

Zero Moment Point를 이용한 이족보행 로봇의 Stretch Walking 알고리즘

주정현, 임미섭, 임준홍
한양대학교 전자컴퓨터공학부

Stretch Walking Algorithm for Biped Robot Using Zero Moment Point

Junghyun Chu, Mee-Seub Lim and Joonhong Lim
School of Electrical Engineering and Computer Science, Hanyang University

Abstract - 본 논문에서는 이족보행 로봇의 보행패턴의 한 가지 방법으로 무릎을 펴고 걷는 stretch 보행 알고리즘을 제안한다. 이전의 보행 알고리즘은 무릎을 구부리고 걷는 것이 대부분이다. 일반적으로 사람들이 걸을 때는 무릎을 거의 펴고 걷기 때문에 사람과 비슷한 보행을 위해서 자세보정 시 Zero Moment Point(ZMP)를 이용한 무릎관절을 펴고 걷는 보행 알고리즘을 제안하고 이의 구현을 위한 실험 수행을 통해 그 성능을 평가한다. 로봇은 보행상태에서 몸이나 발의 위치, 각도 등에 대한 보정작업이 없다면, 이로 인해 로봇의 궤적에 오차가 발생하게 되고, 그 결과 불안정하고 부자연스러운 보행을 하게 된다. 이러한 불안정성을 ZMP를 이용하여 보정할 수 있다.

봇의 다리에는 특이점(singular point)이 있다. 이 점은 무릎이 펴지는 순간 joint rate가 무한대가 되기 때문이다. 그림 2.1은 사람의 보행 패턴을 보여주고 있는데 사람의 보행 모습을 잘 관찰하면 사람은 걸을 때 뒤꿈치가 땅에 닿을 때만 무릎이 펴지는 것을 알 수 있다[8]. 이와는 대조적으로, 이족보행 로봇의 일반적인 보행 방법인 그림 2.2를 보면 무릎을 구부리고 걷는 로봇들은 사람과 비슷한 보행 패턴을 찾을 수가 없다.

1. 서 론

현대의 세계에서 로봇은 사람이 하기 힘든 일이나 정밀한 작업 등을 하는 산업현장에서 많이 사용되어지면서 사람의 생활을 편하게 만들어주고 있다. 하지만 앞으로 개발되어지는 로봇들은 단순하게 사람들의 생활을 편리하게 만들어주기 위함이 아니라 사람과 모든 생활을 같이 할 수 있게 되는 것을 목적으로 산업용 로봇 외에 가정용 로봇, 인명구조용 로봇, 애완용 로봇, 이족보행 로봇 등의 비산업형 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서도 사람이 주거하는 환경, 즉 일반 가정이나 사무실, 병원 등에서 사람과 함께 생활하며 사람이 하는 일을 도와주는 이족보행 로봇에 대한 연구는 최근 가장 많은 관심을 가지고 있다. 이족보행 로봇에 관심을 가지게 된 이유는 인간의 주거환경은 인간의 인체구조에 맞게 설계되어 있어서 자유롭게 이동하기 위해서는 인간의 이동 방식인 이족보행이 필요하다. 따라서 이족보행 로봇을 연구하는 사람들은 사람의 보행 패턴을 연구한 후에 로봇을 제작한다[1].

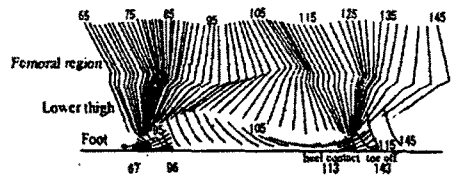


그림 2.1 사람의 보행 패턴

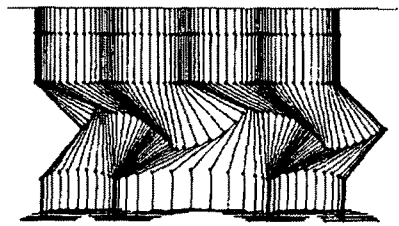


그림 2.2 무릎 구부리고 걷는 보행 패턴

이족보행 로봇 중에 가장 잘 알려진 혼다의 ASIMO와 소니의 QRIO는 보행 시 무릎을 구부리고 걷는다[3, 4, 6, 7]. 하지만 일반적으로 사람들이 걸을 때는 무릎을 거의 펴고 걷기 때문에 사람과 비슷한 보행을 위해 무릎을 펴고 걷는 것을 구현했다.

무릎 펴고 걷는 보행 패턴을 만들기 위해서는 사람의 발과 비슷한 모델을 만들어야 한다. 그림 2.3에서 비슷한 모델을 보여주고 있다[5].

이족보행 로봇이 사람과 같은 보행을 위해서는 수백 개의 액추에이터가 필요하고, 완벽한 설계를 완성하였다고 할지라도 로봇이 보행을 위해서는 더 많은 것들이 필요하다. 본 논문에서는 ZMP(Zero Moment Point)를 이용하여 이족 보행 로봇의 안정도를 판별하고 이를 개선하도록 로봇의 자세 제어를 구현하였다.

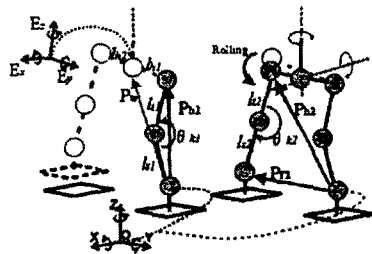


그림 2.3 Coordinate Frame

2. Stretch Walking

이족보행 로봇의 다리의 움직임만을 가지고 무릎 펴고 걷는 것을 구현한다는 것은 어려운 일이다. 왜냐하면 로

식 2.1, 2.2 과 2.3을 이용하여 지지하는 발의 엉덩이 관절의 위치 (P_{hlx}, P_{hly}), 발목과 엉덩이 관절 사이의 거리 (d_{hl}), 엉덩이의 높이 (P_{hlz})을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_{hlx} \\ P_{hly} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{ux} \\ P_{uy} \end{bmatrix} + [E_{ux} \ E_{uy}] \begin{bmatrix} 0 \\ l_{hl} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$d_{hl} = \sqrt{l_{sl}^2 + l_{fl}^2 - 2l_{sl}l_{fl}\cos(\theta_{hl})} \quad (2.1)$$

$$P_{hlz} = \sqrt{\|d_{hl}\|^2 - (P_{hlx}^2 + P_{hly}^2)} \quad (2.3)$$

3. ZMP (Zero Moment Point)

ZMP는 발바닥에서 발생하는 힘으로 인한 모든 모멘트들의 합이 0이 되는 점을 의미한다[2]. 이점이 한발 지지 상태(single support phase)일 때는 지지하고 있는 발바닥에 있어야 하고, 두발 지지 상태(double support phase)일 때는 두 발바닥을 포함한 내부에 있어야 로봇이 안정된 상태에 있다고 할 수 있다. 그림 3.1에서 발바닥의 점 P에서의 반작용은 힘 N과 모멘트 M으로 나타낼 수 있다.

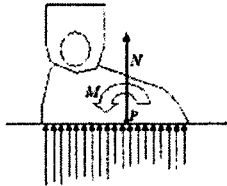


그림 3.1 ZMP 개념도

그림 3.2에서 r_i 와 P 는 위치 벡터(position vector)를 의미하며, (x_i, y_i, z_i) 는 각 링크의 좌표, $(\ddot{x}_i, \ddot{y}_i, \ddot{z}_i)$ 는 연속된 (x, y, z) 좌표 값의 2차 미분 값을 나타내며, g는 중력가속도, N 은 링크의 수, m_i 는 I 번째 링크의 무게이다. 여기서 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\sum_{i=1}^n m_i(r_i - P) \times (-\ddot{r}_i - g) = (0, 0, M_z) \quad (3.1)$$

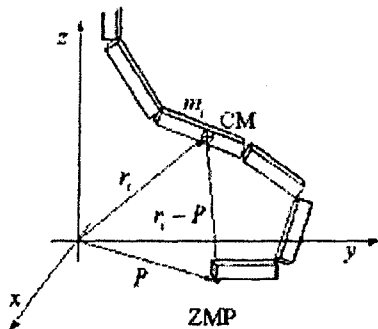


그림 3.2 여러 개의 링크를 가진 모델

식 3.1은 임의의 지면 위 점에서의 모멘트를 나타낸 것이다. 링크의 외력은 없다고 가정하였다. 식 3.1을 바탕으로 식 3.2를 유도할 수 있다. 선 가속도 성분이 매우 작아지는 경우 \ddot{r}_i 가 0으로 근사화 하면 식 3.3을 나타낼 수 있다. 이것은 지면에 대한 무게 중심점을 나타낸 것이다. 즉 이족보행 로봇에서 선 가속도가 작다고 할 때, 안정성은 무게 중심점을 이용하여 판별할 수 있다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i - g)x_i - \sum_{i=1}^n m_i(\ddot{x}_i - g)z_i}{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i - g)} \quad (3.2)$$

$$y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i - g)y_i - \sum_{i=1}^n m_i(\ddot{y}_i - g)z_i}{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i - g)}$$

$$x_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g x_i}{\sum_{i=1}^n m_i g} \quad (3.3)$$

$$y_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g y_i}{\sum_{i=1}^n m_i g}$$

그림 3.3(a)에서 ZMP가 발바닥과 땅이 접촉해 있는 영역 안에 있다면 로봇은 넘어지지 않고 안정된 보행을 할 수 있다. 단 로봇에 외력이 없을 경우이다. 로봇이 넘어지지 않고 걸을 수 있는 ZMP의 범위를 안정 영역이라고 한다. 그림 3.3(b)에서는 로봇이 오른쪽으로 가속하고 있다면 무게중심은 왼쪽으로 힘을 받게 되어 무게중심에 작용하는 힘과 중력의 합력의 방향이 지면과 만나는 점 ZMP는 안정 영역에 위치하게 된다. 따라서 이족 보행로봇에 있어서 정확한 ZMP 값을 안정적인 보행의 구현을 가능하게 만든다.

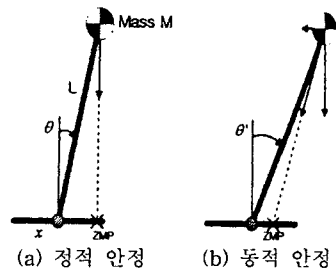


그림 3.3 ZMP 안정도

4. Simulation 결과

구현된 시뮬레이션을 실행하여 그림 4.1은 무릎을 구부리고 걷는 보행 패턴을 보여주고 있다. 결과를 보면 위쪽에는 보행 패턴이 어떤지를 보여주고 있고, 아래쪽에는 보행 패턴에 따른 ZMP의 경로를 나타내고 있다. 그림 4.2는 무릎을 펴고 걷는 보행 패턴을 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 그림 4.2가 그림 4.1보다 사람의 보행 패턴에 비슷한 것을 볼 수 있다.

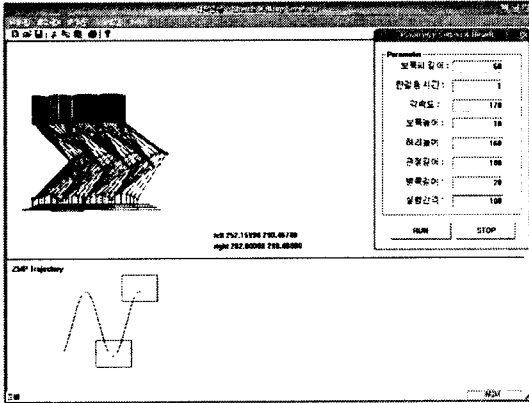


그림 4.1 무릎 구부리고 걷기 시뮬레이션

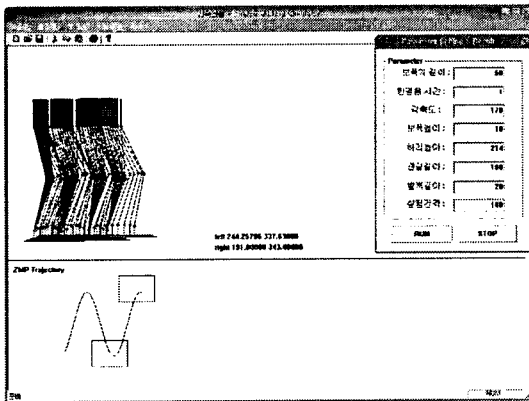


그림 4.2 무릎 펴고 걷기 시뮬레이션

5. 결 론

본 논문에서는 무릎을 펴고 보행하는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 기존의 무릎을 구부리고 보행하는 패턴보다 사람과 비슷한 보행 패턴을 가질 수 있었다. 이족보행 로봇의 가장 중요한 것은 쓰러지지 않는 안정된 보행 패턴 생성인데, 안정된 보행 패턴을 위해 몸이나 발의 위치, 각도 등을 계산하여 ZMP를 이용하였다.

앞으로의 지속적인 연구를 통해 단순히 무릎만 펴는 것만으로 사람과 비슷하게 보행 패턴을 만드는 것이 아닌 사람의 보행 패턴과 똑같은 보행 패턴을 만들고, 단순히 앞으로의 보행뿐만 아니라 방향 전환이나 뒤로의 보행, 점프, 한발로 서서 중심잡기 등을 할 수 있도록 더 많은 연구가 필요할 것이라고 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Dasgupta, A. Y. and Y. Nakamura, "Making Feasible Walking Motion of Humanoid Robots From Human Motion Capture Data," Proceedings, 1999 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1044-1049, May 1999.
- [2] K. Erbatur, A. Okazaki, K. Obiya, T. Takahashi, A. Kawamura, "A Study on the Zero Moment Point Measurement for Biped Walking Robots", International Workshop on Advanced Motion Control, pp431-436, July 2002.
- [3] K.Hirai, M.Hirose, Y.Haikawa, and T. Takenaka, "The Development of Honda Humanoid Robot", Proc. IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp.1321-1326, 1998.
- [4] Y. Sakagami, R.Watanabe, C.Aoyama, S.Matsunaga, N.Higaki and K.Fujimura, "The intelligent ASIMO: System overview and integration", Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2478-2483, 2002.
- [5] Y. Ogura, H. Lim, A. Takanishi, "Stretch Walking Pattern Generation for a Biped Humanoid Robot", Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 352-357, 2003.
- [6] T. Ishida, Y. Kuroki, J. Yamaguchi, "Mechanical system of a small biped entertainment robot", Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1129-1134, 2003.
- [7] Y. Kuroki, T. Ishida, J. Yamaguchi, K. Nagasaka, "A Small Biped Walking Entertainment Robot SDR-4X with a Highly Integrated Motion Control", Proc. of the 20th Annual Conference of RSJ, Osaka, Japan, 1C17, 2002.
- [8] P. E. Klopsteg and P. D. Wilson, et. al. , "Human Limbs and Their Substitutes", New York Harfner, 1963.