

각속도 센서를 이용한 이족로봇의 안정적인 보행 구현

Stable walking of biped robots using one angular velocity sensor

오성남*, 윤동우**, 손영익***, 김갑일#, 임승철#, 강환일###

Sung-Nam Oh, Dong-Woo Yun, Young-Ik Son, Kab-Il Kim, Seung-Chul Lim, Hwan-Il Kang

Abstract - This paper aims to provide a way to improve dynamic stability of biped robots against undesirable disturbances. By using an angular velocity sensor on its shoulder, we can make a medium-sized biped robot walk stably against an impulsive disturbance. The measured signal from the sensor is used for compensating the reference angles of ankle, knee, and pelvis joints. An experiment shows that the stability of the robot is much enhanced by using a cheap sensor and simple algorithm. This kind of research helps biped robots walk more stably in real environments.

Key Words : biped robot, angular velocity, stable walking

1. 서론

산업의 발달로 기술 복합체인 이족 보행 로봇의 연구가 활발히 진행되고 있으며 그에 대한 결실이 21세기 초반부터 줄을 잇고 있다. 이족 로봇 연구는 대체로 이론 및 시뮬레이션에 관한 연구와 실제 제작 및 성능향상에 관한 연구 등의 두 분야로 이루어지고 있다. 본 논문은 후자의 경우로 로봇을 실제 설계, 제작, 그리고 보행에 대해 논하고자 한다.

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.[1][2] 최근 혼다에서는 ASIMO를 개발하여 인간과 거의 흡사한 걸음 및 달리기를 구현하였다. 본 연구실에서도 다양한 형태의 로봇을 개발하고 여러 보행을 구현하였다. 본 연구실도 1999년 MBR-S1을 이용하여 저전력 이족 로봇의 보행을 구현하였으며, 2000년 MBR-S1의 향상된 모델인 MBR-S2와 MBR-F통해 계단 보행과 빠른 보행에 대한 문제점을 해결하였다.[3][4][5] 또한 2004년 인간과 비슷한 관절구조를 가진 MBR-3는 자연스런 보행이 가능하였다. 이런 이족로봇은 다른 로봇에 비해 바닥면에 대한 지지영역이 좁아 쉽게 불안정한 상태가 되어 쓰러진다는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 센서들이 사용되지만 쉽게 해결하지 못하고 있다.

본 논문에서는 높이 60cm에 총 23개의 자유도를 갖는 5.3kg급 로봇 MYRO-3를 제작하여 로봇의 안정도 유지에 관한 방법을 다루었다. 로봇의 기울어지는 정도를 판단할 수

있는 각속도센서(이하 GYRO)를 탑재하여 상체가 불안정한 상태가 되어 쓰러지는 것을 측정한다. 이 측정된 각속도를 다리관절에 적절히 적용시켜 보행 시 외란에 대한 자체 보정과 정지 시 안정된 상태를 유지 시켜주어 이족로봇의 안정된 보행이 가능하게 하였다.

2. 본론

2.1 시스템의 구성

전체 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 각 관절은 내부적으로 위치제어를 할 수 있는 R/C서보모터를 사용하였다. 그리고 모터 제어를 위해 INTEL사의 80C296SA를 사용하여 제어를 설계하였으며 로봇의 각속도를 측정하기 위하여 상체에 앞뒤 방향에 대한 1축 GYRO를 탑재하였다. 제어기는 PC로부터 모터의 위치값을 전달받아 로봇의 제어를 수행하며 상체에 탑재된 GYRO를 통하여 실시간으로 자세를 보정한다.

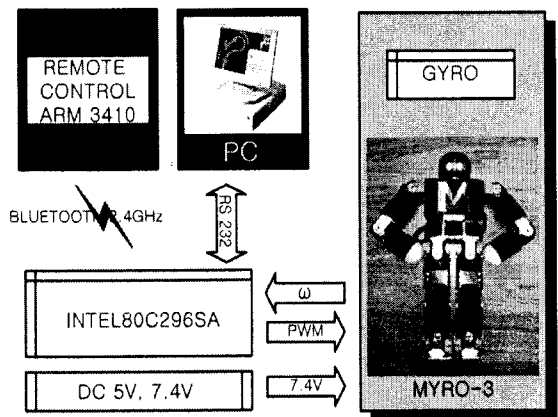


그림 1 전체 시스템의 구성

저자 소개

- * 오성남 : 明知大學校 電氣工學科 博士課程
- ** 윤동우 : 明知大學校 電氣工學科 碩士課程
- *** 손영익 : 明知大學校 電氣工學科 助教授
- # 김갑일 : 明知大學校 電氣工學科 教授
- ## 임승철 : 明知大學校 機械工學科 教授
- ### 강환일 : 明知大學校 情報工學科 教授

2.2 링크의 구조

그림 2는 MYRO-3의 외형과 GYRO 위치를 나타내고 있다. MYRO-3는 23개의 관절과 13개의 링크로 구성되어 있으며 높이는 60cm이고 총 무게는 5.3kg이다. 전체적인 구조를 보면 양다리와 골반을 하체로 양팔과 머리 몸통을 상체로 구분할 수 있다. 허리에 2개, 골반에 6개, 무릎에 2개, 발목에 4개의 자유도를 가지고 있어 보다 인간에 가까운 보행이 가능하다. 골반의 6개 자유도는 전후, 좌우와 회전을 할 수 있도록 하였으며 이러한 구조는 보행 중 전체의 무게중심을 평행 이동시킬 수 있어 자연스런 보행이 가능하다. 보행 시 중요한 하체의 관절의 구조는 그림 3과 같이 골반에서 3개의 축이 한점에서 만나도록 설계되어 보다 인간적이라 할 수 있다.

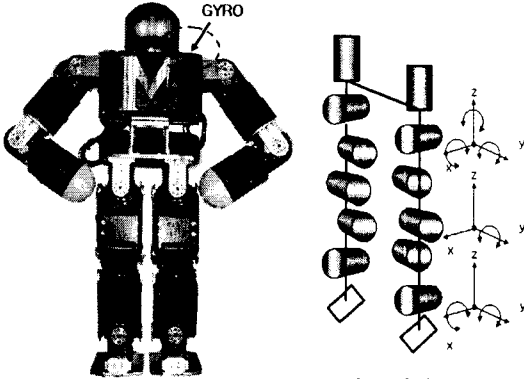


그림 2 MYRO-3 외형

표 1에서 보는 바와 같이 로봇의 무게는 하체의 무게가 상체보다 가볍게 설계되어 보행 시 발생하는 다리의 관성을 줄일 수 있었다.

표 1 로봇 제원

구분	길이	자유도	무게
머리	90mm	1D.O.F	0.2kg
팔	240mm	8D.O.F	1.5kg
몸통(허리)	240mm	2D.O.F	1.3kg
다리	270mm	12D.O.F	2.3kg
전체	600mm	23D.O.F	5.3kg

2.3 각속도 센서

GYRO는 수평이나 수직운동에는 반응하지 않고 오직 회전 운동에 대한 속도만을 측정한다. 그림 4는 사용된 각속도 센서의 외형과 유효한 회전 방향을 나타내고 있다.

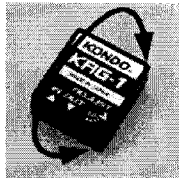


그림 4 각속도 센서

이 센서는 일본 KONDO사의 로봇을 위한 저가형 센서로

써 회전에 대한 속도를 PCM(Pulse Code Modulation)방식으로 출력한다. 센서의 제원은 표 2에서 보는 바와 같다.

표 2 KRG-1의 제원

Supply Voltage (Vdc)	Maximum Angular velocity (deg./sec)	Output (msec.)	Linearity (%FS)	Response (Hz)
3~12	+/-300	1.5	+/-5	50max

2.4 보상 모델링

보상 모델링의 기본 개념은 그림 5에서 나타난 바와 같다. 이것은 인간의 방법과 유사하게 이루어진다. 로봇의 상체는 항상 수직 상태를 유지해야하고 그렇지 않으면 불안정한 상태 된다. 만약 이러한 로봇이 쓰러지거나 외력에 의해 기울어지면 이때 발생하는 각속도만큼 로봇의 상체를 반대로 보정해준다. 각속도에 대한 위상의 보상은 발목, 무릎 그리고 골반의 피치 관절에서 이루어진다. 다시 말하면 상체가 기울어진 만큼 로봇의 안정도도 떨어지게 되고 시간이 지날수록 로봇은 불안정한 상태에 있게 되는데 이때 기울어지는 각속도만큼 특정 관절을 반대로 보상하여 무게중심이 안정한 지지영역 안쪽으로 이동시켜 균형을 잡는 것이다.

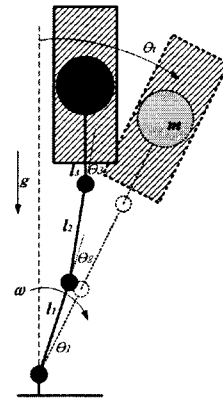


그림 5 보상 모델링

상체의 기울기는 수식 (1)로부터 구해진다. 단 제어주기가 20msec 이므로 θ_i 는 매우 작다고 가정할 수 있다.

$$\theta_i = \int \omega dt \quad (1)$$

ω : 시간 t 동안 측정된 각속도

θ_i : 상체의 기울기

이렇게 구해진 θ_i 로부터 각 관절에 보상해야하는 값을 구한다. 이 값들도 매우 작으나 3개의 관절에 동시에 적용되므로 끝단의 상체에는 큰 영향을 준다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= K_1 \theta_i, \\ \theta_2 &= K_2 \theta_i, \\ \theta_3 &= K_3 \theta_i, \end{aligned} \quad (2)$$

K_1 : 발목 피치 각의 보상 상수

K_2 : 무릎 피치 각의 보상 상수

K_3 : 골반 피치 각의 보상 상수

2.4 제어 알고리즘

로봇의 제어 알고리즘은 그림 6과 같이 이루어진다. 먼저 PC나 원격 조종기에서 명령을 내리면 미리 저장해 놓은 테이블에서 해당 동작을 위한 패턴 정보를 가져온다. 패턴 정보는 로봇의 움직임을 몇 개의 구분동작으로 나누어 저장해 놓은 각 관절각도 데이터이다. 그 다음 단계인 Path create에서 연속되지 않은 두개의 패턴정보로부터 로봇의 각 관절이 움직여야 하는 속도와 위상을 계산한다. 한편 Gain controller는 MYRO-3의 어게에 탑재한 GYRO로부터 측정된 각속도를 적절한 보상 값으로 환산한다. Path create에서 계산된 위상은 Gain controller의 보상 데이터에 의해 재 조정되어 MYRO-3의 각 관절 제어기에 전달된다. MYRO-3의 각 관절은 PD제어기에 의해 위상이 제어된다.

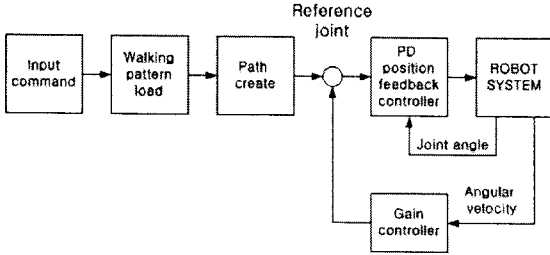


그림 6 제어 시스템

2.5 실험 결과

실험은 로봇이 정지해 있는 상태에서 수행되었다. 매우 짧은 시간에 일어나는 보상은 보행과 정지 상태 모두 같다는 조건에서 이루어졌다. 센서가 없을 때 외력에 대한 반응 속도와 GYRO를 적용한 후의 외력에 대한 반응 속도를 비교하는 방법으로 이루어졌다. 그림 7, 8에서 그래프는 발목, 골반, 무릎 그리고 GYRO 출력의 제적 순으로 나열되었다.

먼저 그림 7에서는 GYRO가 적용되지 않았을 때의 결과를 보여주고 있다. 외란발생 시점부터 로봇이 앞뒤로 심하게 흔들리다 약 3초가 지난 후에야 안정된 상태가 된다. 로봇의 흔들림 정도는 상체 GYRO로부터의 각속도이다.

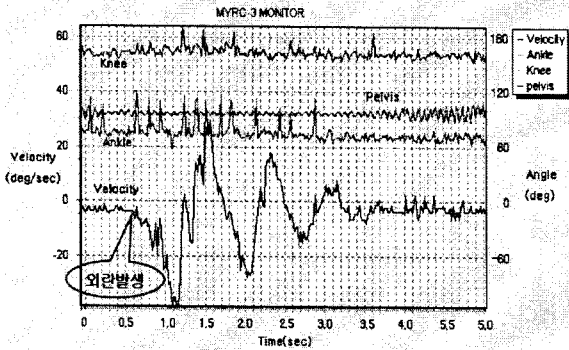


그림 7 GYRO 비적용

반면 GYRO를 적용한 실험결과인 그림 8에서는 약 0.5초 만에 안정된 상태가 되는 것을 확인할 수 있다. 실제 실험에서 로봇의 불안정한 흔들림은 머리를 기준으로 했을 때 약 10cm 이상으로 확연하게 차이를 보였다. 그러나 아쉽게도 그래프에 나타나는 각 관절의 작은 육안으로 거의 확인하기 어려울

정도로 노이즈 보다 작은 차이를 보이고 있다.

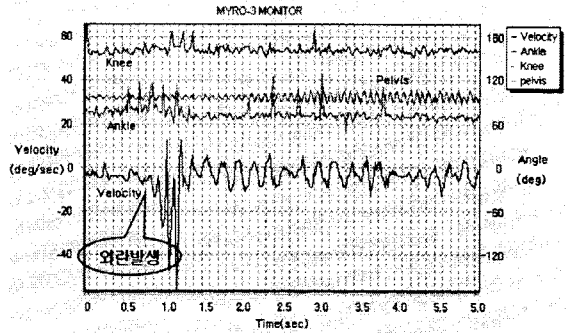


그림 8 GYRO 적용

3. 결론

본 연구를 통하여 간단한 보상만으로도 로봇의 안정도가 확연히 개선되는 사실을 알 수 있었다. 미지의 외력이 가해져 로봇의 불안정한 상태가 계속될 때 상체의 기울기 보정이 무게중심을 보다 안정된 영역쪽으로 이동시켜 곧바로 균형을 잡아준다. 이는 로봇이 항상 안정된 상태를 유지 할 수 있도록 하는 균형기관이라 할 수 있다. 따라서 이것은 소형로봇 뿐 아니라 중, 대형 이족 보행 로봇의 균형을 안정되게 유지하는 해결책이라 여겨진다.

향후 과제는 발바닥에 압력센서를 부착하여 GYRO를 이용한 보정 방법이 실제 ZMP에 어느 정도까지 영향을 미치는지 연구하는 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (KOSEF-R-01-2003-000-10014-0)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 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 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.561-566, Jul. 1993
- [2] Jin-ichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inoue and Atsuo Takanishi, "Development of a Bipedal Humanoid Robot-Control Method of Whole Body Cooperative Dynamic Biped Walking-," *Proc. of the IEEE International Conference on R & A*, pp.368-374, May. 1999.
- [3] D.J. Kim and K.I. Kim, "Design of Small Power Biped by Load Sharing of Walking Gait," *Proc. of the IEEE International Conference on R & A*, Apr. 2000.
- [4] J.H. Bae "A study on the Stair Walking of Low Power Biped Robot", *KIEE/IEEK/ICASE Journal of Joint Conference*, pp.105-109, 2001
- [5] M.G. Kang, "Design of Biped Robot for Fast Walking", *KIEE/IEEK/ICASE Journal of Joint Conference*, pp.58-62, 2001