



컨트롤 모멘트 자이로와 리액션 휠을 이용한 이륜 매니플레이터의 무게중심점 보상에 대한 연구
Research on Compensation for COG of a Two-wheel Manipulator by an Reaction Wheel and a CMG

저자 (Authors) 오명식, 정슬
Myung Sik Oh, Seul Jung

출처 (Source) [정보 및 제어 논문집](#), 2017.10, 103-104 (2 pages)
[INFORMATION AND CONTROL SYMPOSIUM](#), 2017.10, 103-104 (2 pages)

발행처 (Publisher) [대한전기학회](#)
The Korean Institute of Electrical Engineers

URL <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07261342>

APA Style 오명식, 정슬 (2017). 컨트롤 모멘트 자이로와 리액션 휠을 이용한 이륜 매니플레이터의 무게중심점 보상에 대한 연구. 정보 및 제어 논문집, 103-104.

이용정보 (Accessed) 충남대학교
168.***.117.203
2018/05/04 15:26 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

Research on Compensation for COG of a Two-wheel Manipulator by an Reaction Wheel and a CMG

Myung Sik Oh and Seul Jung

ISEE, Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

Abstract - 양팔 달린 이륜 로봇의 경우 무게 중심 제어가 중요하다. 양 팔로 물건을 잡을 때 무게 중심이 앞으로 쏠리게 되는데 이를 보상하는 제어가 필요하다. 기존에 개발한 그림 1의 KOBOKER의 경우 허리의 움직임으로 무게 중심점을 보상하였으나 움직임이 느려 기동성에 문제가 있었다. 본 논문에서는 이륜구동의 모바일 머니플레이터의 무게 중심점 보상을 통한 안정적인 자세를 위해 Control Moment Gyroscope(CMG)와 Reaction Wheel(RW)을 적용하였으며 각 각의 성능과 특성을 확인하고자 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서 론

최근에 가정이나 공장에서 작업하는 서비스 로봇에 대한 관심이 높아지면서 이동로봇에 팔이 부착된 mobile manipulator에 대한 연구가 한창이다. 일상 생활공간이나 공장에서 사람을 보조하기 위해 이동로봇에 팔을 부착하여 이동이 가능한 머니플레이터에 대한 연구가 진행되고 있다.

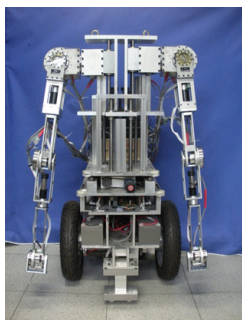
모바일 플랫폼의 경우 안정성을 위해 4륜구동의 이동로봇이 주로 사용되며 최근에는 기동성 때문에 이륜 형태의 구조를 사용한다. 이륜구동의 경우 제자리회전이 가능하여 좁은 공간에서 움직임이 용이하다는 이점이 있다. 하지만 이륜 로봇의 경우 한 축에 대한 중심을 유지해야 하는 문제가 있고 중심을 유지하기 위해서는 전체 시스템의 무게 중심이 중앙에 위치하도록 제어를 해야 한다 [1].

양팔이 달린 경우에 있어 팔의 움직임에 따라 무게중심점의 위치가 달라지게 되며 시스템의 전체적인 안정성을 위해 팔의 움직임에 따른 무게 중심을 계산하고 무게중심점의 중심축에 오도록 제어를 해야 한다 [2]. 이륜구동의 경우 무게중심점이 중앙에 놓이지 않게 되면 제어를 통해 균형 각도를 조정하는 것이 매우 어렵다.

따라서 먼저 기구적으로 최대한 무게중심점을 중앙에 오도록 하는 것이 중요하다. 기구적인 메커니즘을 이용하여 무게중심점을 중심축에 이동하는 방법이 있다. 모바일 부분 위에 앞뒤로 움직일 수 있는 구동장치를 부착하여 구동장치의 움직임을 통해 무게 중심이 중앙에 오도록 제어한다.

그림 1의 KOBOKER의 경우에는 허리에 슬라이딩 조인트가 있어 상체를 앞 뒤로 움직일 수 있는 메커니즘을 갖추고 있다. 하지만 상체가 무거워 슬라이딩 움직임이 매우 느린 단점이 있다 [3]. 따라서 빠른 무게중심제어를 수행하기 위해 추가적인 구동기를 사용하고자 한다. 기존의 로봇시스템에 추가적인 구동기를 사용하는 방법으로는 Control Moment Gyroscope 구동기와 리액션 휠이 있다 [4]. 리액션 휠은 그 구조가 간단한 장점이 있으나 응답이 느려 시간 지연이 발생하게 된다. Control Moment Gyroscope 구동기의 구조는 다소 복잡하지만 응답 특성이 빠르다. 이러한 특성을 이용하여 시스템뿐만 아니라 사람의 자세를 보정해주는 기능을 수행하기도 한다 [5]. 또한 오토바이와 같은 형태의 이륜 시스템이나 한 바퀴 구동 시스템의 경우에도 Control Moment Gyro를 이용하여 중심을 제어 할 수 있다 [6].

본 논문에서는 이륜구동 모바일 머니플레이터가 물건을 들어 작업을 수행할 경우에 무게중심점이 앞으로 이동하는 문제를 해결하기 위해 추가적인 구동기를 사용한다. 안정적으로 작업을 수행할 수 있도록 무게중심점 이동을 위해 추가적인 구동기를 이용하여 보상하는 방법을 사용하고자 한다. 추가적인 구동기로서 Control Moment Gyroscope(CMG)와 Reaction Wheel을 이용하였다. 두 가지의 구동기를 통한 안정화 수행 성능을 시뮬레이션을 통해 비교한다.

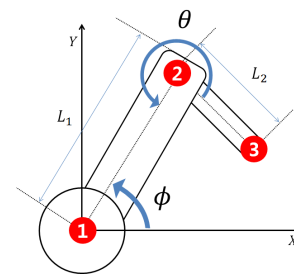


<그림 1> CNU KOBOKER

2. 본 론

2.1 Dynamics

본 논문에서는 Control Moment Gyroscope(CMG)와 Reaction Wheel을 이용하여 KOBOKER의 안정한 자세제어 성능을 확인하고자 한다. 이를 위해 가정한 모델은 <그림 2>와 같다. 일반적인 역진자형 모바일 시스템에 1개의 링크를 추가한 형태이다.



<그림 2> 모바일 머니플레이터 좌표

P_i는 <그림 2>에서의 각 지점의 위치를 표시한다. 각 부분의 위치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_1 &= (x_m, 0) \\ P_2 &= P_1 + (L_1 \cos(\phi), L_1 \sin(\phi)) \\ P_3 &= P_2 + (L_2 \sin(\theta), -L_2 \cos(\theta)) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 L₁과 L₂는 각 링크의 길이를 나타내고 phi는 시스템의 기울기, theta는 머니플레이터의 각도이다. 식(1)에서 나온 위치를 기반으로 운동에너지와 위치에너지를 구하여 라그랑지안 방식으로 동역학 모델을 구하였다. 동역학식은 다음과 같다.

$$D\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G = \tau \quad (2)$$

여기서 q의 인자로는 [x phi theta]^T를 사용하였다.

전체적인 동역학의 모델은 CMG가 부착되어 있지 않았을 때와 동일하게 사용하였고 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 각 요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d_{11} &= m_w + m_1 + m_2 + m_3 \\ d_{12} &= d_{21} = -m_3 L_2 \sin(\phi + \theta) - (m_3 + m_2) L_2 \cos(\phi) \\ d_{13} &= d_{31} = -m_3 L_2 \sin(\theta) \\ d_{22} &= m_3 (L_2^2 + L_1 L_2 \sin(\theta)) + (m_3 + m_2) L_1^2 \\ d_{23} &= d_{32} = m_3 (L_1 L_2 \sin(\theta) + L_2^2) \\ d_{33} &= m_3 L_2^2 \\ c_1 &= m_3 (\dot{\phi} + \dot{\theta})^2 L_2 \cos(\phi + \theta) + (m_3 + m_2) \dot{\phi}^2 L_1 \sin(\phi) \\ c_2 &= m_3 x \dot{\phi} L_2 \cos(\theta) \\ c_3 &= -m_3 \dot{\phi}^2 L_1 L_2 \cos(\theta) \\ g_1 &= 0 \\ g_2 &= -m_2 L_1 g \sin(\phi) + m_3 g (-L_1 \sin(\phi) + L_2 \cos(\phi + \theta)) - m_w g L_1 \sin(\phi) \\ g_3 &= m_3 L_2 g \cos(\phi + \theta) \end{aligned}$$

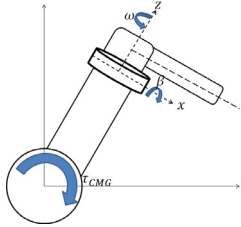
여기서 m_w는 wheel의 무게, m₁는 바퀴의 무게, m₂는 몸체의 무게, m₃은 팔의 무게를 의미한다. g는 중력 가속도이다.

CMG와 Reaction Wheel을 이용하여 시스템의 무게 중심이 Y축에 위치하도록 제어를 한다. 제어 입력으로는 무게 중심에 대한 오차가 제어 입력으로 들어가고 이를 수렴시키도록 한다. 무게중심을 구하는 식은 아래의 식(4)와 같이 사용하였다.

$$C.O.G._x = \sum_{i=1}^n m_i p_{i,x}, \quad C.O.G._y = \sum_{i=1}^n m_i p_{i,y}, \quad C.O.G. = atan\left(\frac{C.O.G._y}{C.O.G._x}\right) \quad (4)$$

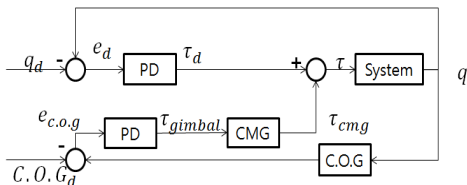
2.2 Control Moment Gyroscope 구동기

CMG를 부착한 모바일 매니퓰레이터의 형태는 <그림 3>과 같다. CMG는 모바일 매니퓰레이터에 장착되고 CMG에서 발생하는 토크가 모바일 축에 발생한다고 가정한다.



<그림 3> CMG부착된 모바일 매니퓰레이터

시뮬레이션 진행시 입력되는 토크의 값이 다른데 기본적으로 각도와 위치에 대한 PD제어를 포함해 CMG에서 발생한 토크를 각도와 위치에 대한 토크값에 추가를 해주게 된다. 즉 $\tau_1 = \tau_2 = \tau_d + \tau_{cmg}$ 의 형태가 된다. 방식은 <그림 4>와 같은 방식을 사용하였다.



<그림 4> CMG매니퓰레이터 제어 블록도

무게중심의 각도를 이용하여 CMG의 추종값으로 넣어주었다. 무게중심에 의해 생긴 오차를 이용하여 PD제어를 진행하였다. 발생하는 토크(τ_{gimbal})에 의해 김벌의 각속도가 발생한다. 이를 적분하여 CMG의 토크 값에 이용한다.

$$\dot{\beta} = \frac{\tau_{gimbal}}{I_{xx}} \quad (5)$$

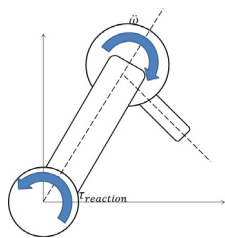
$$\tau_{cmg} = I_{zz} \ddot{\omega} \sin(\beta) + I_{zz} \dot{\omega} \beta \cos(\beta) \quad (6)$$

여기서 β 는 김벌 각도이며 $\dot{\omega}$ 는 wheel의 속도이다. I_{xx} 와 I_{zz} 는 각 축에서의 관성 모멘트를 의미한다. 김벌의 각속도를 이용하여 CMG를 통해 발생하는 토크를 계산하였다. 휠의 속도는 일정하게 유지한다고 가정하면 $\ddot{\omega}$ 은 0이 된다. 실제로 입력되는 토크는 아래의 식(7)과 같다

$$\tau_{cmg} = I_{zz} \dot{\omega} \beta \cos(\beta) \quad (7)$$

2.3 Reaction Wheel

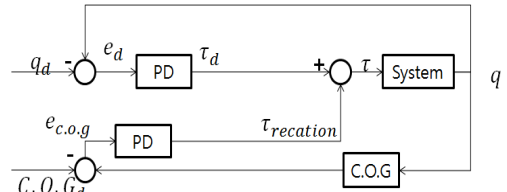
Reaction Wheel 이 부착된 시스템의 경우 CMG가 부착된 시스템과 유사하다. 전체적인 형태는 <그림 5>와 같이 가정을 하였다.



<그림 5> Reaction Wheel이 부착된 모바일 매니퓰레이터

입력 토크 τ_1 과 τ_2 는 CMG에서와 마찬가지로 기본적인 PD제어토크에 리액션 휠을 이용하여 발생하는 토크 값을 더해 사용하였다. 즉 입력 토크는 $\tau_1 = \tau_2 = \tau_d + \tau_{reaction}$ 의 형태가 된다. 제어 방식은 <그림 6>과 같다.

제어방식도 CMG와 마찬가지로 진행하였다. 기본적인 PD제어에 Reaction wheel을 이용하여 시스템의 무게 중심이 0도에 유지 할 수 있도록 진행하였다.



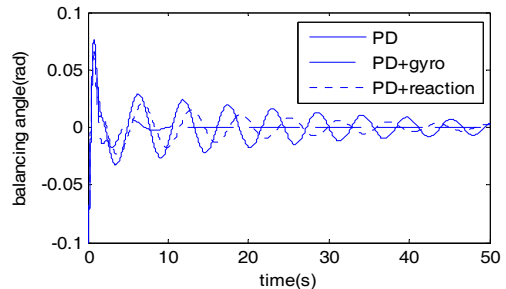
<그림 6> Reaction Wheel 매니퓰레이터 제어블록도

$$\tau_{reaction} = I_{zz} \ddot{\omega}, \quad \ddot{\omega} = \frac{\tau_{in}}{I_{zz}} \quad (8)$$

I_{zz} 는 회전축에 대한 휠의 관성모멘트, $\ddot{\omega}$ 는 휠의 각 가속도이다. 리액션 휠의 경우 발생하는 토크는 휠의 관성모멘트에 휠의 각가속도를 곱하는 식이 된다. 휠의 각가속도는 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 다음과 같은 상황에서 진행하였다. 시스템이 초기에 0.1 rad 기울어진 상황에서 균형을 잡아가는 상황을 시뮬레이션 하였다. 추가적으로 붙은 팔의 각도는 0도를 유지하기 위해 무게중심의 변화는 전체시스템의 각도와 같다. 결과는 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 무게 중심 변화 결과

기본적으로 PD제어만으로 시스템의 구동하였을 때의 결과가 'PD'이고 CMG와 Reaction wheel의 기능을 추가한 경우가 각각 'PD+gyro'와 'PD+reaction'이다. 두 결과를 비교 해 보았을 때 초기의 오버슈트는 PD제어만 진행하였을 때와 비슷한 결과를 보여주지만 전체적으로 보았을 때 CMG나 리액션 휠을 사용 하였을 때 더 좋은 수렴도를 볼 수 있다. CMG를 사용한 경우 약 8 초 정도부터 수렴해 가는 결과를 볼 수 있다. 리액션 휠을 이용한 경우도 수렴해 가는 경향을 볼 수 있지만 PD만 사용하였을 때 보다 진동의 주기가 길어지는 경향이 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 이륜구조의 모바일 매니퓰레이터의 자세제어에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 무게 중심을 중앙으로 유지하여 안정화하기 위해 두 가지 구동기 CMG와 Reaction wheel을 추가하는 방법을 이용하여 제어를 하였다. 두 구동기 모두 PD제어만을 이용하였을 때보다 빠른 수렴경향을 보였다. CMG를 사용하였을 때 리액션 휠을 사용하였을 때 보다 빠른 수렴 결과를 보이지만 CMG를 이용할 경우 김벌의 회전각에 따른 토크의 방향이 원하지 않는 상태로 바뀔 수 있다. 리액션 휠의 경우 CMG에 비해 느린 수렴성과 보다 큰 진동을 보인다. 하지만 토크의 방향이 제어하는 각가속도의 방향으로 구동을 할 수 있다는 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 연구재단 이공분야 기초연구사업(2016R1A2B2012031)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

[참고 문헌]

- [1] S. T. Cho and S. Jung, "Combining Two Control Techniques for the Fast Movement of a Two-Wheel Mobile Robot", INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMANOID ROBOTICS, 2015.
- [2] Mike Stilman, Jon Olson and William Gloss "Golem Krang: Dynamically Stable Humanoid Robot for Mobile Manipulation", IEEE, International Conference on Robotics and Automation, P.3304-3309, 2010
- [3] Y. G. Bae and S. Jung, "An Experimental Study on Balancing Stabilization of a Service Robot by Using Sliding Mechanism", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 19, no.3, pp. 233-239, 2013
- [4] Nicholas C. Townsend and Remanad A. Shenoi, "Gyrostabilize Vehicular Technology", Applied Mechanics Reviews, Vol. 64, Sep 26, 2011
- [5] Sustin Li, Heike Vallery "Gyroscopic Assistance for Human Balance", The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2012
- [6] 강석원, 박경일, 이장명, "자전거로봇의 균형제어 및 주행제어를 위한 LQR 제어기 설계", 제어로봇시스템학회 논문지, 20(5), P.551-556, 2014