

학습이득 조절기에 의한 직류 모터 속도제어

(D.C. Motor Speed Control by Learning Gain Regulator)

박왈서* · 이성수 · 김용욱

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

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 학습이득조절기를 제안 하였다. 시스템의 적절한 학습이득은 델타 학습규칙에 의해서 결정된다. 제안된 학습이득 조절기의 기능은 직류 전동기의 모의실험에 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 a method of solving this problem, in this paper, a learning gain regulator as PID controller functions is presented. A propriety learning gain of system is decided by a rule of Delta learning. The function of proposed learning gain regulator is verified by simulation results of DC motor.

Key Words : learning function, learning gain regulator

1. 서 론

현대 제어이론의 많은 발전에도 불구하고, 산업 현장의 서어보 제어 시스템에는 비례 미분 적분 (PID) 제어기가 널리 사용되고 있다. 이는 제어 알고리즘이 간단하고, 제어를 쉽게 구현할 수 있으며, 시스템 특성에 맞는 매개변수 값이 사용되었을 경우에 강인성 및 추적제어 특성이 우수하기 때문

이다[1][2].

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

하지만 PID 제어기의 매개변수 값을 결정하는 데는 전문적인 지식을 갖추고도 상당한 시간과 노력이 소요된다. 따라서 매개변수 값의 결정방법에 많은 연구가 있어왔고, 최근에 시스템 자체에 관한 지식 없이도 오차를 최소화 시키는 학습능력을 이용한 방법에 적용되고 있다[4][5].

신경회로망을 제어기로 사용할 경우에 무게값을 결정하는 방법으로 에뮬레이터(Emulator)를 이용하

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

E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2005년 6월 10일

1차심사 : 2005년 6월 14일, 2차심사 : 2005년 7월 6일

심사완료 : 2005년 7월 14일

는 연구가 진행되고 있으나, 이는 에블레이터를 부수적으로 필요하게 됨으로서 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6],[7].

본 논문에서는 에블레이터를 사용하지 않고서도, 시스템 특성에 적합한 이득이 자동으로 결정되는 학습이득 조절기를 제안하였다.

제안된 이득조절기는 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 학습이득 조절기의 기능을 직류모터의 모의실험에 의해서 확인하였다.

2. 학습이득 조절기

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.

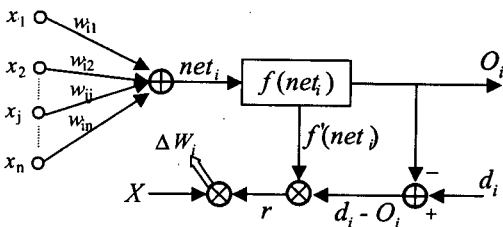


그림 1. 델타 학습 블록선도
Fig. 1. Delta learning Block diagram

학습신호(r)는 다음과 같이 정의된다

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

여기서 W 는 무게값 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 net는 $W^t X$ 와 같은 값을 갖는다.

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

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

무게값(W_i)에 대한 오차 기울기 벡터(∇E)는 다음과 같다.

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

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

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

C 는 양의 상수이고, 무게값은 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 에블레이터를 갖는 구조의 제어시스템은 연산수가 많아져서 시간이 많이 소요되는 단점을 갖고 있으므로 실시간 제어에 적합하지 않다[8].

학습이득 조절기에 의한 직류 모터 속도제어

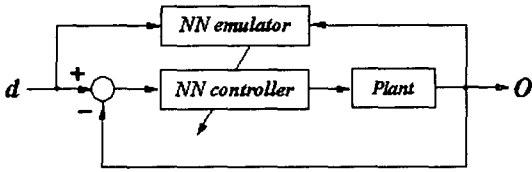


그림 2. 신경회로망 제어시스템
Fig. 2. Control system of Neural Network

2.2 학습이득 조절기

신경회로망 제어기는 지도입출력 패턴이 필요하게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 에뮬레이터를 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 부가함으로써 응답특성을 개선하였다.

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

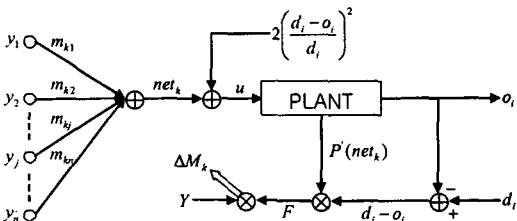


그림 3. 학습이득조절기를 갖는 제어시스템의 블록선도
Fig. 3. Block diagram of control system with learn regulator

그림 3에서와 같이 출력노드의 활성화 함수 대신에 플랜트를 대치함으로써 자연스럽게 신경회로망의 지도 입출력 패턴문제를 해결하였다. 또한 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 비속련공도 속련공 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. 시뮬레이션 및 결과고찰

직류모터는 NC 선반, 각종 공작기계, 로봇 등과 같이 정밀하고 빠른 응답특성이 요구되는 서어보 시스템에 널리 사용되고 있다.

제안된 학습이득 조절기를 갖는 제어시스템의 서어보 특성을 살펴보기 위하여 제어대상체인 플랜트는 직류모터를 사용하였고, PID 제어기와 성능을 비교하였다.

사용된 학습이득 조절기는 단일입력과 1층 3노드, 2층 4노드를 선택하였고, 출력층은 단일노드로 활성화 함수대신 플랜트를 사용하였으며, 학습상수 $c = 0.28$ 을 사용하였다.

PID 제어기에서는 비례이득 $k = 0.065$, 적분시간 $T_i = 0.004$, 미분시간 $T_d = 0.001$ 을 사용하였다.

직류모터의 전달함수는 식 (7)과 같다.

$$G(s) = K_t / [JL_a s^2 + (J R_a B L_a) s + (K_a K_b + B R_a)] \quad (7)$$

본 논문에서 사용된 직류모터의 매개변수는 다음과 같다.

- $K_t = 2.26$ [kgf · cm / A] : 토크상수
- $J = 3.4 \times 10^{-10}$ [kgf · cm · sec²] : 관성모멘트
- $L_a = 0.89$ [mH] : 전기자 인덕턴스
- $R_a = 1.2$ [Ω] : 전기자 저항
- $B = 0.75$ [kgf · cm] : 마찰토크
- $K_b = 23.33$ [V / Krpm] : 유기전압 상수

이상의 값을 식(7)에 대입하면 식(8)과 같다.

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

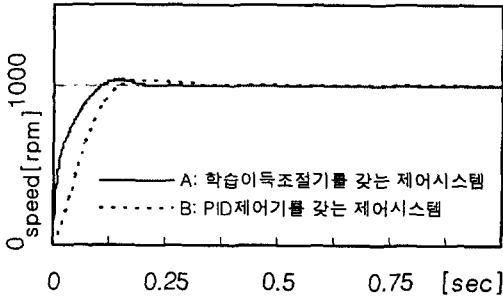


그림 4. 제어시스템의 초기응답 속도
Fig. 4. Initial response speed of control system

그림 4는 제어시스템의 초기응답 속도를 나타내고 있다.

학습 이득조절기를 갖는 제어시스템의 응답곡선 A는 약 0.1[sec] 후에 설정값에 도달되고, PID 제어기를 갖는 제어시스템의 응답곡선 B는 약 0.17[sec] 후에 설정값에 도달된다. 따라서 PID 제어기 보다 학습이득 조절기에 의한 응답속도가 0.07[sec] 정도 빨리 설정값에 도달함을 알 수 있다.

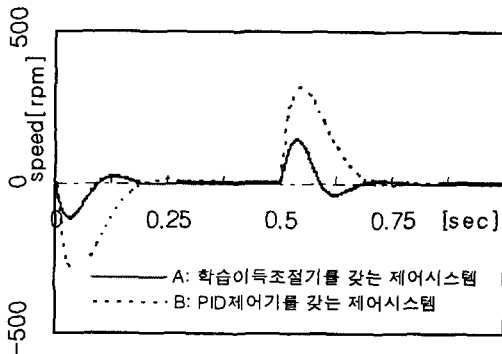


그림 5. 오차 응답곡선
Fig. 5. Characteristic response curve to error

그림 5는 오차응답곡선으로 설정값 (1000[rpm])의 0.5배의 외란을 0~0.5[sec] 사이에 인가한 경우로서 학습이득조절기에 의한 응답곡선 A에서는 외란 제거시간이 0.1[sec]이며, 외란 인가시와 제거시에는 설정값의 약 12[%]의 이탈을 갖게 됨을

알 수 있고, PID 제어기에 의한 응답곡선 B에서는 외란제거 시간이 0.2[sec]이며, 설정값에 대한 이탈 정도는 약 30[%]가 됨을 보이고 있다. 따라서 외란 제거 능력에 있어서 PID 제어기 보다 학습이득 조절기를 갖는 제어시스템이 우수함을 알 수 있다.

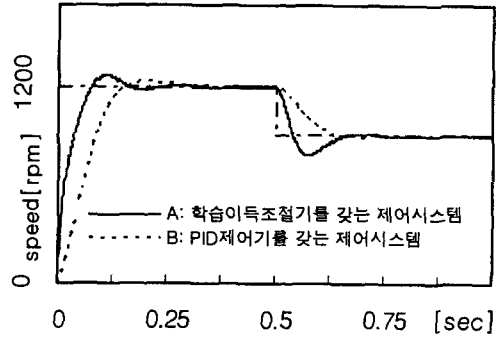


그림 6. 추적 응답곡선
Fig. 6. Tracking response curve

그림 6은 설정값을 1200[rpm]으로 운전하다가 0.5[sec]에서 설정값을 900[rpm]으로 바꾼 경우이다.

그림 6에서 보여준 것처럼 학습이득조절기에 의한 추적곡선 A는 약간의 이탈이 발생한 후 설정값에 수렴하였으며, 반면 PID 제어기에 의한 추적응답곡선 B는 부드럽게 변화하고 있으나 설정값에 안착되는 시간은 추적곡선 A와 비슷함을 보여준다.

여기서 추적곡선 B보다 A에서 이탈정도가 더 큰 것은 학습이득조절기에서 큰 값이 발생된 것이 원인이 된다. 이탈정도가 크지 않고, 초기 응답속도와 오차 제거능력이 우수하므로 서어보 제어시스템에 적합한 제어기로 사용될 수 있으리라 사료된다.

5. 결 론

산업현장에서 직류모터는 많은 자동화 설비에 사용되고 있다. 본 논문에서는 직류모터의 서어보 제어 시스템에 학습 이득 조절기를 적용하였으며, 학습 이득 조절기를 갖는 제어시스템은 초기응답과 오차특성에서 PID제어기보다 우수하였으며, 추적응답곡선에서는 PID 제어기와 유사한 성능이 입증되었다.

학습이득 조절기에 의한 직류 모터 속도제어

이와 같은 결과에 의하여 학습 이득 조절기를 갖는 제어 시스템에서는 적절한 이득이 학습에 의해서 시스템 운전과 더불어 자동 결정되어 짐으로, 매개 변수 결정에 전문가의 지식 그리고 많은 시간과 노력이 필요로 하는 PID 제어기의 단점이 극복되었다고 할 수 있다. 따라서 제안된 제어기법은 자동화 설비에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

이에 대한 차후 연구과제는 다양한 종류의 제어대상에 대하여 실증 실험을 거치고, 또한 부하 변화에 대한 서어보 제어기로서의 신뢰성을 구축하여 산업현장에서 유용한 도구로 사용될 수 있도록 하는데 있다.

이 논문은 2005년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

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 Trans. 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.
- [8] W. Jin, C. Wenzhong, C. Shusheng, "PID - like controller using a modified neural network", International Journal of System, vol. 28, number 8, pp. 809 ~ 815, 1997.

◇ 저자소개 ◇

박일서 (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 부교수.

이성수 (李成洙)

1973년 5월 10일생. 2002년 원광대학교 공대 전기전자공학부 졸업. 2004년 2월 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국산업인력공단 전북직업전문학교 전기제어과 교사.

김용욱 (金龍旭)

1961년 8월 24일생. 1981년 인천기능대학 전기과 졸업. 1993년 창원기능대학 전기과 졸업. 1998년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 2000년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 원광대학교 대학원 전기공학과 수료(박사). 현재 한국산업인력공단 전북 직업전문학교 전기제어과 교사.