

역진자 이동로봇의 빠른 움직임제어를 위한 PD제어와 시간지연제어의 성능비교

조성택, 정승

충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학 실험실

Performance Comparison between PD control and Time Delay control of a Mobile Inverted Pendulum for Fast Movement

Sung-Teak Cho and Seul Jung
Department of Mechatronics Engineering,
Chungnam National University, Daejeon, Korea

Abstract - 본 논문에서는 역진자 이동로봇을 PD제어, 시간지연제어를 사용했을 때의 제어 성능을 비교한다. 역진자 이동로봇은 균형을 유지하면서 목표점으로 이동하는 것이 관건이다. 두 제어기의 성능을 비교하기 위해서 1m 앞으로 이동 후에 다시 돌아오는 명령을 주어 실험을 수행하였다. 이때 로봇의 각도, 위치 추종의 제어성능을 판단한다.

1. 서 론

최근에 이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 연구의 방향이 산업로봇 중심에서 서비스로봇으로 이동하면서 상대적으로 나타나는 현상이다. 이동로봇의 연구에서도 무인탐사와 같은 자율주행 기술에 대한 연구가 대부분이었으나 최근에는 전기자동차의 필요성에 따라 이동로봇이 각광을 받고 있다.

Segway는 사람이 탈 수 있는 차량로봇으로 상업화에 성공한 모델이다. Segway는 역진자 시스템의 원리를 적용하여 두바퀴로 움직이는 이동로봇이다. 두바퀴 로봇의 핵심은 균형유지기능이다. 움직이면서 균형을 유지하는 것이 가장 중요하다.

이렇듯 인기를 끌고 있는 역진자 이동로봇에 대해서 여러 연구가 진행되었다. 이전의 연구에서는 저가의 tilt센서와 자이로센서를 융합하여 로봇의 앵글 각도를 제어가 가능한 정도로 측정하여 역진자 이동로봇을 제어했다 [1-4]. 이 때에 센서의 정확성을 높이기 위해서 complementary 필터와 Kalman 필터를 사용했다. 역진자 이동로봇의 동역학을 구하여 시뮬레이션을 수행하고 실제 시스템을 제작하여 제어하였다. PD 제어만으로도 균형을 잘 유지할 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 안정적인 균형유지를 위해 움직임이 느린 점이 문제로 대두되었다.

따라서 본 논문에서는 역진자 이동로봇이 균형을 유지하면서 빠르게 목적 위치로 이동하는 환경을 구성하여 제어성능을 비교해 보고자 한다. 선행 연구에서 PD제어는 안정적인 균형과 움직임을 제공하였다. 외란에 강한 시간지연 제어는 다양한 불확실성과 외란에 대해서도 제어 성능이 좋은 제어기이다. 본 논문에서는 역진자 이동로봇에 PD제어와 시간지연제어를 적용하여 1m를 빠르게 전진한 다음 돌아오는 실험을 수행하여 제어성능을 평가하고자 한다.

2. 본 론

2.1 PD제어, 시간지연제어 소개

역진자 이동로봇은 앵글, 위치를 동시에 제어해야 한다. 로봇의 앵글을 제어한다는 것은 두 바퀴로 되어 있는 로봇이 제어를 하지 않으면 넘어지는 것을 넘어지지 않게 한다는 것이다. 즉 앵글을 0이 되게 하는 것이다. 위치를 제어한다는 것은 로봇의 처음 시작 위치를 0으로 잡았을 때에 다른 명령을 주지 않으면 0을 유지하게 만들고, 명령을 주기에 따라서 앞이나 뒤로 이동하게 만드는 것이다. 역진자 이동로봇은 로봇의 앵글, 위치를 합한 토크를 두 바퀴에 전달해서 제어를 하는 MISO(Multi Input Single Output) 시스템이다. 이 시스템을 제어하기 위해서 본 논문에서는 PD제어와 시간지연제어를 적용했다.

2.1.1 PD제어

<그림 1>은 PD제어의 블록다이어그램을 나타낸다. <표 1>은 <그림 1>에 나온 각종 문자들의 설명을 모아 놓은 것이다. <표 1>에서 나오는 'Angle(앵글)'은 로봇의 서있는 각도를 말하는 것으로, 앵글이 0도(0 rad)이라는 말은 로봇이 똑바로 서있는 것을 의미하고, 로봇이 넘어진 상태이면 90도(1.571 rad) 또는 -90도(-1.571 rad)이다.

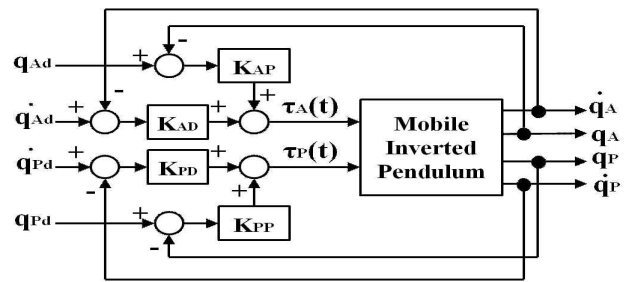
$$\tau_A(t) = (q_{Ad} - q_A) \times K_{AP} + (\dot{q}_{Ad} - \dot{q}_A) \times K_{AD} \quad (1)$$

$$\tau_P(t) = (q_{Pd} - q_P) \times K_{PP} + (\dot{q}_{Pd} - \dot{q}_P) \times K_{PD} \quad (2)$$

$$\tau(t) = \tau_A(t) + \tau_P(t) \quad (3)$$

위의 식은 블록다이어그램을 식으로 나타낸 것으로 시스템 입력으로 들어가는 토크는 앵글 토크와 위치 토크의 합이다. PD제어는 각각의 오차를

을 줄이면서 시스템을 제어한다.



<그림 1> Block diagram of PD control

<표 1> Parameters description used in PD control

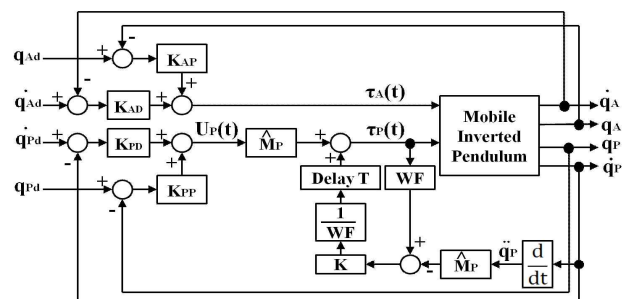
변수	변수설명	변수	변수설명
q_{Ad}	Desired Angle	q_P	Present Position
\dot{q}_{Ad}	Desired Angular Vel.	K_{AP}	Angle P gain
q_{Pd}	Desired Position	K_{AD}	Angle D gain
q_P	Desired Velocity	K_{PD}	Position D gain
q_A	Present Angle	K_{PP}	Position P gain
\dot{q}_A	Present Angular Vel.	$\tau_A(t)$	Angle Torque
\dot{q}_P	Present Velocity	$\tau_P(t)$	Position Torque

2.1.2 시간지연제어

<그림 2>는 시간지연제어의 블록다이어그램을 나타낸다. 앵글 제어는 PD제어를 사용했고, 위치 제어만 시간지연제어를 사용했다. <표 2>는 시간지연제어에 새로이 추가되는 문자들의 설명을 모아 놓은 것이다.

$$\tau_P(t) = \hat{M}_P U_P(t) + (\tau_P(t-1) \times WF - \hat{M}_P \cdot \ddot{q}_P) \times \frac{K}{WF} \quad (4)$$

식(4)는 시간지연제어를 적용한 위치 토크를 나타내는 식이다. 이전 토크에 관성행렬의 평가치와 가속도의 곱을 빼기 전에 WF라는 값을 곱한다. WF는 <표 1>에 쓴 것처럼 PWM과 토크 사이의 비율을 나타낸다. 프로그램 상에서 모터에 입력되는 값은 물리적인 의미를 가진 값이 아니라 PWM 값이다. 여기에 WF를 곱해서 물리적 같은 단위의 값으로 만들어서 연산을 수행하도록 했다. 본 논문에서는 WF를 실험적으로 구한 값을 사용하였다. <표 3>은 PD제어와 시간지연제어에 사용된 게인 및 변수의 값을 명시한 것이다.



<그림 2> Block diagram of Time-Delayed control

〈표 2〉 Parameters description used in TD control

변수	설명	변수	설명
$U_p(t)$	Control Input	K	gain
\hat{M}_P	Evaluation value of the inertia matrix	\ddot{q}_P	Position Acceleration
WF	PWM to Torque ratio		

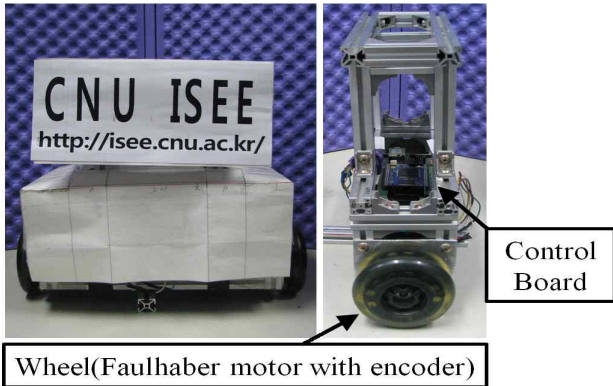
〈표 3〉 Control gain

이득	PDC	TDC
Angle P gain	-130	-130
Angle D gain	-10	-10
Position P gain	-10	-7
Position D gain	-20	-25
\hat{M}_P	·	1
WF	·	0.5
K	·	0.2

2.2 실험환경

〈그림 3〉은 실제 실험에 사용된 역진자 이동 로봇의 사진이다. 사진의 왼쪽은 로봇을 보호하기 위해 프로텍터를 달고 그 위에 외관을 씌운 것이고 오른쪽은 실제 로봇만을 찍은 것이다. 바퀴 사이의 거리는 0.32m, 바퀴의 지름은 0.1m, 높이는 0.32m, 모터는 Faulhaber사의 3557K012CR DC모터이고 엔코더가 달려있다. 외형은 알루미늄 프로파일을 이용해서 제작했다.

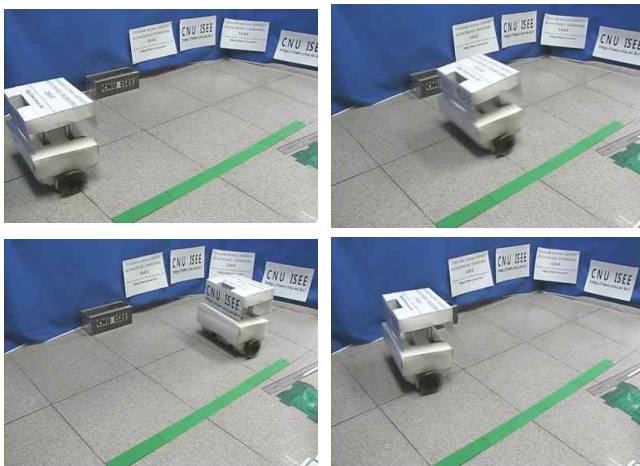
센서의 샘플링 주파수는 1,000Hz이고, 제어 주기는 100Hz이다. 〈표 3〉의 각종 게인 및 변수 값을 실험을 통해서 제어 성능이 안정적인 것을 찾아낸 것이다.



〈그림 3〉 Body of the Mobile Inverted Pendulum

2.3 실험결과

역진자 이동로봇이 1m진진하여 다시 원위치로 돌아오는 실험을 수행하였다. 〈그림 4〉는 1m 왕복하는 역진자 이동로봇의 동영상 캡처한 사진이다. 사진의 바닥에 있는 선은 로봇이 이동하는 거리인 1m를 표시하는 선이다. 〈그림 4〉에서 보면 성공적으로 잘 움직임을 볼 수 있다.



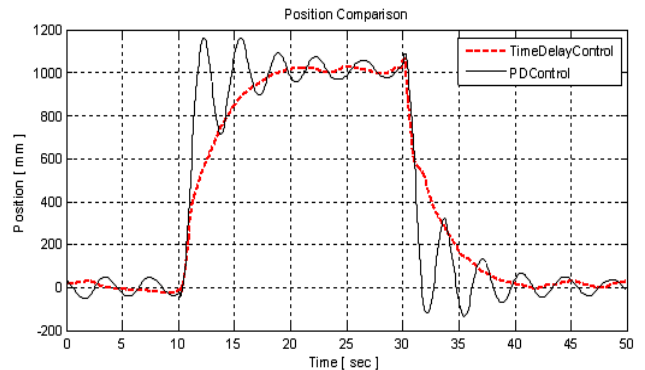
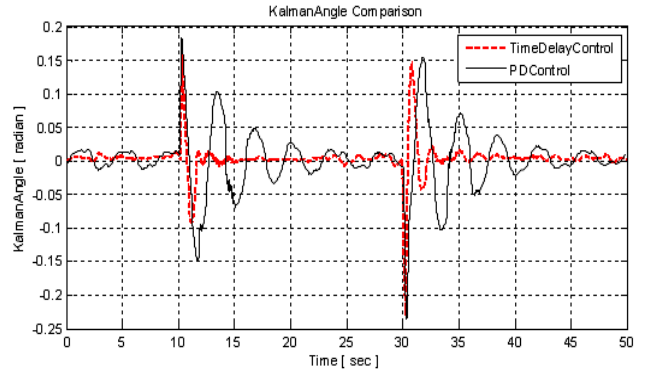
〈그림 4〉 1m round-trip test, TDC

〈그림 5〉은 실험결과를 나타낸다. 위의 그림은 로봇의 앵글을 아래 그림은 로봇의 위치를 나타낸다. 점선은 시간지연제어를 사용한 결과이고 실선은 PD제어를 사용한 결과를 나타낸다.

각도를 표시한 그림 5를 보면 시간지연제어를 사용했을 때에 로봇이 더

안정한 것을 볼 수 있다. 10초에 로봇을 1m 앞으로 이동하도록 명령을 주고, 30초에 원래 자리로 돌아오도록 명령을 줬다. 10초와 30초에 갑자기 명령을 줬을 때에 PD제어기와 시간지연제어기가 동일하게 앵글이 큰 각도로 기울어지는 것을 볼 수 있으나 시간지연제어기가 앵글이 더 먼저 안정되고, 평상시에도 앵글의 크기가 PD제어를 사용할 때 보다 작은 것을 확인할 수 있다.

위치를 표시한 그림 5를 보면 PD제어기의 경우 평상시에도 시간지연제어기에 비해서 흔들림이 많고 10초에 1m 전진 명령을 줬을 때, 1m를 전진한 후에 앞뒤로 왔다 갔다 하는 것을 그래프를 보고 알 수 있다. 시간지연제어기의 경우 평상시에 PD제어기와 비교했을 때, 움직임이 적다. 그리고 1m 이동명령을 줬을 때에 목적지에 도달한 후에 그 목표점에서 거의 벗어나지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 목표지점에 도달하는데 7초 정도가 걸린다. PD제어를 사용했을 때, 1~2초 내에 목표지점에 도달하는 것과 비교해서 느리다.



〈그림 5〉 Comparison of PDC and TDC

3. 결 론

본 논문에서는 PD제어와 시간지연제어에 대해서 알아보고 실제 역진자 이동로봇에 적용한 후 1m 왕복이동 실험을 수행하여 그 제어 성능을 살펴왔다. 시간지연제어는 PD제어에 비해서 앵글이 안정적이고 시스템의 환경이 바뀔 때에도 빨리 안정을 찾는 것을 확인했다. 위치에서도 앞뒤로 흔들림이 적었다. 그러나 스텝펄션과 같이 1m 이동명령을 줬을 때, PD제어에 비해서 수렴속도가 느렸다. 이는 마치 PD제어에서 D게인을 많이 준 것과 같이 동작한다. 앞으로 두 제어의 장점을 살려서 이동명령이 있을 때에 목표점에 빨리 수렴하면서도 안정적인 제어 방법을 찾아 볼 필요가 있다.

감사의 글

※ 본 논문은 2013년 교육과학기술부의 일반연구사업과 지식 경제부 융복합형 로봇인력양성 서비스로봇용 자율지능형 매니퓰레이션 센터(AIM)의 연구결과로 지원에 감사드립니다.

〈참 고 문 헌〉

[1] 이형직, 정승, “두 바퀴로 구동하는 이동로봇 시스템의 균형 제어”, 전자공학회 논문지, 48권 6호, 2011.
 [2] H. J. Lee, and S. Jung, “Control of a Mobile Inverted Pendulum Robot System”, International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 217-222, 2008.
 [3] H. J. Lee and S. Jung, “Gyro sensor drift compensation by Kalman filter to control a mobile inverted pendulum robot system”, IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1026-1031, 2009.
 [4] 이형직, “밸런싱 메커니즘을 이용한 일인용 운반차의 제작 및 제어”, 충남대학교 석사논문, 2009.