

신경회로망 학습이득 알고리즘을 이용한 자율적응 시스템 구현

이성수*
한국폴리텍대학

Implementation of Self-Adaptative System using Algorithm of Neural Network Learning Gain

Sung-su, Lee*
Korean Polytechnic Colleges

Abstract - Neural network is used in many fields of control systems, but input-output patterns of a control system are not easy to be obtained and by using as single feedback neural network controller. And also it is difficult to get a satisfied performance when the changes of rapid load and disturbance are applied.

To resolve those problems, this paper proposes a new algorithm which is the neural network controller. The new algorithm uses the neural network instead of activation function to control object at the output node.

Therefore, control object is composed of neural network controller unifying activation function, and it supplies the error back propagation path to calculate the error at the output node.

As a result, the input-output pattern problem of the controller which is designed by the simple structure of neural network is solved, and real-time learning can be possible in general back propagation algorithm.

Application of the new algorithm of neural network controller gives excellent performance for initial and tracking response and it shows the robust performance for rapid load change and disturbance.

The proposed control algorithm is implemented on a high speed DSP, TMS320C32, for the speed of 3-phase induction motor. Enhanced performance is shown in the test of the speed control.

1. 서 론

최근까지 서보모터 및 유도모터의 가감변속 운전을 위한 방법으로 산업 현장에서는 주로 PID(proportional integral derivation)제어기에 의해 제어 되어왔다. 이는 PID 제어기의 구조가 간단하고 과도응답특성이 좋으며 정상상태오차를 제거할 수 있기 때문이다[1, 2]. 그러나 제어성능이 시스템의 파라미터 변동에 민감하며 부하외란에 대해 빠른 과도응답을 갖지 못하여 건실성이 떨어진다. 따라서 시스템의 특성이 변화할 경우 제어특성을 유지 하기 위해서는 시스템의 특성에 맞는 PID 제어기의 매개변수를 다시 결정 해야만 한다[3].

PID 매개변수의 값을 결정하는 것은 전문적인 지식을 갖추고도 상당한 시간과 노력이 요구된다. 근래에까지 매개변수의 획득에 대한 많은 연구가 있어왔고, 최근에는 시스템 자체에 관련된 정보가 없어도 제어환경의 변화에 스스로 적응할 수 있는 신경회로망을 제어분야에 적용되고 있다[4, 5]. 신경회로망은 많은 제어 시스템 분야에 응용되고 있으며 단일계환 신경회로망 제어기로 사용할 경우 에뮬레이터(emulator)를 이용하는 연구가 진행되고 있으나 이는 에뮬레이터가 부수적으로 필요하게 됨으로서 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6, 7].

본 논문에서는 에뮬레이터를 사용하지 않고서도 시스템 특성에 적합하게 제환제어 이득이 자동으로 결정되는 신경회로망 제어기를 제안하였다. 제안된 방법은 학습을 통하여 제어 대상 시스템의 정보를 얻어 시스템의 특성에 맞게 적용하여 PID 제어기와 같은 기능을 갖고 있으며 부하급변 및 외란 인가시 시스템에 맞는 매개변수를 자동으로 결정하고 동조되는 효과를 가지게 된다. 따라서 산업현장에서 널리 사용되는 PID 제어기의 대체 제어기로 사용된다면 자동화설비의 기능을 한층 높일 수 있으리라 사료된다. 제안된 신경회로망 적용제어기의 기능은 3상 유도전동기의 속도실험에 의하여 확인하였다.

2. 신경회로망 자율적응시스템

2.1 신경회로망

신경회로망은 학습에 의하여 지식을 얻고, 저장할 수 있고, 활용할 수 있는 기능을 갖춘 것으로서 생물학적 두뇌작용을 모방하는 기법이다.

신경회로망에는 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 다양한 기능이 있지만, 제어분야에서는 인식과 최적화 기능을 사용하여 오차를 최소화 시켜주는 델타학습규칙이 주로 사용되고 있다.

이에 대한 단일 뉴트를 블록선도로 나타내면 그림 1과 같다.

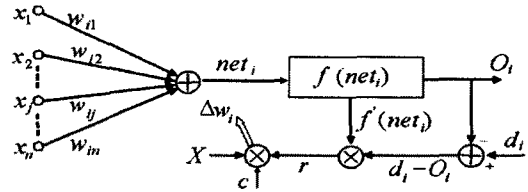


그림 1 델타학습 블록선도
Fig. 1 Delta learning Block diagram.

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다.

$$r = [d_i - f(W_i^t X)] f'(W_i^t X) \tag{1}$$

여기서 W 는 무게값 벡터, X 는 입력 벡터를 나타낸다.

$$W = [W_{11}, W_{12} \dots W_{in}]^t$$

$$X = [X_1, X_2 \dots X_n]^t$$

윗 첨자 t 는 전치를 뜻하고, 그림에서 사용된 기호 net 은 $W^t X$ 와 같은 값을 갖는다.

델타 학습규칙은 기준값(d_i)과 출력값(O_i)차의 제곱오차를 최소화 시키는 조건으로부터 얻어질 수 있고, 오차제곱벡터(E)는 다음과 같이 정의된다.

$$E = \frac{1}{2} (d_i - O_i)^2 = \frac{1}{2} [d_i - f(W_i^t X)]^2 \tag{2}$$

무게값(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

$$\nabla E = \frac{\partial E}{\partial W_i} = -(d_i - O_i) f'(W_i^t X) X \tag{3}$$

오차를 최소화시키기 위해서 무게치는 음의 기울기 방향으로 변화되어야 하므로 다음과 같은 관계가 성립해야만 한다.

$$\Delta W_i = -C \nabla E = C (d_i - O_i) f'(W_i^t X) X \tag{4}$$

C 는 양의 상수이고, 무게값은 다음으로 조절된다.

$$W_i^{k+1} = w_i^k + \Delta W_i^k \tag{5}$$

델타 학습규칙은 복잡한 영역까지 인식 가능한 3층 이상으로 확장되어 사용되고, 일반적으로 그림 2와 같은 형태의 제어시스템으로 구성된다.

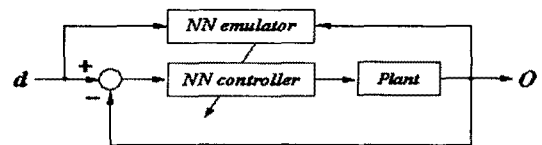


그림 2 신경회로망 제어시스템
Fig. 2 Control system of Neural Network.

그림 2와 같이 신경회로망 에뮬레이터를 갖는 구조의 제어시스템은 연산

수가 많아져서 시간이 많이 소요되는 단점을 갖고 있으므로 실시간 제어에 적합하지 않다.

2.1 신경회로망 학습이득 자율적응시스템

신경회로망 제어기는 지도입출력 패턴이 필요하게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 에플레이터를 사용하게 되는데, 이러한 경우에 연산수가 증가되어 실시간 제어에 어려움이 발생한다.

본 논문에서는 신경회로망 제어기의 마지막 출력노드에 플랜트를 설치하는 방법을 도입하였고, 제어 입력(u)에 보조제어 입력을 부과함으로써 신경회로망의 응답특성을 개선하였다.

다층구조인 경우에 마지막 출력노드를 불릿선도로 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3에서 기호 Y 와 F 는 마지막 출력노드의 입력과 학습신호이며, $P'(net_k)$ 는 마지막 출력노드의 미분값을 나타낸다.

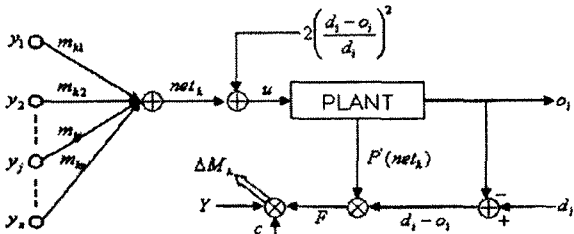


그림 3 학습이득 자율적응 알고리즘을 갖는 시스템 블록선도
Fig. 3 Block diagram of control system with the algorithm for self-adaptive of learn gain.

그림 3에서와 같이 출력노드의 활성화 함수 대신에 플랜트를 대치함으로써 자연스럽게 신경회로망의 지도 입력력 패턴문제를 해결하였다. 또한 제어시스템의 응답특성을 개선하기 위하여 보조제어 입력을 부과한 제어입력(u)는 식 (6)과 같다.

$$u = net_k + 2 \left(\frac{d_i - o_i}{d_i} \right)^2 \quad (6)$$

제외된 알고리즘은 오차와 오차변화율의 정보를 이용하여 제어를 수행함으로써 시스템 특성에 대한 지식 없이 조작자가 원하는 제어를 행할 수 있다는 점과 비숙련공도 숙련공 같이 시스템을 운영할 수 있는 장점을 갖추고 있다.

또한 학습시작과 더불어 시스템 특성에 맞는 이득으로 학습이 수행되어 설정값에 이르게 되면 학습이 완료됨으로써 실시간 제어기에 편리하게 사용될 수 있다.

3. 실험 및 결과고찰

유도전동기는 견고하고 유지보수가 용이하여 다양한 분야에 사용되고 있으나, 비선형이며 상호 결합된 다변수 제어구조로 인하여 정밀한 서보제어 시스템에 사용하는데 제한을 받아 왔다.

하지만 마이크로프로세서의 비약적인 발달은 현대 제어이론의 적용을 가능하게 하여 여러 분야에서 서보 액추에이터로서의 사용이 점차 확대되고 있다. 이러한 추이에 따라 제어 대상체에 유도전동기를 사용하였고, 실험에 의하여 제안된 신경회로망 학습이득 자율적응 제어 시스템과 PID 제어 시스템과의 성능을 비교하였다.

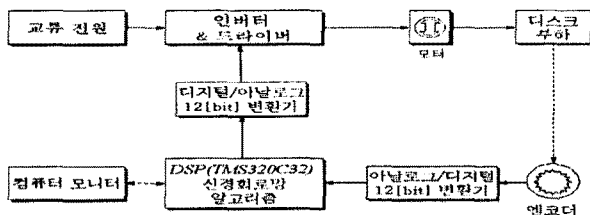


그림 4 유도전동기 제어를 위한 서보시스템 구성
Fig. 4 Comparison of servo system for induction motor control.

실험을 하기위한 제어 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 전동기를 제어하기 위한 인버터(LG-OTIS SV015G5-2U)는 IGBT형 PWM제어방식의 인버터를 사용하였다. 외란 실험에서의 부하는 11[kg]의 원반을 전동기의 회전축과 연결하여 사용하였다. 실시간으로 제어를 위하여 프로세서는 TI사의 DSP(TMS320C32)를 사용하였다.

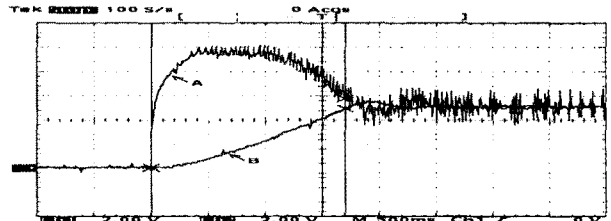
실험에 사용된 3상 유도전동기(Model: KMI-400K1, LG OTIS)의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 3상 유도전동기의 매개변수
Table 1 Parameter of 3-phase induction motor.

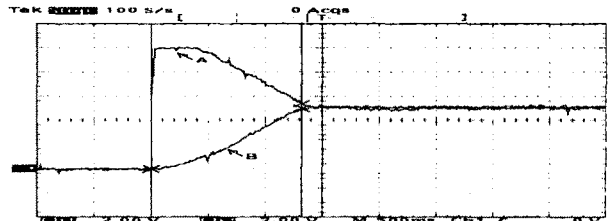
항 목	데이터	항 목	데이터
정격전압[V]	220	정격회전수[rpm]	1,710
무부하 정격전류[A]	1.80	주파수[Hz]	60
정격용량[W]	0.4	극수[P]	4

사용된 신경회로망 학습이득 자율적응 제어 시스템은 단일 입력과 1층 3노드, 2층 4노드를 선택하였고, 출력층은 단일노드로 활성화 함수대신 유도전동기를 사용하였으며, 학습상수 $c=0.297$, 교차신호인 전동기의 설정값 $d=850[rpm]$, 뉴런상수이득 $\lambda=1.0$ 을 사용하였다.

PID 제어 시스템의 매개변수는 다음과 같다. 비례이득 $k=3.60$, 적분시간 $T_i=0.80$, 미분시간 $T_d=0.20$ 을 사용하였다.



(a) PID 제어 시스템의 초기 제어 응답곡선

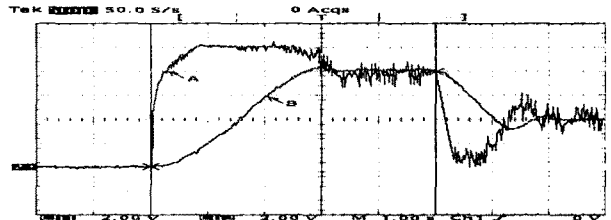


(b) 신경회로망 자율적응 시스템의 초기 제어 응답곡선

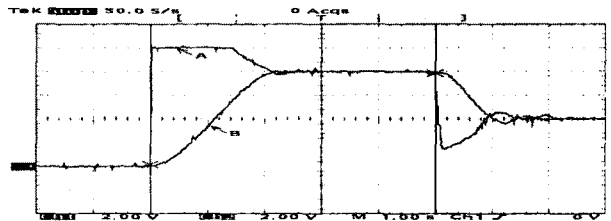
그림 5 제어 시스템의 초기 응답곡선
Fig. 5 Initial response curve of control system.

그림 5는 제어시스템의 초기응답 속도를 나타내고 있다. (a)의 A는 PID 제어 시스템의 제어입력이며 (a)의 B는 응답곡선으로 1700[ms]후 설정값에 도달됨을 보였다.

그림 5-(b)의 A는 본 논문에서 제안된 신경회로망 자율적응 제어 시스템의 제어입력이며 (b)의 B는 응답곡선으로 1300[ms]후 설정값에 도달하여 PID 제어 시스템보다 400[ms] 빨리 설정값에 도달됨을 보였다.



(a) PID 제어 시스템의 추적 응답곡선



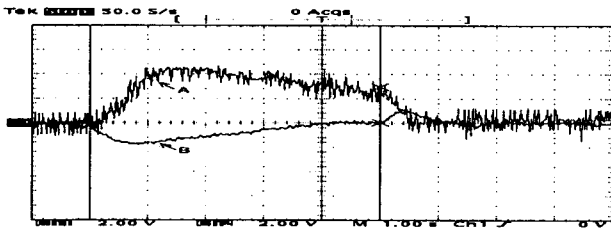
(b) 신경회로망 자율적응 시스템의 추적 응답곡선

그림 6 제어 시스템의 속도추적 응답곡선
Fig. 6 Speed tracking response curve of control system.

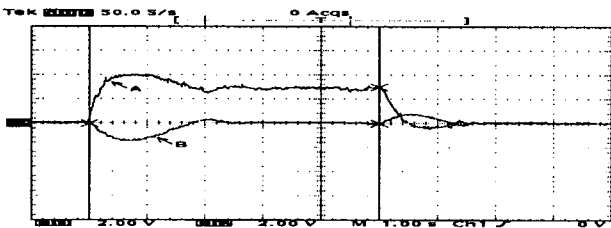
그림 6은 제어 시스템의 초기의 설정값이 1360[rpm]으로 운전하다가 5[sec] 후 설정값이 680[rpm]으로 변경될 때 다른 시스템의 추적 응답곡선이다.

그림 6-(a)의 A는 PID 제어 시스템의 제어입력이며 (a)의 B는 응답곡선으로 초기 1360[rpm]까지 도달되는데 3[sec]가 소요되었으며, 설정값을 680[rpm]으로 변경하였을 경우 설정값에 도달되는 시간은 1[sec]가 걸렸으나 감쇄진동이 발생하였다.

그림 6-(b)의 A는 신경회로망 자율적용 제어 시스템의 제어입력이며 (b)의 B는 응답곡선으로 초기 1360[rpm]까지 도달되는데 2[sec]가 소요되어 PID 제어 시스템보다 1[sec]빨리 목표값에 수렴함을 보였으며, 설정값을 680[rpm]으로 변경하였을 경우 PID 제어 시스템과 같이 설정값에 도달되는 시간은 1[sec]가 걸렸으나 PID 제어 시스템처럼 진동이 발생하지 않고 원하는 제적에 빨리 수렴함을 보였다.



(a) PID 제어 시스템의 외란 응답곡선



(b) 신경회로망 자율적용 시스템의 외란 응답곡선

그림 7 제어 시스템의 외란응답 곡선

Fig. 7 Disturbance response curve of control system.

그림 7은 제어 시스템에 외란인가에 대한 응답곡선이다. 외란은 11[kg]의 원반부하를 이용하여 설정값의 50[%]인 425[rpm]의 속도를 감속시킬 수 있게 하였으며 5[sec]동안 지속적으로 계단형 감속외란을 시스템에 인가하였다.

그림 7의 (a)는 PID 제어 시스템의 외란응답곡선으로 (a)의 A는 외란제거를 위한 제어입력이며 (a)의 B는 외란의 영향에 대한 전동기의 회전수를 나타내는 출력 응답곡선으로 최대 이탈은 272[rpm]이며 이탈 지속시간은 4[sec]동안 지속되었다.

그림 7-(b)의 A는 외란의 영향에 대한 신경회로망 자율적용 제어 시스템의 외란제거를 위한 제어입력이며 (b)의 B는 외란의 영향에 대한 출력응답곡선으로 외란 인가시 최대이탈은 260[rpm]으로 속도가 감소하였으며, 1.8[sec]동안 외란의 영향으로 설정값에서 이탈하였으나 PID 제어 시스템보다 2.2[sec]빨리 외란을 제거하는 우수한 성능을 보였다.

4. 결 론

마이크로프로세서의 비약적인 발달에 의해 현대 제어 이론의 실시간 처리가 가능함에 따라 3상 유도전동기는 산업현장에서 서보 액추에이터로서의 사용이 점차 확대되고 있다.

본 논문에서는 PID 제어 시스템과 신경회로망 제어 시스템의 현안 문제점을 개선하여 폐환 제어 시스템에서 유용하게 사용될 수 있게 하기 위하여 신경회로망의 학습이 시스템에 대한 사전의 정보가 없이도 자율적으로 시스템에 적용할 수 있는 신경회로망 제어 시스템을 제안하였다.

제안된 신경회로망 제어 시스템은 입력력 패턴을 얻기 위한 애플레이터가 없기 때문에 제어 시스템의 구조가 간단하게 구성됨에 따라 고속연산 처리가 가능하여 실시간으로 제어 수행이 가능하게 되었으며, 시스템의 특성이 간헐 또는 연속적으로 변화하거나 외란이 존재하더라도 실시간으로 학습을 통하여 잘 적응하는 특징을 보였다. 따라서 3상 유도전동기를 사용한 서보제어 시스템에 신경회로망의 학습이특이 자율적으로 시스템에 적용하는 알고리즘을 탑재한 시스템은 초기 및 추적 응답 특성 그리고 외란제거 특성에서 PID 제어 시스템 보다 우수하였다.

이와 같은 결과에 의하여 신경회로망의 학습 이득이 시스템 운전과 더불어 자동으로 결정되어 짐으로써 매개변수 결정에 전문가의 지식 그리고

많은 시간과 노력이 필요로 하는 PID 제어 시스템의 단점이 극복되었다. 따라서 제안된 제어 기법은 자동화 설비에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. J. Åström, Automatic tuning of PID controller, Sumit Technical Associates Inc. 1988.
- [2] Z. Y. Zhao, M. Tomizuka and S. Tsaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers" .IEEE Trans. syst. Vol. 23, No. 5, pp. 1393~1397, September/October, 1993.
- [3] K. J. Åström, B.Wittenmark, Adaptive control, Addison-Wesley publishing company, 1995.
- [4] N. Hovakimyan, F. Nardi, A. Calise, "Adaptive Output feedback control of Uncertain". IEEE Traans. Neural Network, Vol. 13, No. 6, pp. 1420~1431. November 2002.
- [5] J. Q. Hong, F.L. Lewis, "Neural-Network Predictive Control for Nonlinear dynamic systems with Time-Delay", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 14, No. 2, pp. 377~389, March 2003.
- [6] K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, and P. J. Gawthrop, "Neural Networks for control system-A survey", Automatic, Vol. 28, No. 6, pp. 1083~1112, 1992.
- [7] K. J. Åström, B. Wittenmark "Adaptive control" 1995 by Addison-wesley publishing company.