

온라인 적응 신경회로망을 이용한 지능형 제어기 설계방법

◦김 일 중* 구 세 완**, 최 주 업*, 최 익*, 김 광 배*

*한국과학기술연구원 정보전자연구부 **한양대학교 전자통신공학과

A Design Method For An On-line Adaptive Neural Networks Based Intelligent Controller

I. J. Kim, S. W. Gu**, J. Y. Choi*, I. Choy*, K. B. Kim*

*Div. of Electronics & Information Tech., KJST **Dept. of Electronic Communication, Hanyang Univ.

Abstract This paper presents a design method for an on-line adaptive neural networks based intelligent controller. The proposed neural controller, assuming PID controller is initially presented, learns the equivalent behaviors of the existing PID controller initially and switches to take over the PID control system. Then, it executes on-line adaptation via evaluating its performance and minimizing user defined cost function constantly so that the optimal control can be achieved. The PID controller and the proposed neural controller are investigated and compared in computer simulation.

1. 서론

PID 제어기는 가장 일반적인 산업용 제어기로 많이 쓰이고 있으며 간단하고 손쉽게 이용할 수 있는 장점이 있다 [1]. 그러나 PID 제어기는 외란(disturbance)과 급변화(sudden change)가 심한 입력에 대해서는 성능(performance)과 안정성(stability)이 떨어지는 단점들이 있고 필요에 따라 제류닝이 필요하다. 따라서 비선형적(non-linearity)이고 불확실(uncertainty)한 환경에 따른 자기적응능력(self adapting capability)이 가능한 신경회로망(neural networks) [2] 을 이용하여 PID 제어기를 대신할 새로운 제어기 설계법이 필요하다. 적응제어(adaptive control)는 심한 입력변화에 따른 제어기의 성능과 안정성을 유지할 수 있으며, 신경회로망은 과실허용(fault tolerance), 학습능력(learning ability), 강인성(robustness), 일반화(generalization)와 같은 장점들이 있다 [3]. 이러한 장점들로 인하여 신경회로망을 온라인(on-line) 적응 제어 방법은 다양하게 변하는 입력에 빠르게 대처할 수 있으며 우수한 성능을 유지할 수 있다.

본 논문에서는 적응제어와 신경회로망을 이용한 지능형 제어기 설계방법을 제안한다. 적응 신경회로망 제어기와 PID 제어기가 공존하며 PID 제어기가 먼저 작동한다. 초기에 신경회로망 제어기는 PID 제어기의 특성을 오프라인(off-line)으로 학습한후 제어를 인계받아 온라인으로 가중치들(weights)을 조정하며 입력변화에 적응해 나간다. 이를 화력발전소에 쓰이는 드럼 보일러 수위제어(drum boiler level control) [4] 에 적용하여 PID 제어기와 제안된 제어기를 컴퓨터 모의실험으로 비교평가하여 제안된 설계방법의 우수성을 입증한다.

2. 지능형 온라인 적응 제어기

본 논문에서는 신경회로망을 이용한 제어기 설계방법을 다음과 같이 제안한다. 제안된 온라인 적응 신경회로망 제어기 설계방법은 그림 1 과 같이 PID 제어기와 적응 신경회로망 제어기가 함께 공존하는 구조를 갖는다. PID 제어기가 동작할 동안 적응 신경회로망(adaptive neural networks) 은 오프라인으로 PID 제어기의 동작특성을 충분히 학습하여 신경회로망의 가중치를 미리 설정한 다음, PID 제어기로부터 제어를 인계받아 온라인으로 성능(performance)을 지속적으로 평가한다. 그래서 신경회로망 제어기는 가격함수를 최소화하는 방향으로 가중치를 지속적으로 변화시켜 입력변화 또는 외란에 대처할 수 있는 성능을 갖는다.

이 제어기는 급변화또는 외란이 검출될 때만 적응을 실행하여 온라인으로 동작하는 동안 생길 수 있는 "Parameter Drifting"을 피할 수 있다. 다시 말해서 신경회로망 가중치의 불필요한 변화로 인하여 누적되는 가중치의 오차를 줄여서 제어기의 오동작을 피할 수 있다.

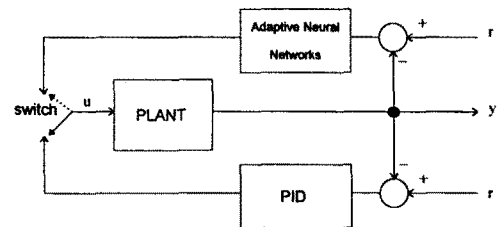


그림 1. 온라인 적응 신경회로망 제어기 구조

온라인 적응 방법은 아래와 같이 신경회로망의 가중치를 조정하여 취한다.

$$\Delta \omega_{k+1} = \eta \delta o + \alpha \Delta \omega_k \quad (1)$$

여기서 ω 는 신경회로망의 가중치이며 k 는 이산 시간 색인(discrete time index)을 나타낸다. η , α , 와 o 는 각각 신경회로망의 학습율(learning rate)과 momentum 과 노드(node)의 출력을 나타낸다. δ 는 학습오차(learning error)이며 아래의 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\delta = -\frac{\partial J}{\partial \text{net}} = -\frac{\partial J}{\partial o} g'(\text{net}) \quad (2)$$

$$\text{net} = \sum_i \omega_i o_i$$

J는 사용자 가격함수로 플랜트(plant)의 환경에 맞게 식(3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$J(k) = \frac{1}{2} [c_1 e_k^2 + c_2 (e_k - e_{k-1})^2] \quad (3)$$

여기서 c_1 과 c_2 는 상수이며 e_k 와 e_{k-1} 는 현재 측정된 예러와 그전의 예러 값이다. 결과적으로 신경회로망이 수렴(converge)하기 위해 가중치의 가격함수의 음의 기울기(negative gradient) 방향으로 조정되어 가격함수를 최소화시킨다.

위 식(1)의 $\frac{\partial J}{\partial o}$ 을 측정하는데 식(4) 또는 (5)로 쓸 수 있다.

$$\delta = -\frac{\partial J}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial o} g'(\text{net}) \quad (4)$$

$$\delta = -\frac{\partial J}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u} u(1-u) \quad (5)$$

여기서 y는 플랜트의 출력이고 u는 신경회로망 제어기의 출력이다. 사용자 가격함수는 식(3)을 이용하여 다음과 같은 식(6), (7)을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial J}{\partial y}(k) = -[c_1 e_k + c_2 (e_k - e_{k-1})] \quad (6)$$

$$\delta = [c_1 (E) + c_2 (CE)] \frac{\partial y}{\partial u} u(1-u) \quad (7)$$

한 가지 어려운 점은 $\frac{\partial y}{\partial u}$ 의 정확한 값이다. 그러나 미분 가능한 수학적 모델(Differential mathematical model)을 이용할 수 있으므로 정확한 미분부호(sign of derivative)만 알 수 있다면 제안된 제어기는 가격함수의 최저값으로 수렴한다 [5]. 몇 번의 모의실험 테스트로 만족스러운 성능을 나타낼 수 있는 범위의 학습율과 momentum 을 얻을 수 있다.

3. 컴퓨터 모의실험

제안된 설계방법의 우수성을 입증하기 위해 화력 발전소에 쓰이는 드럼 보일러 수위 조절제어시스템에 적용하였고, 이를 컴퓨터 모의실험 하였다.

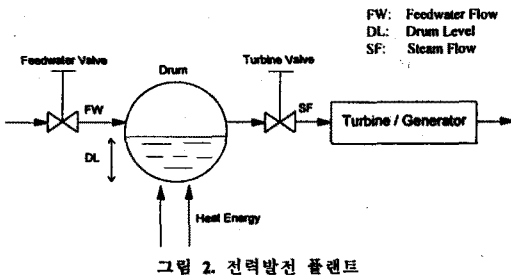


그림 2는 화력발전소의 전력발전과정을 다이어그램 간단하게 보여주고 있다. 급수(feedwater)가 급수밸브(feedwater valve)를 거쳐 드럼으로 흘러들어간다. 열에너지는 드럼내의

물을 증기로 변화시키고 이 증기를 터빈을 돌려 발전기를 운전시켜서 전기가 공급된다. 한가지 중요한 고려사항은 드럼 내 물의 수위를 원하는 높이(setpoint, SP)로 유지시켜야 한다. 여기서는 2가지, SP와 증기흐름(steam flow, SF)의 급변화는 드럼의 평형상태(equilibrium)에 영향을 준다. 가끔씩 SP는 운전자(operator)에 의해 변화하며, SF는 전력 수요의 조절에 의해 변화된다. 여기서 급수밸브가 선형(linear) 또는 비선형(non-linear)의 특성을 갖고 있어 전력발전기의 환경에 영향을 준다. 이 전력발전의 목표는 심한 입력의 변화가 존재해도 드럼 수위를 SP에 가깝게 유지하도록 하는 것이다.

제안된 방법을 이용한 제어기는 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 이를 실시간으로 모의실험 하기 위해서 AEP Bailey Net 90 simulator를 에뮬레이션 하였다 [6].

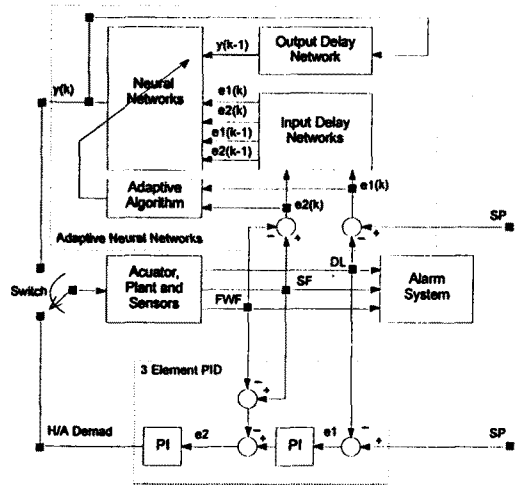
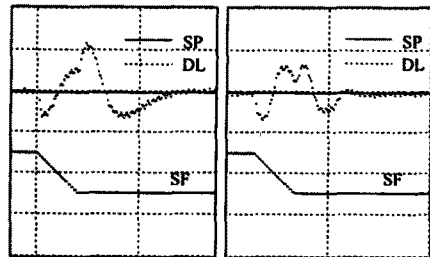


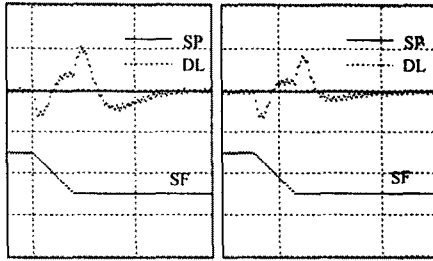
그림 3. 제안된 제어방법을 이용한 제어기 구조

PID 제어기와 제안된 제어기를 선형 환경에서 증기흐름, SF 변화에 대해 비교한 결과 그림 4와 같은 결과를 얻었고 그림 5는 비선형 환경에서 똑같은 방법으로 얻은 결과이다. 참고로 선형/비선형 특성은 급수밸브에 의해서 이루어지고 이는 제어기 입력들에 영향을 주며, 그림 4, 5에는 이 입력들은 나타나 있지 않다. 또한, 두 제어기를 선형 환경에서 SF의 변화가 없을 때 운전자에 의한 SP의 급변화를 주어 비교하였을 때 그림 5와 같은 결과를 보여주었다.

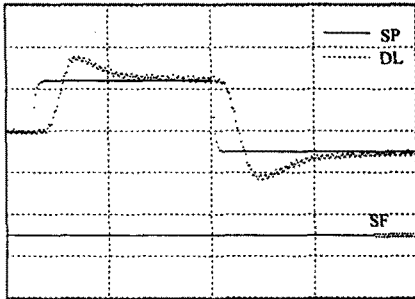


(a) PID 제어기 (b) 제안된 제어기

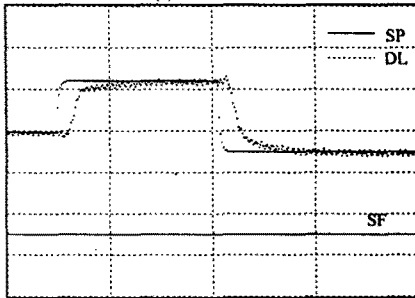
그림 4. 선형 환경에서 SF 변화에 대한 DL의 출력



(a) PID 제어기 (b) 제안된 제어기
 그림 5. 비선형 환경에서 SF 변화에 대한 DL의 출력



(a) PID 제어기



(b) 제안된 제어기

그림 6. SP의 급변화에 대한 DL의 출력

4. 결론

온라인 적응 신경회로망을 이용한 지능형 제어기 설계법을 화력발전소에 쓰이는 드럼 수위제어에 적용하고 컴퓨터 모의실험으로 PID 제어기와 함께 비교하였다. 제안된 제어기는 PID 제어기에 비해서 낮은 오버슈트(overshoot)과 빠른 도달 시간(settling)과 나은 추적성능(tracking)을 보여주어 우수한 적응능력을 보여주었다.

제안된 제어기는 초기에 PID 제어기가 동작하여야 하는 번거러움이 있고 설계방법의 복잡성이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 제안된 제어기의 가중치들을 미리 설정하여 초기화를 간단하게 할 수 있을 것이다. 그러나, 학습 패턴을 설정하는 것이 어렵다. 또한, 제안된 제어기를 실질적으로 구현하기 위해서는 온라인상의 적용에 따른 빠른 계산을 수행할 수 있는 마이크로프로세서(microprocessor) 또는 DSP 칩을 요구한다.

[참고문헌]

- [1] Karl J. Astrom et al., "Automatic Tuning of PID Controllers" INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA, 1988
- [2] A. Insley et al., "Neural Network Controlled Unity Power Factor Three Phase PWM rectifier" IEEE, 1994
- [3] M. P. Kazmierkowski et al., "Neural Network Current Control of VS-PWM Inverters" EPE '95 Sevilla, 1995
- [4] Hugh F. VanLandingham, "Knowledge-based Adaptive Fuzzy and Neural Control of Drum Level in a Boiler System" AEP Project Report R&D Project NO. 5586 Drum Boiler Level control, 1995.
- [5] A. Menozzi et al., "A Design Methodology for Intelligent Controller using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks" IEEE, pp. 408-413, 1993.
- [6] J. Y. Choi et al., "Optimization of Proportional and Integral (PI) Control Using Learning Algorithm" American Electrical Power Service Corporation, R&D No. 5586, 1995.