

역전파 알고리즘을 이용한 FF-PID 제어 시스템 구현

류재훈* · 허창우* · 류광렬*

*목원대학교 IT공학과

Realization for FF-PID Controlling System with Backward Propagation Algorithm.

Jae-Hoon Ryu* · Chang-Wu Hur* · Kwang-Ryol Ryu*

*Mokwon University

E-mail : ryol@mokwon.ac.kr

요 약

본 논문은 역전파 알고리즘을 이용한 FF-PID 제어 시스템 구현에 관한 연구이다. 영상의 인식은 신경망 역전파를 사용하여 학습시킨다. FF-PID 제어기는 신경망의 목표치에 대한 출력층 오차값을 제어값으로 사용하여 이동물체의 응답특성을 향상시킨다. 실험결과, 시스템의 응답시간은 약 2.7(sec)였으며, 일반적인 차영상기법에 비하여 약 15% 목표치 응답이 향상되어, 효과적인 이동물체의 제어가 가능하였다.

ABSTRACT

A realization for FF-PID(Feed-Forward PID) controlling system with backward propagation algorithm and image pattern recognition is presented in this paper. The pattern recognition used backward propagation of nervous network is learning. FF-PID is enhanced the response characteristic of moving image by using the controlling value which is output error for the target value of nervous system. In conclusion of experiment, the system is shown that the response is worked as 2.7sec that is enhanced round 15% in comparison with general difference image algorithm. The system is able to control a moving object with effect.

Keywords

FF-PID Controlling System, Image Pattern Recognition, Backward propagation, Neural Network

1. 서 론

영상의 인식분야에서 신경망(Neural Network)은 인간의 뇌 구조를 전자 공학적으로 모델링된 알고리즘으로 패턴 인식, 숫자 인식 등 그 활용범위가 광범위 하다[1]. 신경망은 인식을 위한 출력층의 목표와 현재 입력에 대한 에러(Error)를 지속적으로 망(Network)내에서 반복하여 에러의 차이를 줄여 나가는 시스템이다. 역전파 알고리즘(Backward Propagation)은 신경망 내에서 학습을 시키고, 가중치를 갱신하는 방법으로 널리 사용되고 있다. 제어 시스템에서 가장 많이 사용되는 제어 기법으로 PID(Proportional plus Integrate pulse Derivative) 제어를 들 수 있다[2]. PID 제어 기법은 비선형적인 시스템에서의 타겟(Target)에 대한 현재의 차이를 이용하여 비례, 적분, 미

분의 이득으로 주기적인 연산으로 타겟에 도달하도록 하게 해주는 알고리즘이다[3]. 영상 인식을 통한 제어 시스템의 설계에 있어서 중요한 점은 효율적인 제어를 위해 입력이 되는 영상을 어떠한 방법으로 인식하는가에 달려있다. 신경망과 PID 제어 알고리즘은 목표에 대한 현재의 에러를 이용하는 알고리즘으로 이동 물체에 대한 영상인식을 효과적으로 할 수 있다[4].

본 논문에서 제안하는 기법은 영상을 역전파 알고리즘으로 인식하여 얻은 차이를 FF-PID 제어기의 입력으로 하여 제어기 출력값으로 이동물체를 제어하는 시스템을 제시하고 실험 및 고찰한다.

II. 시스템 설계 구현

영상 인식 FF-PID 시스템은 그림 1. 과 같이 제어시스템과 영상처리 시스템으로 구성하였다.

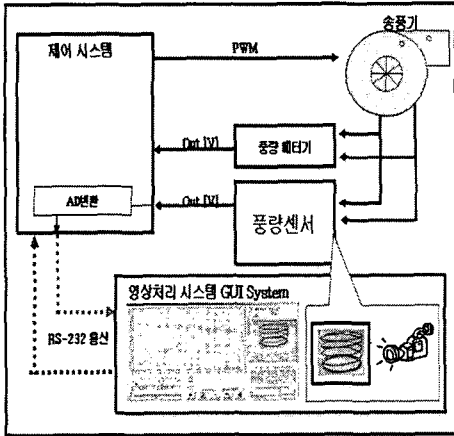


그림1. 전체 시스템 구성도

영상처리 시스템은 PC의 GUI와 카메라로 구성하였다. GUI 시스템은 FF-PID 제어를 포함하여 풍량 및 전압을 표시하는 그래프와 입력영상 등을 포함한다. 카메라로 획득한 영상은 풍량의 변화에 따라 스프링의 변위가 이동하는 영상이다. 먼저 변위 이동 인식에 정확성을 위하여 이진화 변환을 한다. 변환된 이진 영상을 입력 영상으로 신경망의 출력층 방향으로 계산한다. 이렇게 얻은 차영상은 FF-PID 제어기의 에러로 사용한다. 목표로 하는 실제 풍량에 도달 하기 위하여 FF-PID 제어기를 통하여 연산된 PWM 값은 제어 시스템에 전송한다. 이때 제어신호는 RS-232 통신을 이용하여 제어 시스템에 전달한다. 제어 시스템은 8bit 마이크로 컨트롤러로 구성하였다. 영상처리 시스템으로부터 받은 제어 신호는 제어 시스템에서 PWM을 송풍기로 전달하여 구동한다. 이때 생성된 바람은 주기적으로 AD 변환을 거쳐 영상처리 시스템으로 측정된 데이터를 전송한다.

III. 역전파 알고리즘과 FF-PID

3-1. 역전파 알고리즘

역전파 알고리즘(Backward Propagation)은 다층(Multilayer) 구조의 Feedforward 신경망(Neural Network)에서 지도학습(Supervised learning) 방법의 한 알고리즘이다. 입력이 가중치와 몇 번 곱한 결과값이 목표값과 오차가 발생하며, 오차에 비례하여 출력층의 가중치를 갱신하고, 그 다음 은닉층에 가중치를 갱신한다. 가중치를 처리하는 방향이 신경망의 처리방향과 반대라 하여 역전파

라 불린다.

다음은 신경망에서 역전파 알고리즘의 계산 요약이다. 신경망의 각층의 구성은 입력층, 은닉층 1개, 출력층으로 구성하였다. 그림2. 는 신경망의 구성도이다.

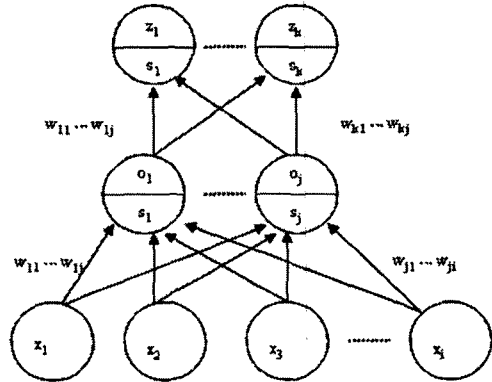


그림2. 신경망 구성도

학습 반복은 경사하강법(Gradient-descent method)을 사용하며, 일반화된 시그모이드(Sigmoid) 함수를 사용하여 은닉층과 출력층의 결과값을 나타냈다.

$$s_1 = \sum_{k=1}^i x_k \sum_{c=1}^j w_{ck} \quad (1)$$

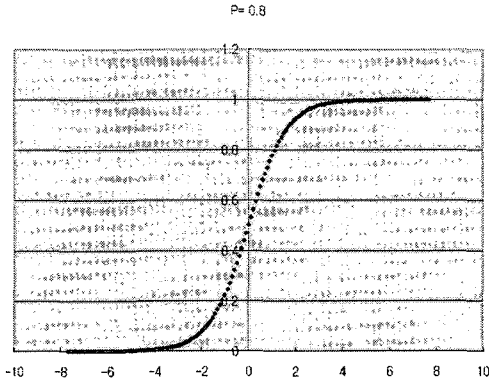
x = 입력
 w = 하중

$$\text{출력} \quad o_1 = f(s_1) \quad (2)$$

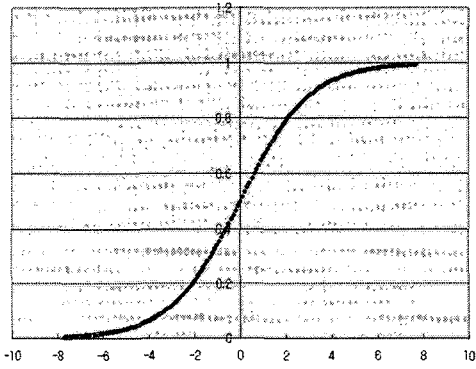
식(1)에서 은닉층 S_1 의 내적을 나타내며, 식(2)는 내적의 활성화함수(Active Function)를 사용하여 결과값을 나타낸다. 일반화된 델타방법으로 시그모이드 함수를 활성화함수로 사용한다. 다음 식(3)은 시그모이드(Sigmoid) 함수의 식이다.

$$\text{output} = \frac{1}{1 + \exp^{-\alpha/P}} \quad (3)$$

그림 3. 은 시그모이드 함수의 임계치를 다양하게 조정하여 시스템의 출력에 도달하도록 조절하는 형태를 보여준다.



(a) $P = 0.8$
P=1.5



(b) $P = 1.5$

그림3. 활성화함수의 임계치 조절

활성함수의 결과값이 o_1 은 은닉층의 결과값이며, 동시에 출력층의 입력값이 된다. 따라서 동일한 계산법으로 출력층의 s_2 과 z_2 를 구할 수 있다.

$$w_{update\ output} = \eta \delta_2 o \quad (4)$$

$$\delta_2 = \sum_{k=1}^c (y_k - z_k) z_k (1 - z_k) \quad (5)$$

식(4)는 출력층의 가중치 갱신 식이다. η 은 학습률이며, o 는 해당 출력층 입력값이다.

$$w_{update\ hidden} = \eta \delta_1 x \quad (6)$$

$$\delta_1 = \sum_{k=1}^j o_k (1 - o_k) \delta_2 w_{update\ output} \quad (7)$$

식(6)은 은닉층의 가중치 갱신 식이다. 역전파를

훈련하는 과정에서 식(4)에서부터 식(7)까지의 계산에서도 보여주듯이 출력층의 가중치를 먼저 계산하고 이때의 델타(δ_2)를 이용하여 은닉층의 가중치를 계산한다.

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^c (y_k - z_k)^2 \quad (8)$$

식(8)는 출력층의 값과 목표값의 오차이다. 원하는 오차가 나올 때까지 역전파를 수행하여 가중치 갱신 반복 훈련을 계속한다. 또한 이때에 갖는 오차를 가지고 FF-PID의 값의 P(Proportional)제어의 값으로 사용하여 PWM을 RS-232 통신을 이용하여 제어시스템에 전달한다.

3-2. FF-PID

스프링을 이동시키기 위해서는 송풍기의 모터에 PWM 신호를 인가하여 풍량을 조절해야 한다. 그러므로, 신경망을 통하여 얻은 영상의 오차값은 PID 제어기의 통하여 PWM값을 제어 시스템에 전달한다. 본 논문에서 제안된 PWM 제어는 FF-PID 제어를 사용하였다. PID제어 기법은 타겟에 대한 현재값의 비례, 적분, 미분을 각 이득값을 가중치로 하는 제어이다.

다음은 FF-PID 제어기의 요약이다. 식(9)와 같이 타겟에 도달하기 위한 현재값과 타겟값과의 차를 에러라 정의 하면, 비례펄스(Proportional pulse) 제어기는 샘플링 타임 시점에서의 타겟값과 현재값의 차이이다. 적분(Integrate pulse) 제어기는 현재 값들의 누적값 즉, 현재 에러의 합이다. 미분(Derivative) 제어기는 현재 에러와 과거 에러의 차이이다.

$$P(\text{Proportional pulse}) = K_p e(t) \quad (9)$$

$$I(\text{Integrate pulse}) = K_i \int_{t_0}^t e(t') dt'$$

$$D(\text{Derivative}) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

P = 현재에러와 타겟의 차

I = 현재에러의 합

D = 현재에러와 과거에러의 차

각 제어기의 이득값은 시스템에 맞게 실험적으로 구했으며 이득값을 구하는 자동튜닝 알고리즘은 사용하지 않았다. 이렇게 각각의 제어기 값을 구하여 이를 식 (10)와 같이 합을 구한다.

$$\text{Output} = P + I + D \quad (10)$$

$$\text{FFPID} = \text{Feed_Forward} + \text{PID}$$

식(10)에서 FF-PID 값은 PID제어기가 타겟까지 빠른 응답을 주기 위해 사용하는 함수 값이다. 식

(11)은 FF-PID 제어에 사용되는 1차 함수이다.

$$PWM = K_{pwm}(Target + PID) + Y$$

$$K_{pwm} = gradient$$

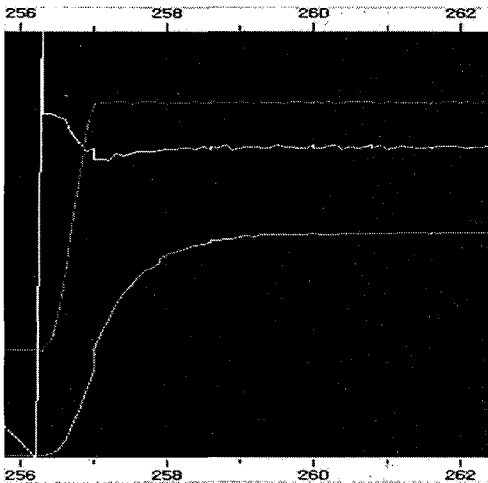
$$Target = Feed-Forward Value \quad (11)$$

$$Y = Y \text{ intercept}$$

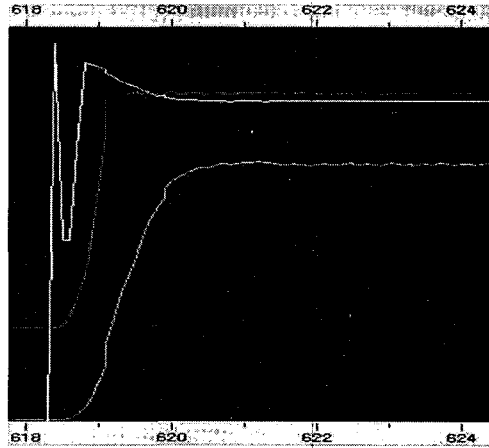
식(11)은 본 논문의 FF-PID 제어 시스템에서 타겟에 대한 영상 인식 값과 PWM의 관계를 실험을 통하여 구한 1차 함수이다. 결국 영상인식을 통하여 PWM 값이 통신을 통하여 제어시스템으로 전송하여 송풍기의 모터를 회전 시킨다.

IV. 실험 및 고찰

신경망에 사용된 영상의 크기는 시스템을 고려하고, 센서 영상의 외곽부의 불필요한 노이즈를 제거하기 위해서, 입력 영상(320X240)픽셀에서 스프링의 움직임이 뚜렷이 나타나는 중심부(160x120)픽셀로 축소하여 설정 하였다. 역전파 수행 전에 에러율 연산을 수행 후 FF-PID를 수행한다. PWM 출력이 제어시스템에 전달 됨으로 센서의 스프링은 움직이기 시작하고, 이동된 스프링 영상이 다시 신경망 네트워크로 들어가 계속해서 학습을 시킨다. 이렇게 하여 결국엔 하나의 신경망 에러율을 가지고 FF-PID 제어가 가중이 되어 좀더 효율적으로 영상의 목표를 찾도록 학습해 준다.



(a) 차영상 FF-PID



(b)역전파 FF-PID

그림 5. 풍량의 출력곡선

V. 결론

본 논문은 움직이는 물체를 인식하여 이를 제어하기 위한 시스템 구현에 관한 논문이다. 실험 결과, 응답시간 약 2.7 (sec)가 걸렸으며, 역전파를 이용한 제어가 차영상 인식 방법에 비해서 약 15% 목표치 응답이 향상되었다. 이러한 결과는 산업 현장에서 영상 인식을 통해 다양한 제어분야의 구현에 활용할 수 있다. 앞으로 좀 더 정밀한 제어를 위해서 다양한 알고리즘 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] A neural-network-based model reference PID-like controller for process control / Lee, T.H. ; Yue, P.K ; Tan, K.K. (Engineering application of artificial intelligence, v.7 no.6, 1994, pp 677-684)
- [2] Design of an enhanced nonlinear PID controller / Su, Y.X. ; Sun, D. ; Duan, B.Y. (Mechatronics : mechanics, electronics, control, v.15 no.8, 2005, pp.1005-1024)
- [3] 영상인식에 의한 FF-PID 제어 시스템 구현, 2006년 10, 한국해양정보통신 학회 2006 추계 학술대회.
- [4] Comparison Between a Fuzzy PID Controller and a Kind of Nonlinear PID Controller / Liu, C. ; Xu, J.-X. ; Hang, C.-C. (Proceedings of the IEEE Conference on Decision & Control, v.36 no.3, 1997, pp.2736-2741)