

이족로봇의 경사면 균형 유지와 보행에 관한 연구

A Study about Stable Walking and Balancing of Biped Robot in a Slope

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 and in a slope. By using an angular velocity sensor and an acceleration sensor on its waist, we can make a medium-sized biped robot walk stably in a slope against impulsive disturbances. In addition, it is possible for the robot to walk stably in an unknown slope. The measured signals from the sensor are used for compensating the reference angles of ankle, knee, and pelvis joints. Some experiments show that the stability of the robot is much enhanced by using cheap sensors and a simple algorithm. This work helps biped robots walk more stably in real environments.

Key Words : biped robot, angular velocity, acceleration, stable walking

1. 서론

최근 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.

이족 로봇의 제작에 관한 연구는 최초로 KATO의 WL-5를 통한 보행에서 시작하였다.[1] 최근 일본의 ASIMO와 독일의 Johnnie는 인간과 거의 흡사한 걸음으로 2km/h 이상의 보행이 가능하게 되었으며 이와 견줄만한 국내의 휴보도 뛰어난 성능을 나타내고 있다. 본 연구실에서도 다양한 형태의 로봇을 개발하고 여러 가지 형태의 보행을 구현하였다. 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.[2][3][4] 또한 2004년 인간과 비슷한 관절구조를 가진 MBR-3는 자연스런 보행이 가능하였다. 이런 이족로봇은 다른 로봇에 비해 바닥 면에 대한 지지영역이 좁아 쉽게 불안정한 상태가 되어 쓰러진다는 문제점을 안고 있다.

기존의 이족로봇들은 평평한 지면만을 걸을 수 있다. 기울기가 있는 경사면은 미리 계획된 패턴이나 동작에 의해서만 보행할 수밖에 없다. 또한 기울기가 변화하는 경사면에서 균형을 유지한 상태로 서있기도 불가능하다. 본 연구에서는 이

족로봇에 균형 기관을 추가하여 이러한 보행 기술을 한 단계 진보시키고자 한다. 실험을 통해 움직이는 지면에서 균형을 유지하고, 알 수 없는 경사면을 보행할 수 있는 이족로봇(MYRO-RX)을 제작하였다.

전체 시스템은 로봇, 센서, 알고리즘으로 나누어진다. 로봇은 24자유도를 갖는 5kg급 중소형 이족 로봇이다. 센서는 저가형 가속도 센서와 각속도 센서를 각각 2축으로 교차하여 설계하였다. 알고리즘은 제자리 균형유지와 평지 및 경사 보행이 가능한 통합된 알고리즘으로 구현 하였으며 실험은 균형 유지와 보행으로 나뉘어 이루어졌다. 본 논문에서 다루어진 균형 유지 연구를 통하여 이족 로봇의 안정성 유지와 보행 기술의 수준을 한 단계 높이는데 기여하고자 한다.

2. 본론

2.1 시스템의 구성

전체 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 각 관절은 내부적으로 위치제어를 할 수 있는 ROBOTIS사의 로봇 전용 서보모터를 사용하였다.

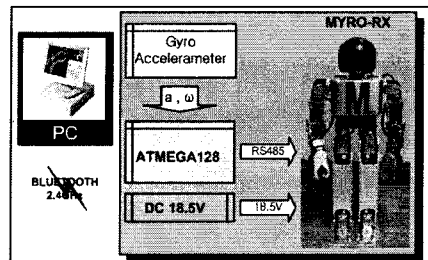


그림 1 전체 시스템의 구성

24개의 관절을 제어하기위한 메인 제어기는 ATMEGA128을 사용하였으며 1Mbps의 속도로 멀티드롭 방

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 · 工博
- ## 김갑일 : 明知大學校 電氣工學科 教授 · 工博
- § 임승철 : 明知大學校 機械工學科 教授 · 工博
- §§ 강환일 : 明知大學校 情報工學科 教授 · 工博

식의 통신시스템이 가능하다. 로봇의 가속도와 각속도를 측정하기 위하여 허리에 가속도 센서와 각속도 센서를 각각 2축으로 교차하여 탑재하였다. 메인 제어기는 PC로부터 모터의 위치 값을 전달받아 각 관절의 제어를 수행하며 허리에 탑재된 가속도 센서와 각속도 센서를 통하여 실시간으로 자세를 보정한다.

2.2 링크의 구조

그림 2는 MYRO-RX의 외형과 센서의 위치를 나타내고 있다. 로봇의 제원은 표 1을 참조한다. 전체적인 구조를 보면 양다리와 골반을 하체로 양팔과 머리 몸통을 상체로 구분할 수 있다. 골반의 6개 자유도는 전후, 좌우와 회전을 할 수 있도록 하였으며 이러한 구조는 보행 중 전체의 무게중심을 평행 이동시킬 수 있어 자연스런 보행이 가능하다. 표 1에서 보는 바와 같이 로봇의 무게는 하체의 무게가 상체보다 가볍게 설계되어 보행 시 발생하는 다리의 관성을 줄일 수 있었다.

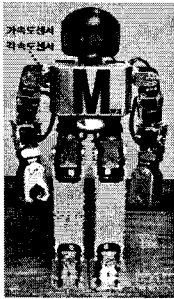


그림 2 외형

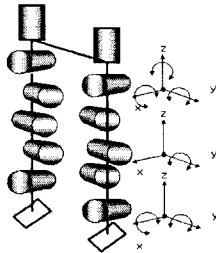


그림 3 다리 관절 구조

표 1 MYRO-RX 로봇 제원

구분	길이	자유도	무게	모터 토크
머리	90mm	1D.O.F	0.1kg	28kg/cm
팔	240mm	10D.O.F	1.4kg	28kg/cm
몸통(허리)	240mm	1D.O.F	1.3kg	64kg/cm
다리	270mm	12D.O.F	2.2kg	64kg/cm
전체	600mm	24D.O.F	5kg	

2.3 각속도 센서

각속도 센서는 수평이나 수직운동에는 반응하지 않고 오직 회전운동에 대한 속도만을 측정한다. 일본 무라타사의 저가형 센서로써 회전에 대한 속도를 아날로그 신호로 출력한다. 센서의 제원은 표 2에서 보는 바와 같다.

표 2 가속도 센서의 제원

Supply Voltage (Vdc)	Maximum Angular velocity (deg./sec)	Output (mv/deg.g./sec.)	Linearity (%FS)	Response (Hz)
5	+/-70	25	+/-0.5	10max

2.4 가속도 센서

사용된 센서(SA1)은 지구 중력 방향에 대한 기울어짐과 운동력에 대한 정보를 측정한다. 이는 로봇의 각과 바닥면의 경사를 감지하는데 사용한다. 표 3은 SA1의 제원이다.

표 3 SA1의 제원

Supply Voltage (Vdc)	Maximum Range (g)	Output (g)	Linearity (%FS)	Response Time (sec.)
3~6	+/-1	0.001	+/-1	0.5

2.5 보상 모델링과 경사계

보상 모델링의 기본 개념은 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 보상은 발목, 무릎 그리고 골반의 피치 관절에서 이루어진다. 다시 말하면 기울어지는 각속도만큼 특정 관절을 반대로 보상하여 무게중심을 안정한 지지영역 안쪽으로 이동시켜 균형을 잡는 것이다. 자세의 보상 위상은 수식 (1)로부터 구해진다. 경사계는 가속도와 각속도를 사용하여 수식 (2)로부터 구해진다. a 와 v 는 직선 가속도와 속도이다.

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

ω : 시간 t 동안 측정된 각속도

θ_t : 상체의 기울기

$$\theta = K_1 a + K_2 v + K_3 \omega + K_4 \theta_t \quad (2)$$

K : 보상 상수

θ : 보상 위상

2.6 제어 알고리즘

로봇의 제어 알고리즘은 그림 4와 같이 이루어진다. 먼저 PC나 원격 조종기에서 명령을 내리면 미리 저장해 놓은 데이터베이스에서 해당 동작을 위한 패턴 정보를 가져온다.

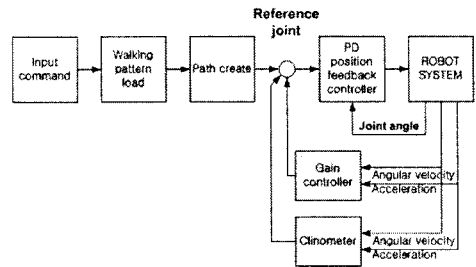


그림 4 제어 알고리즘

그 다음 단계인 Path create에서 연속되지 않은 두개의 패턴정보로부터 로봇의 각 관절이 움직여야하는 속도와 위상을 계산한다. 한편 Gain controller는 MYRO-RX의 허리에 탑재된 가속도 센서와 각속도 센서로부터 측정된 데이터를 보상 값으로 환산한다. 또한 이 센서의 데이터는 Clinometer의 기준 데이터로 사용되어 지면에 대한 로봇의 기울기를 측정하는데 사용된다. Path create에서 계산된 위상은 Gain controller의 보상 데이터와 Clinometer의 기울기 데이터에 의해 제 조정되어 MYRO-RX의 각 관절 제어기에 전달된다.

2.7 실험 결과

실험에 사용된 로봇의 상태는 3가지로 구분 지었다.

- type-N : 센서를 적용하지 않은 상태
- type-S : 보상 알고리즘만을 적용한 상태
- type-A : 보상과 경사계 알고리즘을 적용한 상태

각 실험에서 안정도는 발바닥의 압력센서를 통해 측정된 ZMP 궤적에 의해 판별된다.

2.7.1 평지에서 외란에 대한 반응 실험

본 실험은 평평한 바다에서 있는 로봇에 외란을 입력했을 때 로봇의 안정도를 판별하기 위한 실험이다. 다음 그림 5는 실험 결과를 ZMP 궤적으로 나타내었다. 실험 결과 type-S가 가장 빨리 안정된 상태가 됐으며 센서 보정없는 type-N이 가장 느린 반응을 보였다.

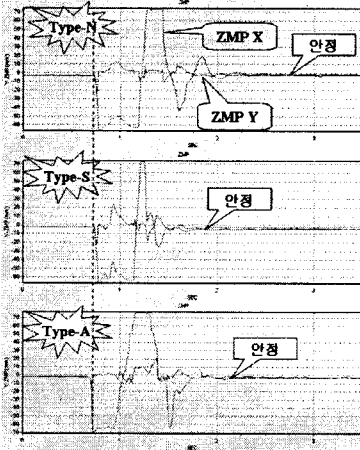


그림 5 평지 외란

2.7.2 평지 보행 실험

본 실험은 센서가 보행에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 실험이다. 실험 결과는 ZMP의 궤적을 측정하는 방법으로 그림 6에 나타내었다. 결과는 type-A가 정지 후 가장 빨리 안정화 됐으며 type-N은 뒤쪽으로 ZMP가 상당히 치우쳐 보행이 불안정하고 정지 후 안정화도 속도도 가장 느렸다.

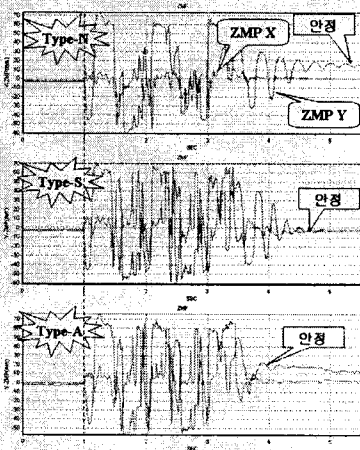


그림 6 평지 보행

2.7.3 움직이는 경사면 균형 유지 실험

본 실험은 경사계가 로봇의 자세에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 것으로 type-S와 type-A만을 사용하였다. 다음 그림 7의 type-A는 바닥면 경사에 대하여 스스로 안정하게 균형을 유지하고 있다.

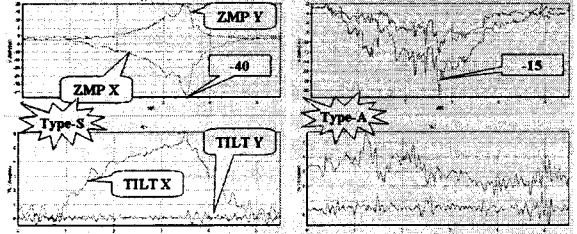


그림 7 경사면 균형 유지

2.7.4 경사면 보행 실험

경사면 보행 실험은 약 10도의 경사에서 이루어졌으며 type-A만 안정적인 보행을 하였고 다른 두 경우는 전도되어 보행 자체가 불가능 하였다. 결국 미지의 경사면 보행은 균형 유지를 위한 보상과 경사계 적용을 통해서만 가능했다.

3. 결론

본 연구를 통하여 가속도 센서와 각속도 센서를 적용한 간단한 보상 알고리즘과 경사계로 로봇의 안정도가 확연히 개선됨을 확인하였다. 미지의 외력에 대해 빠른 자세 안정화가 가능했고 평지 보행에서도 현격한 차이를 보였다. 또한 움직이는 경사면에서 균형을 잡는가 하면 미지의 경사면을 보행하는 것도 가능했다. 이는 로봇이 항상 안정된 상태를 유지할 수 있도록 하는 균형기관이 구현된 것이라 할 수 있다. 따라서 이는 중소형로봇 뿐 아니라 중, 대형 이족 보행 로봇의 안정성을 높이는 해결책이라 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (KOSEF-R-01-2003-000-10014-0)의 지원 및 과학기술부 / 한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음
(차세대전력기술연구센터)

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] 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.
- [3] 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
- [4] M.G. Kang, "Design of Biped Robot for Fast Walking", *KIEE/IEEK/ICASE Journal of Joint Conference*, pp.58-62, 2001