

감속기 변형모델을 이용한 휴머노이드 보행 안정성 개선

Improvement of Humanoid gait stability using reduction gear deformation model

○김 지 섭¹, 김 민 곤², 박 재 흥^{3*}

¹⁾ 서울대학교 융합과학기술대학원 (TEL: 031-888-9167; E-mail: kpersona1004@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 융합과학기술대학원 (TEL: 031-888-9146; E-mail: mingonkim@snu.ac.kr)

³⁾ 서울대학교 융합과학기술대학원 (TEL: 031-888-9140; E-mail: park73@snu.ac.kr)

Abstract This paper aims to achieve gait stability when humanoid upper body makes its lower body reduction gear deformed. Until now, many humanoid gait stability and task performance research are accomplished in laboratory circumstance. Recently, humanoid research is focusing on various task adaptation in real world. It is important to note that performing various task can add various weight during task performing. It is necessary to compensate gear deformation for this weight and humanoid's own upper body weight for gait stability. In this paper, first, a gear deformation model will be introduced. Second, for gait stability, humanoid upper body weight will be considered as a disturbance, and compensator designed from gear deformation model will be applied.

Keywords humanoid, walking, stability, gear deformation, estimation

1. 서론

최근의 2족로봇 연구는 변인이 통제된 실험실 환경 하의 단일 업무 수행을 위한 연구에서 출발하여 실제 환경에서 다양한 업무를 수행 할 수 있는 제어기 및 시스템 개발을 목표로 하는 연구로 이어지고 있다. 2족로봇이 다양한 업무를 얼마나 빠르고 정확히 수행하는지 겨뤘던 DRC(DARPA Robotics Challenge)를 좋은 예로 볼 수 있다[1]. 다양한 환경에서의 업무 수행을 위해 2족로봇은 상체의 자유도를 활용하여 물체를 집어 올리고 미는 등의 활동을 할 수 있어야 한다. 이 때, 기존의 보행 안정성만을 고려한 제어기를 활용하게 되면 물체의 하중으로 인해 보행에 악영향을 주게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상체의 자세가 보행 중 변하거나[2] 상체에 작업으로 인한 하중이 실려도 로봇 전체의 무게중심 제어를 이용해 보행 안정성을 높이는 연구가 있었다[3].

위의 연구에서 더 나아가 다양한 작업 시 여러 하중을 들어올릴 때, 일정 이상의 하중으로 인한 하체 엑츄에이터의 감속기 변형을 추정하는 모델과

이를 실제 로봇에 적용하여 보상하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 감속기 변형 모델

모터 회전을 측정하는 엔코더는 일반적으로 입력단에 설치되어, 하중에 의한 감속기의 변형 및 백래쉬 등에 의한 출력단의 변형을 측정할 수 없다. 그 결과, 엔코더로 측정한 관절 각과 실제 링크 각도 사이의 차이가 발생하고 그 차이는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta\theta = \theta_{encoder} - \theta_{real} \quad (1)$$

식 (1)의 변형각 $\Delta\theta$ 는 하중에 의해 감속기에 걸리는 토크 τ_g , 백래쉬 값 α , 감속기 내부의 마찰력 β 에 영향을 받으며 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta\theta = f(\tau_g, \alpha, \beta) \quad (2)$$

식 (2)에서 감속기 변형에 가장 주요하게 영향을 미치는 요소인 하중에 의한 토크의 영향만을 고려하여 식 (3)의 관계를 찾아 감속기 변형 모델로 이용하고자 한다. 또한, 하중에 의한 토크는 모델기반

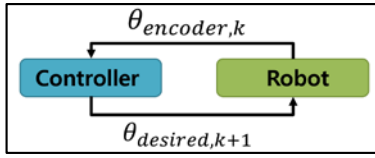


그림 1. 현재 로봇의 제어 흐름도

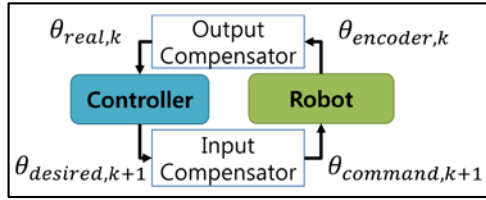


그림 2. 보상기가 추가된 로봇의 제어 흐름도

의 각도(θ_{real})를 이용하여 계산하였다.

$$\Delta\theta = f(\tau_g) \quad (3)$$

$$\tau_g = g(\theta_{real}) \quad (4)$$

2.2 보상기 설계

로봇의 안정적이고 정확한 제어를 위해서는 원하는 제어 목표 값으로 실제 로봇을 제어할 수 있어야 한다.

일반적인 로봇의 제어 방식은 그림 1 과 같으며, 로봇의 현재 관절각을 기반으로 제어하고자 하는 목표 관절각을 계산하게 된다. 하지만 실제 로봇을 제어할 때에는 감속기 변형으로 인하여 로봇의 상태 등에 오차가 발생하게 되고 이로 인하여 원하는 제어를 할 수 없게 된다. 따라서, 감속기 변형에 의한 오차를 극복하기 위하여 그림 2 처럼 로봇의 입력과 출력단에 각각 보상기를 설계하였다. 입력 보상기는 감속기 변형에 의한 변형각을 고려하여, 실제 로봇이 제어 목표 값에 도달하도록 보상된 제어 목표 값을 구한다. 또한 출력 보상기는 엔코더 값과 실제 로봇 사이의 차이를 예측하여, 실제 로봇의 관절각 값을 추정해주는 보상기이다.

2.2.1 입력 보상기 설계

다양한 부하가 걸리는 상태에서 제어 정확도는 제어성능에 의해 좌우된다. 일반적인 액추에이터는 제어목표 값을 잘 추종할 수 있도록 실험 전에 제

어이득을 조절해서 사용한다. 실험에 사용한 로봇 액추에이터들은 제어이득이 잘 조절되어 있어서, 실험에서 사용된 동작을 수행 시 목표값을 잘 추종하였다. 특히, 추종 대역폭이 치짐에 의한 변형보다 훨씬 빠르기 때문에 $\theta_{encoder} \approx \theta_{command}$ 로 가정하여 식 (1)로부터 아래의 식 (5)를 유도하였다.

$$\Delta\theta = f(g(\theta_{real})) = \theta_{command} - \theta_{real} \quad (5)$$

식(5)를 정리하면 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$\theta_{command} = \theta_{real} + f(g(\theta_{real})) \quad (6)$$

식 (6)에서 입력 보상기를 통해 로봇에 들어가는 보상된 제어목표 값은 $\theta_{command}$ 이고 이 값이 액추에이터에 의해 추종된 뒤 감속기 변형까지 반영된 출력단의 각도는 θ_{real} 이다. 우리가 원하는 로봇의 상태를 위해 필요한 출력단의 값은 $\theta_{desired}$ 이므로 로봇에 들어가는 보정된 제어 목표값 $\theta_{command}$ 는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_{command} = \theta_{desired} + f(g(\theta_{desired})) \quad (7)$$

2.2.2 출력 보상기 설계

출력 보상기는 $\theta_{encoder}$ 값에 감속기의 변형을 반영하여 출력단의 각도(θ_{real})를 구하면 된다. 이를 식으로 정리하면 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{real} = \theta_{encoder} - f(g(\theta_{real})) \quad (8)$$

이 때, $f(g(\theta_{real}))$ 를 식 (9)와 같이 $\theta_{encoder}$ 에 대하여 1 차 테일러 전개를 한 뒤, 식 (8)에 대입하면 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$f(g(\theta_{real})) =$$

$$f(g(\theta_{encoder})) + f(g(\theta_{encoder}))'(\theta_{real} - \theta_{encoder}) \quad (9)$$

$$\theta_{real} = \theta_{encoder} - \frac{f(g(\theta_{encoder}))}{1+f(g(\theta_{encoder}))'} \quad (10)$$

식 (7), (10)과 같이 입력과 출력 보상기를 설계할 수 있다.

2.3 실험시스템

hip roll 에 사용하는 액추에이터와 동일한 성능의 액추에이터를 이용하여 다양한 하중이 걸리는 상황에서 외부 센서를 이용하여 감속기의 변형 정도를 측정하는 실험을 진행하였다. 또한, 하중에 따

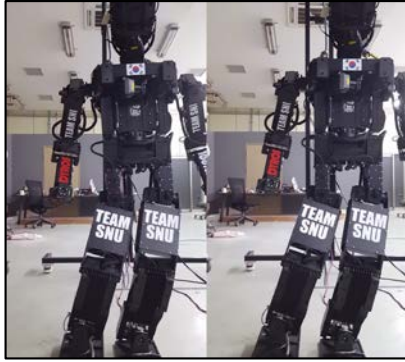


그림 3. 보상기 적용 전(왼쪽), 후(오른쪽)

큰 감속기 변형값을 나타낸 기어 히스테리시스 곡선 중 저 부하 구간을 선형 근사 하여 감속기 변형 모델을 구하였다.

감속기 변형 모델을 기반으로 한 보상기 실험은 DRC[2]에 참가하였던 TEAM SNU 소속 휴머노이드 Thormang 을 이용하여 진행하였다. 보상기는 보행 시 제일 큰 하중이 걸리는 지지발의 hip roll 과 들어올리는 발의 hip roll 두 액츄에이터에 적용하여 실험을 진행하였다.

2.4 실험결과

보상기가 있을 때와 없을 때 각각 Thormang 의 제자리 걸음 실험을 진행하여 보상기가 있을 때 보행이 보상기가 없을 때에 비해 안정함을 확인하였다. 제자리 보행 시 몸통의 수평도를 살펴보면, 보상기가 없을 때 생기던 몸통 처짐이 보상기가 있을 때 개선됨을 그림 3과 그림 4에서 확인할 수 있다.

3. 결론

제자리 보행 시 hip roll 액츄에이터에 기어 변형 모델을 이용한 보상기를 적용한 뒤 보행 실험을 진행 하였다. 기존의 보상기가 없는 상황에서 제자리 보행 실험을 하게 되면 상체의 하중으로 인한 hip roll 액츄에이터 변형이 보행의 불안정성을 야기하고, 내딛는 발의 착지 위치가 제어하고자 했던 위치와 다른 상황이 발생했다. 그러나 보상기를 적용한 제자리 보행 실험에서는 보행이 안정적이었고, 내딛는 발의 착지 위치 또한 제어

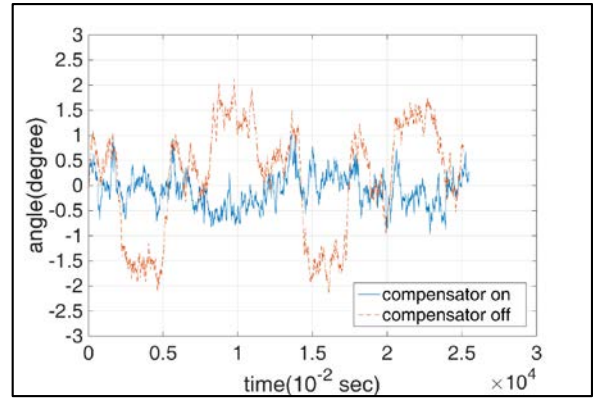


그림 4. 보상 유무에 따른 몸통의 수평도

하고자 했던 위치와 거의 비슷함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 소개한 기어 변형 모델을 통한 보상기 설계와 향후 로봇이 작업 시 받게 될 다양한 하중 정보를 활용한다면 다양한 업무에 대한 휴머노이드의 대응성이 높아질 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] "DRC", <http://www.theroboticschallenge.org/>, 2015, [Online; accessed February 2016]
- [2] Choi, Youngjin, et al. "Posture/walking control for humanoid robot based on kinematic resolution of com jacobian with embedded motion." *Robotics, IEEE Transactions on* vol. 23, no. 6, pp. 1285-1293, 2007.
- [3] Chew, Chee-Meng, and Gill A. Pratt. "Adaptation to load variations of a planar biped: Height control using robust adaptive control." *Robotics and Autonomous Systems* vol. 35, no. 1, pp. 1-22, 2001.