퍼지 신경망을 이용한 정밀위치 제어

°박승철, 양상식
°아주대학교 전기전자공학부

A precise positioning by a fuzzy-neural controller

°Seung-chul Pak, Sang-sik Yang
School of electrical and electronic engineering, Ajou University

Abstracts

Conventional linear control schemes often fail to provide precise positioning of a control object under the influence of friction, deadzone, saturation, etc. This paper proposes a control scheme for a precise point-to-point positioning system, which behaves well even under the above influences. The proposed scheme is composed of a fuzzy-neural controller. The neural network is employed to improve the performance of the fuzzy logic. To illustrate the effectiveness of this scheme, experiments are carried out for the cases of a fuzzy controller, the proposed fuzzy-neural controller, and the results are compared with each other.

1. 서론

반도체 및 정밀 전자산업의 발달로 인해 전자 부품의 소형화와 반도체의 고집적화에서 조립 및 검사시 정밀 위치 시스템이 필요하다. 이러한 정밀가공을 위해서는 가공 기기의 위치 결정 정밀도와 추종성능이 개선되어야 할 요소이다. 이러한 정밀 가공기기내에는 구동기의 포화, 마찰력, 콤플라이언스 및 백래쉬등의 비선형 요소가 존재한다. 그러한 비선형 요소는 주위 환경에 영향을 받으며, 알 수 없는 경우가 대부분이다. 이러한 영향을 제거하기 위해 비례·미분기능을 하는 퍼지제어기와 적분제어기를 결합한 퍼지 비례·미분 제어기[1], 추정이론을 도입한 퍼지 모델링[2] 등의 연구가 진행되어져 왔다.

본 논문에서는 퍼지신경망 제어기를 이용한 위치제어기를 제안한다. 신경망은 학습 기능과 대량 병렬성을 보유하고 자기조정 기능을 갖는 유연성이 뛰어난 계산 모델이지만, 지식 표현이 구조적으로 분명하지 않고, 학습하는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 반면 퍼지 시스템은 지식의 논리적, 구조적 표현을 명확히 할 수 있으며, 퍼지 추론 등의 퍼지 연산을 통해 퍼지정보처리를 할 수 있고, 정확한 수학적 모델링이 필요하지 않으며 복잡한 시스템에 대한 개략적 기술을 가능하게 한다. 그러나, 학습 능력이 없고 소속 함수와 퍼지 규칙에 대한 자기 조정 능력이 없어 변화하는 환경에 대해 적응성이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 퍼지와 신경망을 결합시킨 퍼지 신경망 제어기는 신경망 학습시 초기값을 퍼지 규칙에 근거한 값을 가지고 학습하므로 학습 시간이 단축된다. 퍼지 제어기의 정상 상태에서 가지는 수렴 오차는 신경망에 의해 개선되어져 원하는 성능에 도달한다. 퍼지 신경망제어기는 퍼지 추론 기능과 퍼지 규칙 조정 능력을 갖고 추종 성능을 개선시킨다.

2. 본론

본 연구에 사용한 전체 위치 제어시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 제어대상 플랜트는 Sanyo의 UGTM EM-01MB4 회전모터와 lead screw를 이용한 선형 위치결정기구이다. 퍼지신경망 제어기는 e 와 $\Delta e(k)$를 입력으로 사용하고, 제어입력 u_c을 출력한다.

$$e(k) = y_m(k) - y(k) \quad (1)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

$$u_c(k) = F[e(k), \Delta e(k)] \quad (3)$$

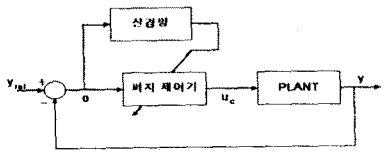


그림 1. 퍼지신경망 제어기의 블록도.

2.1 퍼지신경망 제어기

일반적으로 퍼지 제어기는 입력변수를 퍼지화하고 제어규칙에 의한 추론과정을 거쳐 비퍼지화를 통하여 제어신호를 계산한다. 그리고 신경망은 주어진 입력에 대하여 출력이 올바른지를 결정하여 연결강도를 조정하여 올바른 값을 출력하게 된다. 그림 2는 퍼지신경망 제어기의 구조를 나타낸다. 퍼지신경망 제어기의 입력 변수로는 오차와 오차의 변화량을 사용한다[3]. 본 연구에서는 각 입력변수에 대하여 7가지 소속집합을 정한다. 따라서 49가지의 추론 규칙을 갖는다. 그림 3은 오차, 오차의 변화량, 제어입력량의 소속함수를 나타낸 것이다. 소속함수를 나타내는 기호에서 P와 N은 각각 부호 (+), (-)를 나타내고, M과 L은 각각 medium과 large를 의미하며, ZE는 zero를 의미한다.

퍼지 신경망 제어기의 추론 규칙은 오차와 오차의 변화량에 근거하여 제어입력량을 정한다.

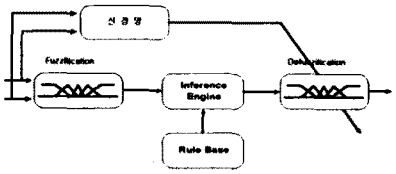


그림 2. 퍼지신경망 제어기의 구조

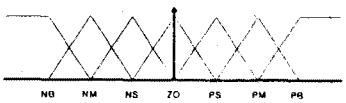


그림 3. 소속함수

추론규칙은

$$R_{ij}: \text{ if } (e \text{ is } A_i) \text{ and } (\Delta e \text{ is } B_j) \text{ then } u \text{ is } C_{ij} \quad i,j = 1,2,\cdots,7 \tag{4}$$

이다. 여기서 e는 오차, A_i는 오차의 언어변수, Δe는 오차의 변화량, B_j는 오차 변화량의 언어변수, u는 제어입력, C_{ij}는 제어입력의 언어변수를 나타낸다. 오차, e가 A_i이고, 오차변화량, Δe가 B_j일 때 출력 C_{ij}에 대한 귀속도는

$$w_{ij} = \min[\mu_{A_i}(e),\ \mu_{B_j}(\Delta e)] \tag{5}$$

이다.

퍼지추론을 거쳐도 출력, u는 퍼지값이므로 비퍼지화를 통하여 물리적인 출력값을 결정한다. 본 연구에서는 무게중심법을 사용한다. 출력값 u_c는

$$u_c = \frac{\sum_{l=1}^{n} w_l \cdot C_l}{\sum_{l=1}^{n} w_l} \tag{6}$$

이다. 여기서 n은 매 계산에서 적용되는 추론규칙의 수이다.

신경망에서는 주어진 입력에 대하여 올바른 출력을 내는지를 결정하여 연결강도를 조정하는데, 이 연결강도를 조정하는 학습규칙은 역전파방법[4]을 사용하며, 신경망은 입력층, 은닉층, 출력층의 세층으로 구성된다. 신경망에서 전이함수는

$$a(f) = \frac{2}{1+e^{-f}} - 1 \tag{7}$$

이다. cost function을 원하는 목표치와 실제 출력값의 차이 즉, 오차를 줄이는 방향으로 정하면 다음과 같다.

$$E(W) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}[d_i - a(\sum_{q=1}^{l} w_{iq} z_q)]^2 \tag{8}$$

연결강도의 변화는 cost function을 연결강도로 편미분한 형태이므로, 은닉층과 출력층 사이의 연결강도 변화 Δw_{iq}는,

$$\Delta w_{iq} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{iq}} \tag{9}$$

이다.

chain rule에 의해서 Δw_{iq}를 다시 쓰면,

$$\begin{aligned}\Delta w_{iq} &= -\eta\left[\frac{\partial E}{\partial y_i}\right]\left[\frac{\partial y_i}{\partial net_i}\right]\left[\frac{\partial net_i}{\partial w_{iq}}\right] \\ &= \eta\,[d_i - y_i][a'(net_i)][z_q] \\ &= \eta\,\delta_{oi} z_q\end{aligned} \tag{10}$$

이다. 여기서 δ_{oi}는 연결강도를 조정하기 위해 출력층에서 은닉층으로 역전파되는 값이다. 입력층과 은닉층사이의 연결강도의 변화를 보면,

$$\begin{aligned}\Delta v_{qj} &= -\eta\left[\frac{\partial E}{\partial v_{qj}}\right] \\ &= -\eta\left[\frac{\partial E}{\partial z_q}\right]\left[\frac{\partial z_q}{\partial net_q}\right]\left[\frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}}\right] \\ &= \eta\sum_{i=1}^{n}[d_{oi} w_{iq}]a'(net_q)x_j = \eta\delta_{hq}x_j\end{aligned} \tag{11}$$

과 같다.

3. 실험

실험시스템의 구성은 그림4와 같다. 사용된 시스템은 2절에서 언급된 Sanyo의 UGTMEM- 01MB4 회전모터와 lead screw를 사용한 선형 위치결정기구이다. 이 시스템은 외란에 강한 digital PWM 회로를 사용하여 구동한다. 위치측정을 위하여 레이저 인터페로메타를 사용한다. 위치분해능은 2.7 ㎚이다. 퍼지제어기와 퍼지신경망 제어기의 제어법칙은 IBM PC586으로 계산한다. PC와 주변회로의 인터페이스를 위해 PIO를 사용한다. 샘플링주기는 1ms으로 설정한다. 실험은 퍼지제어기만을 사용한 경우와 퍼지신경망 제어기를 사용한 경우에 대하여 목표위치 5.0×10^4 ㎛, 최대속도 2.0×10^5 ㎛/s, 최대가속도 2.0×10^6 ㎛/s^{2}의 사다리꼴 속도지령을 주어 수행하고 두 경우를 비교하여 제안된 퍼지신경망 제어기의 성능을 확인한다.

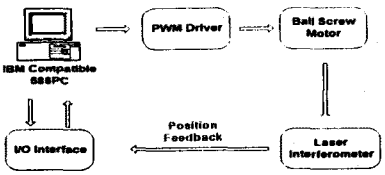
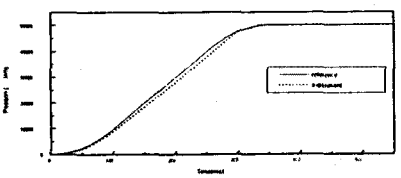
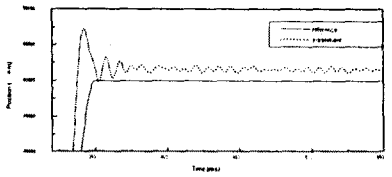


그림 4. 위치제어시스템의 구성도

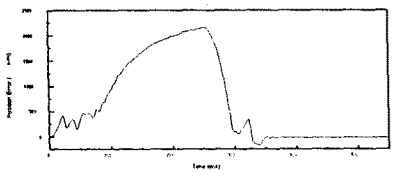
그림 5는 퍼지제어기만을 사용한 경우에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 퍼지제어기만을 사용한 경우는 정상상태에서 진동이 크게 발생함을 볼 수 있다. 정상상태에서 제어입력값이 크게 바뀌기 때문에 진동이 유발된다. 정상상태 오차는 14 ㎛이다.



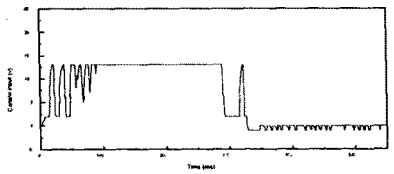
(a) 위치응답.



(b) 정상상태 근처에서의 위치응답.



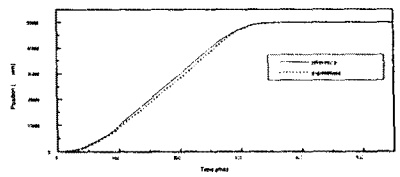
(c) 위치오차.



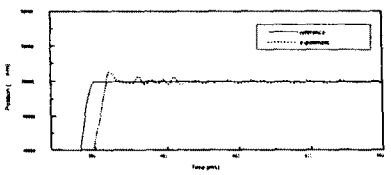
(d) 제어입력.

그림 5. 퍼지 제어기만 사용한 경우

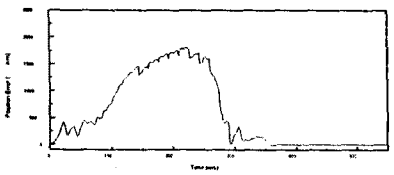
그림 6은 퍼지신경망 제어기를 사용한 경우의 실험 결과이다. 정상상태 근처에서 제어입력의 떨림을 볼 수 없는데 이것은 정상상태에서 진동을 유발시키지 않는다. 정상상태 오차는 2㎛ 이내로 수렴한다.



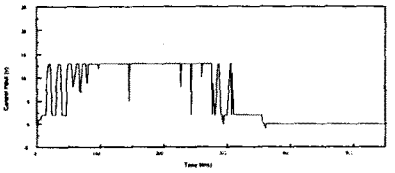
(a) 위치응답.



(b) 정상상태 근처에서의 위치응답.



(c) 위치오차.



(d) 제어입력.

그림 6. 퍼지신경망 제어기를 사용한 경우

두 경우 모두 오버슈트를 줄이기 위한 방향으로 소속함수를 변화시키면 등속구간에서 위치오차가 크게 발생하고, 위치오차를 줄이는 방향으로 소속함수를 변화시키면 오버슈트가 크게 발생한다. 퍼지신경망 제어기를 사용한 경우에는 전체적으로 정상상태 오차를 개선하는 것을 볼 수 있다. 신경망을 사용하지 않은 경우에 비해 정상상태가 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 퍼지 제어기만을 사용한 경우에 비하여 제어입력의 진동이 거의 나타나지 않는다.

4. 결론

본 논문에서는 비선형 요소의 변화에 강인한 퍼지신경망 제어기를 제안하였다. 퍼지 제어기만을 사용한 경우와 비교 실험하여 통하여 제안된 퍼지신경망 제어기가 위치오차를 감소시키 것을 확인하였다. 본 연구에서 사용한 PWM 모터구동회로의 분해능이 7bit인 관계로 미세한 보상은 불가능하다. 그러나 분해능을 개선하면 보다 나은 성능을 얻을 수 있을 것이다. 또한 소속진함의 변화를 제어입력에만 국한하지 않고, 추론규칙을 개선한다면 등속구간에서 추종성능을 향상시킬 수 있을 것이라 생각된다.

참고 문헌

[1] J. H. Kim, J. H. Park, S. W. Lee, and Edwin K. P. Chong, "A Two-Layered Fuzzy Logic Controller for Systems with Deadzones," IEEE trans. on Indus. Elec., vol. 41, NO. 2, 1994.

[2] Yong-Zai Lu, "Fuzzy Modeling and Expert Optimization Control for Industrial Processes," IEEE trans. on Contr.Syst.Tech, vol.5, pp.2-12. 1997.

[3] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems," IEEE Contr. Syst. Mag., vol. 9, pp 65-72, 1989.

[4] C. T. Lin and C. S. George Lee, Neural fuzzy Systems, Prenticd Hall, 1996.