

가속도 센서를 이용한 이족 로봇의 자세보정

이성의, 서재관, 오성남, 김갑일  
 명지대학교 전기공학과

A posture correction of the biped robot using the accelerometer

Sung ui Lee, Jae kwan Seo, Sung nam Oh, Kab il Kim

Dept. of Electrical Eng., Myongji Univ., Nam-dong, Yongin, kyunggi 449-728, Korea

Abstract

이족 로봇(A biped robot)의 안정된 보행과 움직임을 구현하기 위해서는 정밀 센서의 접목이 필수 사항이다. 센서의 정보를 종합한 다음 보행 및 움직임에 적용함으로써 로봇은 향상된 독립성과 자율성을 가지게 되고 그로 인해 지능형 로봇에 한층 더 접근할 수 있게된다. 본 논문에서는 이족로봇의 안정된 보행을 위해 기본이 되는 자세 기울어짐을 측정할 수 있는 가속도 센서를 이용한 이족로봇의 제어 방법을 다루고자 한다. 본 논문의 로봇은 소형 R/C servo motor를 사용하여 설계, 제작하였으며, 하드웨어 시스템은 메인 CPU로 인텔사의 80C296SA50을 사용, 가속도 측정센서로는 Analog Device 사의 Accelerometer ADXL210를 사용하였다. 이와 같이 가속도 센서를 사용한 시스템은 로봇의 자세를 측정, 판단을 가능케 하여 실시간으로 로봇의 자세를 안정되게 보정 할 수 있어 외부의 변화되는 힘에 자율적으로 대처할 수 있다. 이 때문에 더욱 안정된 지능형 이족로봇을 구현할 수 있다.

Keywords : A biped robot, Accelerometer, R/C servo motor.

1. 서 론

70년대 이후 로보틱스 분야에서 이족 보행 로봇의 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 그 이유로는 현재의 작업환경은 인간이 작업하기에 편리하게 구성되어 있기 때문에 인간과 유사한 이동성을 갖는 이족 로봇은 특별한 작업 환경의 변화 없이도 인간을 대체할 수 있기 때문이다. 이족 로봇 연구는 대체로 이론 및 시뮬레이션에 관한 연구와 실제 제작 및 성능향상에 관한 연구 등의 두 분야로 이루어지고 있다.

로봇의 실제 제작에 관한 연구는 최초로 KATO의 이족 로봇인 WL-5를 제작하여 보행을 구현하였으며 최근에는 외부에서 들어오는 힘을 감지하여 적절한 걸음걸이를 선택하여 보행을 하는 WABIAN으로 발전시켰다.[3][5] 또한 Zheng은 SD-2라는 로봇으로 둔부에 4개의 관절 발목 부분에 4개의 관절을 사용하여 평지 보행, 계단 보행, 경사지 보행을 구현하였으며,[1][2][4] 최근 혼다에서는 ASIMO를 개발하여 인간과 거의 흡사한 걸음을 구현하였다.

본 연구실에서는 1999년 MBR-S1 (Myongji Biped Robot - Static Walking)을 이용하여 저전력 이족 로봇의 보행을 구현하였으며, 2000년 MBR-S1의 향상된 모델인 MBR-S2를 이용하여 계단보행을 구현하였고, 위와 다른 구조를 가진 MBR-F통해 빠른 걸음에 대한 문제점을 해결하였다.[6][7][8] 그러나 MBR-F는 동적 보행에 있어서는 균형추가 빠른 움직임을 보였을 때 과부하의 문제점일 발생하여 이 부하에 대한 감쇠 구조가 필요하다. 또한 다리가 빠르게 스윙할 때 거기서 생기는 모멘트 보상이 현재의 균형추만으론 완전한 보상이 이루어지지 않으며 균형추의 위쪽에 새로운 자유도를 부여하여 모멘트 보상에 대한 추가 설계가

필요하다.

이러한 이유로 FPGA를 사용하여 보다 신뢰성 있는 하드웨어 시스템을 구축하고 MBR-F의 문제점을 해결하기 위하여, 새로운 이족 로봇 모델인 MBR-3를 설계하였다. MBR-3는 허리에 6개의 자유도를 주어 균형추 없이 전체의 균형을 보상해 줄 수 있게 설계하였으며 무릎에 2개, 양 발목에 4개의 총 12개의 자유도를 주어 MBR-S2와 MBR-F의 구조적인 문제점을 해결하여 보다 인간적인 보행을 구현할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서는 MBR-3에 가속도 센서를 추가하여 경사지 보행에서의 자세 보정에 관하여 논하였다.

2. 본 론

2.1 전체 시스템 구성

전체 시스템 구성은 PC, 80C296SA, POWER, 가속도 센서, RC SERVO MOTOR로 구성되었다. 전체 시스템 구조는 그림 1과 같다.

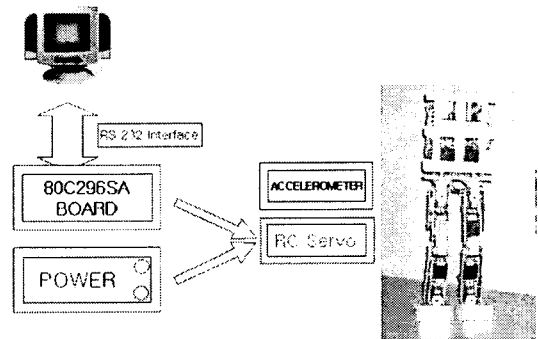


그림 1 전체 시스템 구조  
 Fig 1 Structure of the overall system

2.2 기계적 구조

2.2.1. 전체 링크의 구조

MBR-3(그림 2)는 8개의 관절과 9개의 링크로 구성되어 있으며 로봇의 높이는 38.25cm이고 총 무게는 kg이다. 전체적인 구조를 보면 허리와 무릎, 발목으로 구분할 수 있다. 허리에 6개, 무릎에 2개, 발목에 4개의 자유도를 가지고 있어 보다 인간에 가까운 보행을 할 수 있도록 설계하였다. 허리의 6개의 자유도는 전후, 좌우와 회전을 할 수 있도록 하였으며 이러한 구조는 균형추를 사용하지 않고 보행 중 전체의 균형을 보상해줄 수 있다.

허리의 전후, 좌우 2개의 자유도는 타임 벨트를 이용하여 하나의 관절에서 동작하며 발목 역시 타임벨트를 이

용하여 2개의 자유도가 하나의 관절에서 동작하도록 하였다. 각각의 링크는 최소한의 무게를 만들기 위하여 위하여 FRP를 사용하였다.

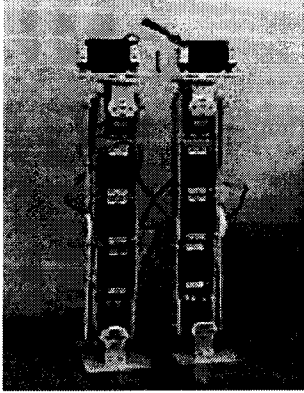


그림 2 MBR-3  
Fig 2 MBR-3

### 2.2.2. 관절의 구조

로봇의 설계할 때 가장 중요한 부분이 관절 부분이다. 그림 4는 MBR-3의 허리와 발목 관절을 나타낸다. 허리는 회전, 전후, 좌우의 동작이 모두 하나의 관절을 이루고 있다. 좌우로 움직이는 상단의 모터는 링크들이 서로 직접 연결되어 있으며 전후로 움직이는 하단의 모터는 모터축이 타이밍 풀리와 연결되어 있어 타이밍 벨트를 사용하여 동력을 전달함으로써 실제로는 상단의 모터와 동일한 지점에서 동작하게된다. 발목 관절은 허리와 반대 구조를 가지고 있다. 상단과 하단의 모터는 모두 하단의 축에서 동작한다. 이런 관절의 구조는 관절의 동작 위치를 일치시킴으로서 인간에 가까운 보행을 구현할 수 있으며 MBR-S2와 MBR-F에서 수행할 수 없었던 회전에 관한 보행까지 수행할 수 있다. 또한 구조 해석적 측면에서 최대한 해석의 간결화를 실현할 수 있으며 균형추를 사용하지 않고 보다 안정적인 걸음을 구현할 수 있도록 하였다.

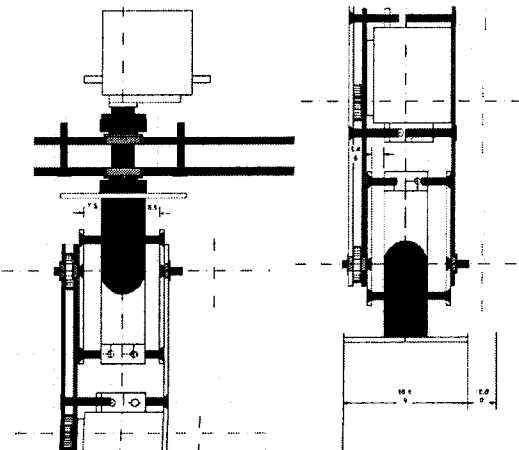


그림 3 관절의 구조  
Fig. 3 Joint structure of MBR-3

## 2.3 이족 보행 로봇의 제어

### 2.3.1 RC SERVO MOTOR의 동작원리

RC서보의 동작 범위 +90도 -90도로 180도의 동작 범위를 가진다. 제어 신호는 주기적인 0.7-2.3msec 펄스로 공급해야 하며 펄스를 인가하면 공급되는 펄스 폭에 따라서 서보가 정해진 각도로 움직여 정지된다. 그림 5는 RC서보에 사용되는 펄스를 나타낸다

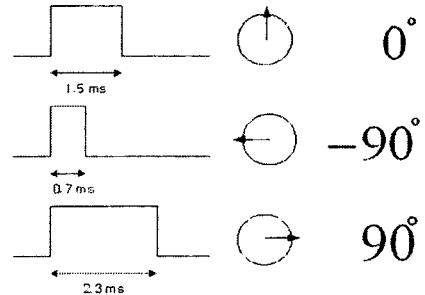


그림 4 RC-Servo에 사용되는 PWM  
Fig 4. Used PWM to RC-Servo

### 2.3.2 가속도 센서의 원리

#### 2.3.2.1 가속도 센서의 구조

우리가 사용한 가속도 센서인 ADXL210은 저가이며 저전력이다. 그리고 2축의 가속도계로  $\pm 2g/\pm 10g$  사이의 값을 측정한다. 또한 ADXL210은 동적, 정적인 가속도 운동을 측정할 수 있다. 출력은 디지털 신호로써 이것의 duty cycle은 2개의 sensitive axis의 위치를 나타내어 주고 이 출력들은 마이크로프로세서의 카운터에서 직접 얻을 수 있다.

출력의 간격은 Rset(signal resistor)를 통해 0.5ms에서 10ms 사이에서 조정할 수 있다.

그리고 ADXL210의 주파수 대역폭은 Cx와 Cy의 캐패시터들을 경유하여 0.01Hz에서 5kHz 사이로 설정된다.

아래의 그림 5는 ADXL210의 내부구조에 대해 보여준다.

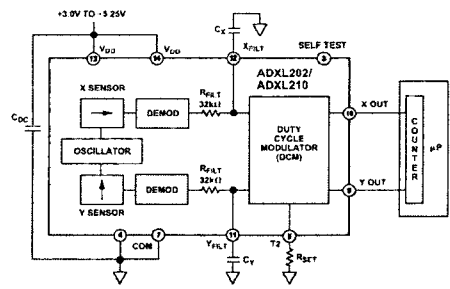


그림 5 가속도센서의 내부구조  
Fig. 5 Internal structure of the accelerometer

#### 2.3.2.2 가속도 센서의 동작 원리

ADXL210의 출력은 DCM(Duty Cycle Modulation)이다. 가속은 그림 6에서의 주기 T1/T2의 비율로 구해진다. 그러므로 Duty Cycle이 50%일 때 출력은 0g으로써

기준치가 되고 Duty Cycle이 4%씩 변화할 때 마다 g이 변화하게 된다.

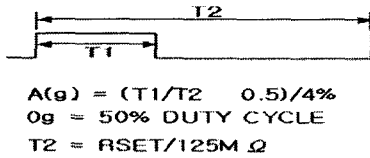


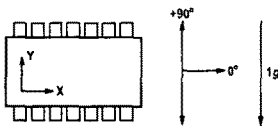
그림 6 가속도 센서의 주기

Fig 6 DCM(Duty Cycle Modulation)

ADXL210이 가장 널리 사용되어지는 이유중의 하나가 경사의 측정이다. 이것은 공간상에서 물체의 방향을 결정하기 위하여 입력 벡터로써 중력을 사용한다. 이 가속 센서는 감지축이 중력과 수직일 때 대부분의 경사의 정도를 감지할 수 있다. 가속센서의 감지축이 중력의 방향과 같을 때 +1g또는 -1g의 근접한 값을 읽는다.

그리고 가속도 센서의 감지축이 중력과 수직일 때 축에 대한 출력이 0일 때 경사의 각도는 17.5mg의 근처에 머물 것이다. 그러나 가속도 센서의 감지축이 중력과 45도의 각도를 이루면 12.mg으로 변한다.

그림 6은 장치가 X축과 Y축의 변화에 따른 출력과 경사각도의 테이블이다.



X AXIS ORIENTATION TO HORIZON (°)	X OUTPUT		Y OUTPUT (g)	
	X OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)	Y OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)
-90	-1.000	-0.2	0.000	17.5
-75	-0.966	4.4	0.259	16.9
-60	-0.866	8.6	0.500	15.2
-45	-0.707	12.2	0.707	12.4
-30	-0.500	15.0	0.866	8.9
-15	-0.259	16.8	0.966	4.7
0	0.000	17.5	1.000	0.2
15	0.259	16.9	0.966	-4.4
30	0.500	15.2	0.866	-8.6
45	0.707	12.4	0.707	-12.2
60	0.866	8.9	0.500	-15.0
75	0.966	4.7	0.259	-16.8
90	1.000	0.2	0.000	-17.5

그림 7 X축,Y축에 따른 경사각도

Fig 7 Table of the tilt degrees following the changing in the X and Y axis.

### 2.3.3 제어방식

그림 4는 계층적인 제어기의 구성을 나타낸다. 계층적인 제어기 구조에서 최상위 PC는 안정도를 고려한 걸음걸이 데이터를 계산하여 RS-232통신을 사용하여 제어기로 다운로드 한다.

이 값을 기준 값으로 제어기는 각각의 관절에 대한 기준을 병렬 연산하고 각각의 모터로 제어 신호를 보내는 계층구조를 가지고 있다.

### 2.4. 이족 보행 방식

이족 보행 로봇의 걸음걸이는 정적인 걸음걸이와 동적

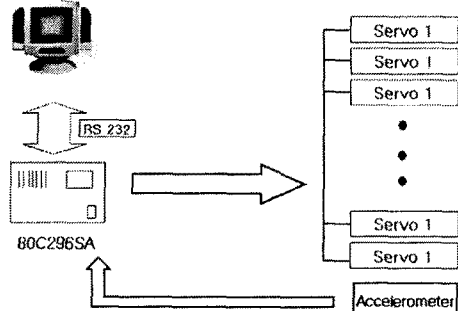


그림 8. 이족보행로봇 제어시스템의 계층적 구조

Fig8 Hierarchical Structure of Biped Control S

인 걸음걸이로 나눌 수 있다. 정적인 걸음걸이는 로봇이 보행할 때 로봇 전체의 무게중심이 안정영역 내에 항상 존재하는 보행방식이다. 즉, 보행중 동작을 정지할 경우에도 로봇이 넘어지지 않고 안정하게 자세를 유지해야 한다. 이렇게 되기 위해서는 로봇의 무게 중심의 수직 투영점(VPCG: Vertically projected Point of the Center of Gravity)이 로봇의 지지영역 내에 존재해야 한다. 반면, 동적인 걸음걸이는 보행중에 무게중심의 지지영역 이탈을 허용하는 걸음걸이이다. 무게중심이 지지영역을 이탈할 경우 쓰러짐을 방지하기 위해서는 보행 자세가 빨라져야한다. 이 경우 로봇의 무게중심이 아닌 ZMP(Zero Moment Point)가 지지영역에 위치해야 한다.

#### 2.4.1 안정도 판별

이족로봇이 두 발 또는 한 발로 서있을 경우, 로봇 전체의 무게 중심을 지표면으로 수직 투영한 지점(Vertically projected Point of the Center of Gravity :  $V_{PCG}$ )이, 지지하고 있는 발로 이루어진 지지영역 안에 있으면 로봇은 쓰러지지 않고 안정하게 서 있을 수 있다는 이론이 정적 안정도 판별법이다. 이 안정도의 척도로서 안정여유(Stability Margin)는  $V_{PCG}$ 의 위치에서 지지영역 경계까지의 최소 거리로 정의 된다. 로봇 전체의  $V_{PCG}$ 는 각 링크의  $V_{PCG}$ 를 이용하여 표현 할 수 있으며 이것은 다음 식(3)과 같다.

$$V_{PCG}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i V_{PCG,i}(t) \quad (3)$$

여기서  $M$ 은 이족보행로봇의 전체 무게이며,  $m_i$ 는 모터의 무게를 포함한  $i$ 번째 링크의 무게이다. 또한  $V_{PCG,i}(t)$ 는  $i$ 번째 링크의  $V_{PCG}$ 이다.

#### 2.4.2 기구학

이족 로봇의 보행은 어떤 특정한 걸음걸이 형태의 반복으로 구성된다. 따라서, 반복되는 특정 걸음걸이 형태를 여러 개의 작은 부분동작으로 구분하고 각각의 부분 동작에 대한 액추에이터의 위치 값을 구하여 걸음걸이를 구현한다. MBR-3에서의 보행은 실제 12개의 액추에이터로 형성되었다.

### 2.5. 자세 보정 실험

보행로봇은 바퀴구동 로봇에 비해 안정성이 현저히 떨

어진다. 특히 경사진 비탈면이나 요철이 많은 지역에서의 보행은 센서없이 미리 정해진 GATE만으로는 불가능하다. 그러므로 로봇의 자세를 보정하기 위해서는 기울어짐을 측정할 수 있는 센서가 필요하다. 본 논문에서는 ADXL210센서를 사용하여 로봇의 현재 자세를 인식하고 안정적인 자세유지와 그에따른 보다 진보된 보행을 가능하게 하는 내용을 다루고자 한다. 다음 그림9는 로봇에 장착된 센서의 위치를 나타낸다.

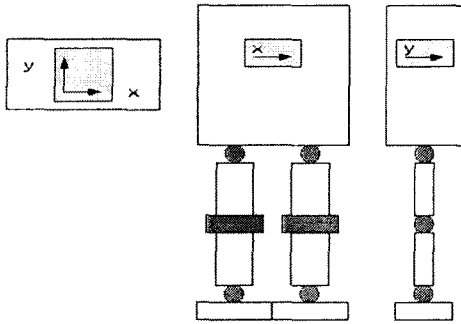


그림 9 로봇에 장착된 센서의 위치  
Fig 9 sensor position of attached to a robot

2축 가속측정센서를 로봇 상체에 내장한다. 좌우 기울어짐을 위해 x축을 사용하고 전후 기울어짐의 인식을 위해 y축을 사용한다. 센서의 각축은 상체를 지지하는 다리의 관절체에 액추에이터와 밀접한 관계가 있다. 노면의 불균형으로 인해 로봇이 보행 중 로봇의 자세에 적용시켜 무게 중심을 이동시킨다. 로봇은 보정해야할 좌우 기울어짐을 인식했을 경우 기울어진 각도를 각만큼을 우측으로 상체를 기울이므로 안정화된 보행 자세를 유지할 수 있다. 앞, 뒤로의 기울어짐 역시 기울어진 각을 산출하고 그 각을 토대로 앞쪽 혹은 뒤쪽으로 상체를 기울여 안정된 자세로 보정하기 위해 무게 중심을 이동시킨다.

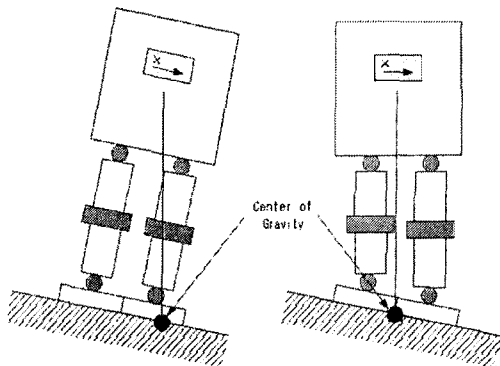


그림 10 좌로 기울어짐 보정 예  
Fig 10 correction of tilt to left

## 2.6. 결론 및 향후과제

이전 버전인 MBR-3에서는 평지만을 고려한 보행을 수행하였지만, 본 논문에서는 가속도 센서를 이용한 경사면에서의 로봇 자세 보정에 대하여 논하였다. 이러한 결과는 로봇이 다양한 환경에서의 적응력을 높여준다. 향후과제로서는 다양한 센서를 이용하여 보다 지능적인

로봇으로 발전해 나아가 하겠다. 예를 들어 로봇의 무게 중심을 찾아주는 센서를 사용하는 것과 비전 센서를 이용하여 로봇의 지각력을 높이는 것이 그것이다.

### (참고 문헌)

- [1] Y.F. Zheng and J. Shen, "Gait Synthesis for the SD-2 Biped Robot to Climb Sloping Surface," *IEEE Trans. on R & A*, vol. RA-6, no.1, pp.86-96, Feb. 1990.
- [2] Ralph E. Goddard, Y.F. Zheng, Hooshang Hemami, "Control of the Heel-Off to Toe-Off Motion of a Dynamic Biped Gait," *IEEE Trans. on Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 22, no. 1, pp.92-102, Jan. 1992.
- [3] Jin-ichi Yamaguchi, Atsuo Takanishi, and Ichiro Kato, "Development of a Biped Walking Robot Compensating for Three-Axis Moment By Trunk Motion," *Proc. of the 1993 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp561-566, Jul. 1993
- [4] K.Y. Yi and Y.F. Zheng, "Biped Locomotion by Reduced Ankle Power," *Proc. of the 1996 IEEE International Conference on R & A*, pp.584-589, April 1996.
- [5] Jin-ichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inou Atsuo Takanishi, "Development of a Bipedal Human Robot-Control Method of Whole Body Cooperative Dy Biped Walking-," *Proc. of the 1999 IEEE Intern Conference on R & A*, pp.368-374, May. 1999.
- [6] D.J. Kim and K.I. Kim, "Design of Small Power Biped by Load Sharing of Walking Gait," *Proc. of the 2000 IEEE International Conference on R & A*, Apr. 2000.
- [7] J.H. Bae "A study on the Stair Walking of Low Power Biped Robot", 2001 KIEE/IEEK/ICASE Journal of Joint Conference, pp.105-109, 2001
- [8] M.G. Kang, "Design of Biped Robot for Fast Walking", 2001 KIEE/IEEK/ICASE Journal of Joint Conference, pp.58-62, 2001