

FSR 센서를 이용한 휴머노이드 로봇의 보행 간 실시간 안정성 구현

조형래*, 노경곤**, 김진걸***

*인하대학 전기공학과 석사과정, **인하대학 자동화공학과 박사과정, ***인하대학 전자전기공학부 교수

Real-time Stability Implementation of a Humanoid Robot Using FSR Sensors

Hyoung-Rae Cho*, Kyung-Gon Noh**, Jin-Geol Kim***

*School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon, South Korea
(Tel : +82-32-860-7384; E-mail: youthih78@nate.com)

**Dept. of Automation Engineering, Inha University, Incheon, South Korea
(Tel : +82-32-860-7384; E-mail: as900515@hotmail.com)

***School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon, South Korea
(Tel : +82-32-860-7384; E-mail: john@inha.ac.kr)

Abstract - 본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 예기치 않은 불규칙한 지면 환경 하에서 안정성을 확보하기 위한 보행 전략을 제시한다. 휴머노이드 로봇의 안정성에 관한 지표로 널리 사용되는 ZMP(Zero Moment Point)나 COG(Center Of Gravity)를 이용한 방법은 많은 양의 연산을 필요로 하고, 주로 외부에서 가해지는 임의의 힘에 대처하는데 초점을 맞추고 있다. 휴머노이드 로봇의 불안정성을 유발하는 또 다른 주요한 원인으로 예기치 못한 지면 환경을 꼽을 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 불규칙한 지형을 보행하는 휴머노이드 로봇의 실시간 안정성을 확보하는데 있어 ZMP나 COG가 아닌 지면으로부터의 반발력을 이용한 직관적인 알고리즘을 제시하며, 자체 개발된 휴머노이드 로봇 ISHURO II를 이용한 시뮬레이션으로 제시된 알고리즘을 검증한다.

센서로부터 측정된 데이터는 10ms 간격으로 AD변환을 거쳐 저항값으로 변환된 후 반력으로 계산된다. 계산된 반력은 이동평균필터(MAF)를 통해 필터링 된다.

1. 서 론

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 적용하여 자율적으로 보행하고 동작하기 위해서는 평지뿐만 아니라 경사면, 계단 등의 지면환경에서도 안정적으로 보행할 수 있어야 하며, 그러기 위해서 로봇내부에 외부환경을 인식하는 장치와 인식된 정보로부터 동작을 정의하는 연산부와 각각의 모터들을 구동시키기 위한 제어기가 있어야 한다.

최근에 이와 같은 휴머노이드 로봇의 실시간 안정성 구현에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 이들 중 많은 연구가 안정성 확보의 수단으로 ZMP나 COG를 이용하는 것에 초점이 맞추어져있고[2]~[5], 그 외에 neuro-fuzzy, GA 등의 제어기법의 이용에 관한 연구[6][7], off-line method를 이용하는 방법[8], 기타[9] 등 다양한 관점에서 접근되고 있다. 이들 연구는 대부분 많은 연산량을 필요로 하고, 외력에 대처하는 방법에 초점을 맞추고 있다.

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 위해 FSR(Force Sensing Resistor)센서를 사용하여 실제 휴머노이드 로봇의 보행간 지면 환경을 인식하고, 직관적인 접근을 통해 다양한 환경에 대한 빠르고, 안정적인 대처에 관한 방안을 연구하였다.

2. 본 론

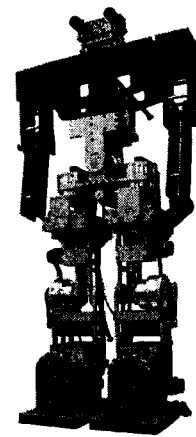
2.1 시스템 구성

2.1.1 전체 시스템 구성

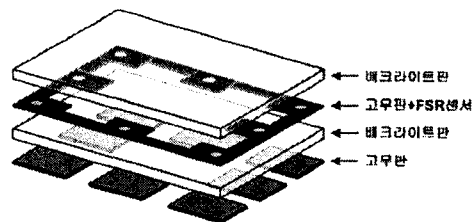
그림 1은 자체 개발한 휴머노이드 로봇 ISHURO II의 실제 모델이다. 높이가 850mm, 무게 35kg이며, 전체 24자유도로 각 다리에 6자유도, 각 팔에 3자유도, 몸체에 2자유도, 머리에 4자유도를 가진다. 동력원으로는 DC모터를 사용하였으며, 하나의 관절에 하나의 지역제어기를 가지고 있으며, 메시지 컨트롤러를 통해 주제어기와 CAN(Control Area Network) 통신으로 상호 연결된다. 발바닥에 총 16개의 FSR센서가 달려있어 지면 반발력을 측정할 수 있으며, 2개의 스테레오비전을 통해 사물을 인식할 수 있다.

2.1.2 센서 시스템 구성

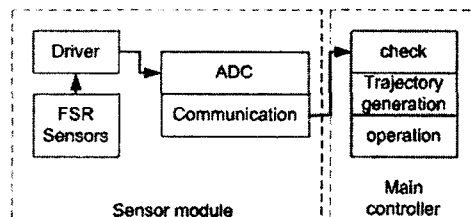
그림 2는 발바닥의 구조를 나타내며, 그림 3은 FSR센서를 이용하여 지면 접촉과 반발력을 측정하기 위한 시스템의 구성도이다. 한쪽 발에 8개의 FSR센서가 모서리를 따라 장착되어 있고, 센서의 출력은 전압으로 변환하여 상위 주제어기로 데이터를 전송하는 드라이버로 구성된다. 사용된 센서는 Interlink사의 FSRTM의 #400모델이다. 발바닥에는 충격을 완화하면서 변형을 최소화 시킬 수 있도록 백크라이트판과 고무판을 2겹씩 적층하고, 위쪽 고무판에 센서를 부착하였다.



<그림 1> ISHURO II



<그림 2> 발바닥 구조



<그림 3> 센서 시스템

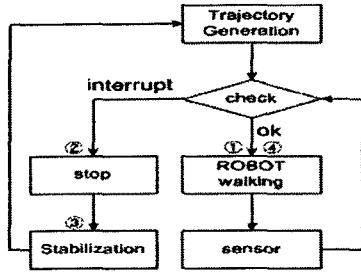
2.2 보행 패턴

본 연구에서는 그림 4의 흐름도에 기반하여 휴머노이드 로봇의 보행을 ①기본보행, ②정지, ③안정화, ④보행재개의 4단계로 구분하며, 이중 안정화 단계를 중점적으로 다룬다.

기본보행 단계에서는 평지를 전제로 미리 구해진 궤적에 따라 보행을 수행하면서 센서 데이터를 확인한다. 이때 일정 범위를 벗어난 센서값이 감지

될 경우 로봇은 정지하게 되며, 정지한 로봇은 지면과 자기 자신의 형상을 확인하면서 안정된 DSP(Double Support Phase: 양발지지상태)를 취한다. 로봇의 안정성이 확보되면, 변화된 지면에 알맞은 새로운 궤적을 생성하고, 보행을 재개한다.

기본 보행은 미리 만들어진 기본 궤적으로 보행하며, 기본 궤적은 양 발 끝단의 궤적을 5차 스플라인으로 생성하였으며, 초기값과 최종값, 경유점의 정보를 이용한다. 기본보행 중 중지요청이 있을 경우 보행을 중지하고, 각 모터의 최종 정보를 다음단계로 전달한다.



〈그림 4〉 보행 흐름도

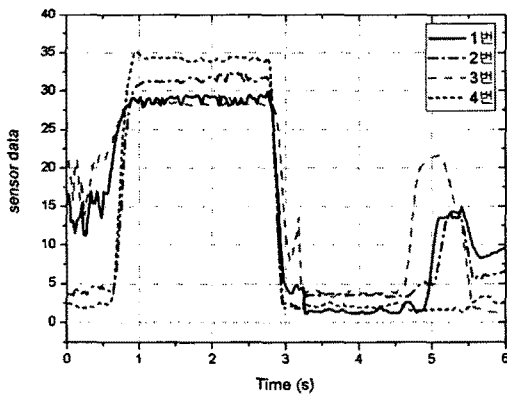
2.2.1 안정화 단계

안정화 단계에서는 정지 단계에서의 센서값을 이용하여 전후좌우의 기울기, 턱, 구멍 등의 지면의 상태를 확인한 후, 경사면일 경우 발바닥 전체가 지면에 닿도록, 턱일 경우 직립상태의 COG의 지면 투영점이 양발의 가운데 지점에 놓이도록 로봇을 구동하고, 구멍일 경우 전진하던 발이 이전 DSP의 위치로 복귀하는 동작을 수행한다. 경사면의 경우 최초 경사면에 접촉한 점을 기준으로 발바닥을 미소 변위만큼 매 단위시간 마다 회전시켜 발바닥 전체가 지면에 닿았을 때 회전을 멈추고 로봇 상체 COG의 지면 투영점이 지지발 참조좌표계의 원점과 일치하도록 로봇을 구동시킨다.

2.3 실험

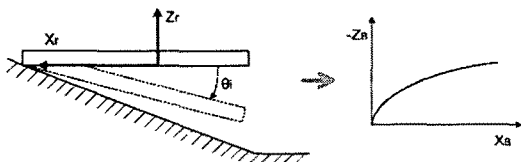
시뮬레이션 및 실험은 자체 개발한 휴머노이드 로봇 ISHURO II의 3D 모델과 실제 로봇을 기반으로 FEM 프로그램과 C++ 환경에서 진행되었으며, 기본 보행(보폭 160mm, 보속 8cm/s)으로 평지 보행 중 5.2초 시점에 +방향(오르막)의 경사면에 대한 긴급정지와 안정성 확보 과정을 수행하였다.

5.2초까지 기본 궤적을 유지하다가, 경사면에 왼발 앞 모서리가 접촉하면, 로봇은 즉시 정지한 후, 기본 궤적을 무시하고 새로운 패턴의 궤적으로 안정화 동작을 실행한다. 그림 5는 왼쪽 발바닥 앞쪽에 부착된 3개의 센서와 중앙 왼쪽에 부착된 센서의 데이터로 DSP구간, 왼발지지구간을 확인할 수 있으며, 경사면에 접촉하는 순간인 5.2초경에 특정 측정치가 큰 폭으로 변하는 것을 볼 수 있다



〈그림 5〉 왼쪽 발바닥 센서

앞쪽센서 1,2,3번의 값이 0~5사이를 크게 벗어나 증가하므로 +방향의 경사면 혹은 'ㄱ' 형태의 턱을 예상 할 수 있으므로, 그림 6의 왼쪽과 같이 상황에 알맞은 동작을 수행 할 수 있다.

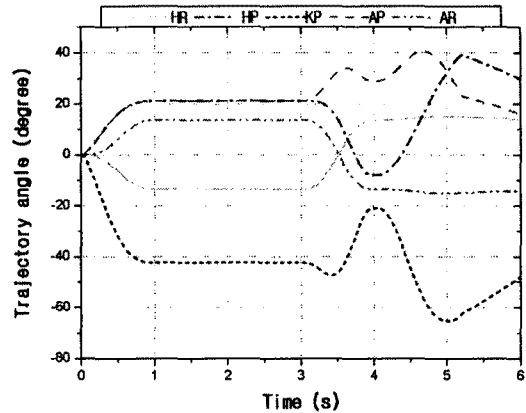


〈그림 6〉 왼쪽 발 끝단의 궤적

식 (1)로부터 그림 6의 오른쪽과 같은 왼쪽 발 끝단의 위치 궤적을 생성할 수 있다. 구해진 위치 궤적을 기반으로 역기구학을 통해 그림 7의 관절 각도값을 구할 수 있으며, 그림에서도 볼 수 있듯이 구해진 궤적들은 경사면과 접촉하는 순간인 5.2초에 HP(힙-피치관절)를 제외한 관절에서 비교적 부드럽게 연속함을 확인할 수 있다. HP의 경우도 실제 속도는 기본 보행시의 속도 최대값의 절반정도에 불과하다.

$$x_i = L\{1 - \cos(\theta_i)\}, \quad y_i = L\sin(\theta_i) \quad (1)$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i$$



〈그림 7〉 왼쪽 다리 관절 각도

3. 결 론

본 논문에서는 평지 이외의 불규칙한 지형을 안정적으로 보행 할 수 있는 휴머노이드 로봇의 보행 전략을 제시하였다. 간단한 FSR센서 데이터만 이용하여 경사면, 턱, 구멍 등의 평지가 아닌 굴곡이 있는 지면에서 휴머노이드 로봇이 안정되게 보행할 수 있는 알고리즘을 제시하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션과 자체 제작한 휴머노이드 로봇을 이용한 실험을 통해 검증하였다.

향후에 보다 광범위한 환경에 대응 할 수 있도록 알고리즘의 확장이 수행될 것이며, 상체의 움직임을 안정화 과정에 포함시키는 로봇 전체의 안정성 확보에 관한 연구가 수행 될 것이다.

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] Yu Okumura, "Realtime ZMP compensation for biped walking robot using adaptive inertia force control", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 335-339, 2003
- [3] T.Sugihara, "Whole-body cooperative balancing of humanoid robot using COG jacobian", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2575-2580, 2002
- [4] Tomomichi Sugihara, "Real-time humanoid motion generation through ZMP manipulation based on inverted pendulum control", International Conference on Robotics and Automation, pp. 1404-1409, 2002
- [5] D. Djoudi, "Stability analysis of a walk of a biped with control of the ZMP", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2461-2467, 2005
- [6] Toshio FUKUDA, "Stabilization control of biped locomotion robot based learning with GAs having self-adaptive mutation and recurrent neural networks", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 217-222, 1997
- [7] D. Kim, "Zero-moment point trajectory modelling of a biped walking robot using an adaptive neuro-fuzzy system", IEE Proc. Control Theory Appl., No. 4, pp. 411-426, 2005
- [8] Zhaoqin PENG, "Humanoid On-line Pattern Generation Based on Parameters of Off-line Typical Walk Patterns", International Conference on Robotics and Automation, pp. 3758-3763, 2005
- [9] Yasuhiro Fukuoka, "Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Irregular Terrain Based on Biological Concepts", International Journal of Robotics Research, No. 3-4, pp. 187-202, 2003