

하이브리드 시스템 방법을 이용한 이족보행 로봇의 보행 알고리즘

Walking Algorithm of Biped Robots using Hybrid System Approach

주정현, 임미섭, 임준홍
Junghyun Chu, Mee-seub Lim, Joonhong Lim

Abstract - For walking patterns of biped robots, knee-bent patterns are used in most cases. However, humans are mostly walking with their knees nearly stretched. In this paper, a human-like walking algorithm using hybrid system is proposed for biped robots. The hybrid system consists of the logically constituted discrete system, in which the discrete states are defined by considering the walking characteristics, and the continuous state system used for motor control. It is shown that the proposed algorithm is effective by experimental studies.

Key Words : biped robot, stretch walking , hybrid system

1. 서 론

현대의 로봇은 사람이 하기 힘든 일이나 정밀한 작업 등을 하는 산업현장에서 많이 사용되어지면서 사람의 생활을 편하게 만들어주고 있다. 앞으로 개발되어지는 로봇들은 단순하게 사람들의 생활을 편리하게 만들어주기 위함이 아니라 사람과 모든 생활을 같이 할 수 있게 되는 것을 목적으로 하여 산업용 로봇 외에 가정용 로봇, 인명구조용 로봇, 애완용 로봇, 이족보행 로봇 등의 비산업용 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서도 사람이 추구하는 환경, 즉 일반 가정이나 사무실, 병원 등에서 사람과 함께 생활하며 사람이 하는 일을 도와주는 이족보행 로봇에 대한 연구에 최근 많은 관심이 집중되고 있다. 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].

이족보행 로봇 중에 가장 잘 알려진 혼다의 ASIMO와 소니의 QRIO는 보행 시 무릎을 구부리고 걷는다[2, 3, 4, 5]. 그러나 일반적으로 사람들이 걸을 때는 무릎을 거의 펴고 걷기 때문에 본 논문에서는 사람과 비슷한 보행을 위해 무릎을 펴고 걷는 것을 구현하는 것을 목적으로 한다.

이족보행 로봇이 사람과 같은 보행을 위해서는 수많은 액추에이터가 필요하고, 기계적으로 완벽한 설계가 이루어 저도 로봇의 원활한 보행을 위해서는 보행알고리즘에 관한 연구 등의 많은 것들이 필요하다. 본 논문에서는 ZMP(Zero

Moment Point)를 이용하여 이족 보행 로봇의 안정도를 판별하고 이를 개선하도록 로봇의 자세 제어를 구현하고 이족보행 로봇의 보행을 원활하게 하기 위해서 하이브리드 시스템 방법[6, 7]을 도입한 알고리즘을 제시한다. 보행을 위한 3계층의 계층적 구조를 갖는 하이브리드 시스템을 구성한다. 상위에는 작업특성에 따른 이산상태변수를 정의하고 보행특성에 따른 논리적 의사결정 기능을 갖는 이산상태 시스템을 구성하며, 하위에는 보행로봇의 각 관절의 액추에이터를 제어하기 위한 연속상태 시스템을 구성하고, 중간 계층에는 상위와 하위의 서로 다른 상태 공간을 연결하기 위한 인터페이스 시스템으로 구성되어있다. 이러한 하이브리드 시스템은 이족보행 로봇의 보행을 효과적으로 만들어 준다.

2. 이족보행 로봇 시스템 구조

그림 1과 같이 제작된 이족보행 로봇은 각 다리에는 발목에 3DOF(Degree Of Freedom), 무릎에 1DOF, 엉덩이(hip)에 3DOF를 가지고 있다. 제작된 로봇은 사람과 비슷한 보행패턴을 위해서 발목부분에 3개의 DOF를 가지고 있다. 발목에 3개의 DOF를 가지고 있으면 사람과 비슷한 방향전환이나 여러 가지의 보행패턴을 가질 수 있다. 그림 2는 로봇을 모델링 한 것이다. 보행 로봇의 벡터방정식은

$$X_f = [x_f(t), z_f(t), \theta_f(t)]^T \quad (1)$$

$$X_h = [x_h(t), z_h(t), \theta_h(t)]^T \quad (2)$$

과 같이 주어진다. 여기서, $(x_f(t), z_f(t))$ 는 발목 위치좌표이고 $(x_h(t), z_h(t))$ 는 엉덩이의 위치좌표이다.

저자 소개

- * 朱 程 鉉 : 漢陽大學 電子制御計測學科 碩士課程
- ** 林 美 燮 : 京畿工業大學 메카트로닉스學科 教授
- *** 林 俊 弘 : 漢陽大學 電子制御計測學科 教授

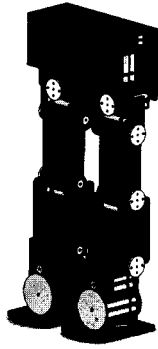
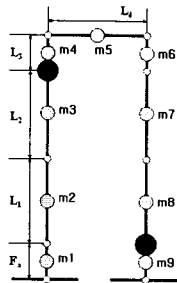


그림 1. 이족보행 로봇



- : Point mass in the middle of the robot links
- m_i : Point mass of the i link
- : Foot trajectory position (X_f, Z_f, θ_f)
- : Hip trajectory position (X_h, Z_h, θ_h)

그림 2. 이족보행 로봇 모델링

로봇의 보행 중에 발생하는 ZMP(Zero Moment Point) 데이터를 얻기 위해서 FSR(Force Sensing Resistor)를 가 발바닥마다 4개씩 장착한다. 보행로봇 제어를 위해서 micro-controller AVR(ATmega128)를 2개 사용한다. 2개의 AVR은 마스터-슬레이브 방식으로 사용하며, 마스터는 컴퓨터와의 통신, FSR에서 발생한 데이터처리, 슬레이브에 명령 보내는 일을 담당하고, 슬레이브는 마스터에서 받은 명령에 맞게 액추에이터를 제어하는 일을 담당한다.

3. 하이브리드 시스템 구성

하이브리드 시스템 모델은 이산상태와 연속상태가 복합적인 시스템의 동작 특성의 구분과 결합된 특성을 표현할 수 있는 효과적인 모델 방법이다. 이족보행 로봇이 보행 시에 동작에 제한을 받게 되는 로봇 시스템을 모델링하고 전체적인 제어를 구성하기 위하여 하이브리드 모델과 제어시스템을 도입한다. 보행을 위해 제한한 하이브리드 제어기는 3계층의 계층적 구조이다. 상위에는 로봇의 기준 동작을 제어하기 위한 상위 수준의 이산상태 제어기와 하위에는 로봇의 ZMP와 모터를 제어하기 위한 하위 수준의 연속상태 제어기, 그리고 상위와 하위의 상태공간을 연결하고 상호작용을 위해서 인터페이스 제어기로 구성되어 있다.

3.1 이산상태 시스템

이산상태 시스템은 로봇의 기준명령을 결정하는 상위수준 과정이다. 그림 3과 같은 이산상태 시스템 모델로 보행알고리즘을 구현한다. 발생하는 변위천이 기준은 보행로봇의 ZMP로 설정을 하고, 기준 명령치는 두발로 지지하는 모드(S_{AA})와 왼발로 지지하는 모드(S_{BB})와 오른발로 지지하는 모드(S_{CC})로 나누어지며 이러한 명령치는 표1과 같은 제어모드에 의해 결정된다. 이산상태 시스템 조건식은

$$S_i \begin{cases} (1) i = j & (x, a) & a: \text{일정} \\ (2) i \neq j & (b, y) & b: \text{일정} \end{cases} \quad (3)$$

로 주어지며 이산상태시스템의 타이밍 그래프는 그림 4와 같다.

표1. 보행상태 제어모드

번호	제어모드	ZMP 위치
①	S_{AA}	두발사이
②	S_{AB}	두발사이
③	S_{BB}	왼발
④	S_{BA}	두발사이
⑤	S_{AC}	두발사이
⑥	S_{CC}	오른발
⑦	S_{CA}	두발사이

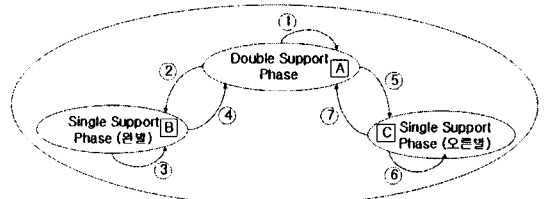


그림 3. 이산상태 시스템 모델링

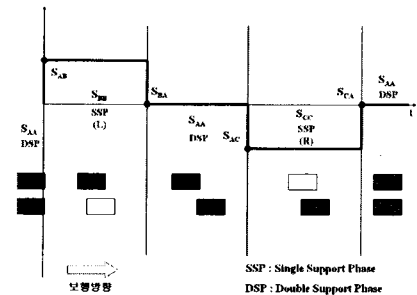


그림 4. 이산상태 시스템 타이밍 그래프

3.2 연속상태 시스템과 인터페이스 시스템

하위 수준의 연속상태 시스템은 이산상태 시스템의 기준명령에 의해 발바닥의 FSR의 데이터를 처리하고, 이족보행 로봇의 액추에이터를 제어한다. 인터페이스 시스템은 이산상태 시스템과 연속상태 시스템 사이를 연결하고 이산상태의 명령을 연속상태의 값으로 변환해서 전달한다.

4. 시뮬레이션과 실험결과

제안된 보행패턴과 보행을 위한 하이브리드 시스템을 이용한 이족보행 로봇을 시뮬레이션과 실험을 통하여 평가하였다. 그림 5와 6은 이족보행 로봇에서 많이 사용하는 보행패턴인 knee-bent 보행패턴과 무릎을 펴고(stretch) 걷는 보행패턴을 각각 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다.

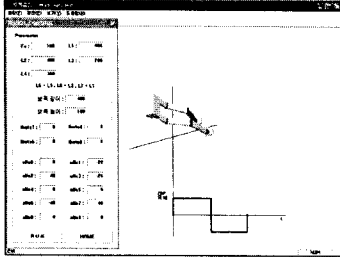


그림 5. 시뮬레이션 결과 (Knee-bent Walking Pattern)

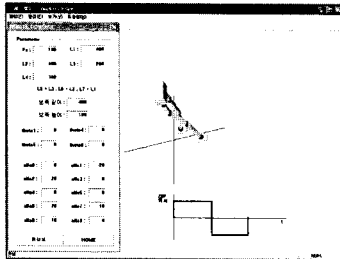


그림 6. 시뮬레이션 결과(Stretch Walking Pattern)

이족보행 로봇을 이용한 실험을 통해서 보행상태에서 보행 로봇의 ZMP값을 얻을 수 있었다. 그림 7과 8은 실험을 통해 보행로봇의 발바닥에 있는 FSR의 값을 계산하여 생성된 ZMP값을 보여준다.

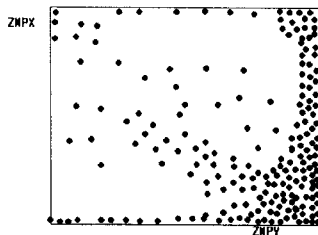


그림7. 보행상태에서 왼발의 ZMP

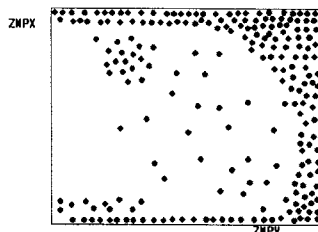


그림8. 보행상태에서 오른발의 ZMP

5. 결론

본 논문에서는 이족보행 로봇의 새로운 보행패턴과 보행을 위한 하이브리드 제어방법을 제안하였다. 하이브리드 시스템에서 상위 수준의 보행 계획을 위하여 이산상태와 동작제어 모드를 정의하였고 이것을 이산상태 모델로 보행을 위한 알고리즘을 설계하였다. 보행을 위한 이산상태 시스템은 하위의 연속상태 제어기의 상태변수로부터 이산상태가 결정되고 이산상태에 의해서 상위 수준에서의 동작명령을 생성하게 하였다. 제안한 새로운 보행패턴과 하이브리드 제어기의 성능을 보이기 위하여 이족보행 로봇에 대한 실험을 통하여 보행을 보였다. 앞으로의 연구과제는 새로운 보행패턴과 카메라를 장착하여 외부환경을 인지하고 ZMP 계산에 의한 시간 지연을 줄이기 위한 알고리즘 개발과 전체적인 하이브리드 시스템의 안정도 해석을 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

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.1044-1-49, May 1999.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] M. Branicky, "Universal Computation and other Capabilities of Hybrid and Continuous Dynamical System," Theoretical Computer Science, Special Issue on Hybrid Systems, vol. 138, no. 1, pp. 67-100, 1995.
- [7] R. Brockett, "Hybrid Models for Motion Control Systems," Essay on Control : Perspectives in the Theory and Its Applications, H. L. Trentelman and J. C. Willems, Eds. Boston, MA : Birkhauser, pp. 29-53, 1993.