Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 18, No.1, pp. 63~67 March 2004 논문 18-2-10

직류전동기의 속도제어를 위한 신경회로망의 새로운 적용

(New application of Neural Network for DC motor speed control)

박왈서*
(Wal-Seo Park)

요 약

신경회로망은 많은 제어분야에서 이용되고 있다. 제어기로 사용될 경우에, 신경망 제어기는 입출력 패턴에 의하여 학습을 하게 된다. 그러나 제어분야의 대부분의 경우에 있어서 신경망 제어기의 입출력 패턴을 구할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위한 한 방법으로, 본 논문에서는 신경망 출력노드에 제어 대상체를 가져오는 새로운 제어 방법을 시도하였다.

이와 같은 새로운 제어 방법의 적용으로 신경회로망제어기의 입출력 데이터를 얻는 문제를 해결할 수 있었다. 제의된 제어 알고리즘의 효과는 직류 서보 전동기의 모의실험에 의하여 확인하였다.

Abstract

We know that Neural Network is in use in many control fields. In time of using as controller, Neural Network controller is needed to learning by Input-output pattern. But in many times of control field, we can not get Input-output pattern of Neural Network controller. As a method solving this problem, in this paper, we try New control method that output node of Neural Network bringing control object.

Such a New control method application, we can solve the data taking problem to Neural Network controller Input-output. The effectiveness of proposed control algorithm is verified by simulation results of DC servo motor.

Key Words : Neural Network controller

1. 서 론

직류전동기는 NC 선반, 각종 공작기계, 로봇 등과 같이 정밀하고 빠른 응답특성이 요구되는 서보 시스템 운전용으로 널리 사용되어지고 있다. 산업현장에서 서보 시스템 운전을 위해 주로 쓰이고 있는 제어기는 비례 적분(PI), 또는 비례 미분 적분(PID)제어기 이다. PI혹은 PID제어기는 제어 상수값이 적절히 조절될 경우 좋은 운전특성을 얻을 수 있으며 제어 알고리즘이 간단하여 손쉽게 구현할 수 있고 아날로그 제어기로도 구성이 가능하다[1][2].

그러나 PID제어 상수값을 결정하는데 상당한 시간이 소요되고, 제어성능이 시스템 파라메타 변동에 매우 민감하게 영향을 받는다[3]. 이러한 시스템특성 변동시 PID 제어기의 상수값을 결정하는 문제점을 해결하기위한 방법 또는 시스템 자체에 관한 지식 없이 오차만으로 오차를 최소화 시키는 학습기능을

* 주저자 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수
Tel : 063-850-6890, Fax : 063-850-6890
E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr
접수일자 : 2003년 8월 8일
1차심사 : 2003년 8월 25일
심사완료 : 2003년 9월 26일

이용한 신경회로망이 제어분야에 응용되고 있다[4][5].

신경회로망을 제어기에 응용할 경우 대부분 학습 알고리즘으로서 지도학습법을 사용하게 되는데 이 경우 신경회로망을 학습시키기 위해서는 필수적으로 지도 입출력 패턴이 필요하게 된다. 그러나 많은 경우에 있어서 지도입력에 대한 지도 출력을 구할 수 없다.

따라서 이러한 지도 입출력 패턴을 구하는 문제는 신경회로망을 제어기로 사용하는데 있어서 매우 중요한 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 입출력 관계를 모의실험할 수 있는 신경망 에뮬레이터(Emulator)를 이용하는 연구가 진행되고 있으나, 이는 신경망제어기를 위한 신경망 에뮬레이터가 부수적으로 필요하며 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6][7].

본 논문에서는 신경회로망의 출력노드에 제어 대상체를 도입하는 새로운 적용을 시도하였다. 이러한 새로운 적용에 의하여 자연스럽게 신경회로망의 지도 입출력 문제를 해결할 수 있음을 직류전동기의 속도제어 모의실험에 의해 확인하였다.

2. 신경회로망과 제어에 대한 새로운 적용

2.1 신경회로망

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

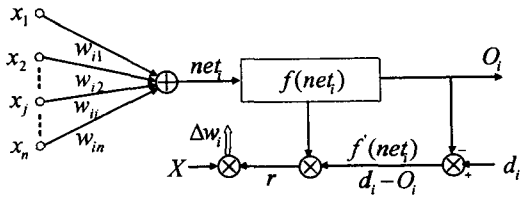

그림 1. 델타 학습 블록선도
Fig. 1. Delta learning Block diagram

신경회로망에는 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 다양한 기능이 있지만 신경회로망을 이용한 제어분야에서는 주로 인식과 최적화 기능을 사용하여 오차가 최소가 되도록 학습하여주는 에뮬레이터(Emulator)와 에스티메이터(Estimator)로 사용되고 있다. 일반적으로 오차 최소화를 목적으로 하는 데에는 델타(Delta)학습이 주로 사용되고 있고, 단일유닛을 블록선도로 나타내면 다음 그림 1과 같다.

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다.

$$r=[d_i-f(W_i^tX)]f'(W_i^tX) \tag{1}$$

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

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

무게값(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

$$\nabla E=\frac{\partial E}{\partial W_i}=-(d_i-O_i)f'(W_i^tX)X \tag{3}$$

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

$$\Delta W_i=-C\Delta E=C(d_i-O_i)f'(W_i^tX)X \tag{4}$$

C는 양의 상수이고, 무게값은 다음으로 조절된다.

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

델타 학습규칙은 복잡한 영역까지 인식 가능한 3층 이상으로 확장되어 사용된다.

2.2 신경회로망의 새로운 적용

시스템 매개변수들에 대한 지식 없이도 조작자가 원하는 제어를 수행 할 수 있다는 것은 제어기법의 큰 장점에 해당된다.

신경회로망이나 퍼지 제어는 오차나 오차 변화율 등의 정보를 이용하여 제어를 수행한다. 신경회로망을 제어기로 사용할 경우에는 필수적으로 지도 입출력 패턴이 필요하게 되는데 많은 경우 지도입력에 대한 출력을 구할 수 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 입출력관계를 모의 할 수 있는 신경회로망 에뮬레이터를 사용하게 되는데, 이 경우 신경회로망 에뮬레이터의 연산 수만큼 연산수가 늘어나게 되는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 신경회로망 제어기의 출력노드에 제어 대상체를 도입하는 새로운 방법을 시도하였다. 이를 블록선도로 나타내면 그림 2와 같다.

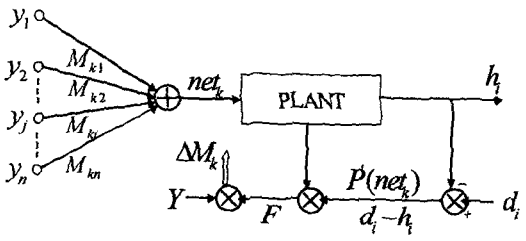

그림 2. 델타 학습의 출력노드 블록선도
Fig. 2. Output node Block diagram of Delta learning

출력노드에 신경회로망 활성화 함수대신 제어 대상체를 사용할 경우 발생되는 지도입력에 대한 출력 문제를 자연스럽게 해결할 수 있다.

본 논문에 사용한 신경회로망 제어시스템의 블록선도는 그림 3과 같다.

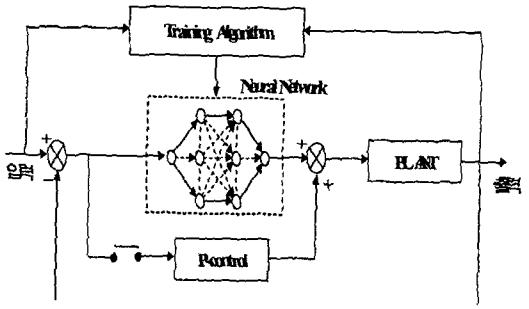

그림 3. 신경회로망 제어시스템의 블록선도
Fig. 3. Block diagram of Neural Network control system

그림 3에서 플랜트는 신경회로망 제어 알고리즘 내로 탑재 된다. 여기서 Plant의 앞부분에서 학습동안에 사용되지 않는 비례(P) 제어를 부가하게 되는데, 시스템 응답의 서보특성을 증진시키기 위해서 사용하였다. 이와 같은 알고리즘에 의해 결정된 제어입력(u)는 식 (6)과 같다.

$$u = net_k + P(d_i - h_i) \tag{6}$$

제의된 알고리즘을 사용함으로서, 플랜트의 정보가 필요하지 않고, 비숙련공도 숙련공과 같이 시스템을 운영할 수 있다. 또한 비교적 짧은 시간에 학습에 이루어짐으로서 실시간 제어에 편리하게 사용할 수 있다.

3.시뮬레이션 및 결과 고찰

제안된 신경회로망 제어 시스템의 유용성을 살펴보기 위하여 제어대상인 플랜트는 직류서보전동기를 사용하였고, PID제어기와 성능을 비교하였다.

사용된 신경회로망은 단일 입력과 1층 3노드, 2층 4노드를 선택하였고, 출력층은 단일노드로 활성화함수 대신 플랜트를 사용하였다.

신경회로망 제어 시스템의 학습상수 $C=0.056$, 학습은 630회 수행하였으며, $P=2$를 사용하였다. PID 제어기의 매개변수는 Z-N방법을 이용하여 비례상수 $K_P=0.065$, 적분상수 $K_I=0.0163$, 미분상수 $K_D=0.065$로 결정하여 사용하였다.

직류 서보 전동기의 전달함수는 식 (7)과 같다.

$$G(s) = K_t / [JL_a s^2 + (JR_a BL_a)s + (K_t K_b + BR_a)] \tag{7}$$

본 논문에 사용된 직류 서보 전동기의 파라메타는 다음과 같다.

$K_t = 2.26[Kgf \cdot cm/A]$: 토오크 상수

$J = 3.4\times10^{-10}[Kgf \cdot cm \cdot \sec^2]$: 관성 모멘트

$L_a = 0.89[mH]$: 전기자 인덕턴스

$R_a = 1.2[\Omega]$: 전기자 저항

$B = 0.75[Kgf \cdot cm]$: 마찰 토오크

$K_b = 23.33[V/Krpm]$ 유기전압 상수

이상의 값을 식 (7)에 대입하면 식 (8)과 같다.

$$G(s) = \frac{222.46}{3\times10^{-10}s^2 + 4.145s + 137.63} \qquad (8)$$

그림 4는 PID 제어 시스템의 초기응답속도이고, 그림 5는 신경회로망 제어기에 의한 시스템의 초기 응답속도를 나타낸다. PID제어시스템에서는 약 180 [ms]을 나타내었고, 신경망제어기에 의한 응답속도는 약 40[ms]을 나타내고 있다. 따라서 보면 PID 제어기보다는 신경회로망 제어기에 의한 응답속도가 140[ms] 정도로 빨리 설정값에 도달함을 알 수 있다.

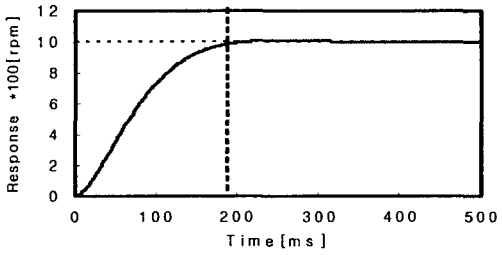

그림 4. PID제어기에 의한 시스템의 초기응답 속도
Fig. 4. Initial response speed by PID controller

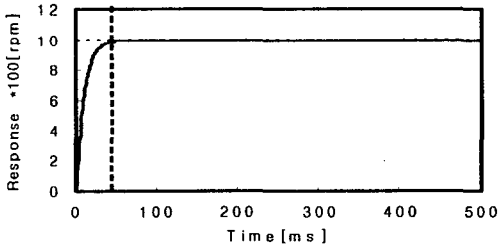

그림 5. 신경망제어기에 의한 시스템의 초기응답속도
Fig. 5. Initial response speed by Neural Network controller

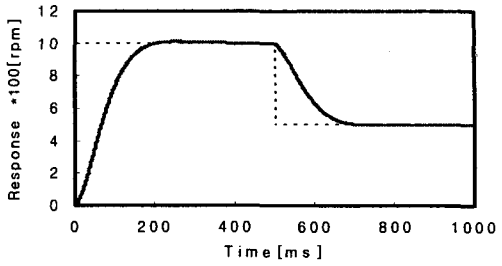

그림 6. PID 제어 시스템의 속도 추적응답곡선
Fig. 6. Speed tracking response curve of PID control system

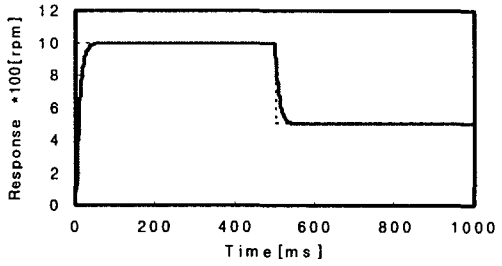

그림 7. 신경회로망 제어 시스템의 속도 추적응답곡선
Fig. 7. Speed tracking response curve of Neural Network control system

그림 6은 속도 변환시 PID 제어 시스템의 속도 추적응답곡선이고, 그림 7은 신경망 제어 시스템의 속도 추적응답곡선이다. 그림 6과 7에서 운전 중 500[rpm]감소시의 추적응답곡선을 보면 알 수 있듯이 PID제어 시스템에서는 160[ms]가 소요되었고, 신경망제어 시스템에서는 20[ms]가 소요되었다. 따라서 신경회로망 제어기를 사용한 경우가 훨씬 더 우수함을 보이고 있다. 현장에서 서보 제어 시스템에 가장 많이 사용되고 있는 PID제어기는 제어 파라메타를 결정하는 데에 많은 시간(숙련된 현장 전문가의 경우 대략 수분 ~ 수 시간 이상)이 소요되는 단점을 갖고 있다. 반면에 제의된 신경망 제어 알고리즘을 사용한다면, 수십 초에서 수분 이내에 시스템에 맞는 무게치가 자동으로 조절됨으로서 제어 시스템의 편리함과 성능이 향상된다.

4. 결 론

산업현장에서 전동기제어는 많은 자동화 설비에 사용되고 있다. 본 논문에서는 전동기제어를 위해서 신경회로망 제어기의 새로운 적용을 시도하였다.

신경회로망을 제어기로 사용할 경우에 입출력 패턴을 구하는 것이 문제가 되었는데, 위의 문제가 자연스럽게 해결되었다. 또한 PID제어기와 초기 및 추적응답을 비교하여 보았는데 성능이 우수함이 입증되었다.

제안된 제어기법은 자동화설비에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

이 논문은 2003년도 원광대학교 교비지원에 의해서 연구됨.

References

[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. Hang, F.L. Lewis, "Neural-Network Predictive Control for Nonliner 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] D. E. Rumelhart, J. L. Mc Clelland, and The PDP Reserch Group, Parallel Distributed processing . Vol. 1-2 MIT press, 1986.

◇ 저자소개 ◇

박왈서 (朴曰緖)
1953년 5월 1일생. 1982년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 부교수.