

공기 추력을 이용한 휴머노이드 로봇의 넘어짐 회복 전략

김준형¹, 심재훈¹, 박재흥¹
¹서울대학교

Humanoid Fall Recovery Strategy using Air Thrust

Kim Junhyung¹, Sim Jaehoon¹, Park Jaeheung¹
¹ Seoul National University

e-mail: john3.16@snu.ac.kr, simjeh@snu.ac.kr, park73@snu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 측면에 외력이 가해졌을 때 공기 추력을 이용하여 보행 중 가해진 외력에 대한 휴머노이드 로봇의 넘어짐 방지하는 전략을 제안한다. 휴머노이드 로봇의 양쪽 어깨에 붙어 있는 공기 추력 구동기는 넘어짐을 방지하기 위하여 공기 추력을 발생시킨다. 휴머노이드 로봇의 상태가 넘어지고 있는지를 판단하기 위하여 캡처 포인트를 사용하였다. 캡처포인트가 지지다각형을 넘어가면 휴머노이드 로봇이 넘어지는 것으로 판단되면 공기 추력 구동기가 휴머노이드 로봇이 넘어지는 방향의 반대 방향으로 힘을 발생시켜 넘어짐을 회복한다. 본 논문에서 제안하는 넘어짐 회복 전략을 휴머노이드 로봇 DYROS-JET 를 이용한 실제 실험을 통하여 검증하였다. 또한 실험 영상은 <https://youtu.be/ij6EltOWbf8> 을 통해 확인 할 수 있다.

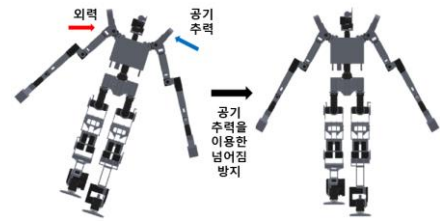
1. 서론

휴머노이드 로봇이 불확실한 환경에서 작업을 수행하기 위해서는 외력에 대한 균형 유지가 필수적이다. 그러나 휴머노이드 로봇은 모바일 로봇과 같은 다른 로봇들에 비해 무게중심의 높이가 높고 지지 영역이 좁다는 특성을 갖고 있어 과도한 외력이 작용 할 때 넘어짐을 회복하기 어렵다. 또한 두 발을 이용하여 균형을 유지하는 휴머노이드 로봇의 구조적 한계로 인해 보행 중 한발 지지 상태에서 외력이 측면으로 가해질 때 기존 제어기로 균형을 유지하는 것은 불가능하다.

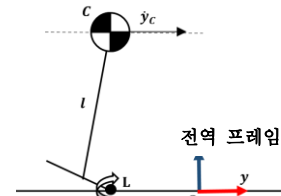
휴머노이드 로봇에 작용하는 외력에 대한 넘어짐을 회복하고 균형을 유지하기 위한 전략에 대해 많은 연구들이 진행되었다. 휴머노이드 로봇의 보폭을 늘릴 때 중력에 의해 발생하는 모멘트를 보상하기 위하여 휴머노이드 로봇 발바닥에 부착된 공기 추력 구동기의 토크를 이용하여 균형 유지 및 넘어짐 방지 전략을 제안하였다 [1].

본 논문에서는 [그림1]와 같이 휴머노이드 로봇의 어깨에 붙어있는 공기 추력 구동기를 이용하여 휴머노이드 로봇의 넘어짐 방지 전략을 제안한다. 캡처포인트가 지지다각형을 넘어가면 휴머노이드 로봇이 넘어지는 것을 막기 위하여 공기 추력 구동기가 넘어지는 방향의 반대 방향으로 힘을 발생시킨다. 제안하는 전략을 이용하면 로봇의 관절 움직임을 이용한 균형 유지 알고리즘 없이 공기 추력을 이용하여 휴머노이드 로봇의 넘어짐 회복이 가능하다. 한발 지지 상태에서 외력이 휴머노이드 로봇의 측면으로 가해질 때 제안한 넘어짐 방지 전략이 효과적이다.

2. 본론



[그림 1] 공기 추력을 이용한 넘어짐 방지 전략



[그림 2] 발바닥을 모델링한 선형 역진자 모델

2.1 제안하는 넘어짐 방지 전략

2.1.1 넘어질 때 휴머노이드 캡처포인트 추정

휴머노이드 로봇의 캡처포인트를 추정하기 앞서 우리는 휴머노이드 로봇의 무게중심 속도를 알아야 한다. 휴머노이드 로봇이 외력을 받아 넘어질 때 지면과 접촉하고 있는 지지 발의 모서리를 중심으로 발생하는 회전을 고려한 무게중심 속도 추정을 위하여 로봇의 모델 정보와 IMU센서를 이용하였다. 모든 위치, 속도, 각속도 벡터와 자코비안 행렬은 전역 프레임 기준으로 나타낸다. [그림2]와 같은 선형 역진자 모델에 발바닥을 모델링하여 휴머노이드 로봇의 무게중심 속도 추정 식 (1)을 유도하였다.

$$v_c = J_c \dot{q} + \omega_B \times r_{BC} + v_B \quad (1)$$

J_c 는 베이스로부터 무게중심의 자코비안, \dot{q} 는 관절 속도, ω_B 는 IMU센서로 측정된 베이스의 각속도, r_{BC} 는 베이스부터 무게중심까지 위치 벡터 그리고 v_B 는 베이스의 선속도를 의미한다. 지면과 접촉 하고 있는 로봇 지지 발의 모서리가 회전의 중심점이며 움직이

지 않는다는 가정하에 휴머노이드 로봇의 베이스 프레임의 속도 식을 유도했다.

$$v_B + \omega_B \times r_{BL} + J_L \dot{q} = v_L \cong 0 \quad (2)$$

r_{BL} 은 베이스로부터 지지발 모서리까지 위치 벡터, J_L 은 베이스로부터 지지발 모서리까지 자코비안 그리고 v_L 은 지지발 모서리의 선 속도이다. 최종적으로 식 (1)과 (2)를 이용하여 IMU센서를 이용한 휴머노이드 로봇의 무게중심 속도 추정 식을 다음 식 (3)으로 정리할 수 있다.

$$v_C = J_C \dot{q} + \omega_B \times r_{BC} - \omega_B \times r_{BL} + J_L \dot{q} \quad (3)$$

IMU센서를 이용한 휴머노이드 로봇의 무게중심 속도 추정 식을 이용하여 우리는 휴머노이드 로봇이 넘어질 때 캡처포인트를 다음과 같이 계산할 수 있다. 이번 실험에서는 y축 방향의 캡처포인트만 (4) 였다.

$$\zeta_y = y_c + \frac{\dot{y}_c}{\sqrt{g/z_c}}$$

ζ_y 는 y축 방향 캡처포인트, g 는 중력, z_c 는 무게중심의 높이, y_c 는 무게중심의 y방향 위치 그리고 \dot{y}_c 는 무게중심의 y축 방향 속도이다.

2.1.2 공기 추력을 이용한 캡처포인트 회복

캡처포인트가 지지다각형을 넘어가면 휴머노이드 로봇이 넘어지는 것으로 판단한다. 휴머노이드가 넘어질 때 공기 추력 구동기가 캡처포인트를 지지발 안으로 돌아오게 하기 위해 힘을 만들 것이다. 캡처포인트가 지지발 안으로 다시 돌아오면 공기 추력 구동기가 작동을 멈춘다.

2.2 실험 결과

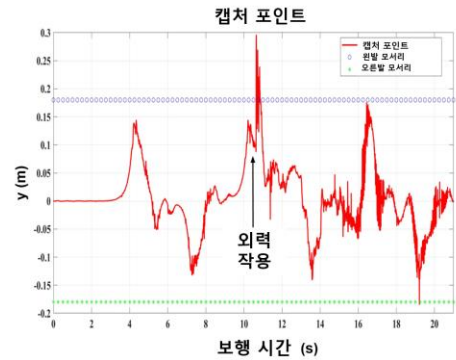
공기 추력 구동기를 부착한 휴머노이드 로봇 DYROS-JET를 이용하여 제안한 넘어짐 회복 전략을 검증하였다. 보행 중 휴머노이드 로봇을 넘어뜨리기 위한 충격을 동일하게 주기 위하여 15kg의 무게 추를 이용하였다. [그림3]은 공기 추력을 이용하여 휴머노이드 로봇의 넘어짐 회복 실험 결과이다. 공기 추력을 이용하지 않았을 때는 휴머노이드 로봇이 무게 추와 부딪힌 후 균형을 잃고 넘어짐을 확인할 수 있었다. 이와 반대로 공기 추력을 이용하였을 때는 휴머노이드 로봇이 무게 추와 부딪힌 후에도 균형을 유지하고 넘어짐을 회복하였다. 또한 [그림4]를 통하여 공기 추력을 이용하였을 때 캡처포인트가 지지발 안으로 돌아오는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 제안한 전략을 이용하여 휴머노이드 로봇이 넘어짐을 회복할 수 있다.

2.3 고찰

공기 추력을 이용하여 휴머노이드 로봇을 넘어뜨리는 외력을 보상함으로써 휴머노이드 로봇의 넘어짐을 방지할 수 있다. 하지만 현재 공기 추력을 이용한 휴머노이드 넘어짐 방지 전략에는 3가지 한계들이 존재한다.



[그림 3] 공기 추력을 이용한 넘어짐 방지 실험



[그림 4] 공기 추력을 이용하였을 때 캡처포인트

첫번째로는 공기 추력 구동기의 최대 추력이 12N으로서 큰 힘을 발생시키지 못한다. 따라서 과도하게 큰 힘이 휴머노이드 로봇에 가해질 경우 공기 추력으로 넘어짐 회복이 불가능하다. 두번째로는 공기 추력 구동기가 250ms의 높은 상승시간을 갖고 있어 제어가 어렵다. 마지막으로 공기 추력 구동기의 구동시 큰 소음이 발생한다.

3. 결론

본 논문에서는 외력이 휴머노이드 로봇에 가해졌을 때 공기 추력을 이용하여 넘어짐을 방지하는 전략을 제안한다. 캡처포인트가 휴머노이드 로봇의 지지발을 넘어갔을 때 공기 추력 구동기가 작동하여 캡처포인트를 지지발 안으로 복구시킨다. 공기 추력 구동기에서 발생한 공기 추력에 의해 캡처포인트가 지지발 안으로 돌아오면, 공기 추력 구동기가 작동을 멈춘다. 최종적으로 제안하는 넘어짐 방지 전략을 휴머노이드 로봇 DYROS-JET를 이용하여 검증하였다.

공기 추력을 이용한 넘어짐 방지 전략에는 구동기의 낮은 최대 추력, 높은 상승 시간, 소음과 같은 한계들이 존재한다. 공기 추력 구동기의 재설계를 통해 다음의 한계들이 극복된다면 휴머노이드 로봇의 넘어짐을 방지하는데 더욱 효과적일 것이다.

참고문헌

[1] S. J. Yi, B. T. Zhang, D. Hong, and D. D. Lee, "Jet-HR1: Two-dimensional Bipedal Robot Step Over Large Obstacle Based on a Dunted-fan Propulsion System," Humanoid Robots 2017 17th IEEE-RAS International Conference on. IEEE, pp. 406-411, 2017.