

외바퀴 로봇의 밸런싱 제어를 위한 입력보상방식

이상덕, 정 슌*

충남대학교 메카트로닉스공학과

e-mail : sdicon.lee@cnu.ac.kr, jungs@cnu.ac.kr

A Reference Compensation Scheme for Balancing Control of A Single-wheel Robot

Sang-Deok Lee and Seul Jung*
Dept. of Mechatronics Engineering
Chungnam National University

Abstract

In this paper, a reference compensation control method for balancing control of a single-wheel mobile robot is presented. The compensation signal at the reference trajectory is designed from empirical studies to compensate for the imbalance due to the asymmetry of the system. The control performance of the proposed controller is verified by extensive experiments.

I. 서론

제어모멘트자이로 기반의 외바퀴 로봇시스템인 자이로보(GYROBO)는 충남대학교에서 개발되어 지속적인 연구가 진행되고 있다 [1]. 외바퀴로봇의 밸런싱 제어의 기본 원리는 그림 1에 보여진 것처럼 고속으로 회전하는 플라이휠의 움직임을 통해 자이로 효과를 생성하여 균형을 유지한다 [2]. 하지만 플라이휠의 고속 회전에 의한 전력소모가 많은 것이 단점이다.

이를 해결하기 위해 그림 2에 보여진 구조로 시스템을 변경하여 제어하였다. 구조의 변경으로 인해 전력소모가 현저히 낮아짐을 확인하였지만 피치 방향의 안정성이 그림 1의 구조보다 떨어지는 것을 확인하였다.

본 논문에서는, 이러한 안정성 문제를 해결하기 위해 실험을 통해 안정영역을 찾고, 그 실험을 통해 구한 변수들을 사용하여 보상신호를 설계하였다. 보상신호의 목적은 시스템의 불균형 구조에서 오는 불안정한 균형제어를 보상하기 위함이다. 실험을 통해 성능을 검증하고자 한다.

II. 본론

자이로보는 킴벌시스템과 바디시스템으로 구성되어 있는 외바퀴 로봇이고, 그림 1 과 2에서와 같이 두 개의 작동원리로 구분된다. 킴벌시스템은 모멘텀을 생성하는 플라이휠과 휠의 모션을 통해 생성되는 각속도를 제어하는 모터 시스템으로 구성되어 있다. 모멘텀과 각속도에 의해 생성되는 자이로스코프 효과에 의해서 바디시스템의 모션이 발생하게 된다.

$$\tau = H \times \Omega \quad (1)$$



그림 1. 구동 원리 1

자이로보의 구동 원리 1은 충분한 마찰력과 토크가 필요한 구동 형태이며, 그림 2의 원리 2에 비해서 안정성은 우수하나, 전력 소모가 많은 단점을 갖고 있다.



그림 2. 구동 원리 2

반면, 원리 2는 피치 방향에 대한 안정성이 원리 1보다 떨어지나, 진력 효율이 우수한 장점을 갖고 있다. 원리 2는 원리 1보다 마찰력에 의한 피치 방향의 진동 억제 능력이 상대적으로 떨어지기 때문이다.

III. 실험

제기된 문제를 해결하기 위한 방법으로 실험을 통해 시스템 분석을 진행한다. 먼저 김벌시스템과 바디시스템의 시스템적인 상관관계에 대해 분석을 수행한 다음, 자이로스코프 효과에 의해 바디시스템의 롤링 방향에 작용하는 토크의 크기에 대한 실험적 분석을 실시한다. 실험 구성에서, 바디시스템에 대한 정확한 자세 모니터링을 위해서 별도의 AHRS(Attitude and Heading Reference System)를 사용한다. 사용된 센서는 초당 100 개의 자세 정보를 제공하고 있다.

로봇시스템의 안정영역은 롤 방향에 대해서는 -2° ~ 2° 도의 안정화 대역폭을 갖고 있고, 피치 방향에 대해서는 -5.5° ~ 5.5° 도 범위의 대역폭을 갖고 있음을 실험을 통해 확인할 수 있다.

본 논문에서, 입력보상은 롤 방향과 피치 방향에 대해서 실험적으로 확인된 대역폭 내에서 바디의 자세가 유지되는 것을 목적으로 한다.

즉, 입력 보상을 위한 방법으로 김벌의 각도 피드백을 통해 오프셋을 업데이트 하게 되고, 김벌의 각속도 피드백을 통해 출력 토크를 제한하게 된다. 이 때, 오프셋 업데이트 로직은 다음 수식을 따라, 그 값이 결정 된다.

$$\theta_{off} = A_{off} \sin\left(\frac{\text{gimbal position}}{35,000}\right) + I_{off} \quad (2)$$

$$A_{off} = \frac{\theta_{s,max}}{2\pi} \times BW_{rat} \quad (3)$$

김벌의 각속도에 의한 출력 토크를 제한하는 수식은 다음과 같다.

$$\tau_{lim} = \tau_{max} \times \frac{\dot{\theta}_s}{\dot{\theta}_{s,max}} / BW_{rat} \quad (4)$$

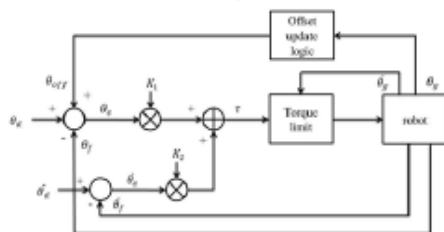


그림 3. 제안하는 제어기

실험 결과와 같이, 롤 방향에 대해서는 -2° ~ 2° 도 구간으로 제어가 유지되고, 피치 방향에 대해서는 $+5^{\circ}$ ~ -5° 도 범위 제어가 유지된다.

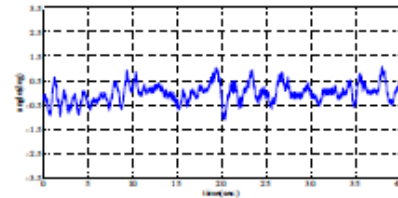


그림 4. 롤 각도

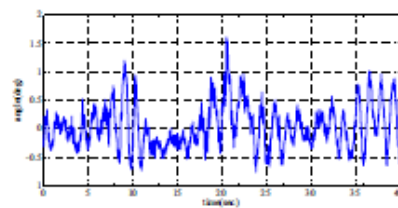


그림 5. 피치 각도

IV. 결론 및 향후 연구 방향

외바퀴 로봇시스템의 밸런싱 제어는 김벌의 자세와 모션에 대해 매우 민감한 성능의 제약을 갖고 있다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 로봇의 안정 영역을 찾는 다음, 보상신호를 통해 자이로스코프 토크의 출력을 조절할 수 있도록 제어기를 구성하여, 로봇시스템이 불안정 영역으로 이동하는 것을 억제할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다.

감사의 글

본 논문은 2013년 한국연구재단 일반연구지원(NRF-2010-0024904)과 2014년 한국연구재단 기초연구(NRF-2014R1A2A1A11049603)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J. H. Park, and S. Jung, "Development and control of a single-wheel robot: Practical Mechatronics approach." *Mechatronics* 23.6 (2013): 594-606
- [2] Y. S. Xu, Kwok Wai Au and H. B. Brown, "Dynamic Mobility with Single-Wheel Configuration", *The international Journal of Robotics Research*, pp. 728-738, 1999