

# 뉴로 퍼지 알고리즘을 적용한 이륜로봇의 밸런싱 제어

## Balancing Control of a Two-wheel Mobile Robot by Using Neuro-fuzzy Algorithm

○박 영 준<sup>1</sup>, 정 슬<sup>2\*</sup>

<sup>1)</sup> 충남대학교 메카트로닉스공학과 (TEL: 042-821-7232, E-mail: lastcard-heart@hanmail.net)

<sup>2)</sup> 충남대학교 메카트로닉스공학과 (TEL: 042-821-6876, E-mail: jungsl@cnu.ac.kr)

**Abstract** This paper presents the balancing control performance of a two-wheel mobile robot using a neuro-fuzzy control method which is known as a Takagi-Sugeno(T-S) neuro-fuzzy model. T-S model is implemented for controlling a two-wheel mobile robot and its performance is compared with those of linear controllers. The experimental studies are conducted to show the better performance by the T-S method over the linear control method.

**Keywords** Neuro-fuzzy, takagi-sugeno fuzzy model, two-wheel mobile robot

### 1. 서론

이륜로봇에 대한 관심이 높아지면서 밸런싱 제어 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 가장 간단하며 널리 사용되는 방식인 PID 제어기법은 그 성능이 검증된 바 있다. 하지만 PID 제어기는 시스템 모델에 변화가 생기거나 환경의 변화가 생겼을 때 제어 성능이 저하될 수 있다. 특히 이륜로봇의 무게중심점에 변화가 생길 경우에 대처 능력에 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 상기 문제점을 보완하기 위해서 뉴로퍼지 제어기를 사용하였다. 뉴로퍼지는 신경회로망과 퍼지제어의 장점을 사용하여 만든 제어기로 환경의 변화에 따라 퍼지 법칙을 지능적으로 변화시켜 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 능력이 있다. 일부러 이륜로봇의 한 쪽에만 분동을 올려 무게중심에 변화가 생기게 하고 제어성능을 비교하는 실험을 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 Neuro-fuzzy Algorithm

본 논문에서는 Takagi-Sugeno 퍼지 방식을 적용하였다. 그림 1은 실제 시스템에 적용된 뉴로퍼지 제어기의 간략한 구조이다. 입력은  $e$  와  $\dot{e}$  로 두 개이고 출력은 토크로 하나이다. 소속 함수는 각각 3개로 설정하고 퍼지법칙은 9개로 정하였다. 각도 퍼지 제어기와 위치 퍼지 제어기는 동일한 형태로 구성되었다.

소속 함수는 식(1)과 같은 가우시안 함수를 사용하였다.

$$f(x) = \exp\left(-\frac{\|x - \mu\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (1)$$

여기서  $\mu$ 는 평균으로 소속 함수의 중심 값이고,  $\sigma$ 는 표준편차로 소속 함수의 폭을 나타낸다.  $\mu$ 와  $\sigma$ 의 초기 값은 표 1과 같다.

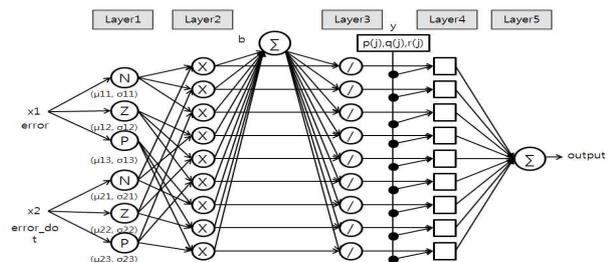


그림 1. 뉴로퍼지 제어기

표 1. Mean values and standard deviations of membership functions

	Angle
Neg mean	-1.0
Zero mean	0.0
Pos mean	1.0
Standard deviation	0.34

#### 2.2 실험 시스템 및 블록도

그림 2는 실험에 사용된 소형 밸런싱 시스템이다. 폭은 0.325m, 높이는 0.32m, 바퀴의 반지름은

0.05m이고 무게는 약 3.2Kg이다. 시스템 제어주기는 100Hz이다.

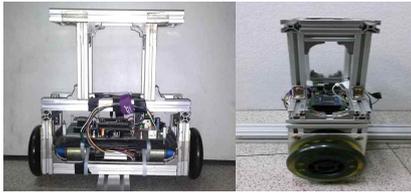


그림 2. 두 바퀴 밸런싱 시스템

그림 3은 간단한 시스템 제어블록도이다. 각도와 위치 제어에 뉴로퍼지 제어를 적용하였고 방향 제어에는 PID 제어를 사용하였다.

표 2는 Layer4의 출력이중치 p, q, r의 초기 값이고 표 3은 p, q, r과 소속 함수의  $\mu$ ,  $\sigma$ 의 학습률이다. 이 값들은 모두 실험을 통하여 결정하였다. 각도 제어기의 학습률은 정확하게 설정되지 않으면 시스템의 성능을 저해하기 때문에 0으로 설정하였다.

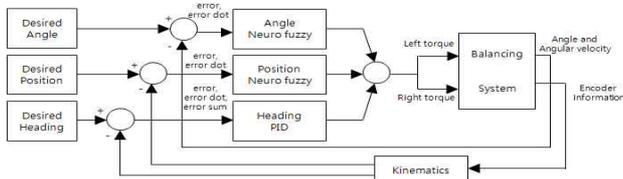


그림 3. 간략한 시스템 제어 블록도

표 2. Consequence parameters

	Angle		Position
P	-150.0	P	-60.0
Q	-8.0	Q	-144.0
R	-0.0	R	-4.0

표 3. Learning rates

	Angle		Position
Kp	0.0	Kp	-0.3
Kq	0.0	Kq	-0.1
Kr	0.0	Kr	-0.8
Km	0.0	Km	-0.000001
Ks	0.0	Ks	-0.000001

### 2.3 실험결과

실험은 시스템의 모델이 변화했을 때를 가정하고 PID제어를 사용하였을 때와 뉴로퍼지 제어를 사용하였을 때 각각의 각도 오차와 위치 오차의 크기를 비교하였다. 시스템 모델의 변화는 분동을 이용하였고 100g, 200g, 300g의 분동으로 실험하였다. 실험방법은 20초 주기로 시스템 상단의 앞부분에 분동을 위치시켰다가 제거하고, 시스템 상단의 뒷부분에 분동을 위치시켰다가 제거하였다.

그림 4는 300g의 분동 실험만을 비교한 그래프

이다. 표 4는 각 실험의 RMS 값을 출력하여 시스템의 성능을 비교하였다.

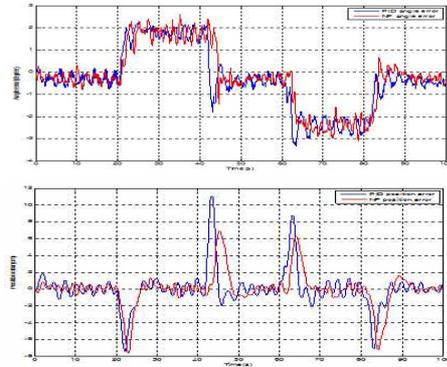


그림 4. 300g 분동 실험의 각도와 위치 오차

표 4. RMS values of errors

		PID	NF
100g	Angle	0.5966	0.5666
	Position	1.0022	0.9397
200g	Angle	1.1142	0.9730
	Position	1.7094	1.5898
300g	Angle	1.4201	1.3901
	Position	2.2596	2.0213

### 3. 결론

이론로봇의 균형제어를 위해 뉴로퍼지 제어를 구현하였다. 각 실험에서 PID 제어기보다 뉴로퍼지 제어를 사용하였을 때의 오차값이 작게 나타났다. 하지만 PID 제어기도 성공적으로 균형제어를 할 수 있었다. 학습률을 최적으로 설정하면 뉴로퍼지 제어기의 성능을 더 향상시킬 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 2013년 한국연구재단 일반연구지원(NRF-2010-0024904)과 2014년 한국연구재단 기초연구(NRF-2014R1A21A11049503)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 박영준, 정슬. "뉴로-퍼지를 이용한 두 바퀴 밸런싱 로봇 제어". 제 9 회 한국로봇종합학술대회 논문집, 2014.
- [2] J. S. Noh, G. H. Lee, and S. Jung, "Position control of a mobile inverted pendulum system using radial basis function network", *IJCAS*, vol.8, no. 1, pp. 157-162, 2012
- [3] H. J. Lee and S. Jung, "Balancing and navigation control of a mobile inverted pendulum robot using sensor fusion of low cost sensors", *IJCAS*, vol.22, no. 1, pp. 95-105, 2012
- [4] G. H. Lee and S. Jung, "Control of Inverted Pendulum System Using a Neuro-Fuzzy Controller for Intelligent Control Education", *IEEE Conf on Mechatronics and Automation*, FE1-5, 2008.