

## 단일 뉴런을 이용한 PID형 직접제어방식

이정훈, 임중규, 이현관, 강성호, 이용구\*, 엄기환

동국대학교, 한림정보산업대학\*

전화 02)2260-3332 FAX 02)2279-1798

### PID Type Direct Control Method Using Single Neuron

Jeong-Hun Lee, Joong-Gyu Lim, Hyun-Kwan Lee, Yong-Gu Lee\*, Ki-Hwan Eom

Dongguk University, Hallym College Of Information & Industry\*

E-MAIL ljhoon99@orgio.net

#### Abstract

In this paper, we propose PID type direct control method using single neuron neural network.

The proposed method has an output error and 2 time-delay as inputs and is designed to have input weights composed of P, I, D parameters to be controlled through learning.

We could verify the better performance of this system than the conventional method through simulations. And the reduced calculation, due to single neuron, makes it possible the real time processing, and the simple implementation.

#### I. 서론

현대 제어에서 많은 제어 해석방법과 제어 알고리즘 및 제어기 방식들이 연구되어 여러 분야에서 적용되고 있고, 적용 범위를 확장하려는 연구가 계속되고 있다.<sup>[3]</sup> 그러나, 현대 제어에서도 그 한계가 존재하며, 대부분의 제어 공학에서는 단지 순간의 동작점에서 선형적인 수학적 표현으로 시스템의 신호를 처리하는데 비하여 대부분의 제어 대상은 불확실하며 강한 비선형성을 포함하기 때문에 원하는 제어 성능을 얻는 것은 쉽지가 않다.

최근에는 이를 해결하기 위하여 여러 형태의 지식을 이용하거나 기억, 학습, 추론, 연상 등을 이용하는 지능 제어방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1][2][3][4]</sup> 여러 지능 제어방식 중에서도 가장 많은 영역

에서 연구되고 적용되어 온 신경회로망은 복잡한 처리 모델을 만들 수 있고, 불규칙성이 강한 비선형 함수를 근사화시킬 수 있으며, 비선형 처리 모델을 효과적으로 식별 가능하게 함으로써 우수한 제어 성능을 가질 수 있다. 신경회로망은 제어 대상과 제어 방법에 따라 신경회로망을 사용하는데 있어서 많은 형태의 기술들이 제안되었다.<sup>[1][4]</sup> 특히, 최근에는 적응제어 방식으로 그 성능이 우수하여 널리 알려진 PID 제어기에 신경회로망을 이용하여 PID 제어기의 입력인 비례(Proportion), 적분(Integration), 미분(Differentiation) 항을 신경회로망으로 학습하여 최적의 파라미터를 찾는 방식이 소개되었다.<sup>[6]</sup> 그러나, 이러한 방식이 기존의 PID 제어기 보다 성능이 우수하기는 하지만 뉴런 수가 많아 계산량이 많아져서 결국 실시간 처리가 힘들고 시스템 설계가 복잡하다는 신경회로망의 일반적인 단점을 극복하지는 못하였다.

본 논문에서는 단일 뉴런을 이용한 PID형 직접 제어방식을 제안한다. 단일 뉴런을 이용한 PID형 직접 제어기는 제어기 출력의 에러와 그 지연 값 3개를 입력으로 받고 입력의 연결강도를 비례(P), 적분(I), 미분(D) 파라미터로 설계하여 학습을 통해 바로 파라미터를 결정하게 하여 단순화시킴으로써 실시간 처리가 용이하고 설계도 간단하며 성능 또한 우수한 직접제어 방식이다.

제안된 방식의 유용성을 확인하기 위하여 모터의 구형과 응답으로 기존의 다층 신경망을 갖는 PID 제어기와 제안한 단일 뉴런 신경회로망을 갖는 PID형 직접 제어기에 대하여 시뮬레이션을 통하여 비교 검토한다.

## II. PID 제어방식

### 2-1 PID 제어기

PID 제어는 신호의 비례(P), 적분(I) 및 미분(D) 동작을 이용한 것으로 시스템의 요구 조건과 안정도에 따라 각각을 단독으로 사용하거나 PI, PD 또는 PID 기능을 포함하여 제어하기도 한다. PID 제어기의 제어 신호는 출력에 대한 오차, 오차의 시간 적분, 오차의 시간 변화율의 선형 결합이며 세 가지의 이득 상수 모두가 조절 할 수 있다. PID 제어기는 만족할 만한 정도로 오차를 감소시킬 수 있고 동시에 만족할 만한 안정도와 감쇠를 줄 수 있는 제어기로 알려져 있다.<sup>[5]</sup>

비례 제어는 단순히 오차에 비례하여 제어하고, 적분 제어는 정상상태의 오차를 감소시키며 미분 제어는 응답의 오버슈트(overshoot)를 감소시키는 예측 동작을 한다. 비례 제어는 오차 신호에  $K_p$ 만 곱하고 적분 제어는 오차의 적분값에  $K_I$ 를 곱하며, 미분 제어는 편차 신호의 시간 미분값에 비례하는 신호를 만드는 것이다. 아날로그 시스템에서 사용되는 PID 시스템의 식은 식 (1)과 같다.

$$U(t) = K \left\{ e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

식 (1)을 샘플링 주기 T로 이산화하면 식 (2)와 같다.

$$U(n) = K \left\{ e(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{m=0}^n e(m) + \frac{T_D}{T} (e(n) - e(n-1)) \right\} \\ = K_p e(n) + K_I \sum_{m=0}^n e(m) + K_D (e(n) - e(n-1)) \quad (2)$$

여기서  $T_I$ 는 적분 시간,  $T_D$ 는 미분 시간,  $U(n)$ 은 이산 시간  $n$ 시점에서 제어 입력이고, 적분은 합으로, 미분 차로 근사화 하였다.

식 (2)에서 각 항은

$$K_p = K, \quad K_I = \frac{KT}{T_I}, \quad K_D = \frac{KT_D}{T} \text{ 이되며,}$$

$K_p, K_I, K_D$  는 PID 제어기의 비례, 적분, 미분의 파

라미터를 나타낸 것이다.<sup>[5]</sup>

결과적으로, 이산 시간 PID 제어기에서 1번 샘플링 한 주기의 변화분인 제어기의 출력값은 식 (3)과 같다.

$$\Delta u(n) = u(n-1) + K_p(e(n) - e(n-1)) + K_I e(n) \\ + K_D(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)) \quad (3)$$

### 2-2 다층 신경회로망을 이용한 PID 제어기

제어 대상이 불확실하고, 비선형성이 강하며, 왜란등

의 환경에 변화하기 쉬운 경우에 PID 제어만으로는 만족할 만한 성과를 이루기가 어렵기 때문에 다층 신경회로망을 이용한 PID 제어기가 제안되었다.

다층 신경회로망을 이용한 PID 제어기의 전체적인 시스템 블록 선도는 그림 1과 같다.

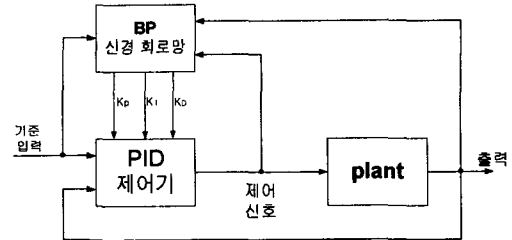


그림 1. 역전파 신경회로망을 갖는 적응 제어기  
Figure 1. Adaptive Control with the BP Neural Network

역전파 알고리즘을 이용한 신경회로망은 학습에 의하여 PID 제어기의 입력인  $K_p, K_I, K_D$  계수를 조정하게 된다.

그림 1에서 사용한 신경회로망은 그림 2와 같다.

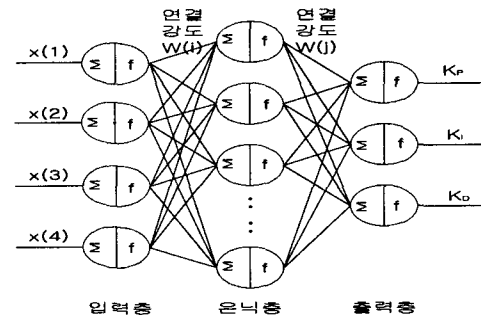


그림 2. PID 제어기의 파라미터 조정을 위한 다층신경회로망

Figure 2. Multilayer Neural Network for the Parameter adjustment of PID controller

그림 2에서 입력층의 뉴런수는 4개로써  $x(1)$ 은 기준 입력,  $x(2)$ 는 플랜트의 출력값,  $x(3)$ 은 플랜트의 이전 출력값,  $x(4)$ 은 플랜트의 입력이다. 은닉층은 하나이며 뉴런수는 20개, 출력층은 3개로써 PID 제어기의 파라미터  $K_p, K_I, K_D$  가 출력이 된다.

일반적으로 많이 사용되는 활성 함수  $f$ 는 식 (4)와 같은 시그모이드 함수를 사용한다.

$$f = \frac{2}{1 + e^{-net}} - 1 \quad (4)$$

### III. 제안한 단일뉴런 제어 방식

PID 제어기의 구조는 여러 면에서 단일뉴런 신경회로망의 구조와 유사한 점이 많고, 서로의 단점을 보완할 수 있는 구조로 되어있다.

PID 제어기는 세 개의 계수항인 비례, 적분, 미분항들의 초기값을 경험적으로 찾아내는데에 따라 구성된 제어기의 성능이 결정되고, 신경회로망에서는 출력의 오차에 따라 가중치가 최적이 되도록 학습하고 입력뉴런과 곱해져서 활성함수를 통해 출력이 결정된다.

이들의 장점들만을 골라 제어기를 구성하면, 신경회로망의 출력이 PID 제어기의 계수항으로 연결되는 것이 아니라 학습되는 연결강도 자체를 PID 제어기의 계수항으로 사용하여 계산과정을 획기적으로 줄일 수 있다. 그러므로 실시간 제어를 가능하게하고 시스템의 구조를 간단하게 할 수 있는 특징을 갖게된다. 성능 또한 신경회로망을 이용하여 PID의 계수항을 찾아낸 방식과 비교하여 그 수렴 속도와 오차의 크기면에서 더 우수함을 알 수 있다.

이상과 같이 단일 뉴런 신경회로망을 이용한 제안한 제어 시스템의 전체 구조는 그림 3과 같다.

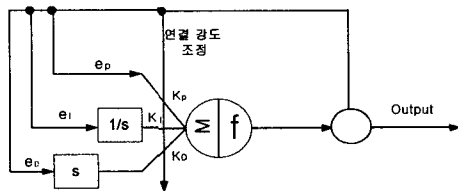


그림 3. 제안한 제어 방식

Figure 3. Proposed Control method

그림 3에서 단일 뉴런 신경회로망의 입력 벡터는

$$e_p = e(t) - e(t-1) \quad (5)$$

$$e_i = e(t) \quad (6)$$

$$e_d = e(t) - 2e(t-1) + e(t-2) \quad (7)$$

가되며 연결 강도와 곱해진다.

단일 뉴런의 세 개의 연결 강도에서  $e_p$ 와 연결된 연결 강도는 PID 제어기에서의 P 계수  $K_p$ ,  $e_i$ 와 연결된

연결 강도는 I항의 계수  $K_i$ ,  $e_d$ 와 연결된 연결 강도는 D항의 계수  $K_d$ 를 나타내며, 따라서 단일 뉴런의 입력은 식 (8)과 같다.

$$net = K_p e_p + K_i e_i + K_d e_d \quad (8)$$

활성 함수  $f$ 는 식 (9)와 같은 시그모이드 함수를 사용한다.

$$f(net) = \frac{2}{1 + e^{-net}} - 1 \quad (9)$$

오차를 줄이기 위한 연결 강도 조정식은

$$k_p(t+1) = k_p - \eta \frac{\partial e}{\partial k_p} \quad (10)$$

$$k_i(t+1) = k_i - \eta \frac{\partial e}{\partial k_i} \quad (11)$$

$$k_d(t+1) = k_d - \eta \frac{\partial e}{\partial k_d} \quad (12)$$

이 된다.

chain rule을 이용하여 식 (10), (11), (12)을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial K_p} = \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial K_p} = -(y_d - y) \frac{\partial y}{\partial u} f(x) e_p \quad (13)$$

$$\frac{\partial E}{\partial K_i} = \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial K_i} = -(y_d - y) \frac{\partial y}{\partial u} f(x) e_i \quad (14)$$

$$\frac{\partial E}{\partial K_d} = \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial K_d} = -(y_d - y) \frac{\partial y}{\partial u} f(x) e_d \quad (15)$$

단일 뉴런은 은닉층이 없으므로, 은닉층과 출력층 사이의 연결 강도가 없다. 따라서, 식 (13), (14), (15)에서  $\frac{\partial y}{\partial u} = 1$  이 된다.

### IV. 시뮬레이션

제안한 제어 방식의 성능을 확인하기 위하여 기존의 다층 신경회로망을 갖는 PID 제어기와 자동 동조 시스템에 대하여 시뮬레이션을 하여 비교 검토한다.

제어대상은 스테핑 모터에 의해 공진 주파수가 선형적으로 가변되는 공진필터로 한다. 필터의 입력 조건은 입력 주파수를 900KHz, 800KHz, 1MHz 로 10초당 한번씩 변화시켜서, 정확하게 동조가 이루어졌는지를 확인한다.

튜너로서 사용된 필터의 공진주파수  $f_r$  를 나타낸

식은 다음과 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (16)$$

여기서  $L[H]$ 은 코일 값으로 고정되어 있고,  $C[C]$ 는 바리콘으로 가변이 가능하다고 가정한다.

기존의 PID 다층 신경회로망 제어기의 신경회로망 초기 조건은 입력층 뉴런수 4개, 은닉층 뉴런수 20개, 출력층 뉴런수 3개, 학습률 0.004이고 연결 강도와 바이어스는 -0.1에서 0.1사이에서 임의로 초기화하였다.

제안한 제어 방식은 다층 신경회로망을 갖는 PID 제어기와 같은 조건에서 비교하기 위하여 동일한 입력 주파수, 연결강도 및 바이어스를 갖는다. 학습률은 0.004이고, 단일 뉴런의 연결강도 및 바이어스 초기값은 -0.1에서 0.1사이의 임의의 값으로 제공한다.

기존의 PID 다층신경회로망 제어기와 제안한 PID형 직접제어기의 출력 특성은 다음 그림 4,5 와과 같다.

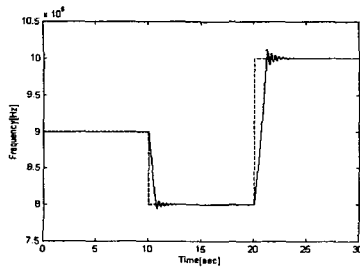


그림 4. 기존 방식의 출력 특성

Figure 4. Output characteristics of the General Method

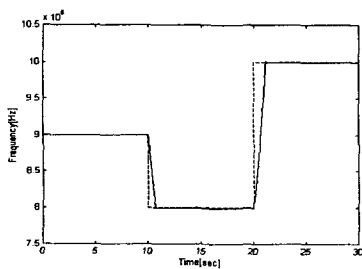


그림 5. 제안한 방식의 출력 특성

Figure 5. Output characteristics of the Proposed Method

## V. 결론

본 논문에서는 실시간 고속, 고정밀 제어를 위하여 단일 뉴런 신경회로망을 이용한 PID형 직접 제어방식을 제안하였다.

이는 PID 제어기의 파라미터를 단일 뉴런 신경회로망의 연결강도로 사용함으로써 역전과 알고리즘에 의한 학습으로 알맞은 각각의 파라미터들의 값을 찾아 수렴해 가는 방식이다. 기존의 PID 제어방식이나, PID 파라미터를 다층 신경회로망의 출력으로 찾던 방식과 그 구조가 다르며, 단일 뉴런의 특성상 계산량 감소, 제어기 간소화, 빠른 수렴 등의 특징을 가지고 있다.

제안한 단일 뉴런 신경회로망 방식과 기존의 다층 신경회로망 방식을 각각 자동동조 시스템에 대하여 시뮬레이션하여 비교 검토한 결과 제안한 방식의 성능이 우수하였고, 수렴속도 향상, 제어기 설계 간소화, 처리시간 단축 등의 특징을 확인하였다.

제안한 방식의 PID형 직접제어 방식은 설계가 간단하고, 성능이 우수하며, 지능적인 학습능력이 있어 기존의 PID 제어기보다 우수하고, 매우 실용적이므로 기존의 PID제어기를 대체가 가능하다고 본다.

## V. 참고문헌

- [1] K.J. Hunt, G.R. Irwin and K. Warwick (Eds) "Neural Network Engineering in Dynamic Control System", WILEY, 1995
- [2] Yong-Zai Lu, "Industrial Intelligent Control" Fundamentals and Applications, JOHN WILEY & SONS, 1996.
- [3] N. K. Bose, P.Liang "Neural Network Fundamentals With Graphs, Algorithms, and Applications" ,McGraw-Hill, 1996.
- [4] Hagan, Demuth, Beale, "Neural Network Design", PWS Publishing Company, 1995.
- [5] Jack Golten, Andy Verwer, "Control System Design and Simulation", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1992.
- [6] 정종대, "인공신경망에 의한 PID 제어기 자동 동조에 관한 연구", 한국퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, Vol 6 No.2 p36-42, 1996.