

동적 신경회로망을 이용한 미지의 비선형 시스템 제어 방식

정경권*, 김영렬*, 정성부**, 엄기환*

*동국대학교 전자공학과, **서일대학 전자과

Control Method of an Unknown Nonlinear System Using Dynamical Neural Network

Kyung Kwon Jung*, Young Lyul Kim*, Sung Boo Chung**, Ki Hwan Eom*

*Dept. of Electronic Engineering, Dongguk University

**Dept. of Electronic Engineering, Seoil College

E-mail : kihwanum@dongguk.edu

요 약

본 논문에서는 동적신경회로망을 이용한 미지의 비선형 시스템 제어 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 비선형 시스템의 상태 공간 모델과 유사한 형태의 신경회로망을 구성하여 비선형 시스템을 식별하고, 식별한 정보를 이용하여 제어기를 설계하는 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 단일 관절 매니퓰레이터를 대상으로 시뮬레이션을 수행한 결과 우수한 제어 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a control method of an unknown nonlinear system using a dynamical neural network. The proposed method performs for a nonlinear system with unknown system, identification with using the dynamical neural network, and then a nonlinear adaptive controller is designed with these identified informations. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we simulated one-link manipulator. The simulation results showed the effectiveness of using the dynamical neural network in the adaptive control of one-link manipulator.

키워드

dynamical neural network, adaptive control, system identification

1. 서 론

최근 로봇 등과 같이 복잡하고 불확실하며 비선형성이 강한 기구계를 가진 역학이나 이런 것을 보편한 복합 시스템의 제어가 급증하고 있다. 이것은 현대의 과학기술, 공업기술의 급속한 진보와 깊은 연관성이 있으며, 이것에 따라 제어이론 및 기술도 급속히 고도화되고 복잡화 되어가고 있다[1-2].

현대 제어이론의 성숙과 함께 1970년대에는 최적제어에 대한 연구가 매우 활발하였으며, 80년대에는 강인한 제어방식과 적응제어방식이 실제적 상황에서 유용함이 입증되었다[3].

플랜트의 동특성이 미지 또는 불확실하고 그 환경의 정보도 정확하지 않은 경우에 우리는 적응 제어 방식을 이용하고 있다. 특히 적응 제어

방식의 일종인 자기 동조 적응 제어(self-tuning adaptive control : STAC) 방식은 시스템의 입력력 데이터를 이용하여 시스템을 동정(identification)하고, 이 동정된 모델을 이용하여 제어기를 설계하는 방식으로, 시스템 모델이 불확실한 제어 대상의 제어에 용이한 장점이 있어 산업용 로봇 제어 등에 적용되어 왔다. 80년대 후반에는 사람의 자연적 언어 체계를 표현하는데 효과적인 퍼지 이론과 생물학적 신경계통을 모방한 신경회로망 이론이 제어 공학자들에 의해 많은 연구의 대상이 되었다[4-5].

본 논문에서는 비선형 시스템의 적응 제어를 위하여 동적 신경회로망 제어 방식을 제안한다. 제안한 제어 방식은 비선형 시스템의 상태 공간 모델과 유사한 형태의 신경회로망을 구성하여 비선형 시스템을 식별하고, 상태 제한 입력을 설계

하는 방식이다. 동적 신경회로망은 오차 역전파 방식으로 연결강도를 조정하는 학습 법칙을 이용한다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 비선형 시스템인 단일 관절 로봇 매니퓰레이터를 대상으로 위치 제어 시뮬레이션을 수행하여 검토한다.

II. 동적신경회로망을 이용한 시스템 식별

비선형 시스템을 식(1)과 같이 입력신호와 관련되지 않은 비선형 함수 $f(\cdot)$ 와 입력신호와 관련된 비선형 함수 $g(\cdot)$ 로 구성할 수 있다.

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u \quad (1)$$

그림1의 시스템 동정 블록 선도에서 입력신호 $u(k)$ 는 시스템과 동정모델에 동시에 가해지고 시스템의 출력과 동정모델의 출력간의 오차가 최소화되도록 동정모델의 파라미터를 조정한다[6].

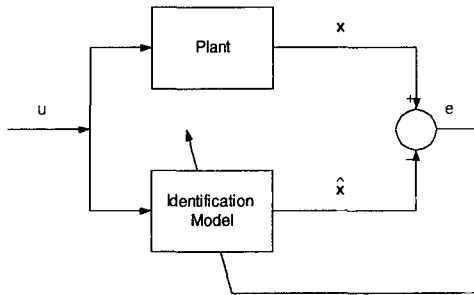


그림 1. 시스템 식별 모델

이렇게 조정된 정보를 이용하여 제어기를 설계하면 식(2)와 같다.

$$u = \frac{\dot{x} - f(x)}{g(x)} \quad (2)$$

식(2)에서 $g(\cdot)$ 를 $diag[g_1 \ g_2 \ \dots \ g_n]$ 이라 하면 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$u = g(x)^{-1}[\dot{x} - f(x)] \quad (3)$$

동적신경회로망을 식(1)과 같은 형태로 하여 그림 1과 같이 구성을 한다.

동적신경회로망의 출력은 식(4)와 같다.

$$\dot{x} = w_{kj}f(\sum w_{ji}x) + g(\sum w_{ji}x)u \quad (4)$$

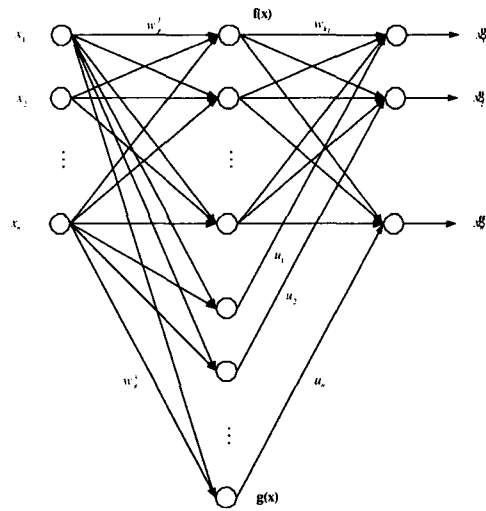


그림 2. 제안한 동적 신경회로망의 구성

$f(\cdot)$ 와 $g(\cdot)$ 로 표현한 은닉층의 활성화 함수는 tangent sigmoid 함수를 사용하였다.

연결강도 조정은 오차 역전파 알고리즘으로 조정을 하였다.

식(2)와 (3)의 관계에서 동적신경회로망의 시스템 식별정보를 이용하여 식(5)의 제어입력을 설계한다.

$$u = [g(\sum w_{ji}x)]^{-1}[\dot{x} - w_{kj}f(\sum w_{ji}x)] \quad (5)$$

III. 시뮬레이션

제안한 비선형 제어 방식의 유용성을 입증하기 위하여 식(6)으로 표현되는 단일 관절 매니퓰레이터에 대하여 Pentium 상에서 시뮬레이션을 하였다.

$$ml^2 \ddot{\theta} + B \dot{\theta} + mgl \cos(\theta) = \tau \quad (6)$$

여기서 θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$ 는 각각 매니퓰레이터의 각 변위, 각속도, 각가속도를 나타내고, τ 는 매니퓰레이터의 입력으로 관절에 가해지는 토크이며, m , l , B , g 는 각각 매니퓰레이터의 질량, 길이, 마찰계수, 중력 가속도를 나타내며, 값은 각각 $m=0.1[\text{kg}]$, $l=1[\text{m}]$, $B=0.4[\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}]$, $g=9.8[\text{m}/\text{s}^2]$ 의 사양을 갖는다. 식(6)의 시스템을 상태 공간 모델로 표현하면 식(7)이 된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{g}{l} \cos(x_1) - \frac{B}{ml^2} x_2 + \frac{1}{ml^2} \tau \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에 대하여 Runge-Kutta fourth order 알고리즘을 이용하고, 2[ms] 시간 간격으로 하여 식(8)의 기준 궤적에 대하여 비선형 시스템 동정과 제어를 수행하였다.

$$y_d(t) = \sin(\pi t) \quad (8)$$

동적신경회로망의 구성은 입력층의 뉴런수 2개, 은닉층의 뉴런수 5개, 출력층의 뉴런수 2개이고, $g(\cdot)$ 의 은닉층 뉴런은 1개이다. 학습률 η 는 0.02로 하였다.

매니퓰레이터의 초기 상태는 위치와 각속도 각각 $[0, 0]^T$ 이다.

그림 3은 식(8)의 기준궤적과 제어 대상인 단일 관절 매니퓰레이터의 출력 곡선이다.

그림 4는 기준궤적과 출력과의 오차 곡선이고, 그림 5는 단일 관절 매니퓰레이터의 입력이다.

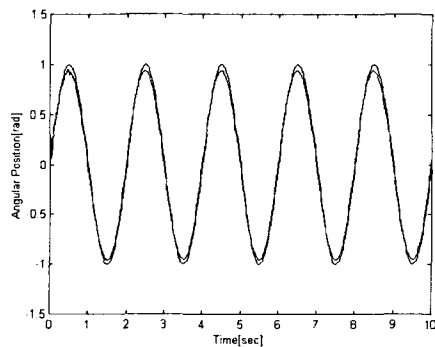


그림 3. 기준궤적과 출력

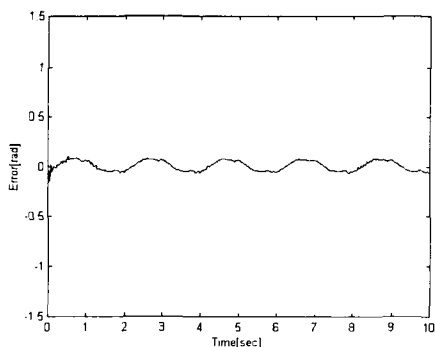


그림 4. 오차 곡선

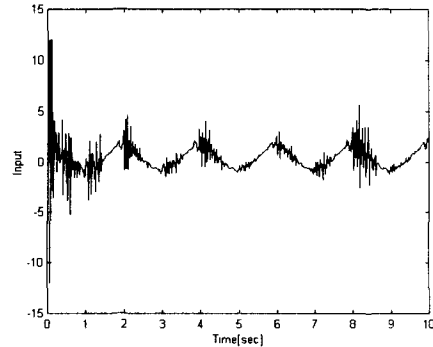


그림 5. 단일 관절 매니퓰레이터의 입력

그림 3과 4에서 제안한 동적 신경회로망 제어 방식은 초기에도 큰 오차없이 우수한 정밀성을 가짐을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 비선형 시스템의 적응 제어를 위하여 동적 신경회로망 제어 방식을 제안하였다. 제안한 제어 방식은 비선형 시스템의 상태 공간 모델과 유사한 형태의 신경회로망을 구성하여 비선형 시스템을 식별하고, 상태 궤환 입력을 설계하는 방식이다. 동적 신경회로망은 오차 역전파 방식으로 연결강도를 조정하는 학습 법칙을 이용하였다. 비선형 시스템을 입력신호와 관련되지 않은 비선형 함수 $f(\cdot)$ 와 입력신호와 관련된 비선형 함수 $g(\cdot)$ 로 구성하여 동적 신경회로망으로 식별을 하고 식별된 정보를 이용하여 제어기를 설계하였다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 비선형 시스템인 단일 관절 로봇 매니퓰레이터를 대상으로 위치 제어 시뮬레이션을 수행하여 우수한 결과를 확인하였다.

참고문헌

- [1] Y. M. Chen, K. F. Gill, "Fuzzy-Neuro Control of Robotic Manipulators," The Third International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp.1729-1733, 1994.
- [2] M. Yuan, G. S. Hong and A. N. Poo, "Neural Adaptive Controller : Application to Robot Manipulator," The Third International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp. 1734-1737, 1994.
- [3] Zheng Weihing and Ma Peisun, "The Fuzzy-Neural Control of Working Robot Control," The Third International Conference

- on Automation, Robotics and Computer Vision, pp.1724-1728, 1994.
- [4] K. J. Astrom and B. Wittenmark, COMPUTER CONTROLLED SYSTEM, Prentice Hall Inc. 1997.
 - [5] K. J. Astrom and B. Wittenmark, ADAPTIVE CONTROL, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
 - [6] I. D. Landau, SYSTEM IDENTIFICATION AND CONTROL DESIGN, Prentice Hall Inc., 1990.