

# 신경회로망을 이용한 평면좌표계형 로봇구동용 교류서보전동기 제어기

\*김 평호, \*\*서 진연, \*\*\*김 대곤, \*\*\*\*이 강연, 백 형래  
\*서강정보대학, \*\*여수공업대학, \*\*\*전남과학대학, \*\*\*\*조선대학교

## AC Servo Motor Controller for Driving Cartesian Coordinate Type Robot Using Neural Networks

\*Kim pyoung-ho, \*\*Seo jin-youn, \*\*\*Kim dae-gon, \*\*\*\*Lee gang-youn, Baek hyung-lae  
\*Seokang College, \*\*Yosu tech. College, \*\*\*Chunnam techno College, \*\*\*\*Chosun Univ.

### Abstract

This paper describes the controller for the improving speed control the AC servo motor. The microprocessor provides an output to the difference in command. The servo system improves the characteristics of speed control. When the motor is running at the same speed as set by the reference signal, the speed encoder also provides a signal o the same frequency. Thus, the microprocessor controlled digital techniques enable to realize the flexible performance and control which was possible with time constant.

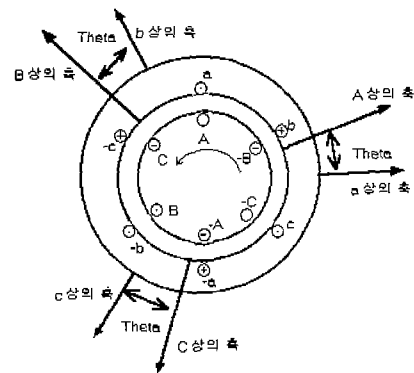
We can know that PI control using neural networks by 80196 can control efficiently speed of AC Servo motor. Finally experimental results prove excellent performance of this control system. The system can be adaptable to CNC machine.

서보모터에는 없으며 신뢰성이 높은 구조로 되어 있다. 일반용도에 사용하는 전동기는 물론 속응 정밀제어의 특성상 아나로그방식을 주로 사용해왔던 AC서보모터도 디지털화로 되고있다. 본 논문에서는 AC서보모터의 단계적인 제어를 구현하기 위하여 기존의 제어기방법과 달리 신경회로망을 이용한 PI제어기를 80196 마이크로프로세서로 구현함으로써 종래의 PI제어기에 비해 고정도의 우수한 제어응답성을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에 의한 제어응답특성을 산업현장에서의 응용과 직류서보 모터와 같은 고성능 정밀제어를 실현하고자 하는 공작기계 등에 적용하고자 시험한 데이터를 정리하여 단계적인 속도제어를 통해 AC서보모터의 속도특성을 관찰 하였다.

### 1. 서 론

최근 전력용 반도체 산업의 발달로 인하여 마이크로프로세서의 제어기술이 향상됨에 따라 교류기도 직류기에 못지 않게 제어가 경제적으로 가능하게 되었고 더욱이 우수한 보수성을 갖고 있으므로 직류기의 대체용으로 AC 서보모터가 각광을 받고 있는 실정이다. DC서보모터는 정류자를 갖고 있어서 정류한계에 의해 고속, 고 토크로서의 사용이 제한되고 브러시라는 마모부품을 가지므로 점검이나 교체가 곤란한 장소에는 설치하기가 어렵다. 이상에서 알 수 있듯이 DC서보모터에는 브러시와 정류자가 존재하지만 AC

### 2. AC서보전동기의 이론



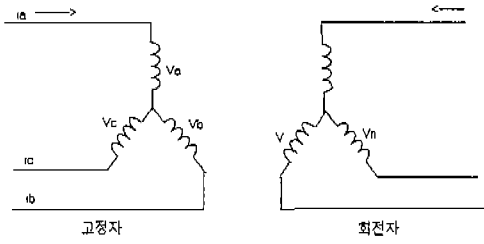


그림 1. 3상 전동기의 구조도

위의 식들로부터 AC서보 전동기의 출력 P 를 구하면 다음과 같다.

$$P = \frac{3}{2} (V_{2d}i_{2d} + V_{2q}i_{2q})$$

$$= \frac{3}{2} \{ -\lambda_{2q}i_{2d}(s\omega) + \lambda_{2d}i_{2q}(s\omega) \}$$

회전자 자속은  $-(s\omega)2/\text{극수}$  이므로 전동기 토크 T 는 다음과 같다.

$$T = \frac{3}{2} \cdot \frac{\text{극수}}{2} (\lambda_{2q}i_{2d} - \lambda_{2d}i_{2q})$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \text{극수} \cdot L_{12}(i_{1q}i_{2d} - i_{1d}i_{2q})$$

이때 기계적 토크는 다음과 같다.

$$T = J\omega_2 + B'\omega_2 + T_L$$

고정자 권선의 전압방정식은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = r_1 \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} + P \begin{pmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{pmatrix}$$

회전자 권선의 전압방정식은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = r_2 \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} + P \begin{pmatrix} \lambda_A \\ \lambda_B \\ \lambda_C \end{pmatrix}$$

고정자 측에서의 상 자속은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{aa} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{ab} & L_{aa} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}$$

$$+ L_{aA} \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) & \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) & \cos \theta_2 & \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) \\ \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) & \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) & \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix}$$

회전자 측에서의 상 자속은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \lambda_A \\ \lambda_B \\ \lambda_C \end{pmatrix} = L_{aA} \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) \\ \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) & \cos \theta_2 & \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta_2 - \frac{4}{3}\pi) & \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{aa} & L_{ab} \\ L_{ab} & L_{ab} & L_{aa} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}$$

### 3. 신경회로망 제어기설계

Back-Propagation은 입력과 출력사이에 중간 계층 구조도를 도입함으로써 복잡한 논리나 지식도 배울 수 있음을 보여준다.

BPN을 사용하여 플랜트를 학습시키기 위하여 간접학습, 일반학습, 특정학습 방식이라고 불리는 세가지 방식이 있다. 본 연구에서는 그림 2와 같은 간접학습 방법으로 이는 신경회로망의 원하는 플랜트의 출력을 입력하여 그때 신경회로망의 출력을 플랜트에 대한 제어 입력으로 사용한다. 또한 실제 플랜트 출력을 측정하여 동일한 신경망으로 입력하고 그때의 출력과 제어 입력과의 차를 사용하여 플랜트의 역동 특성을 학습한다.

초기에 임의로 정해진 연결강도에 의해 어떤 출력이 나타나는데 이때의 출력과 원하는 값을 비교하여 오차를 구하고 이를 사용하여 역방향 즉, 출력단자에서 입력단자방향 순으로 연결강도를 보정하는 과정을 오차가 최소로 될 때까지 반복 실행한다.

신경망 제어기의 궁극적인 목적은 플랜트의 실제 출력이 기준 출력값을 잘 추종할 수 있도록 학습을 통하여 플랜트출력단에서의 오차항이 최소가 되도록 하는 제어값을 생성하는 것이다.

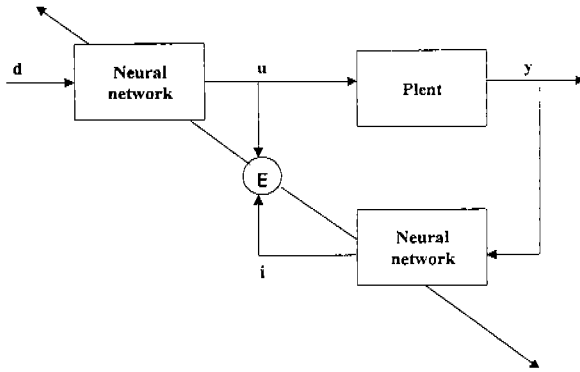


그림 2. 간접 학습방법

전형적인 전향 신경회로망은 그림3과 같이 다층으로 구성되며 입력층, 중간계층, 출력층으로 구성된 3층 회로망을 사용했다.

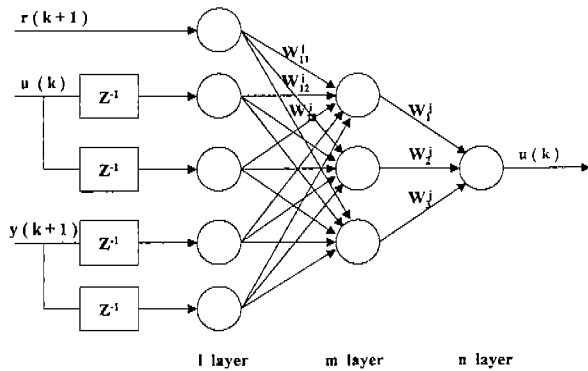


그림 3. 신경회로망 제어기

신경회로망의 구조는 다음과 같다.

$O_{i,k}$  = K번째층의 i번째 뉴런의 출력

$net_{i,k}$  = K번째 층에서의 i번째 뉴런에 대한 전체 입력

$W_{ij,k}$  = K번째 층에 있는 i번째 뉴런과 (K-1)번째 층에 있는 j번째 뉴런 사이의 연결치 뉴런에 대한 전체 입력은 다음과 같다.

$$net_{i,k} = \sum_j W_{ij,k} * O_{j,k-1}$$

뉴런의 출력은 다음과 같다.

$$O_{i,k} = f(net_{i,k})$$

이 때 f는 일반적으로 비감쇄, 미분가능 함수인 전달함수 혹은 활성화 함수이다. 위와 같이 실제 플랜트 입력과 추정된 플랜트 입력사이의 차는 신경 회로망에서 전결치를 조절하기 위해서 사용되고 다음과 같이 계산된다.

$$e = u - t \quad (13)$$

t는 추정된 플랜트의 입력이고 u는 실제 플랜트 입력이다.

출력층에서는 식(13)과 같이 연결강도를 조절하기 위한 오차를 직접 얻을 수 있으므로 출력층에서 오차 신호  $\delta$ 를 사용하여 다음과 같이 각 뉴런에 대한 오차 신호를 얻을 수 있다.

$$\delta_j = f'(net_{j,k}) * \sum_i \delta_{i,k+1} W_{ij,k+1} \quad (15)$$

이와 같은 오차신호를 사용하여 일반화된 delta rule을 적용 할 때 K와 K-1층 사이의 l와 j뉴런 간의 연결강도  $W_{ij,k+1}$ 의 변화율은 다음과 같다.

$$\Delta W_{ij,k} = \eta * \delta * O_{j,k-1} \quad (16)$$

$$W_{ij,k} = W_{ij,k(n)} * \Delta W_{ij,k} \quad (17)$$

이때,  $W_{ij,k(n)}$ 은 연결강도를 조정하기 전의 값을 나타내고  $\eta$ 는 학습률을 나타내는 것으로 학습률이 너무 작다면 수렴은 무척 느려지고 너무크면 부분적으로나 혹은 연속적으로 불안정한 수렴이 나타나게 된다.

학습과정중 안정한 수렴을 보장하면서 학습시간을 향상시키기 위하여 모멘텀(Momentum)을 사용하였다. 모멘텀은 연결강도에서 한번 조정이 이루어지면 이 값을 기억하고 있다가 다음연결강도 조정에서 쓰이게 된다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

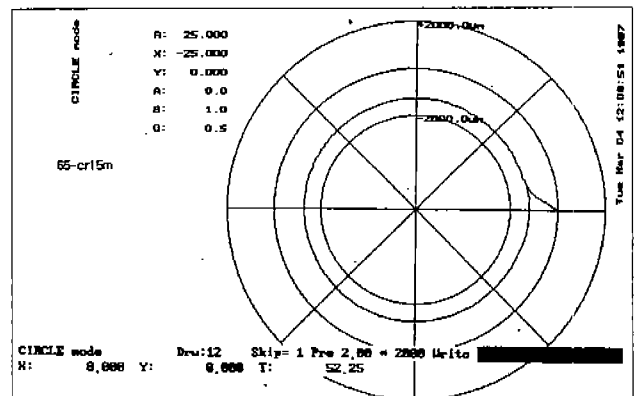
$$\Delta W_{ij,k(n+1)} = \eta * \delta * O_{j,k-1} + \alpha * \Delta W_{ij,k(n)} \quad (18)$$

$$W_{ij,k(n+1)} = W_{ij,k(n)} + \Delta W_{ij,k(n+1)} \quad (19)$$

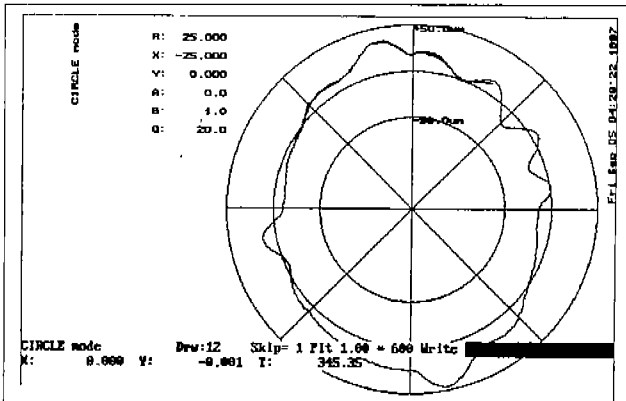
이때  $\alpha$ 는 모멘텀상수이다.

### 3. 실험 및 결과

다음은 본 논문의 실험결과로 그림 4는 진원도를 나타내는 실험결과이다. (a)는 신경망제어를 사용하지 않는 상태이고, (b)는 신경망제어를 사용하여 목표값에 근접한 결과를 나타낸다. 그림 5는 X-Y 직각 가공도를 나타낸 실험결과로 (a)는 신경망제어를 사용하지 않는 상태이고, (b)는 신경망제어를 사용하여 목표한 직각가공형상에 가까운 결과를 보인다.



(a)



(b)

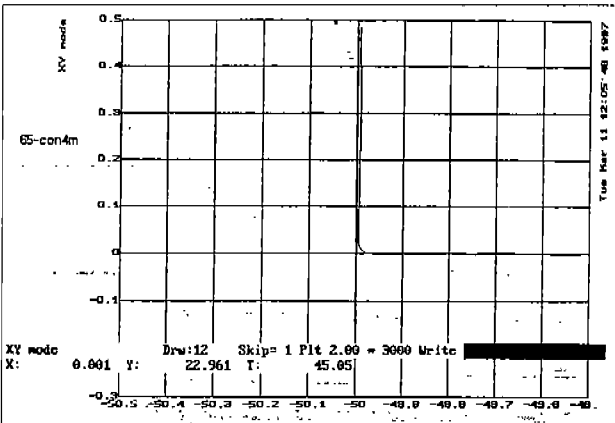
그림 4. 진원도가공

#### 4. 결론

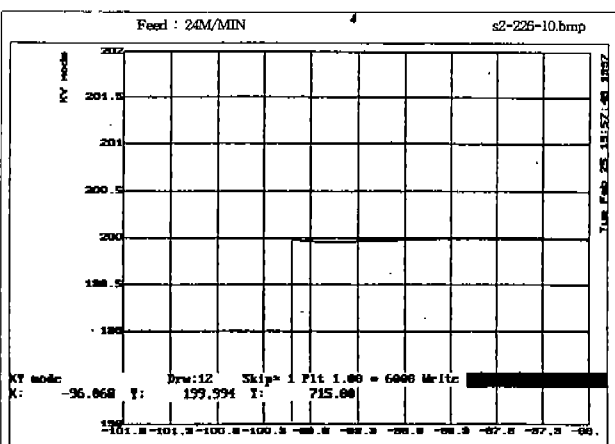
동기전동기형 서어보모터는 그 우수한 제어성을 주로 내세워서 초저속에서 고속까지의 적용범위를 넓히고 다이렉트 드라이브의 실현, 고성능 자동기계나 고정밀도 산업 로봇 등에서의 적용, 브러시리스에 의한 내환경성으로부터 특수환경로봇, 도장로봇 등에 적용할 수 있다. 실험결과 신경망제어를 사용하지 않은 실험에서는 목표값을 벗어나서 확인이 불가능하였고 신경망제어를 사용한 실험에서는 목표로한 좌표값에 근접하여 희망가공 범위를 벗어나지 않았다. 본 연구에 의한 실험데이터를 기초로 기계가공 및 산업분야에 이용되는 평면좌표계형 로봇등 응용될 수 있으리라 사료된다.

#### 참고 문헌

1. 月刊 自動化技術編輯部 編 “메카트로닉스를 위한 최첨단 제어용모우터”,성안당, PP.40~60, 1994.
2. 원종수의 2인, “AC서보모터와 마이컴제어”, 동일출판사, PP.13~49, 1995.
3. Fanuc AC SERVO AMPLIFIER MANUAL B- 65005E107, PP.2~101.
4. Fanuc AC SERVO MOTOR MANUAL B- 65150E102, PP.71.
5. Uk-Youl Huh, Je-Hie Lee, “A Modified Sliding Mode Speed Control Scheme for AC Servo Motor”, IECON'95, Vol.2, 730~735, 1995.
6. Hoang Le-Huy.”An Adaptive Fuzzy Controller For Permanent-Magent AC Servo Drives”, IAS, Vol.1, PP.104~110, 1995.
7. Ying-Yu Tzou, Tien-sung Kuo “Design and Implementation of an FPGA-Based Motor Control IC for Permanent AC Servo Motors”, IECON'97 Vol.2, 943~947. 1997.



(a)



(b)

그림 5. X-Y 직각가공