_{j0} : 중간층 유니트 j의 오프셋,

V_{k0} : 출력층 유니트 k의 오프셋

$f(x)$: 시그모이드 함수 $f(x) = 1/(1 + \exp(-2x/u_0))$

(u_0 는 시그모이드 함수 온도)

교사있는 학습방식에서 널리 쓰이는 평가함수로는 출력 (O)과 교사신호(T)와의 차의 제곱, 즉 제곱오차함수(E)가 이용된다.

$$E = \sum_p E_p = \sum_p \sum_k (T_{kp} - O_{kp})^2 / 2 \quad (2)$$

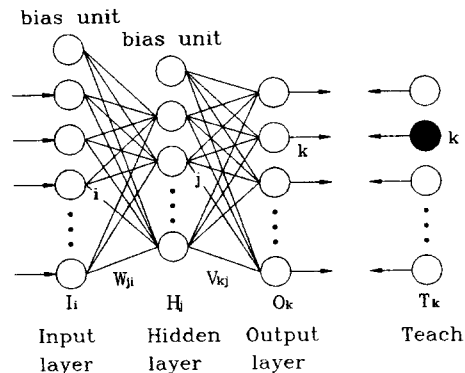


그림 1 계층형 신경회로망의 구조

* 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

** 부산수산대학교 대학원 기계공학과

*** 효성중공업(주) 기술연구소

3. Random tabu 학습알고리즘

3.1 Random tabu 탐색법

Hu⁽³⁾는 Glover가 고안한 tabu 탐색법을 개량하고, 그 방법을 일반적인 제약조건이 있는 최적화 문제에 확장하였다. 어떤 목적함수 $f(x)$ 를 제약조건하에서 최소화 하는 문제의 경우, tabu 탐색법에서는 step수, count수의 2개의 새로운 정수를 정의한다. Step수는 탐색을 하는 근방영역의 개수이고, count수는 하나의 근방영역을 탐색하는 회수의 상한치를 나타낸다. 제약조건을 만족하는 해의 제 1근사해(초기치)를 x_0 로 하고, x_0 주위에 근방영역 $N(x_0, h_i)$ 을 다음과 같이 설정한다(그림 2).

$$N(x_0, h_1), N(x_0, h_2), \dots, N(x_0, h_r)$$

여기서 $h_i (i=1, 2, \dots, r)$ 는 step폭, r 은 step 수, P 는 step 비이다.

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_r\}$$

$$h_1 = b - a, h_2 = h_1P, h_3 = h_2P, \dots, h_r = h_{r-1}P$$

Tabu 탐색법의 idea는 각각의 근방영역 중에서 x 를 임의(random)로 발생시키고, 그것에 의한 $f(x)$ 가 $f(x_0)$ 보다 적으면, 그 점을 그 영역내의 최소점으로서 기억하고 전 근방영역에서 선택된 최소점들 중에서 가장 작은 x 를 제 2차 근사해 x_1 으로 하고, x_1 주위에 다시 근방영역을 설정하여 탐색을 반복하는 것이다. 기본적인 방법은 Hooke-Jeeves들이 제안한 직접탐색법의 패턴탐색법과 격자탐색을 조합한 방법에 가깝지만⁽⁵⁾, 개량 step폭 대신에 근방영역을 설정한 것과 크기가 다른 것을 복수개 설정하는 점에서 다르다.

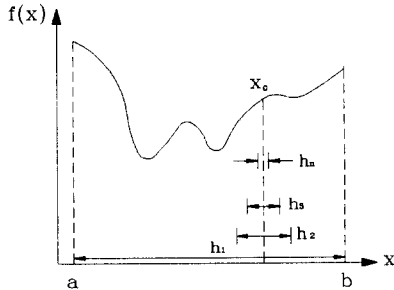


그림 2 1변수 문제에서의 근방영역의 설정

3.2 신경회로망의 학습알고리즘⁽⁴⁾

신경회로망의 학습은 주어진 입력패턴에 대해서 교사패턴에 가까운 출력패턴을 발생하도록 결합계수의 수정을 하고 이를 통해 결과적으로 평가기준을 만족하는 결합계수를 구하는 것이다. 따라서 평가기준이 되는 목적함수를 식 (2)의 출력과 교사신호의 제곱오차합수로 하고 설계변수를 입력층과 중간층(W_{ji}), 중간층과 출력층(V_{kj})의 결합계수로 할 때 제곱오차를 최소화 하는 결합계수를 구하는 문제와 같다.

$$E = \sum_p E_p = \sum_p \sum_k (T_{kp} - O_{kp})^2 / 2 \quad (3)$$

$$= f(W, V) \rightarrow \text{Minimize}$$

네트워크를 학습시키기 위해 step수와 count수 등의 파라미터를 정한 후 결합계수를 초기화하고 근방영역을 설정한다. 그리고, 결합계수의 행렬 각요소를 각각의 근방영역 중에서 random하게 발생시키고 이 결합계수에 의한 제곱오차합을 기존의 결합계수에 의한 제곱오차합과 비교하여 적으면 이 결합계수를 그 근방영역에서의 오차최소점으로 기억하고 전 근방영역에서 선택된 최소점들 중에서 가장 작은 오차를 가지는 결합계수를 근사최적결합계수로 하고, 이 결합계수의 각 요소들 주위에 근방영역을 설정하여 탐색을 반복하는 것이다. 이 과정에서 크기가 다른 근방영역에서의 탐색이 국소적 최적해에의 수렴을 방지하고 random 탐색에서의 맹목적인 탐색을 피하도록 하고 있다. 본 연구에서 제안한 random tabu 탐색법을 이용한 신경회로망의 구체적인 학습순서는 다음과 같다.

- (1) 네트워크에 입력패턴과 교사패턴을 적입한다.
- (2) 파라미터의 값을 정한다. 즉 중간층 유니트수, 시그모이드 함수의 온도(u_0), step비, step수, count수, 오차한계치, 최대반복수 그리고 초기 난수발생 경계치를 정한다.
- (3) 결합계수를 초기 난수발생 경계치 내에서 난수로 초기화한다.
- (4) Step H를 정의한다.
- (5) Step h_i 에 대한 결합계수의 근방영역을 정의하고 random 이동이 발생되어 진다.
- (6) Random 이동된 결합계수에 의한 오차와 기존의 결합계수에 의한 오차값을 비교한다. 오차가 작아지지 않았다면 그 근방영역에서 다시 임의 이동하여 오차값을 비교한다. 단, 하나의 근방영역내에서의 random 이동 횟수는 정해진 count수 만큼까지만 반복가능하다. 오차가 작아졌다면 기존의 결합계수를 random 이동된 결합계수로 교체하고 새로운 step h_i 를 정한 후 (5)의 단계로 간다. 단, step수 만큼 반복하고 오차값이 오차한계를 만족하면 종료하고 만족하지 않으면 (5)의 단계로 돌아간다.

4. 결합진단 예

본 연구에서는 결합진단 예로서 유체회전기계의 이상진동진단을 대상으로 하였다. 표 1은 학습용 입력패턴과 교사패턴을 나타낸다. 좌단부에는 7종류의 진동원인을 나타내고 이에 따른 특징진동주파수의 인과행렬을 보이며, 우단부는 이에 대응하는 교사신호패턴을 나타낸다.

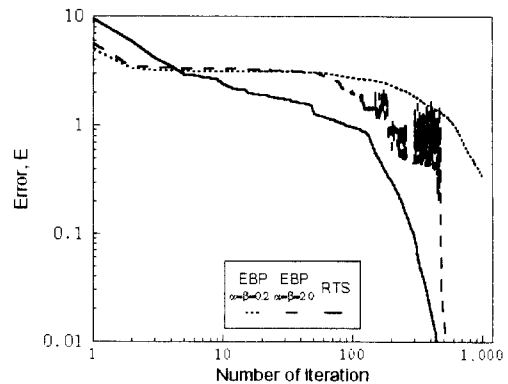


그림 3 학습에 의한 제곱오차의 수렴비교

표 1 유체기계의 이상진동에 대한 학습패턴과 교사패턴

Cause of vibration	Input Pattern									Teaching Pattern						
	0 ~ 0.4X	0.4X ~ 0.5X	0.5X ~ 1X	1X	2X	Higher multiples	Lower multiples	Odd freq.	1	2	3	4	5	6	7	
F ₁ Unbalance	0.0	0.0	0.0	0.9	0.05	0.05	0.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0	
F ₂ Foundation distortion	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.1	0	1	0	0	0	0	0	
F ₃ Seal rub	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	1	0	0	0	0	
F ₄ Misalignment	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	0	0	0	1	0	0	0	
F ₅ Resonance	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	1	0	0	
F ₆ Oil whip	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	1	0	
F ₇ Clearance induced vibration	0.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	1	

그림 3은 기존의 오차역전파법과 random tabu 탐색법을 이용한 학습법에 의한 제곱오차의 수렴특성을 보이고 있다. Random tabu 탐색법을 이용한 학습법이 기존의 방법보다 월등히 수렴속도가 빠르고 발산하지 않음을 알 수 있다.

그림 4는 제곱오차의 수렴한계를 0.01로 하였을 때의 학습 결과의 한 예를 보이고 있다. 그림에서 패턴 1, 즉 불평형에 대한 본 학습알고리즘을 이용한 학습결과는 0.940이고, 기존의 오차역전파법에 의한 결과는 0.927로서 기대치 1.0에 잘 추정하고 있음을 알 수 있다.

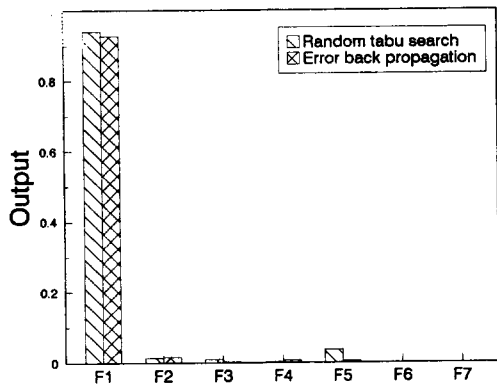


그림 4 학습결과 비교예(불평형의 경우)

그림 5는 석유정제플랜트에서 사용되는 터보발전기에서 발생한 이상진동에 대한 진단결과를 나타낸다. 이 기계는 전기적인 수리후 기동시 2번 배어링의 수평방향 probe에서 2X 진동성분이 크게 발생한 경우⁽⁶⁾로서 정렬불량(misalignment)으로 진단된 경우이다. 결합원인이 비교적 잘 동정되고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 발전플랜트에서 보일러급수펌프로 사용되는 고압다단원심펌프로에서 발생한 이상진동사례에 대한 진단결과이다. 이 기계는 기동시 38Hz 비동기성분의 진동이 크게 성

장한 경우로서 비접촉 시일인 밸런싱 부수(balancing bush)의 불안정유체력에 의한 자려진동이 발생한 경우⁽⁷⁾이다. 그림에서 보듯이 비교적 이상진동의 원인을 잘 진단하고 있다.

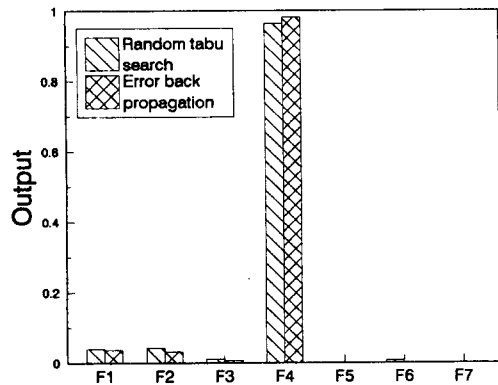


그림 5 진단결과 예(misalignment의 경우)

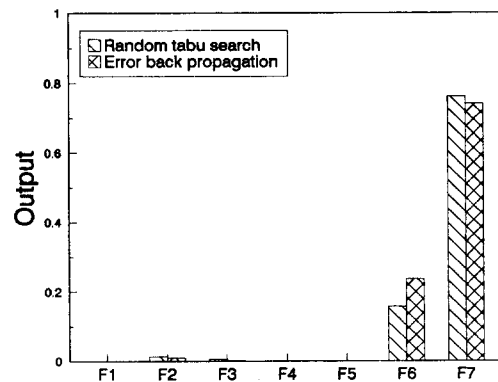


그림 6 진단결과 예(clearance induced vibration의 경우)

6. 결론

본 연구에서는 저자들이 제안한 random 탐색법과 조합된 tabu 탐색법(random tabu 탐색법)을 이용하여 제곱오차를 최소화하는 결합계수를 구하여 신경회로망을 구축하는 새로운 학습알고리즘을 유체회전기계의 이상진동진단에 적용하고자 시도하였다. 본 학습법이 기존의 방법에 비하여 국소적 최적해에 수렴하는 것을 방지하고, 수렴정도를 획기적으로 개선하는 것을 회전기계에서 발생한 실제사례에 적용하여 확인하였다.

참고문헌

- (1) 中野 隆 외 4인 著, 박민용, 최항식 譯 “뉴로 컴퓨터”, 大英社, 1991.
- (2) Casimir K., John G., and Garrett P. : “Neural Computing”, Neural Ware, Inc, 1989.
- (3) Hu, N., International Journal Numerical Methods in Engineering, Vol. 35, pp. 1055-1070, 1992.
- (4) B. S. Yang, et al., Learning Improvement of Neural Network by Tabu Search Method, 2nd Int. Conf. on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, CETIM, FRANCE, 10-12 Oct. 1995, pp. 845-852.
- (5) Jasbir S. Arora., INTRODUCTION TO OPTIMUM DESIGN, McGraw Hill, 1990.
- (6) Cabra, M. S., Misalignment and balancing problem at a refinery, Orbit, Sept. 1993, pp. 20-22.
- (7) Takagi, M. et al., Vibration of Multi-stage Centrifugal Pump, Trans. JSME, 48(427), pp. 313-320, 1982.