

신경망이득 자동조절기를 이용한 유도모터 속도 제어

(The Speed Control of Induction Motor using Automatic Neural Network Gain Regulator)

박왈서* · 김용욱 · 이성수

(Wal-Seo Park · Yong-Wook Kim · Sung-Su Lee)

요 약

PID 제어기는 산업자동화 설비에 널리 쓰이고 있다. 하지만 시스템 특성이 간헐 또는 연속적으로 변화할 때에 정밀제어를 위한 새로운 매개변수 결정이 쉽지 않다. 이를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 PID 제어기와 같은 기능을 갖는 신경망이득 자동조절기를 제안 하였다. 시스템의 적절한 게환제어 이득은 델타 학습규칙에 의해서 결정된다. 제안된 신경망이득 자동조절기의 기능은 유도 전동기의 속도제어 실험에 의해 확인하였다.

Abstract

PID controller is widely used as automatic equipment for industry. However when a system has various characters of intermittence or continuance, a new parameter decision for accurate control is a hard task. As method of solving this problem, in this paper, a Neural Network gain automatic regulator as PID controller functions is presented. A property feedback control gain of system is decided by a rule of Delta learning. The function of proposed automatic Neural Network gain regulator is verified by speed control experiment results of Induction Motor.

Key Words : Neural Network gain, Automatic gain regulator

1. 서 론

현대 제어이론의 많은 발전에도 불구하고, 산업현장의 서어보제어 시스템에는 비례 미분 적분(PID) 제어기가 널리 사용되고 있다. 이는 제어 알고리즘이 간단하고, 제어기를 쉽게 구현할 수 있으며, 시스템 특성에 맞는 매개변수 값이 사용되었을 경우에

강인성 및 추적제어 특성이 우수하기 때문이다[1-2].

시스템 특성이 변화할 경우에도 이와 같은 우수한 제어특성을 유지하기 위해서는 시스템 특성에 맞는 PID 제어 매개변수를 다시 결정해야만 한다[3].

하지만 PID 제어 매개 변수값을 결정하는데는 전문적인 지식을 갖추고도 상당한 시간과 노력이 소요된다. 근래에까지 매개변수값의 결정방법에 많은 연구가 있어왔고, 최근에 시스템 자체에 관한 지식없이도 오차를 최소화 시키는 학습능력을 이용한 방법에 적용되고 있다[4-5]. 신경회로망을 제어기로 사용할 경우에는 무게값을 결정하는 방법으로 에뮬레이터(Emulator)를 이용하는 연구가 진행되고 있으

* 주저자 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
Tel : 063-850-6890, Fax : 063-850-6890

E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2006년 4월 7일

1차심사 : 2006년 4월 17일, 2차심사 : 2006년 6월 1일

심사완료 : 2006년 6월 15일

신경망이득 자동조절기를 이용한 유도모터 속도 제어

나, 이는 에플레이터를 부수적으로 필요하게 되므로서 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6-7].

본 논문에서는 에플레이터를 사용하지 않고서도, 시스템 특성에 적합한 궤환제어 이득이 자동으로 결정되는 신경망이득 자동조절기를 제안하였다.

제안된 궤환제어 이득 자동조절기는 PID 제어기와 같은 기능을 갖고 있으며, PID 제어기 측면에서 볼 때 자동으로 매개변수가 결정되고, 동조되는 효과를 가지게 된다.

산업현장에서 널리 사용되는 PID 제어기의 대체 제어기로 사용된다면 자동화설비의 기능을 한층 높일 수 있으리라 사료된다. 제안된 신경망이득 자동조절기의 기능을 유도모터의 실험에 의해서 확인하였다.

2. 신경망이득 자동조절기

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 유닛을 블록선도로 나타내면 그림 1과 같다.

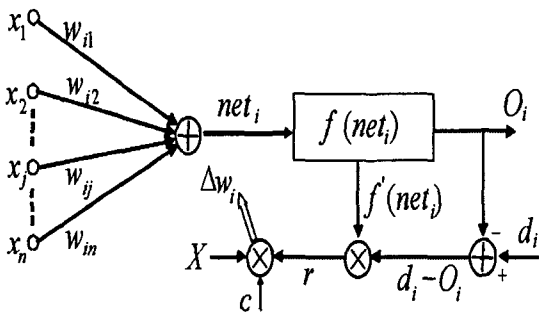


그림 1. 델타 학습 블록선도
Fig. 1. Delta learning Block diagram

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다.

$$r = [d_i - f(W_i'X)]f'(W_i'X) \quad (1)$$

여기서 W 는 가중치 벡터, X 는 입력 벡터를 나타낸다.

$$W = [W_{i1}, W_{i2} \dots W_{in}]^t$$

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

윗첨자 t 는 전치를 뜻하고, 그림에서 사용된 기호 net 는 $W'X$ 와 같은 값을 갖는다.

델타 학습규칙은 기준값(d_i)과 출력값(O_i)차의 제곱오차를 최소화 시키는 조건으로부터 얻어질 수 있고, 제곱오차벡터(E)는 다음과 같이 정의 된다[7].

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

가중치(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

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

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

$$\Delta W_i = -C \nabla E = C(d_i - O_i)f'(W_i'X)X \quad (4)$$

C 는 양의 상수이고, 가중치는 다음으로 조절된다.

$$W_i^{k+1} = w_i^k + \Delta W_i^k \quad (5)$$

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

그림 2와 같이 신경망 에플레이터를 갖는 구조의 제어시스템은 연산수가 많아져서 시간이 많이 소요

되는 단점을 갖고 있으므로 실시간 제어에 적합하지 않다[8].

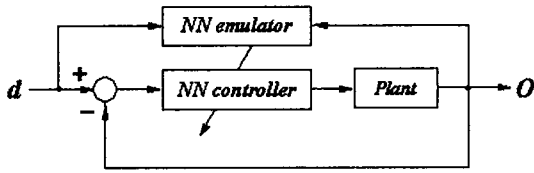


그림 2. 신경회로망 제어시스템
Fig. 2. Control system of Neural Network

2.2 신경망이득 자동조정기

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

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

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

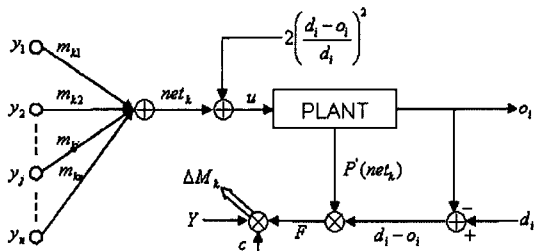


그림 3. 학습이득조정기를 갖는 제어시스템의 블럭선도
Fig. 3. Block diagram of control system with learn regulator

그림 3에서와 같이 출력노드의 활성화 함수 대신에 플랜트를 대치함으로써 자연스럽게 신경회로망의 지도 입출력 패턴문제를 해결하였다. 또한 제어 시스템의 응답특성을 개선하기 위하여 보조제어 입력을 부과한 제어입력(u)은 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 완료됨으로서 실시간제어기에 편리하게 사용될 수 있다.

3. 실험 및 결과 고찰

유도전동기는 견고하고 유지보수가 용이하여 다양한 분야에 사용되고 있으나, 비선형이며 상호 결합된 다변수 제어구조로 인하여 정밀한 서보제어 시스템에 사용하는데는 제한을 받아 왔다. 하지만 마이크로프로세서의 비약적인 발달은 현대 제어이론의 적용을 가능하게 하여 여러분야에서 서보 액추에이터로서의 사용이 점차 확대되고 있다. 이러한 추이에 따라 제어대상에 유도모터를 사용하였고, 실험에 의하여 신경망이득 자동조정기와 PID 제어기의 성능을 비교하였다.

사용된 신경망이득 자동조정기는 단일 입력과 1층 3로드, 2층 4로드를 선택하였고, 출력층은 단일로드로 활성화 함수대신에 부하로서 유도모터를 사용하였으며, 학습상수 $c = 0.297$ 을 사용하였다. PID 제어기에서는 비례이득 $k = 3.60$, 적분시간 $T_i = 0.80$, 미분시간 $T_d = 0.20$ 을 사용하였다. 사용된 3상유도전동기(Model: KMI-400K1, KG OTIS)의 매개변수는 표 1과 같다.

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

항 목	값	항 목	값
정격전압[V]	220	정격회전수[rpm]	1,710
무부하정격전류[A]	1.80	주파수[Hz]	60
정격용량[kW]	0.4	극수[P]	4

신경망이득 자동조정기를 이용한 유도모터 속도 제어

전력증폭기는 PWM제어방식의 인버터(LG-OTIS SV015iG5 -2U)를 사용하였고, 인버터에 인가되는 속도 지령 단자의 전압에 따른 주파수의 변화에 의해서 속도 제어가 수행된다. 외란 실험에서의 부하는 11[kg]의 원반을 전동기의 회전축과 연결하여 사용하였다.

또한 실시간 제어를 위하여 프로세서는 TI사의 DSP (TMS320C32)를 사용하였고, 서보시스템의 구성은 그림 4와 같다.

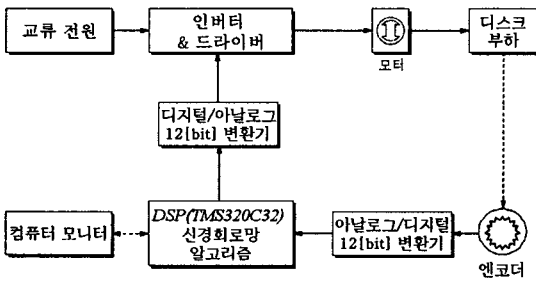
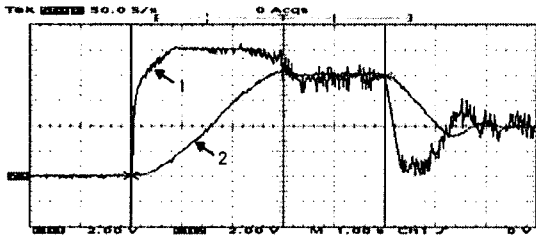
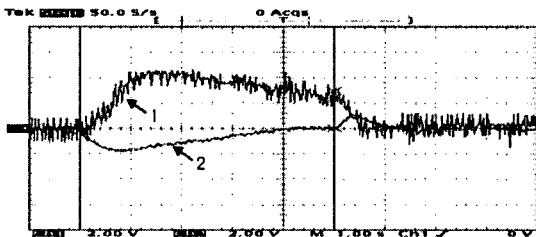


그림 4. 유도전동기 제어를 위한 서보시스템 구성
Fig. 4. Composition of servo system for induction motor control



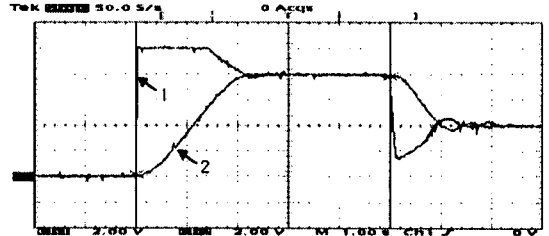
(a) 속도 추적응답곡선



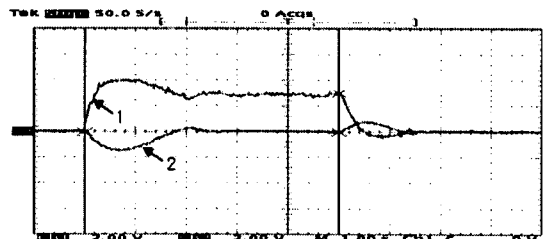
(b) 외란에 대한 응답곡선

그림 5. PID제어시스템의 속도추적 및 외란응답 곡선
Fig. 5. speed tracking and disturbance response curve of PID control system

그림 5와 그림 6에서 숫자1은 제어입력을 나타내고 있고, 숫자 2는 응답곡선을 나타낸다.



(a) 속도 추적응답곡선



(b) 외란에 대한 응답곡선

그림 6. 신경망이득 자동조정 시스템의 속도추적 및 외란 응답곡선

Fig. 6. speed tracking and disturbance response curve of automatic Neural Network gain regulation system

그림 5의 (a)는 PID 제어기에 의한 속도 추적곡선 이고, 그림 6의 (a)는 신경망이득 자동조정기에 의한 속도 추적 응답곡선이다.

속도 추적 응답곡선에서의 설정값은 0[rpm]에서 1,360[rpm]으로 상승시켰다가 다시 680[rpm]으로 하강시킨 경우이다. 초기 설정값에 도달하는데 걸리는 상승시간은 PID 제어 시스템에서 0.6초가 소요되었으며 그리고 신경망 이득 자동조정 시스템에서는 0.4초가 소요되었다.

또한 하강시간은 PID 제어 시스템에서 약 0.3초, 신경망 이득 조정 시스템에서는 약 0.2초 정도 소요 되었다.

그림 5와 그림 6의 속도 추적 응답곡선에서 보여 지듯이 PID 제어기 보다는 자동 신경망 이득 조절 시스템의 추적응답 특성이 우수함을 알 수 있다.

그림 5의 (b)는 PID 제어 시스템에서의 외란 응답

곡선이고, 그림 6의 (b)는 신경망 이득 자동조절 시스템에서의 외란 응답곡선이다.

외란 응답속선에서의 설정값은 850[rpm]이고, 운전중에 11[kg]의 원반부하를 1초동안 투입시켰다.

PID제어 시스템에서의 최대 이탈크기는 약 220[rpm] 정도이고, 이탈 지속시간은 0.8초이다.

신경망 이득 자동조절 시스템에서의 최대 이탈크기는 약 150[rpm] 정도이고, 이탈 지속 시간은 약 0.4초 정도이다.

최대 이탈 크기에서 220[rpm]은 150[rpm]으로 약 30[%] 정도 개선되었고, 이탈 지속시간은 0.8초에서 0.4초로 짧아짐으로서 50[%] 정도 개선되었다. 이와 같이 그림 5와 그림 6의 외란 응답곡선에서 보여지듯이 PID 제어기 보다는 신경망 이득 자동조절 시스템에서 외란 제거 능력이 우수함을 알 수 있다.

4. 결 론

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

본 논문에서는 유도 모터를 사용한 서보제어 시스템에 신경망 이득 자동조절기를 적용하였으며, 초기 및 추적 응답 특성 그리고 외란제거 특성에서 PID 제어기보다 우수하였다.

이와 같은 결과에 의하여 조절기의 이득이 시스템 운전과 더불어 자동으로 결정되어짐으로써 매개변수 결정에 전문가의 지식, 그리고 많은 시간과 노력이 필요로 하는 PID 제어기의 단점이 극복되었다. 따라서 제안된 제어 기법은 자동화 설비에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

References

[1] K. J. Åström, Automatic tuning of PID controller, Summit 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.Wittermark, 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] J. M. Zurada, "Artificial Neural Systems", 1992 by West publishing company.
 [8] W. Jin, G. Wenzhong, G. Shusheng, "PID-like controller using a modified neural network", Intemation Journal of system, Vol.28, number 8, pp. 809~815,1997.

이 논문은 2006년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

◇ 저자소개 ◇

박활서 (朴日緒)

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

김용욱 (金龍旭)

1961년 8월 24일생. 1981년 인천기능대학 전기과 졸업. 1993년 창원기능대학 전기과 졸업. 1998년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 2001년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 2월 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국폴리텍 V 대학 남원캠퍼스 전기제어과 전임강사.

이성수 (李成洙)

1973년 5월 10일생. 2002년 원광대학교 공대 전기전자공학부 졸업. 2003년 2월 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국폴리텍 V 대학 남원캠퍼스 전기제어과 근무.