

FSR센서를 이용한 휴머노이드 로봇의 안정점 제어

ZMP Control of a Humanoid Robot Using FSR Sensors

황병훈*, 공정식**, 김진걸***, 허욱열****

Byung-Hun Hwang, Jung-Shik Kong, Jin-Geol Kim, Uk-Youl Huh

Abstract - This paper presents a measurement of ZMP using FSR sensors, and then the ZMP control with measured ZMP on single leg. ZMP is mostly used as standard evaluation of stability of a humanoid robot. The ISHURO has 5 sensors which are mounted at each corner and center of a sole. ZMP is computed using a model of a humanoid robot and information from the joint encoders. And we may able to use measurement data from FSR sensors at the robot feet. IP(Integration Proportional) control algorithm is applied to position control of ZMP that is an error of desired ZMP between measured ZMP.

Key Words : Humanoid robot, ZMP, IP Control, FSR Sensor

1. 서론

최근 지능형 로봇에 대한 관심이 커지고 그 중에서도 인간의 생활환경에 적용할 수 있는 휴머노이드 형태의 로봇에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 구조를 가지므로 인간과의 협동 작업 및 인간이 수행하기 어렵고 위험한 작업을 대신 할 수 있다[1]. 휴머노이드 로봇이 인간의 생활환경에 적응하여 자율적으로 보행하고 동작하기 위해서는 로봇내부에 외부환경을 인식하는 장치와 인식된 정보로부터 동작을 정의하는 연산부와 각각의 모터들을 구동시키기 위한 제어가 있어야 한다.

휴머노이드 로봇은 기구적으로 불안정성을 내포하고 있기 때문에 안정성을 확보하면서 보행하고자 하는 연구가 계속 진행되고 있다. 휴머노이드 로봇이 인간처럼 안정적으로 보행하기 위해 매순간마다 안정도를 판단하여 보행을 해야 하는데 이 안정도 판단을 ZMP(Zero Moment Point)라는 개념을 통해 판단할 수 있다. ZMP를 휴머노이드 로봇의 모델을 동역학적으로 해석하여 얻을 수는 있지만 실제 환경에서 로봇이 안정적인 보행을 하기 위해서는 제약조건이 많기 때문에 안정적인 보행이 어려워 최근에는 ZMP를 센서를 통해 얻어내어 제어하는 방법에 관한 연구가 이루어져 있다[2][3].

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 위해 FSR(Force Sensing Resistor)센서를 사용하여 실제 휴머노이드 로봇의 ZMP를 측정하고 ZMP의 위치 제어를 위해서 IP 제어 알고리즘을 적용하였다.

2. 시스템 구성

2.1 전체 시스템 구성

그림 1은 현재 개발중인 휴머노이드 로봇 ISHURO이다. 전체 22자유도로 각 다리에 6자유도, 각 팔에 3자유도, 몸체에 2자유도, 머리에 2자유도를 가진다. 각각의 자유도는 모터를 구동하고 중앙제어기를 통신할 수 있는 제어기를 가지고 있다.

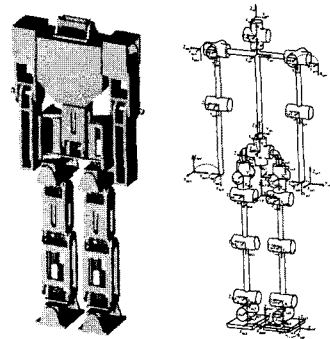


그림 1 ISHURO의 3D 모델과 좌표계
Fig. 1 3D model and coordinate system of ISHURO

휴머노이드 로봇에는 2가지의 통신방식을 사용하는데 로봇의 중앙 제어기와 로봇 외부의 PC 유저인터페이스와의 통신을 위한 무선랜(802.11b)방식과 각각의 지역 제어기와 중앙 제어기와의 통신을 위한 CAN을 사용한다. 그리고 로봇의 발 바닥에는 반발력과 ZMP를 측정하기 위해 각 5개씩 FSR센서가 부착되어 있다. 중앙 제어기는 Intel XScale PXA255가 사

저자 소개

- * 황 병 훈 : 인하대학교 전기공학부 석사과정
- ** 공 정 식 : 인하대학교 자동차공학부 박사과정
- *** 김 진 걸 : 인하대학교 전기공학부 정교수
- **** 허 욱 열 : 인하대학교 전기공학부 정교수

용되고 64Mbyte의 SDRAM이 장착되어 있으며 OS로 Linux가 사용되었다. 지역 제어기는 DSP TMS320F2812가 사용되었다.

2.2 센서 시스템 구성

그림 2는 FSR센서를 이용하여 ZMP를 측정하기 위한 시스템의 구성도이다. 하나의 지역 제어기에 5개의 FSR센서와 센서의 출력을 전압으로 변환 하기위한 드라이버로 구성된다. 하나의 모듈이 연결되어 A/D변환되어 ZMP를 구하게 된다. 사용된 센서는 Interlink사의 FSRTM의 #402모델이다.

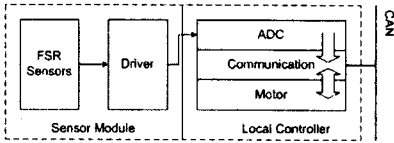


그림 2 센서 시스템
Fig. 2 Sensor system

휴머노이드 로봇의 각 발바닥에는 5개의 FSR센서가 각 모서리 4곳과 중앙에 부착되어 있고 센서의 구조를 고려하여 정확한 측정을 위해 로봇의 발바닥 부분을 집중하중을 잘 받을 수 있는 구조로 설계하였다.

3. ZMP 측정 및 제어

3.1 ZMP의 측정

ZMP를 측정하기 위해 사용되는 FSR의 힘(Force)에 대한 저항(Resistance)변화의 그래프는 그림 3.1과 같이 나타난다.

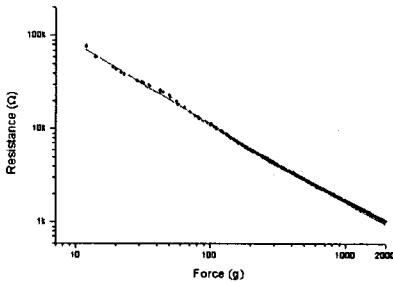


그림 3.1 FSR센서의 힘과 저항간의 관계
Fig. 3.1 Force vs Resistance for FSR Sensor

이 관계를 수식으로 근사화 시키면 식 (1)과 같은 관계를 얻을 수 있고 이 수식으로 각 센서들의 Force를 구할 수 있다[4].

$$R = a + bF^c \quad (1)$$

(a = 107, b = 615K, c = -0.87)

휴머노이드 로봇의 안정도 해석을 위한 동역학적 해석은 D'Alembert 원리에 의한 모멘트 운동 방정식을 정리하면 식

(2)와 같이 균형점 검증 방정식을 유도할 수 있다[5]. 식 (2)를 이용하여 균형점의 XY-좌표 평면상의 위치와 휴머노이드의 지지각으로 이루어진 다각형과의 상관관계로써 안정성을 관측 할 수 있다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)x_i - \sum_{i=0}^n m_i \ddot{x}_i z_i}{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)} \quad (2)$$

$$y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)y_i - \sum_{i=0}^n m_i \ddot{y}_i z_i}{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)}$$

FSR센서를 이용할 경우 센서에 작용하는 힘을 측정 할 수 있기 때문에 그림 3.2처럼 로봇의 한 쪽 발바닥에 부착된 센서의 위치 $\{x_i, y_i\}$ 와 센서에 의해 측정된 값 f_i 를 이용하여 식 (3)으로 ZMP의 위치를 구할 수 있다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^5 f_i x_i}{\sum_{i=0}^5 f_i}, \quad y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^5 f_i y_i}{\sum_{i=0}^5 f_i} \quad (3)$$

ZMP의 안정영역은 그림 3.2과 같이 각 부분의 중앙을 기준으로 설정하였다. 발바닥의 사이즈는 137×84mm이고 측정가능 영역 또는 안정영역은 87×54mm이다. 그리고 그림 3.3는 실제 실험할 휴머노이드 로봇의 한 쪽 다리이다.

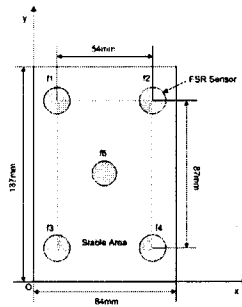


그림 3.2 로봇 발바닥의 센서
Fig. 3.2 Sole of a humanoid robot



그림 3.3 제작된 로봇의 한 쪽 다리
Fig. 3.3 A Single leg of ISHURO

3.2 ZMP 제어

휴머노이드 로봇의 안정성 판단은 ZMP의 위치로 판단하게 된다. 휴머노이드 로봇의 자세에 따른 ZMP의 안정영역을 정의하고 그 영역내에 ZMP가 위치하게 되면 현재 로봇의 자세가 안정하다는 것을 판단할 수 있게 된다. ZMP의 위치는 동역학적 해석에 의해 계산되어 질 수 있는데 이것은 실제 로봇의 보행시 지면의 경사나 외력에 의한 영향등 주변환경에 영향을 모두 고려할 수 없다. 그러므로 계산에 의한 시뮬레이션으로 얻어진 ZMP 위치와 실제 로봇의 센서로부터 얻어진 ZMP위치에 차이가 생길 수 있다. 본 논문에서는 ZMP 제어를 통해 그 사이의 오차를 줄이는 것이다.

ZMP의 제어 실험을 위해 휴머노이드 로봇의 한 쪽 다리만을 이용하였고 IP제어 알고리즘을 적용하여 ZMP의 위치를 제어한다. 그림 3.4는 ZMP제어 시스템의 블록도이다.

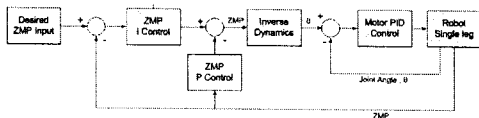


그림 3.4 ZMP제어 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 3.4 Block Diagram of ZMP Control system

ZMP는 IP제어를 통해 제어가 되고 IP 제어기의 출력을 로봇의 발목관절의 각도로 변환하여 모터의 PID 제어기를 통해 관절의 각도를 제어한다.

3.3 실험 결과

그림 3.5는 IP제어를 통해 ZMP를 제어한 결과를 보여준다. 실험의 대상이 되는 실제 휴머노이드 로봇의 한 쪽 다리에 대한 무게중심점과 지면과의 거리는 180mm으로 설정하였고 입력 ZMP는 0인 위치에서 10(mm)을 주었다. 그리고 IP제어기의 이득값은 $K_p=7$, $K_i=1.3$ 으로 설정하였다.

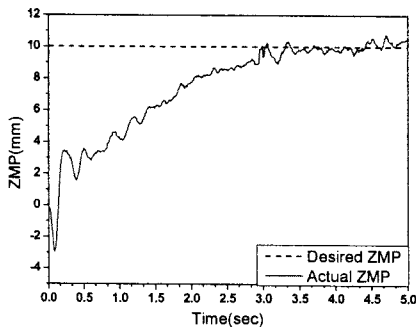


그림 3.5 IP제어를 적용한 ZMP
Fig. 3.5 Result of ZMP control

초기에 모터의 동작으로 인한 내력의 영향으로 기구 구조상 ZMP가 반대방향에 생긴 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

최근 휴머노이드 로봇의 연구가 활성화 되어 로봇의 안정적인 보행방법에 관한 연구가 수행되면서 여러 가지 센서를 이용한 ZMP의 제어에 대한 연구도 수행되고 있다.

본 논문에서는 FSR센서를 이용하여 ZMP를 측정하고 이를 이용하여 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 위한 ZMP를 IP제어 알고리즘을 적용하여 제어하였다. ZMP는 휴머노이드 로봇의 보행에 대한 안정도 판별을 위해 많이 사용되는데 실험에 사용된 ISHURO는 각 발바닥에 5개의 FSR센서를 사용하였고 네 모서리부분과 중앙에 부착하여 ZMP를 측정하였다. 그리고 IP제어 알고리즘을 통해 ZMP가 제어되는 것을 실험적으로 확인하였다. 또 실험 대상이 로봇의 한 쪽 다리이기 때문에 발바닥은 지면에 고정되어 있는 상태가 아니어서 ZMP는 모터의 회전 속도와 가속도에 의한 영향을 받고 로봇의 하중에 따른 센서자체의 드리프트(Drift)영향을 받기 때문에 이들을 고려한 실험이 이루어져야 한다.

향후에 ZMP를 제어하는 알고리즘과 여러 센서들의 조합으로 휴머노이드의 다양한 자세와 상태에 따른 ZMP제어 방법에 관한 연구가 더 수행되어야 한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10364-0) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Kazuo Tanie, "Humanoid Robot and Its Application possibility," IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent system, pp.213-214, 2003
- [2] Kemalettin Erbatur, Akihiro Okazaki, Keisuke Obiya, Taro Takahashi and Atsuo Kawamura, "A Study on the Zero Moment Point Measurement for Biped Walking Robots," International Workshop on Advanced Motion Control, pp. 431-436, 2002
- [3] Genichiro Kinoshita, Tomonori Kimura and Makoto Shimojo, "Dynamic Sensing Experiments of Reaction Force Distributions on the Sole of a Walking Humanoid Robot," IEEE Intl. Conference on Intelligent Robot and Systems, p1413-1418, 2003
- [4] Interink, www.Interlinkelec.com
- [5] Sun-Ho Lim and Jin-Geol Kim "Adaptive Gait Algorithm for IWR Biped Robot," in Proceedings of the IEEE International Conference, 1995 Power Electronics and Drive Systems, vol 1. pp. 438-443