
신경회로망을 이용한 이륜 역진자형 이동로봇의 제어기 설계

안태희* · 김용백** · 김영두* · 최영규***

Controller Design of Two Wheeled Inverted Pendulum Type Mobile Robot Using Neural Network

Tae-hee An* · Yong-baek Kim** · Young-doo Kim* · Young-kiu Choi***

이 논문은 부산대학교 자유학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문에서는 빠르고 조작성이 간편한 이동 수단인 이륜 역진자형 이동로봇을 기존의 방법보다 더욱 안정적인 밸런싱을 하기 위한 제어기를 설계하였다. 먼저 이륜 역진자형 이동로봇의 제어기를 일반적인 PID 제어구조로 선택하고, 적절한 제어이득을 지정된 사용자의 몸무게에 따라 시행착오적으로 구하였다. 임의의 몸무게에 따른 PID 이득값을 구하기 위해 PID 이득 값을 신경회로망으로 튜닝을 한 뒤 PID제어기에 적용하여 보다 안정적인 제어가 가능하도록 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기를 시뮬레이션에 적용시켜 기존의 PID 제어기에 비해서 본 논문에서 제안한 신경회로망으로 튜닝한 PID 제어기가 보다 안정적인 제어가 가능함을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, a controller for two wheeled inverted pendulum type robot is designed to have more stable balancing capability than conventional controllers. Traditional PID control structure is chosen for the two wheeled inverted pendulum type robot, and proper gains for the controller are obtained for specified user's weights using trial-and-error methods. Next a neural network is employed to generate PID controller gains for more stable control performance when the user's weight is arbitrarily selected. Through simulation studies we find that the designed controller using the neural network is superior to the conventional PID controller.

키워드

이륜 역진자형 로봇, 신경회로망, 밸런싱 제어, PID 제어이득

Key word

two wheeled inverted pendulum type mobile robot, neural network, balancing control, PID control gain

* 준회원 : 부산대학교 전자전기공학과
** 정회원 : 부산대학교 전자전기공학과
*** 정회원 : 부산대학교 전자전기공학부 (교신저자, ykichoi@pusan.ac.kr)

접수일자 : 2010. 10. 11
심사완료일자 : 2010. 11. 18

I. 서 론

최근 사회에서 보다 빠르고 안전할 뿐만 아니라 친환경적인 교통수단을 원하고 있다. 예를 들어 기존의 교통수단인 자동차의 경우 가솔린, 디젤, 천연가스 등의 연료를 사용하여 움직이기 때문에 자원의 고갈과 환경적 측면, 그리고 차량의 수가 많아짐에 따라 주차공간의 부족 등 많은 문제점이 발생하므로 이를 대체 할 수 있는 이동수단이 필요한 상태이다. 그에 따라 자동차에 비해 상대적으로 크기가 작고 조작성이 간편하고 전기에너지를 사용하여 친환경적인 측면도 고려한 이동수단인 Segway가 각광을 받고 있다. 특히 Segway는 근거리를 이동할 경우 자전거 보다 매우 빠르게 이동을 할 수 있으며, 자동차에 비하여 가격이 저렴하고 친환경적인 측면이 강하여 사용 빈도수가 점점 증가하고 있다. 따라서 선진국에서는 Segway에 대한 연구가 더욱 더 발전된 방향으로 진행되고 있다. 예를 들면 Segway형 로봇을 이용하여 축구게임시스템을 구축하는 연구[1], Segway형 로봇에 네비게이션 시스템을 탑재 시켜 자동 주행을 하여 장애물을 회피하는 로봇을 개발하는 연구[2], 그리고 여러 가지 알고리즘(Fuzzy, Neural Network)을 이용하여 Segway형 로봇의 자세를 제어하는 연구 등이 진행되고 있다[3-5]. 국내에서는 기존의 Segway에서 사용된 다수의 고가 센서를 대체하여 저가용 센서를 이용하여 기울어진 각도를 측정해서 자세제어를 할 수 있는 연구[6] 등이 진행되고 있다.

본 논문에서는 기존의 Segway의 일반적인 PID 제어 방식에서 탑승자의 몸무게에 따라 달라지는 무게 중심의 값에 따라 적절한 PID 이득값으로 바꾸어 주는 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 Segway는 사용자의 몸무게에 따라서 Segway 자체의 무게 뿐 아니라 무게 중심 값이 변형되어 밸런싱 각도에 영향을 주게 되는데[7], 이를 보완하는 방법으로 PID 제어기의 이득값을 신경회로망으로 튜닝하여 사용자의 몸무게에 따라 적절한 PID 이득값을 구하는 제어기를 제안한다. 이러한 제어기의 성능을 확인하기 위해 Segway형 로봇 시뮬레이션을 통해 일반적인 PID 이득 값을 적용한 PID 제어기와 비교, 검토한다.

II. Segway 동역학 모델링

일반적으로 Segway은 그림 1과 같은 형태를 가진다 [8]. 이러한 형태의 Segway로봇은 그림 2와 같이 모델링 될 수 있다. 그림 2에서 나타난 동역학 변수들을 가지고 운동방정식으로부터 제어기 설계를 위한 상태 방정식을 유도한다[9].



그림 1. 이륜 역진자형 이동로봇
Fig. 1 Two-wheeled inverted pendulum type mobile robot

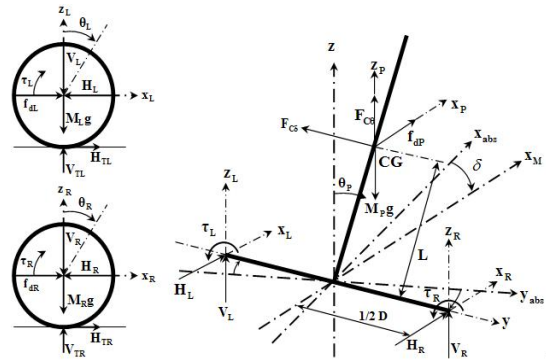


그림 2. Segway로봇의 모델링
Fig. 2 Modeling of Segway Robot

먼저 동역학적 변수에 대해 설명하자면, J_L, J_R 의 경우 Y 축에 대한 좌우바퀴의 관성 모멘트, M_L, M_R 은 각각 좌우바퀴의 질량, $J_{P\theta}$ 는 Y 축에 대한 몸체의 관성

모멘트, $J_{P\delta}$ 는 Z 축에 대한 물체의 관성 모멘트에 해당한다. 그리고 M_P 는 물체의 질량, R 은 바퀴의 반지름, D 는 각 바퀴 연결부분의 축간거리, L 은 물체의 무게 중심과 Y 축의 거리를 뜻한다. 이와 같은 변수를 바탕으로 그림 2에서 수평, 수직, 회전 운동 방정식을 유도하여 보면 다음과 같은 표현이 가능하다.

$$M_L \ddot{x}_L = f_{dL} - H_L + H_{TL} \quad (1)$$

$$M_L \ddot{z}_L = V_{TL} - M_L g - V_L \quad (2)$$

$$J_L \ddot{\theta}_L = \tau_L - H_{TL} R \quad (3)$$

이는 각각의 왼쪽 바퀴에 걸리는 동역학 운동 방정식에 해당되고, 오른쪽도 마찬가지로 걸리게 된다. 또한 물체에 대한 운동 방정식도 수평, 수직 회전 방향에 대한 표현이 가능하다.

$$M_P \ddot{x}_P = f_{dP} - H_R + H_L \quad (4)$$

$$M_P \ddot{z}_P = V_R + V_L - M_P g + F_{C\theta} \quad (5)$$

$$J_{P\theta} \ddot{\theta}_P = (V_L + V_R) L \sin(\theta_P) - (H_L + H_R) L \cos(\theta_P) - (\tau_L + \tau_R) \quad (6)$$

$$J_{P\delta} \ddot{\delta} = \frac{D}{2} (H_L - H_R) \quad (7)$$

이 때, $H_L, H_R, H_{TL}, H_{TR}, V_L, V_R, V_{TL}, V_{TR}$ 은 각 부분의 반작용값을 나타낸다. 식(7)에서의 $J_{P\delta}$ 는 Z 축에 대한 각인 θ_P 의 함수임을 확인할 수 있었다. 이 θ_P 의 경우 실제로 아주 작은 값을 가지게 되므로 $\theta_P = 0$ 이라고 볼 수 있다. 그에 따라 $J_{P\delta}$ 는 $\theta_P = 0$ 에 대응하는 관성 모멘트로 근사화시킬 수 있다. 그리고 제어기를 단순화시키기 위해 주행 시 원심력에 의한 미끄럼 현상이 발생하지 않는다는 조건과 각각의 바퀴가 지면에 밀착한다는 조건을 두었다. 또한 모터의 시정수는 Segway의 시정수에 비해 매우 작으므로 모터에 대한 동역학 요소를 배제할 수 있다. 따라서 $\theta_P, \delta_P = 0$ 으로 두었을 때 선형적 상태방정식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{v}_M \\ \dot{\theta}_P \\ \dot{\omega}_P \\ \dot{\delta} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{43} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_M \\ v_M \\ \theta_P \\ \omega_P \\ \delta \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_{61} & B_{62} & B_{63} & B_{64} & B_{65} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_L \\ \tau_R \\ f_{dL} \\ f_{dR} \end{bmatrix} \quad (8)$$

식(8)의 상태 공간 모델로부터 선형화된 제어기 설계가 가능하다.

III. 제어기 설계

앞에서 언급하였던 Segway 로봇의 상태방정식을 바탕으로 하여 그림 3과 같은 제어기를 설계 하였다.

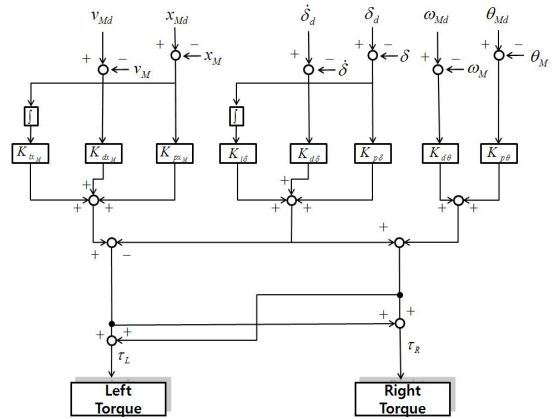


그림 3. 제어기 블록선도
Fig. 3 Block diagram of the controller

설계하는 제어기의 입력값 x_{Md} 는 로봇의 목표 위치, v_{Md} 은 로봇의 목표 속도, θ_{Md} 는 목표 밸런싱 각도, ω_{Md} 은 목표 밸런싱 각속도, $\delta_d, \dot{\delta}_d$ 의 경우 목표 회전 각도와 회전각속도이다. 또한 Segway의 센서를 통해서

도출한 실제의 데이터 값은, $x_M, v_M, \theta_M, \omega_M, \delta_d, \dot{\delta}_d$ 로 나타나게 되는데, 각각 로봇의 위치, 속도, 밸런싱 각도, 밸런싱 각속도, 회전각도, 회전 각속도가 된다. 로봇의 위치나 속도는 모터에 부착된 엔코더에서 값을 알 수 있으며, 밸런싱 각도와 각속도는 자이로와 각도 센서에 의해 값을 알 수 있다. 그리고 회전각도와 회전 각속도는 로봇에 부착된 조항장치(knob)를 통해서 값을 받을 수 있다. 로봇의 밸런싱 각도 제어는 PD 알고리즘이 적용되고, 회전각도와 위치를 제어하는데 PID 알고리즘이 적용된다. 이러한 입력값과 실제 출력 데이터값을 이용하여 오차 값을 도출한 후, 각각의 PID 제어기의 이득값을 곱해준다. 이때 이 PID 이득값은 사용자의 무게에 따라 그 값이 다르게 적용이 되는데, 기존의 PID 제어기를 이용하여 이륜 역진자형 이동로봇의 자세를 제어하는 논문에서는 PID 제어기의 이득값을 1kg의 단위로 시뮬레이션을 시행하여 시행착오적인 이득값을 구하여 제어기를 설계하였다. 하지만 이러한 제어기는 사용자의 소수점 단위의 무게나 무게에 변화가 있을 때, 예를 들면 84.5kg과 같은 무게에서의 0.5kg과 같은 소수점의 몸무게의 값은 그 무게 값에 따른 적절한 이득값을 기존의 PID 제어기에서는 구할 수 없기 때문에 정밀한 제어가 어렵다. 이러한 부분을 본 논문에서는 PID 제어 실험을 통해 구한 PID 제어기 이득 값들을 이용하여, 신경회로망 튜닝을 거쳐서 각각의 사용자 몸무게에 대해 최적화된 PID 제어기 이득 값을 구한다. 이렇게 구한 제어기의 이득 값을 적용하기 위해, 사용자의 몸무게에 대한 정보가 들어 왔을 경우 그 몸무게에 가장 알맞은 PID 제어기 이득 값을 신경회로망으로 찾아 각각의 바퀴에 걸리는 토크 값을 도출한다. 위의 설명을 전체 블록 다이어그램으로 표현하면 다음의 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

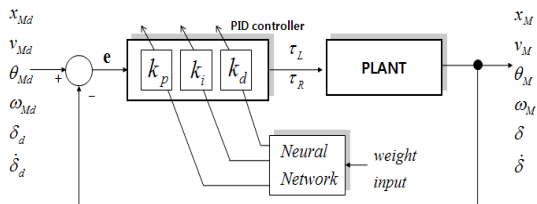


그림 4. 제어시스템 블록선도
Fig. 4 Block diagram of control system

IV. 신경회로망 튜닝

신경회로망 알고리즘은 생체의 신경시스템을 모델링한 것으로 제어시스템 분야에서 우수한 성능을 보여주고 있다. 본 논문에서는 기존 PID 제어기에서 실험을 통해 인위적으로 구한 PID 제어기 이득 값인 Kp, Ki, Kd 값을 신경회로망 튜닝을 통하여 PID 이득 값을 보간하여 적절한 이득 값을 찾는다. 사용되는 신경회로망은 그림 5와 같은 구조를 가진다.

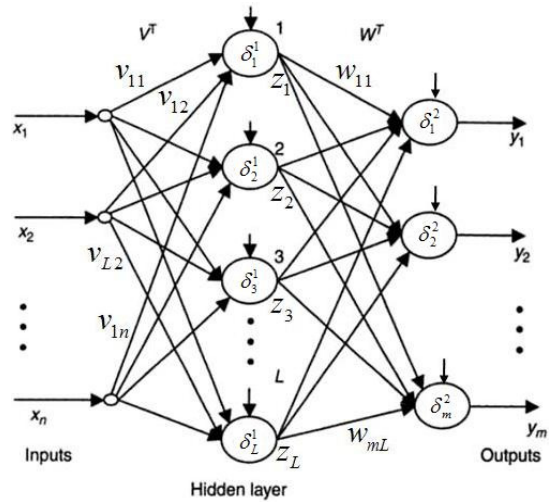


그림 5 신경회로망 구조
Fig. 5 Structure of the neural network

그림 5의 신경회로망 구조에서 입력값 x_1, x_2, \dots, x_n 에 대한 은닉층의 출력값 Z_1, Z_2, \dots, Z_L 을 구해 보면,

$$\begin{aligned} Z_1 &= v_{11}x_1 + v_{12}x_2 + \dots + v_{1n}x_n \\ Z_2 &= v_{21}x_1 + v_{22}x_2 + \dots + v_{2n}x_n \\ &\vdots \\ Z_L &= v_{L1}x_1 + v_{L2}x_2 + \dots + v_{Ln}x_n \end{aligned} \quad (9)$$

식(9)에 의해 구해진 은닉층의 출력 값을 출력층에 넣어 주게 되면 출력값 y_1, y_2, \dots, y_m 이 출력 되게 된다. 출력값은 식(10)과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} y_1 &= w_{11}Z_1 + w_{12}Z_2 + \dots + w_{1L}Z_L \\ y_2 &= w_{21}Z_1 + w_{22}Z_2 + \dots + w_{2L}Z_L \\ &\vdots \\ y_m &= w_{m1}Z_1 + w_{m2}Z_2 + \dots + w_{mL}Z_L \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)을 통해서 신경망 학습알고리즘, 즉 Backpropagation 알고리즘을 시행한다. δ_m^2 의 값과 δ_L^1 값을 수식으로 나타내면 식(11), (12)와 같다.

$$\delta_m^2 = (Y_m - y_m)y_m(1 - y_m) \quad (11)$$

$$\delta_L^1 = (\delta_1^2 w_{1L} + \delta_2^2 w_{2L} + \dots + \delta_m^2 w_{mL}) \times Z_L(1 - Z_L) \quad (12)$$

식(11), (12)를 이용해서 Δv_{Ln} 과 Δw_{mL} , 그리고 v_{Ln} 와 w_{mL} 의 값을 구하면 식 (13)~(16)으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta v_{Ln} = \eta \delta_L^1 x_n \quad (13)$$

$$\Delta w_{mL} = \eta \delta_m^2 Z_L \quad (14)$$

$$v_{Ln} = v_{Ln} + \Delta v_{Ln} \quad (15)$$

$$w_{mL} = w_{mL} + \Delta w_{mL} \quad (16)$$

위의 수식을 이용하여 우리가 구하고자 하는 PID 제어기의 이득값을 대입하여 보면, 먼저 입력값 x_n 에서 $n=1$ 이 되고 이는 사용자의 몸무게값이 된다. 출력값 y_n 에서 $n=3$ 이 되고 각각 K_p, K_d, K_i 값이 된다. 은닉 층의 개수 L 은 10개로 구성 하였다. 입력값의 몸무게 값은 60kg 부터 1kg의 단위로 90kg까지 측정을 하여서 입력 하였다. 위의 알고리즘을 통하여 1kg마다 기존의 실험적으로 구한 K_p, K_d, K_i 값을 보다 정확한 값으로 출력할 수 있었다. 신경회로망 알고리즘의 성능을 측정하기 전, 정확한 무게의 값을 알기 위해서 디지털 로드셀을 이용하여 Segway 사용자의 몸무게를 정확하게 측정하여 시뮬레이션 하였다[10].

V. 시뮬레이션

앞에서 제안된 방식의 정당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다. 먼저, 시행착오적으로 구한 PID 이득값과 신경회로망으로 튜닝한 PID 이득값을 그래프를 통해 비교하여 나타낼 것이다. 그리고 그 이득값을 이용하여 설계한 제어기를 Simulink 프로그램을 통해 모델링한 로봇에 적용시켜 로봇의 위치와 각도를 비교할 것이다.

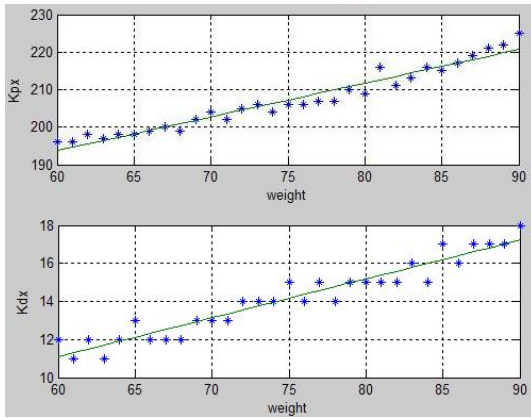
5.1 PID 제어기 이득값 비교

표 1에서는 몸무게의 범위에 따른 PID 제어기의 이득값 범위를 나타내었다. 표 1에서의 데이터를 포함한 기존의 PID 제어기에서 실험적으로 구한 이득값과 신경회로망 튜닝을 통해 구한 PID 이득값을 그래프를 통하여 비교할 것이다.

표 1. 몸무게 변화에 따른 PID 이득값 범위
Table. 1 PID gains ranges for weight change

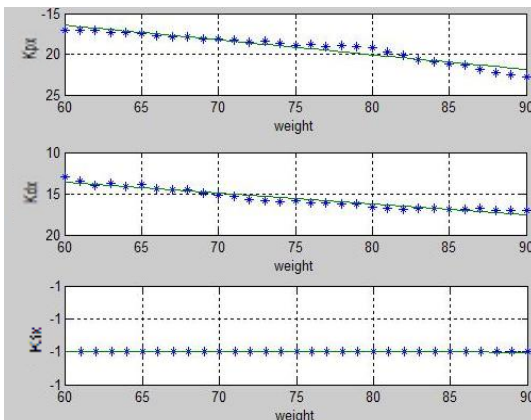
	각도 이득값 범위	위치 이득값 범위
60~70(kg)	$K_p=196 \sim 200$ $K_d=12 \sim 13$	$K_p=(-17) \sim (-18)$ $K_d=(-13) \sim (-15)$ $K_i=(-1)$
70~80(kg)	$K_p=204 \sim 207$ $K_d=14 \sim 15$	$K_p=(-18) \sim (-19)$ $K_d=(-15) \sim (-16)$ $K_i=(-1)$
80~90(kg)	$K_p=210 \sim 225$ $K_d=15 \sim 18$	$K_p=(-19) \sim (-23)$ $K_d=(-16) \sim (-17)$ $K_i=(-1)$

비교한 그래프는 그림 6, 7과 같다. 그림 6에서는 K_p, K_d 의 각도 이득값을 신경회로망을 통하여 표현하였다. 기존의 이득값들도 같이 표시하였다. 그림 7은 K_p, K_i, K_d 의 위치 이득 값을 표시하였다.



(* : 시행착오법, - : 신경회로망)

그림 6. 몸무게에 따른 각도 PD 이득
Fig. 6 PD gains of the angle for weights



(* : 시행착오법, - : 신경회로망)

그림 7. 몸무게에 따른 위치 PID 이득
Fig. 7 PID gains of the position for weights

5.2 시뮬레이션 결과

몸무게에 따른 제어기의 성능을 측정하기 위한 시뮬레이션은 Simulink 프로그램으로 설계한 NXT로봇으로 하였다. 로봇에는 각도나 위치를 측정할 수 있는 가속도, 자이로, 각도 센서가 부착이 되어 필요한 값을 실시간으로 제어기에 전송할 수 있게 설계 하였다. 이 로봇에 기존의 제어기에서의 PID 이득값과 신경회로망으로 구한 PID 이득값을 제어기에 적용시켰다. 기존의 제어기는 무게 변화에 따른 차륜형 밸런싱 로봇에서의 시행착오

적으로 구한 제어 이득 값을 바탕으로 본 논문에서의 시뮬레이션 로봇에 적합한 이득 값을 1kg단위로 구하여 제어기를 설계하였다.

그리고 기존의 이득 값을 신경회로망 학습을 통하여 무게에 적합한 이득 값을 구하였다. 그리고 사용자의 무게에 따른 데이터를 얻기 위해 2.4GHz의 디지털 로드셀을 사용하였고 이러한 로드셀을 통해 임의로 얻은 사용자의 무게 값인 72.8kg, 83.5kg, 91.2kg를 무게로 두었다. 이러한 무게의 값은 탑승자의 무게 뿐만 아니라 로봇의 무게 값도 포함된 값을 의미한다. 로봇의 파라미터 값을 살펴보면, 로봇의 높이는 1.25m, 바퀴의 반지름은 0.23m, 바퀴의 무게는 양쪽 바퀴 각각 5kg으로 두었다. 이러한 로봇의 파라미터 값들을 시뮬레이션 로봇에 적용시켜 시뮬레이션을 진행하여 결과를 도출하였다. 먼저, 무게가 72.8kg일 경우의 각도와 위치 그래프로 보면, 그림 8, 9와 같이 나타남을 볼 수 있다. 그림 8은 두 제어기를 비교하기 위해서 동일한 입력을 주었을 때, 어느 제어기가 더 빠르고 정확하게 밸런싱을 하는지를 보여준다. 시뮬레이션 결과 기존의 제어기보다 본 논문에서 제안한 제어기가 빠르고 정확하게 밸런싱 되는 것을 볼 수 있다. 그림 9에서는 위치 그래프를 볼 수 있는데, 마찬가지로 논문에서 제안한 제어기가 더 나은 제어가 됨을 그림 9의 위치 그래프로도 확인을 할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 제어기가 상대적으로 빠르게 밸런싱 되는 것을 보여준다.

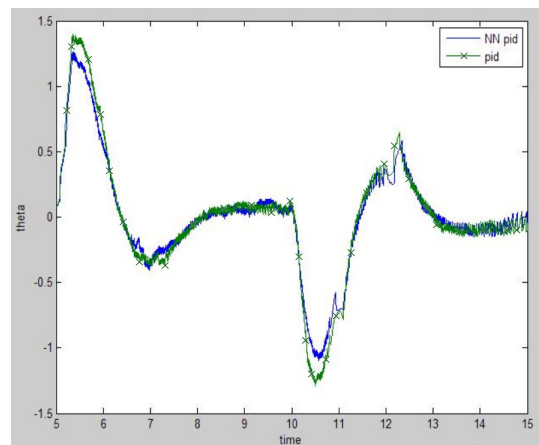


그림 8. 몸무게가 72.8kg일 경우의 각도 궤적
Fig. 8 Angular trajectory for the weight of 72.8kg

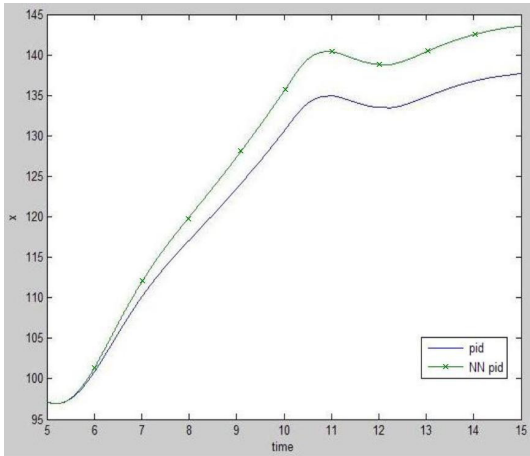


그림 9. 몸무게가 72.8kg일 경우의 위치 궤적
Fig. 9 Position trajectory for the weight of 72.8kg

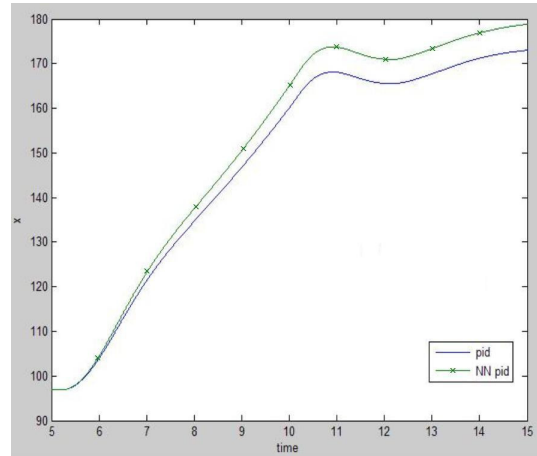


그림 11. 몸무게가 83.5kg일 경우의 위치 궤적
Fig. 11 Position trajectory for the weight of 83.5kg

무게값을 83.5kg으로 두었을 때의 그래프를 살펴보면 그림 10과 그림 11로 나타나게 되는데, 그림 10은 각도 값, 그림 11은 위치값을 나타낸다. 72.8kg의 결과와 마찬가지로 본 논문에서 제안한 제어가 기존의 제어기보다 속도 및 각도의 밸런싱 부분에서 좋은 제어 성능을 보임을 알 수 있었다.

무게값을 91.2kg으로 두었을 때의 경우도 72.8kg, 83.5kg의 경우와 비슷한 그래프의 형태가 나타나게 된다. 로봇의 각도, 위치값은 각각 그림 12, 그림 13이 되겠다. 앞과 마찬가지로 기존의 제어기보다 본 논문에서 제안한 제어가 뛰어난 성능을 보임을 그래프를 통하여 도식적으로 확인할 수 있었다.

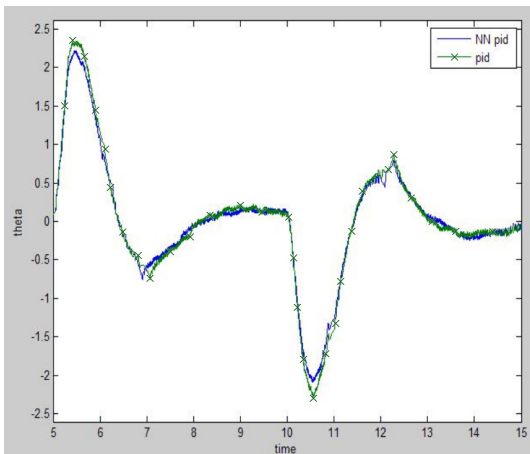


그림 10. 몸무게가 83.5kg일 경우의 각도 궤적
Fig. 10 Angular trajectory for the weight of 83.5kg

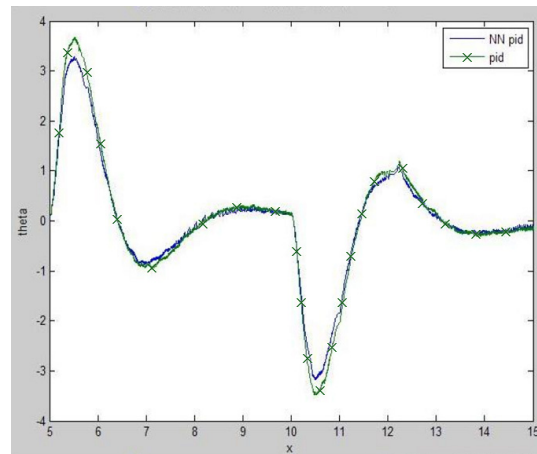


그림 12. 몸무게가 91.2kg일 경우의 각도 궤적
Fig. 12 Angular trajectory for the weight of 91.2kg

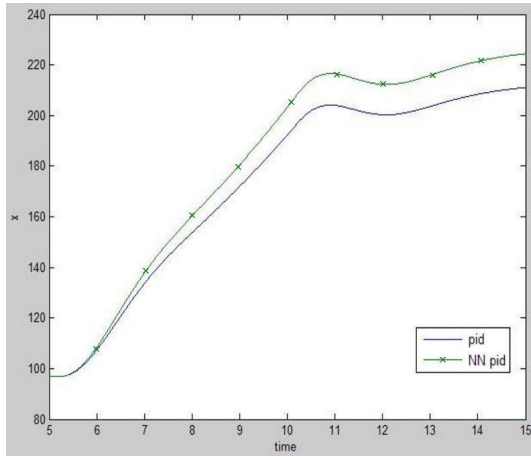


그림 13. 몸무게가 91.2kg일 경우의 위치 궤적
Fig. 13 Position trajectory for the weight of 91.2kg

위의 결과값들로 기존의 시행착오적으로 구한 PID 제어기의 이득값을 적용한 제어기보다 본 논문에서 제안한 신경회로망을 이용하여 PID 제어기의 이득값을 구해 그 값을 적용한 제어기가 더 좋은 결과값을 낸다는 것을 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 Segway 사용자의 몸무게에 따라 더욱 좋은 성능을 보이는 제어기를 설계하기 위해, 일반적인 PID 제어기의 이득값인 K_p , K_i , K_d 의 값을 몸무게에 따라서 시행착오적으로 구한 뒤, 신경회로망을 이용한 알고리즘을 통해 최적의 값을 찾아 PID 제어기에 적용시켰다. 신경회로망을 통해 얻어진 최적의 이득값을 가진 제어기를 기존의 이득 값을 가진 제어기와 시뮬레이션 상으로 비교하였다. 시뮬레이션은 사용자의 몸무게에 따라 72.8kg, 83.5kg, 91.2kg을 주었을 때 3가지 경우 모두 본 논문에서 제시한 제어기가 우수한 성능을 보였다. 이 연구로 기존의 밸런싱 이동로봇 Segway의 안정성을 더욱 높일 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] Jason Fleischer, Botond Szatmary, Donald Hutson, Douglas Moore, James Snook, Gerald M. Edelman and Jeffrey Krichmar, "A neurally controlled robot competes and cooperates with humans in Segway soccer," Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, May 2006.
- [2] Toshinobu Takei, Ryoko Imamura, and Shin'ichi Yuta, "Baggage transportation and navigation by a wheeled inverted pendulum mobile robot," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 10, October 2009.
- [3] H. Azizan, M. Jafarinasab, S. Behbahani, and M. Danesh, "Fuzzy control on LMI approach and fuzzy interpretation of the rider input for two wheeled balancing human transporter," Proc. of the 2010 IEEE International Conference on Control and Automation, Xiamen, China, June 9-11, 2010.
- [4] Ching-Chih Tsai, Hsu-Chih, and Shui-Chun Lin, "Adaptive neural network control of a self-balancing two-wheeled scooter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 4, April 2010.
- [5] Akira Shimada and Naoya Hatakeyama, "Movement control of two-wheeled inverted pendulum robots considering robustness," SICE Annual Conference Japan August 20-22, 2008.
- [6] Seul Jung, and Sung Su Kim, "Control experiment of a wheel-driven mobile inverted pendulum using neural network," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 16, no. 2, March 2008.

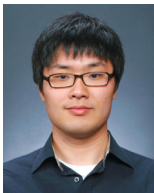
- [7] 김현욱, 정슬, "무계 변화에 따른 차륜형 밸런싱 로봇의 제어기 설계 및 실험연구," 한국지능시스템학회 논문지, vol. 20, no. 4, pp.469-475 2010.
- [8] <http://www.segway.com>
- [9] Felix Grasser, Aldo D'Arrigo, Silvio Colombi and Alfred C. Rufer, "JOE: a mobile, inverted pendulum," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 49, no. 1, April 2002.
- [10] J. I. Bae, T. H. An, Y. S. Kim and C. K. Ryu, "Analysis of digital load cell using 2.4GHz band's zig-bee," Proc. of the 2008 IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Singapore, June 3-5, 2008.



최영규(Young-Kiu Choi)

1980년 서울대학교 전기공학과
(공학사)
1982년 KAIST 전기 및 전자공학과
(공학석사)

1987년 KAIST 전기 및 전자공학과(공학박사)
1986년~현재 부산대학교 전자전기공학부 교수.
※관심분야: 로봇제어, 지능제어, 신경회로망 등



안태희(Tae-Hee An)

2009년 부경대학교 전기공학과
공학사
2011년 부산대학교
전자전기공학과 공학석사

2011년~현재 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
※관심분야: Robot Control, Neural Network, Fuzzy
Algorithm



김용백(Yong-Baek Kim)

1998년 부산대학교
전자전기공학과 공학사
2000년 부산대학교
전자전기공학과 공학석사

2000년~현재 현대중공업 자동화연구실 책임연구원
※관심분야: 로봇자동화, 인공지능, 지능제어 등



김영두(Young-Doo Kim)

2009년 부경대학교 전기공학과
공학사
2009년~현재 부산대학교
전자전기공학과 석사과정

※관심분야: 로봇제어, 퍼지제어, 유전알고리즘 등