

미지의 환경하에서 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 위한 제어 방법 연구

황 상 현, 곽 환 주, 박 귀 태
고려 대학교 전자, 전기 컴퓨터 공학

Study on Control Method for Stable Walking of Humanoid Robot in Various Environments

Sang-Hyun Hwang, Hwan-Joo Kwak, Gwi-Tae Park
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 휴머노이드 로봇은 높은 자유도 때문에 생기는 비선형성 때문에, 안정성을 보장하는 것은 중요한 연구 분야중 하나이다. 또한 안정적인 보행을 하기위해서 미지의 환경하에서 발의 착지는 첫 번째 단계중 하나이다. 그러나, 이족보행 로봇은 반작용 없이 안정적인 발의 착지를 하기 위한 정보를 얻는것이 쉽지 않기 때문에, 착지에 관한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러므로, 본 논문에서는 퍼지 시스템을 이용한 실시간 착지 제어 방법에 대해 제안하였다. 실시간 착지 제어는 다양한 지면의 조건에서 안정성을 갖고 있어야 하는 제약 조건을 갖는다. 이전까지의 연구에서는 실시간 착지제어에 관한 방법이 매우 전문하고 부가적인 기계적 장비를 (특수한 발의 구조) 필요로 하였다. 그러나, 본 논문에서는 힘 센서만을 사용하여 다양한 환경이 인식될수 있게 하였다. 제안된 방법은 19 자유도를 갖는 휴머노이드 모델을 통해 실험되었다.

1. 서 론

휴머노이드 로봇은 사람과 비슷한 구조를 갖는 로봇이다. 그것은 사람과 같이 양손이 자유롭기 때문에 사람과의 생활에 적용할수 있기 때문에 매우 각광을 받고 있는 연구 분야이다. 그러나 휴머노이드 로봇은 사람과 비슷한 형태를 갖기 때문에 많은 자유도가 필요하게 되며, 그로 인해 안정성 분석과, 휴머노이드의 행동을 제어하기 힘들다. 이 문제를 풀기위해 최적화된 행동을 만들고 안정성을 증가시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. [1], [2]. 실시간 보행 제어는 다양한 환경하에서 지면의 조건을 만족해야 한다. 그림. 1 은 지면의 다양한 환경을 보여주고 있다.

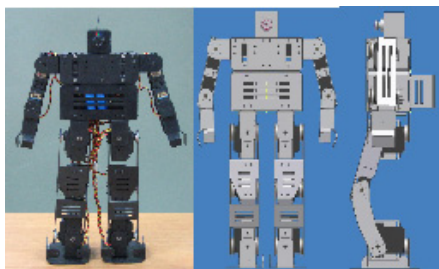


〈그림 1〉 미지의 다양한 환경

본 논문에서는, 안정적인 보행을 위하여 퍼지 시스템을 이용한 실시간 착지 제어를 제안하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 새롭게 제작한 휴머노이드 로봇에 대해 기술하였으며, 3장에서는 퍼지 시스템을 이용한 착지 제어에 대하여 기술하였다. 4장은 실험 결과를 보여주며, 마지막 5장은 결론으로 구성되어 있다.

2. 휴머노이드 이족보행 로봇의 설계

실시간 착지 제어를 위하여 새롭게 제작한 휴머노이드 로봇은 19 자유도 (다리 6*2 관절, 팔 3*2 관절, 허리 1 관절) 과 8개의 힘 센서로 구성된다. 설계된 로봇의 길이는 445mm 이고, 로봇의 무게는 약3kg 이다. 설계된 로봇의 그림과 세부사항은 그림.2 와 표.1에 묘사되어 있다.



〈그림 2〉 휴머노이드 로봇의 정면도 및 설계도

〈표 1〉 새롭게 설계된 로봇의 세부사항

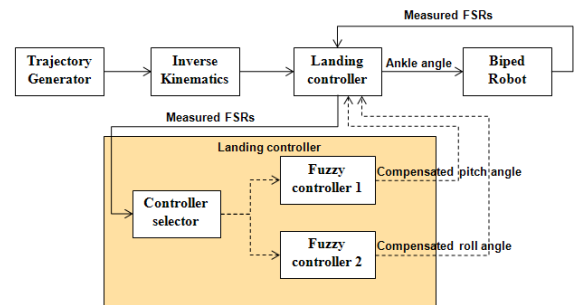
Size	Height : 445 mm
Weight	3 kg
CPU	AT91SAM7S64 AU-001
Actuator (RC Servo motors)	HSR-5995TG (Torque : 30 kg * cm)
Power Source	Battery
Actuator	AA Size Ni-poly (7.4V, 1700 mAh)
Control Board	AAA Size Ni-poly (7.4V, 700 mAh)

비교적 토크가 강한 모터를 사용함으로써, 처짐 현상은 극복 할 수 있었으며, ARM 계열 CPU를 사용하였다.

3. 퍼지시스템을 사용한 실시간 착지 제어

3.1 시스템 요약도

제안된 방법은 크게 2개의 Fuzzy controller와 한 개의 Controller selector 로 구성되어 있다. 이족보행 로봇은 다양한 지면의 환경을 인지하지 못하기 때문에, 불안정한 착지를 야기 시킨다. 또한 이것은 반작용 없는 원활한 보행에 영향을 준다. 착지 제어기는 로봇으로부터 받은 FSRs 값으로, 스윙중인 발의 지면 상태가 Pitch 로 기울어 졌는지 Roll 로 기울어 졌는지 판단한 다음, Fuzzy controller1 과 Fuzzy controller2 를 Pitch, Roll에 따라 작동 시킨다.



〈그림 3〉 시스템 블록 다이어그램

퍼지시스템을 사용함으로써 반작용을 최대한 줄이고 지면에 안정적으로 착지 할 수 있게 발목의 각을 변화시켜 준다.

3.2 퍼지시스템

발을 지면에 안정적인 착지를 가능하게 하는 퍼지 시스템은 다음과 같은 15개의 룰을 갖는다.

[Form of fuzzy set]

Error (threshold - FSRs value) = nb, ns, z, ps, pb

Delta Error = n, ze, p

Delta Angle = vh, high, med, low, vl

[Fuzzy rules]

(1) If (error is nb) AND (del_error is n) then

(del_angle is high) ELSE

(2) If (error is nb) AND (del_error is ze) then

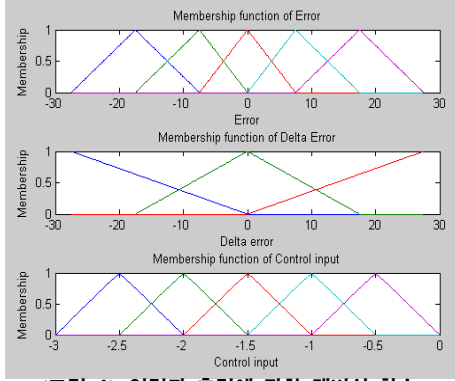
(del_angle is vh) ELSE

(3) ...

(15) If (error is pb) AND (del_error is p) then

(del_angle is vl)

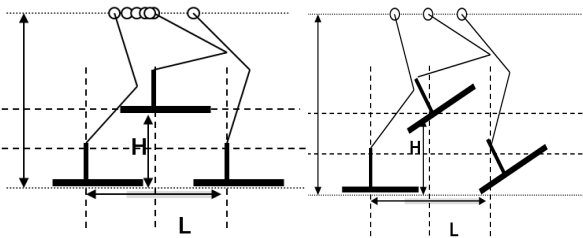
또한 퍼지 추론에는 Mamdani Min-Max Product를 사용하였고, 비퍼지화 방법에는 가장 널리 사용되고 있는 무게중심법을 사용하였다. 그림. 4는 퍼지 멤버쉽 함수를 매트랩에서 출력한 것이다.



<그림 4> 입력과 출력에 관한 멤버쉽 함수

3.3 발목을 이용한 보행 계획

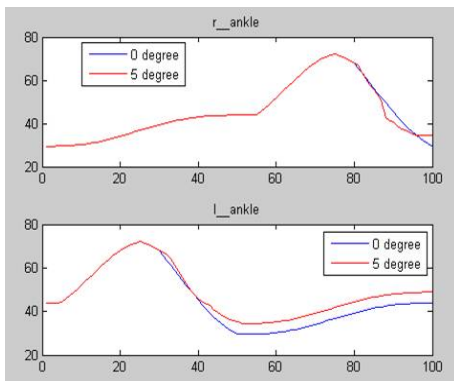
아래의 그림에서 확인할 수 있듯이 전통적인 보행계획은 지면에 평행하게 발바닥을 착지 시키는 방식이다. 이러한 방법은 보행 속도 측면에서는 우수할 수 있으나, 지면의 상태를 알기가 매우 힘들며, 비평탄면에서 반작용에 매우 취약한 단점을 갖고 있다. 그러므로 본 논문에서는 그림 5의 오른쪽에 있는 것과 같은 발목의 보행 계획을 기본 계획으로 한다. 또한 발목을 지면에 내리는 각도를 지면과의 힘에 따라 적절한 퍼지 시스템 출력을 적용하여 반작용도 줄이고 지면의 상태도 알 수 있다.



<그림 5> 전통적인 보행과 제안된 보행의 발목 계획

4. 실험 결과

제안된 방법은 5°의 경사면을 보행 할 때 발의 착지와 그에 따른 허리축의 보정으로 이루어졌다. 원래 오르막, 내리막, 양 옆으로 기울어지는 경우, 동시에 발생하는 경우까지 총 5 가지를 실험해야 하는데, 본 논문에서는 오르막 보행 실험을 하였다.



<그림 6> 평지와 경사면을 보행할 때 발목의 각도

그림 6의 실험값은 경사면에 처음 발을 놓을 때의 발목의 각도이다. 내딛는 발목의 각도가 최고점을 지나고 발바닥의 뒷부분이 지면에 닿는 순간부터 퍼지 제어를 통해 안정된 착지를 하는 것을 알 수 있다. 최종 착지 후에 각도 값을 비교하면 경사면과 거의 비슷한 5°의 차이가 발생 하는 것을 확인 할 수 있다. 아래의 그림.7은 5°의 경사면을 보행하는 로봇의 실제 사진이다.



<그림 7> 실제 5°의 경사면을 보행중인 휴머노이드 로봇

5. 결 론

본 논문에서 미지의 환경에서 실시간 착지 방법을 제안하였다. 발바닥의 FSRs 값을 입력으로 하여 퍼지시스템의 특성을 활용하여, 발목의 Pitch와 Roll을 조정함으로써, 부가적인 센서나 발의 기계적인 변화 없이 비교적 안정적으로 착지 할 수 있었다. 그러나 어느 정도의 반작용은 존재하므로, 반작용을 줄여줄 수 있는 임피던스 제어를 적용하여 사용한다면 더욱 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국 건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 첨단융합기술개발사업[과제번호 : 06 첨단융합 D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

[참 고 문 헌]

[1] Q. Huang and Y. Nakamura, "Sensory Reflex Control for Humanoid Walking", *IEEE Transactions On Robotics*, Vol. 21, No. 5, pp.977-984, 2005
 [2] Y. D. Kim, B. J. Lee, J. K. Yoo, J. H. Kim and J. H. Ryu, "Compensation for the Landing Impact Force of a Humanoid Robot by Time Domain Passivity Approach", *Proceedings of the 2006 International Conference on Robotics and Automation*, pp.1225-1230, Orlando, Florida, 2006
 [3] J. H. Park and Y. K. Rhee, "ZMP Trajectory Generation for Reduced Trunk Motions of Biped Robots", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 90-95, Victoria, BC, Canada, 1998
 [4] M. Morisawa, T. Tsuji, Y. Nishioka, K. Akuzawa, H. Takahashi, K. Ohnishi, "Contact Motion in Unknown Environment", *Industrial Electronics Society, 2003. IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE*, Vol 1, pp. 992-996, 2003