

센서를 이용한 소형 이족 보행 로봇의 개발에 관한 연구

정창윤*, 이종수
홍익대학교 전기정보제어공학과

A Study On The Development Of A Miniature Biped Robot Using Sensor

Chang-Youn Jung*, Jong-Soo Lee
School of Electrical Engineering, Hong Ik University

Abstract - The purpose of this paper is to introduce a case study of developing a miniature biped robot. The biped robot has a total of twenty-one degrees of freedom(DOF) : There are two legs which have six DOF each, two arms which have three DOF each and a waist which has three DOF. RC servo-motors were used as actuators.

We have developed motor controller, sensor controller, and ISA-interface card. Motor controller, PWM generator, can control eight motors. Sensor controller is connected to eight FSR(Force Sensing Resistors). For high level controller communicate with low level controller, ISA-interface card has developed.

For the stable walking, CMAC(Cerebellar Model Articulation Controller) neural network algorithm is applied to our system. CMAC is robust at noise.

1. 서 론

인간은 복잡한 환경 속에서 살아가고 있다. 인간의 환경에 대한 적응력은 달라지며, 때로는 생활에 적합하게 환경을 변화시키기도 한다. 인간을 보조하기 위해 태어난 로봇이 인간의 생활 환경에 적용해야 하는 것은 당연한 일일 것이다.

그렇다면, '인간의 생활환경에 대해 적용할 수 있는 로봇이 꼭 인간을 닮아야 하는가?'라고 반문할 수 있을 것이다. 물론 그렇지 않다. 하지만, 인간은 새로운 것에 대해 쉽게 거부감을 가진다. 그러한 인간에게 가장 친근하게 다가갈 수 있는 것이 바로 '인간을 닮은 로봇' 일 것이다.

이족 보행 로봇에 대한 연구는 그러한 맥락에서 활발히 진행되어지고 있다. 실제 인간은 두 다리로 걸게 되면서, 더욱 다양한 행동을 할 수 있게 되었고, 그에 따라 환경에 대한 적응력 역시 높아졌다. 이러한 인간의 큰 특징 가운데 한 가지인 직립 보행을 실현하는 것은, 인간을 닮은 로봇을 만들고자 하는 목적을 위해 해결해야 할 선 수 과제일 것이다.

현재 로봇은 단순하거나 위험한 작업을 하는 산업 로봇, 점점 고령화 사회로 나아가면서 인간의 옆에서 보조해 줄 수 있는 의료복지 로봇, 최근에 그 상업성을 인정받아 활발히 개발되어지고 있는 오락 로봇 등이 있다. 이족 보행 로봇은 로봇 산업의 전면에 걸쳐 새로운 이점성을 창출하며, 기반 기술로서 자리잡게 될 것이다. 특히 인간과 동일한 생활 공간 속에서 활동하게 되는 의료복지 로봇이나 오락 로봇의 경우 이족 보행 로봇의 활약은 클 것이다.

본 논문에서는 이러한 이족 보행 로봇의 기반 기술을 획득하는데 그 의의가 있다. 따라서, 기존의 이족 보행 로봇에 관한 연구를 고찰하고, 소형의 이족 보행 로봇을 개발하는 데 그 목적이 있다.

아래는 개발하고자하는 소형 이족 보행 로봇에 대해 간단히 요약한 것이다.

- 로봇은 두 개의 다리를 가진다.
- 허리를 가짐으로써 유연한 걸음새 생성이 가능하게 한다.
- 빠른 제어를 위해 계층적 제어기 시스템을 가진다.
- 힘 센서와 CMAC 신경회로망을 이용하여 정확한 시스템 동역학을 알지 못하여도 균형 제어가 가능하게 한다.

2. 하드웨어 시스템

2.1 전체 시스템

소형 이족 보행 로봇의 전체 시스템은 크게 로봇의 몸체에 탑재되는 하위 하드웨어 시스템, 그리고 사용자로부터 명령을 입력받아 보행을 계획하는 상위 하드웨어 시스템으로 나눌 수 있다. (그림 1.) 하위 하드웨어 시스템은 다시 몸체, 각 관절의 모터, 그리고 이를 제어하는 모터 제어기와 FSR 센서를 제어하는 센서 제어기로 나눈다. 상위 하드웨어 시스템은 크게 보행을 계획하는 PentiumIII 750MHz PC와 하위 하드웨어 시스템과의 통신을 위한 인터페이스부로 나눌 수 있다. 하위 하드웨어 시스템과 상위 하드웨어 시스템간에는 20bit의 Data/Control Bus로 연결되어 있다.

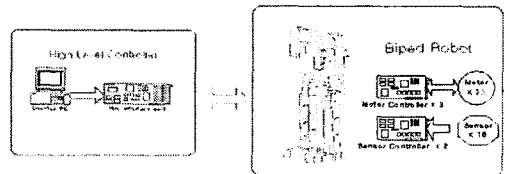


그림 1 하드웨어 시스템
Fig. 1 Hardware system

2.2 이족 보행 로봇의 몸체

이족 보행 로봇의 몸체는 모터에 걸리는 부하를 최대한 줄이기 위해, 가볍고 튼튼한 알루미늄 합금으로 만들어졌다. 정확하고 부드러운 움직임을 위해 각 관절의 축은 베어링으로 고정하였다.

보행을 위해 필요한 최소의 자유도(DOF : Degree of Freedom)는 골반의 1DOF, 발목의 1DOF로 2DOF이며, 인간과 같은 보행을 하는데 필요한 다리의 자유도는 골반 3DOF, 무릎 1DOF, 발목 3DOF, 발바닥 1DOF로써 8DOF이다. 현재 개발중인 소형 이족 보행 로봇은 앞으로의 연구를 위하여, 골반부의 3DOF, 무릎의 1DOF, 발목의 2DOF, 총 6DOF의 다리를 가졌다. 이는 직진 보행과 회전 보행을 가능하게 한다. 보행 시의 균형 제어를 위해 3DOF의 허리를 가지며, 보행 이외의 다른 작업을 가능하게 하는 3DOF의 팔을 가진다. 따라서, 6DOF의 두 다리(12DOF)와, 3DOF의 양팔(6DOF), 그리고 3DOF의 허리를 가짐으로써, 총 21DOF로 구성된다. (그림 2.)는 로봇과 다리 관절의

구성을 좌표계로 보여주고 있다. 이족 보행 로봇의 전체 높이는 445 mm, 무게는 3090g 이다.

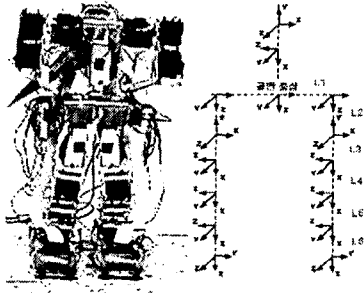


그림 2 이족 보행 로봇과 다리의 좌표계
Fig. 2 Biped robot
& a coordinate system of legs

2.3 모터

우리는 소형 이족 보행 로봇의 Actuator로서 Hitec사의 RC 서보 모터를 사용하였다. 서보 모터는 그 부피가 작고(39.4x20x37.8mm), 가벼우며(56g), 제어하기가 쉽다. 또한 높은 토크(8.2,15.2kg.cm)를 낼 수 있다. 모터는 입력되는 PWM 신호에 의해, 내장된 제어기로 50Hz마다 위치 제어가 된다. 예를 들어 펄스의 폭이 1.5mS이면 중심을 향하고, 2.3mS일 경우 +90도에 위치하게 된다. 펄스폭이 0.7mS 이하이면, 모터는 현재의 각도를 유지하며, 2.3mS 이상일 경우 잘못 동작 할 수 있다.

2.4 센서

사용되는 센서로는 각 관절의 회전각도를 알 수 있는 Potentiometer, 발바닥에 작용하는 힘의 크기를 알 수 있는 FSR(Force Sensing Resistors)를 사용하였다. Potentiometer는 RC 서보 모터 자체의 위치제어를 위해 내장된 것을 사용한다. 아날로그 신호만을 획득하여 하위 제어기 중 모터 제어기로 입력하게 된다. FSR센서는 0~5kg의 힘을 측정할 수 있으며, 한쪽 발바닥에 8개씩, 총 16개의 FSR센서 출력을 센서 제어기로 입력한다. (그림 3.)은 발바닥에 배치된 FSR을 보여주고 있다.

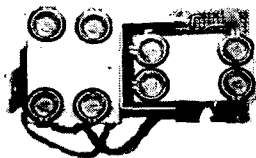


그림 3 FSR 센서
Fig. 3 FSR Sensor

2.5 모터 제어기

하위 제어기에 속하는 모터 제어기는 각각 8개의 모터를 동시에 제어할 수 있으며, Potentiometer로부터 각 관절의 각도값을 상위 제어기로 보내게 된다. 모터 제어를 위한 PWM 신호는 안정적인 모터의 동작을 위하여 100Hz 주기로 보낸다. 펄스폭은 0.7mS에서 2.3mS를 넘지 않으며, 8Bit의 분해능을 가진다. 모터 제어기는 DPRAM으로부터 8Bit Data를 읽어 각 관절을 움직이는 모터의 PWM 신호를 발생하고, 다음

각도를 입력받기 전의 8mS동안 Potentiometer로부터 각 관절의 각도(10Bit)를 DPRAM에 기록하게 된다.

2.6 센서 제어기

하위 제어기의 하나인, 센서 제어기는 각 발바닥마다 하나씩 배치하게 되며, 8개의 FSR로부터 바닥에 작용하는 힘을 상위 제어기로 보낸다. PIC16F877의 Sampling Time은 상온에서 최대 약 20us이지만, 각 채널마다 약 50uS, 총 400uS마다 FSR로부터 발바닥에 작용하는 힘을 측정하여, 10Bit Data로 DPRAM에 기록한다.

2.7 상위 제어기

상위 제어기는 크게 사용자와의 인터페이스 부분과 보행 계획을 하는 PC부분, 그리고 하위 제어기와의 인터페이스 부분으로 나눌 수 있다. 사용자와의 인터페이스는 모니터와 키보드를 통해 이루어지며, 하위 제어기와의 인터페이스는 PPI 8255를 사용하여, ISA-card를 제작하였다. 현재 상위 제어기로 PC가 사용되어지고 있지만, 향후 단일 보드로 이족 보행 로봇의 몸체에 부착하는 것을 계획하고 있어, 상위 제어기와 하위 제어기간의 연결은 병렬로 연결되어있다. 이 때문에 보행시, 연결선이 로봇에 작용하는 힘이 커지게 되는 단점이 있다.

3. 보행 계획

보행알고리즘은 다음과 같이 걸음걸이 발생기, CMAC 균형 제어기, 역기구학 계산기, 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. (그림 4.)

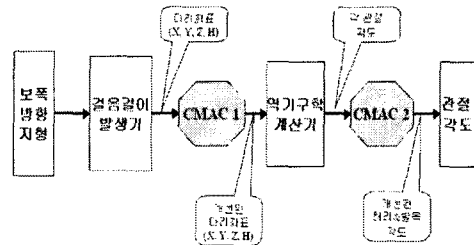


그림 4 보행 알고리즘
Fig. 4 Walking algorithm

3.1 걸음걸이 발생기

걸음걸이 발생기는 보폭, 지형, 방향을 사용자로부터 입력받게 된다. 그에 따라 Standing, Starting, Walking, Stopping, LiftFoot, 5가지의 상태로 분류하게 된다. 각 상태에 따라 시간에 따른 다리의 좌표값(X, Y, Z, H)을 출력하게 된다. 원점 좌표계는 끝난 중심을 기준으로 한다. (그림 2.의 다리 좌표계 참고)

3.2 CMAC 균형 제어기

CMAC는 영국의 David Morr와 미국의 J.S.Albus에 의해 각각 개발되었다. CMAC는 감독학습을 하며, 에러함수는 다음과 같다.

$$X\text{축 오차} = \frac{\sum \text{오른발힘} - \sum \text{왼발힘}}{\sum \text{오른발힘} + \sum \text{왼발힘}} \cdot K1$$

$$Y\text{축 오차} = \frac{\sum \text{앞발바닥힘} - \sum \text{뒤발바닥힘}}{\sum \text{앞발바닥힘} + \sum \text{뒤발바닥힘}} \cdot K2$$

허리 관절:

$$\text{허리 X축 오차} = \frac{\sum \text{오른발힘} - \sum \text{왼발힘}}{\sum \text{오른발힘} + \sum \text{왼발힘}} \cdot K3$$

$$\text{허리 Y축 오차} = \frac{\sum \text{앞발바닥힘} - \sum \text{뒷발바닥힘}}{\sum \text{앞발바닥힘} + \sum \text{뒷발바닥힘}} \cdot K4$$

발목관절:

$$\text{오른발목 X축 오차} = \frac{\sum \text{오른발바닥힘} - \sum \text{왼발바닥힘}}{\sum \text{오른발바닥힘} + \sum \text{왼발바닥힘}} \cdot K5$$

$$\text{오른발목 Y축 오차} = \frac{\sum \text{앞발바닥힘} - \sum \text{뒷발바닥힘}}{\sum \text{앞발바닥힘} + \sum \text{뒷발바닥힘}} \cdot K6$$

$$\text{왼발목 X축 오차} = \frac{\sum \text{오른발바닥힘} - \sum \text{왼발바닥힘}}{\sum \text{오른발바닥힘} + \sum \text{왼발바닥힘}} \cdot K7$$

$$\text{왼발목 Y축 오차} = \frac{\sum \text{앞발바닥힘} - \sum \text{뒷발바닥힘}}{\sum \text{앞발바닥힘} + \sum \text{뒷발바닥힘}} \cdot K8$$

각 오차 함수의 gain값 K는 분자의 오차가 클수록 높은 값을 가지게 된다.

3.3 역기구학 계산기

역기구학 계산기는 다리의 위치가 기준좌표에서 보았을 때(그림 2. 참고), Y<0, Y=0, Y>0의 세 경우로 나누어 간단한 삼각함수로 각 다리관절의 각도를 계산한다.

항상 끝반부는 지면에 대해 평행하도록 계획하고, 발바닥 역시 스윙상태에서는 지면과 평행하도록 한다.

4. 실험 및 결과

이 실험은 직립 상태의 로봇에 임의의 외력을 가하였을 때에도, 균형 제어가 가능한지를 알아본다.

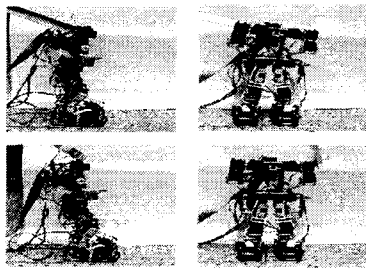


그림 5 이족 보행 로봇

Fig 5 Biped Robot

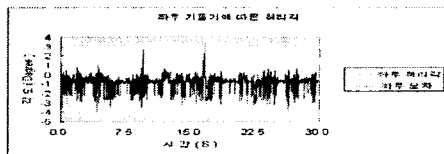


그림 6 x축 허리 각도

Fig 6 x axis Waist degrees

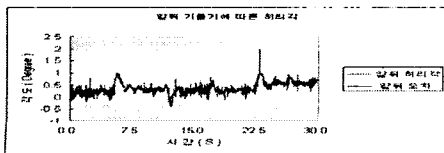


그림 7 y축 허리 각도

Fig 7 y axis Waist degrees

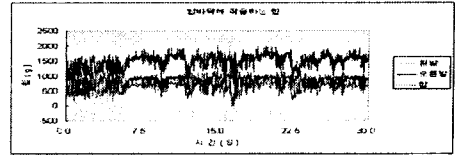


그림 8 발바닥에 작용하는 힘

Fig 8 The force to the sole

x축과 y축, 각각의 + - 방향으로 외력을 가하게 한다. 외력을 가하는 방향의 순서는 앞에서 뒤로, 뒤에서 앞으로, 오른쪽에서 왼쪽으로, 왼쪽에서 오른쪽으로이다. 위의 앞뒤 허리 각도 변화 그래프를 보면, 5.8초와 12초에 허리의 앞뒤각이 변화하는 것을 알 수 있다. 좌우 허리각은 17초와 22.8초에 많은 변화를 보이고 있다. 양발바닥에 작용하는 힘의 분포를 보면, 외력이 가해진 시점이 5.8초, 12초, 17초, 22.8초 대임을 쉽게 확인할 수 있다. 하지만, 그 이후 수렴하지 못하고 약간의 진동을 보이는 것 또한 볼 수 있다. 이는 x축 발목 각도의 진동에 많은 영향을 받을 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 이족 보행 로봇의 기반 기술을 획득하는데 그 목적을 두었다.

그 결과, 유연한 걸음새 계획이 가능한 몸통을 가지는 소형의 이족 보행 로봇을 개발하였다. 빠른 보행 계획을 위하여, 상위 제어기와 하위 제어기로 나누어지는, 계층적 제어 시스템을 구현하였다. 센서 정보를 바탕으로, CMAC 신경회로망을 이용하여, 균형 제어를 계획하였다. 현재 직립 상태에서의 균형은 잘 이루어지고 있다. 하지만, 아직까지 안정적인 보행은 실현하지 못하고 있다. 이는 전원선과 데이터 버스선에 의한 외력이 너무 크기 때문이라 여겨진다.

향후 상위 제어기와 전원을 로봇의 몸체에 탑재함으로써, 안정적인 보행을 실현할 수 있다는 가능성을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. 더 나아가 실시간 제어가 가능한 RTOS를 상위 제어기에 탑재한다면, 더욱 안정적인 보행 계획을 꾀할 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Jin'ichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inoue, Atsuo Takanishi, "Development of a bipedal humanoid robot control method of whole body cooperative", Proc. of 1999 ICRA, pp368~374, 1999
- [2] Kazuo Hirai, "Current and Future Perspective of Honda Humanoid Robot", Proc. IROS 97, pp500~508, 1997
- [3] 성 영휘, 이 수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템의 개발", Proc. of KACC 2000, 2000
- [4] Jianjuen Hu, Jerry Pratt, Gill Pratt, "Stable Adaptive Control of a Bipedal Walking Robot with CMAC Neural Networks", Proc. of the 1999 IEEE, pp1050-1056, 1999
- [5] Fred R. Sias, JR, Yuan F. Zheng, "How many degrees-of-freedom does a biped need?", Proc. IROS 90, pp297~302, 1990