

비선형 시스템 식별을 위한 수정된 Elman 신경회로망 구조

정경권*, 권성훈*, 이인재*, 이정훈*, 엄기환*

*동국대학교 전자공학과

서울 중구 필동 3가 26

kwon@cakra.dongguk.ac.kr

Modified Elman Neural Network Structure for Nonlinear System Identification

Kyung-kwon Jung*, Sung-hoon Kwon*, In-jae Lee*, Jung-hoon Lee*, Ki-hwan Eom*

*Dept. of Electronic Eng., Dongguk University

3-26, Phil-dong, Chung-gu, Seoul, 100-715, Korea

kwon@cakra.dongguk.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a modified Elman Neural Network structure for nonlinear system identification. The proposed structure is that all of network output feed back into hidden units and output units. Learning algorithm is standard Back-Propagation algorithm. The simulation showed the effectiveness of using the Modified Elman Neural Network structure in the nonlinear system identification.

feedforward 신경회로망과 Elman 신경회로망, 제안한 수정된 Elman 신경회로망을 비교하여 제안한 방식의 우수성을 확인한다.

II. Modified Elman Neural Network

그림 1과 같이 Elman 신경회로망은 전체적으로 전방향 구조이고, 부분적으로 recurrent 구조로, 은닉층의 출력이 context 층에서 시간 지연이 되어 다시 은닉층으로 입력된다[4][5][6].

I. 서론

1973년 K. J. Astrom 교수에 의해 자기 동조 적응 제어(self-tuning adaptive control : STAC) 방식이 제안된 이래로 제어를 목적으로 시스템 식별에 관한 관심이 집중되었다. 이러한 시스템 동정 이론에 의한 제어 방식은 시스템 모델이 부정확하거나 미지의 파라미터를 갖는 경우 최소한의 구조적인 지식만을 가지고도 만족할 만한 제어 성능을 가진다[1][2][3].

Elman 신경회로망은 전체적으로 전방향 구조이고, 은닉층의 출력이 시간 지연이 되어 은닉층으로 피드백 되는 구조이다[4][5].

본 논문에서는 비선형 시스템의 식별을 위해 수정된 Elman 신경회로망 구조를 제안한다. 제안한 방식은 은닉층 뉴런의 출력과 출력층의 뉴런의 출력을 다시 은닉층으로 피드백시켜서 입력하는 구조이다. 비선형 시스템을 식별하는 시뮬레이션을 통해 일반적인

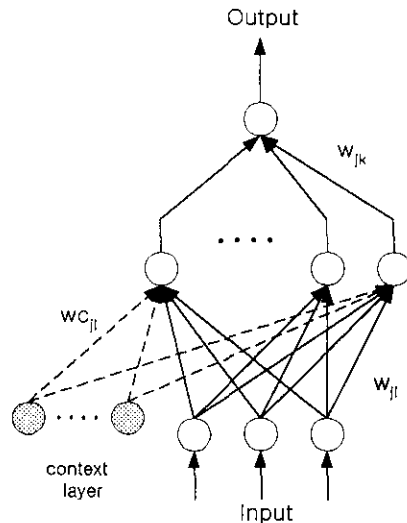


그림 1. 기본적인 Elman 신경회로망
Fig 1. Basic Elman Neural Network

제안한 수정된 Elman 신경회로망은 그림 2와 같이 은닉층의 출력과 출력층의 출력을 더하여 이것을 은닉층으로 피드백시켜서 입력하는 구조이다.

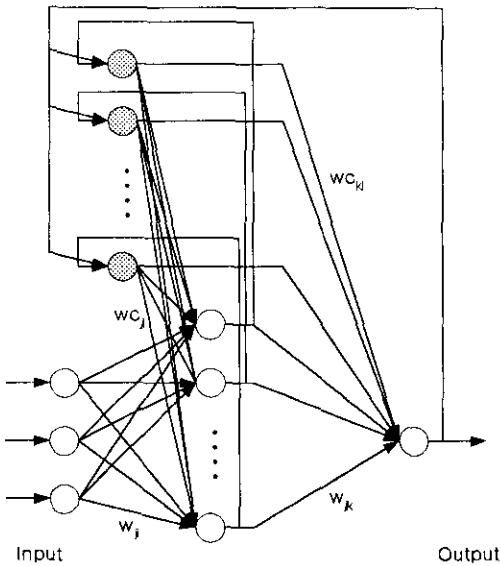


그림 2. 수정된 Elman 신경회로망
Fig 2. Modified Elman Neural Network

수정된 Elman 신경회로망은 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 구성된다.

$$H_net_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} \cdot x_i + \sum_{i=0}^n w_{cji} \cdot (H_out_i + O_out) \quad (1)$$

$$H_out_j = f(H_net_j) \quad (2)$$

$$y = f(O_net) \quad (3)$$

그림 3과 같은 구조로 수정된 Elman 신경회로망을 이용하여 시스템 식별에 이용한다.

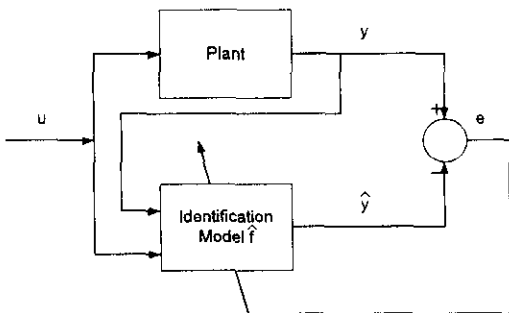


그림 3. 시스템 식별
Fig 3. System Identification

그림2에서 입력신호 $u(k)$ 는 시스템과 동정모델에 동시에 가해지고 시스템의 출력과 동정모델의 출력간의 오차가 최소화되도록 동정모델인 수정된 Elman 신경회로망을 학습한다. 목적함수는 식(4)와 같고, 신경회로망의 연결강도 조정량은 식(5)와 같다.

$$E = \frac{1}{2} (y_d - y)^2 \quad (4)$$

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E}{\partial w} \quad (5)$$

학습 알고리즘은 일반적인 Back-Propagation 알고리즘을 사용하였다.

III. 시뮬레이션

제안한 구조의 우수성을 확인하기 위하여 일반적인 feedforward 신경회로망, Elman 신경회로망과 성능을 비교하였다.

식별하고자 하는 시스템은 식(6), 식(7)과 같이 표현된다[2].

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), y(k-2), u(k), u(k-1)] \quad (6)$$

$$f[y(k), y(k-1), y(k-2), u(k), u(k-1)] = \frac{y(k)y(k-1)y(k-2)u(k)[y(k-2)-1] + u(k)}{1 + y^2(k-2) + y^2(k-1)} \quad (7)$$

식(7)은 완전히 알려지지 않은 비선형 함수로 구성되고, 이 시스템을 식별하기 위한 직-병렬 모델은 식(8)과 같다.

$$\hat{y}(k+1) = \hat{f}[y(k), y(k-1), y(k-2), u(k), u(k-1)] \quad (8)$$

입력신호는 식(9)와 같다.

$$u(k) = \sin\left(\frac{2\pi k}{250}\right) \quad (9)$$

학습률은 0.2, 은닉층의 뉴런수는 30개로 동일하게 설정하여 시뮬레이션을 하였다.

그림 3은 일반적인 feedforward 신경회로망의 동정 특성이고, 그림 4는 오차 곡선이다.

그림 5는 Elman 신경회로망의 동정 특성이고, 그림 6은 오차 곡선이다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 수정된 Elman 신경회로망의 동정 특성이며, 그림 8은 오차 곡선이다.

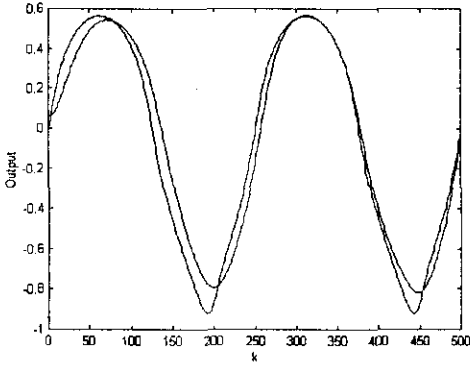


그림 3. 일반적인 feedforward 신경회로망의 동정 특성
Fig 3. Identification Characteristics of General Feedforward Neural Network

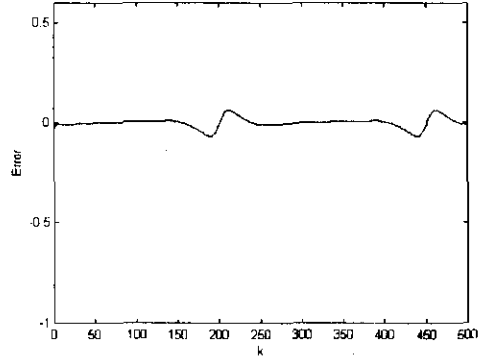


그림 6. 오차 곡선
Fig 6. Error Curve

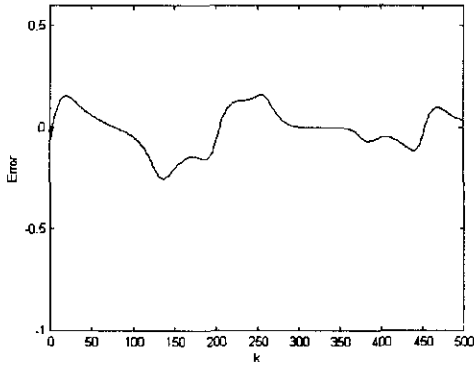


그림 4. 오차 곡선
Fig 4. Error Curve

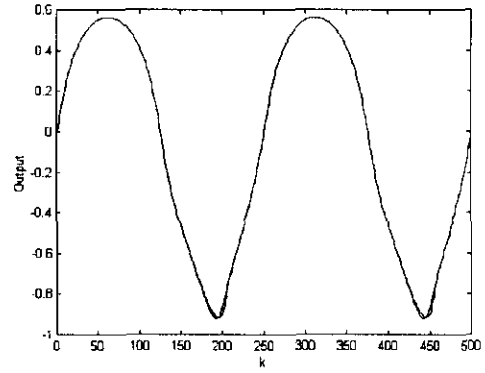


그림 7. 수정된 Elman 신경회로망의 동정 특성
Fig 7. Identification Characteristics of Modified Elman Neural Network

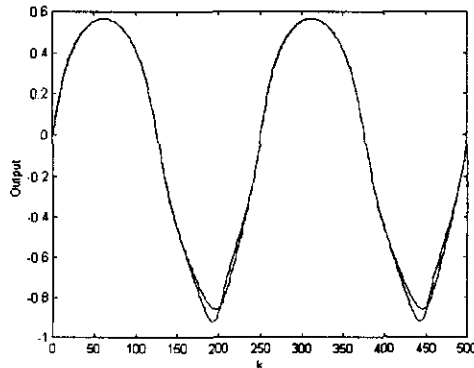


그림 5. Elman 신경회로망의 동정 특성
Fig 5. Identification Characteristics of Basic Elman Neural Network

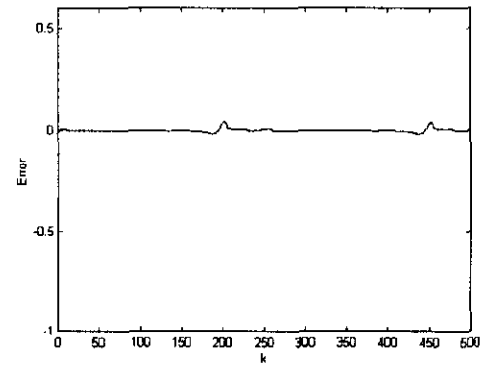


그림 8. 오차 곡선
Fig 8. Error Curve

그림 3, 5, 7에서와 같이 제안한 구조인 수정된 Elman 신경회로망이 비선형 시스템에 대해 좋은 동정 특성을 나타내고 있음을 확인하였다.

학습 속도를 비교하기 위하여 100번을 반복 시뮬레이션을 하였다. 그림 9는 오차 제곱의 합이다.

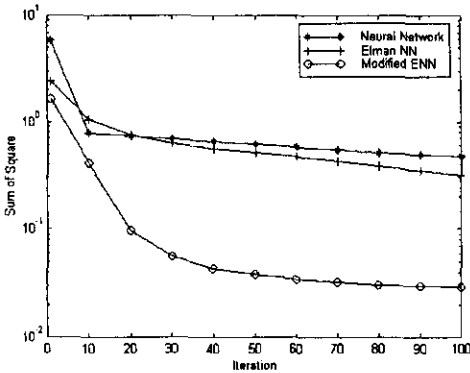


그림 9. 오차 제곱의 합
Fig 9. Sum of Square Errors

그림 9에서와 같이 제안한 구조가 빠른 추종 오차의 수렴을 보이고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 비선형 시스템 식별을 위해 수정된 Elman 신경회로망 구조를 제안한다. 제안한 구조는 신경회로망 은닉층의 출력과 출력층의 출력을 더하여 이것을 다시 은닉층의 입력으로 피드백하는 구조이다. 학습 알고리즘은 일반적인 Back-Propagation 알고리즘을 사용하였고, 시뮬레이션을 통해 일반 신경회로망, Elman 신경회로망과 비교하여 좋은 비선형 시스템 동정 특성과 빠른 학습 속도를 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K.J. Astrom, B. Wittenmark, "On Self Tuning Regulators," Automatica, vol.9, pp.185-199, 1973.
 [2] K.S. Narendra, K. Parthadarathy, "Identification and Control of Dynamical Systems using Neural Networks," IEEE Trans. on Neural Networks, vol.1, no.1, pp.4-27, 1990.

[3] I.D.Landau, "SYSTEM IDENTIFICATION AND CONTROL DESIGN," Prentice-Hall, Inc., 1990.
 [4] J. Elman, "Finding structure in time," Cognitive Science, vol.14, pp.179-211, 1990.
 [5] D. T. Pham, X. Liu, "Training of Elman networks and dynamic system modelling," International Journal of Systems Science, vol.27, no.2, pp.221-226, 1996.
 [6] Jerome T. Connor, "Recurrent neural networks and robust time series prediction," IEEE Trans. on Neural Networks, vol.5, no.2, 1994.