

퍼지 알고리즘을 이용한 불규칙한 지면에서 보행하는 휴머노이드 로봇의 실시간 보행 안정성 구현

Walking Algorithm for Real-Time Stability of a Humanoid Robot Using Fuzzy Algorithm Under Uneven Terrain

조형래*, 김진걸**
(Hyoung-Rae Cho*, Jin-Geol Kim*)

Abstract - Since a humanoid robot inherently suffers from instability and always risks tipping itself over, or toppling to the ground, it is necessary to ensure high stability and reliability of walk. An unexpected ground condition is one of the principal factors of instability. This paper proposes a walk stabilization method consisting of a Fuzzy algorithm and geometry under uneven terrain. The ground reaction forces that are measured by the FSR sensors on the sole are used to check the ground condition and the robot posture. The effectiveness of proposed method is verified by computer simulations.

Key Words : humanoid, biped, stabilization, fuzzy

1. 서론

휴머노이드 로봇이 지니고 있는 중대한 결함 중 한가지는 불안정성이다. 최근에는 이러한 휴머노이드 로봇 연구에 있어서 매우 중요한 분야인 안정성과 신뢰성을 실시간으로 보장하고자 하는 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 이들 휴머노이드 로봇의 안정성에 관한 연구들 중 많은 수가 ZMP를 안정성의 지표로 사용하고 있다[1].

기존의 연구들에서는 미리 오프라인에서 Desired ZMP 궤적을 생성하여 실제 ZMP와 Desired ZMP의 차를 보상, 혹은 제어하거나[2], ZMP가 안정영역 내에 위치하도록 상체나 허리관절을 이용하는 방법 등이 제시되었다[3]. 또한 COG나 COG Jacobian을 안정성의 지표로 활용하기도 하였다[4]. 이러한 보상 및 제어에는 neuro-Fuzzy[5], GA(Genetic Algorithm)[6], Optimal Preview Control[7]등의 기법들이 제시되었다. 이외에도, Feedback Algorithm을 이용하거나[8], 미리 만들어진 기본 모션들을 연결하거나 섞는 방법[9] 등 다양한 방법들이 제시되고 있다. 이들 연구들은 대부분 많은 연산량을 필요로 하거나, 모델을 단순화하거나, 불안정성의 주된 요인으로 외부에서 가해지는 외력을 고려하였다.

최근에 불확실한 지면환경에서의 안정성에 관한 몇몇 연구들이 진행되기 시작하고 있다[10]. 본 논문에서는 불규칙한 지면 환경에서 보행하는 휴머노이드 로봇의 실시간 보행 안정성을 확보하기 위한 방법으로 퍼지 알고리즘이 포함된 발

목 관절 제어 방법을 제시한다. 발바닥에 장착된 FSR센서를 이용하여 지면 및 로봇의 상태를 파악하고, 퍼지 알고리즘을 이용하여 안정된 발목관절 회전각을 구한다. 발목관절의 회전각이 구해지면 이를 토대로 역기구학 연산을 통해 로봇의 COG를 특정 안정 위치로 이동시키게 된다. 다음 장에서는 본 연구의 적용 대상인 휴머노이드 로봇 ISHURO-II를 기반으로 한 전체 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 보행 전략 및 안정화 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 제안된 방법의 시뮬레이션 결과를 설명하고, 마지막으로 결론을 설명한다.

2. 보행 패턴

2.1 보행 패턴

로봇은 평지를 전제로 미리 만들어진 궤적으로 보행을 수행한다. 보행도중 평지 보행 시 예상되었던 센서 데이터와 다른 값이 센서로부터 측정되면 로봇은 안정화 알고리즘을 수행한다. 그림 1은 보행 알고리즘이다.

2.2 안정화 알고리즘

발바닥의 8개의 센서로부터 측정된 값들에 따라 대략적인 지면 및 로봇 상태를 판단할 수 있는데, 간단한 예로 앞쪽 센서 값이 크고 뒤쪽 센서 값이 없으면 그림 2의 (a)와 같은 상황을 예측할 수 있으므로 상황에 따른 적절한 대처가 가능하게 된다. 보행도중 그림 2의 (a)와 같은 상황에 처할 경우 로봇은 표시된 것과 같은 방향으로 적절하게 발목관절을 회전시킴으로써 지면 상황에 능동적으로 대처하여 안정성을 확보할 수 있다.

저자 소개

- * 조형래: 인하大學 전자공학 석사과정
- ** 김진걸: 인하大學 전자공학 석교수

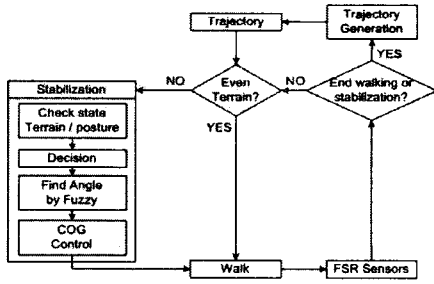


그림 1 보행 알고리즘

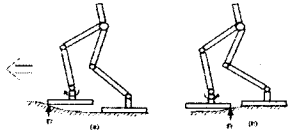
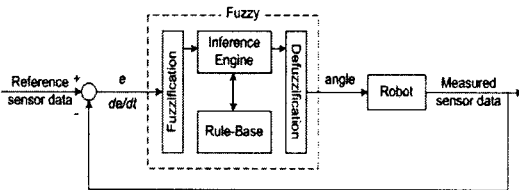
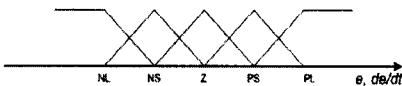


그림 2 지면환경과 로봇상태

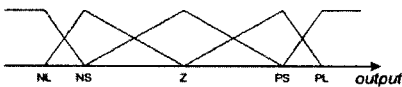
지면과 접촉 순간의 다양한 환경에 능동적이지 못할 경우 로봇이 흔들리거나, 자칫 넘어지는 상황이 벌어질 수도 있게 된다. 그러므로 접촉 순간의 위치와 속도, 지면환경에 따라 능동적으로 회전 값을 적용할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 다양한 접촉 환경에 대한 회전 값을 퍼지 알고리즘을 이용하여 구하였다. 그림 3은 적용된 퍼지 알고리즘과 멤버십 함수, 추론 규칙이다.



(a) Fuzzy Algorithm



(b) Input membership function



(c) Output membership function

$\frac{de/dt}{e}$	NL	NS	Z	PS	PL
NL	NL	NL	NL	NS	NS
NS	NL	NS	NS	NS	NS
Z	Z	Z	Z	Z	Z
PS	PS	PS	PS	PS	PL
PL	PS	PS	PL	PL	PL

(d) Rule-Base

그림 3 퍼지 알고리즘

앞쪽센서 값과 뒤쪽센서 값의 차이를 error로 하고, 변화율을 error rate로 하였다. 이를 토대로 그림 3 (b)의 멤버십 함수를 이용하여 현재 상태를 퍼지화 하였으며, 그림 3 (d)에 설명된 추론 규칙을 기초로 하여 발목 관절 값에 대한 추론을 수행하였으며, 그림 3 (c)를 기반으로 Center Average 방법을 사용해서 비퍼지화 과정을 수행하여 발목관절에 적용될 각도 값을 구하였다.

앞쪽센서 값과 뒤쪽센서 값이 존재하고, 동시에 error 값이 일정 범위내에 있게 되는 순간, 즉 발바닥 전체가 지면에 닿고, 무게가 고르게 지지될 때 퍼지 알고리즘은 종료된다. 그리고 나서 로봇의 COG가 양 발의 중앙에 오도록 단순 기구학 해석을 수행한다. 위의 안정화 과정이 모두 종료되면 로봇은 현재의 자세에 맞춘 새로운 궤적을 생성하여 보행을 재개한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

4.1 센서 시스템

시뮬레이션은 높이 950.5mm, 무게 35kg의 휴머노이드 로봇 ISHURO-II를 기반으로 하였다. 기본 보행 궤적은 평지를 가정하였고, 보폭 0.15m, 보속 0.05m/s로 하였다. 그림 4는 로봇의 발바닥에 구성된 FSR센서의 데이터 흐름도이다.

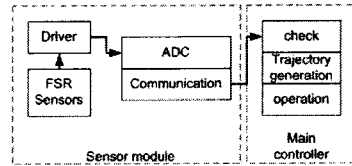
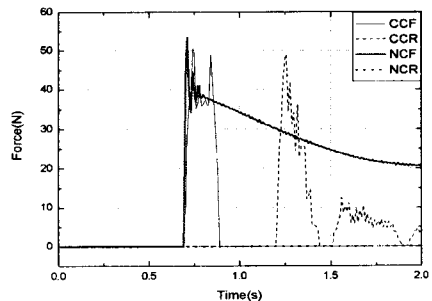


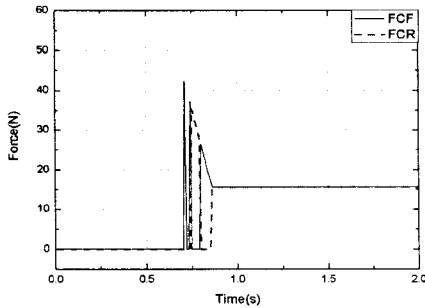
그림 4 센서 시스템

4.2 시뮬레이션 결과

그림 7 (a)는 기본 보행도중 경사면과 접촉하였을 때의 센서값(NCF:Front, NCR:Rear)과 접촉 후 일정한 상수값으로 발목 관절을 회전시켰을 때의 센서값(CCF, CCR)을 나타낸다. 경사면과 접촉 후 지속적으로 지면을 밟는 현상과 앞꿈치로 접촉 후 다시 뒤꿈치가 지면에 닿고 미끄러지면서 양 발의 발끝이 지면에서 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 그림 7 (b)는 제안된 방법에 의해 얻어진 회전값으로 발목관절을 회전시켰을 때의 센서 값을 나타낸다.



(a) 선행연구



(b) 제안된 알고리즘
그림 7 발바닥 센서값

접촉 이후 앞쪽과 뒤쪽 센서값이 반복되다가 약 0.9초 이후 일정한 값을 이루어 퍼지 알고리즘이 종료됨을 볼 수 있다. 그림 8은 제시된 알고리즘을 적용하여 얻어진 발목 관절의 회전 각도를 나타낸다. 구해진 각도값은 원래의 궤적값에 증분되어 최종 구동에 사용된다. 그림에서 지면과 접촉하는 약 0.7초 이후 가감을 반복하다 '0'으로 수렴함을 볼 수 있다.

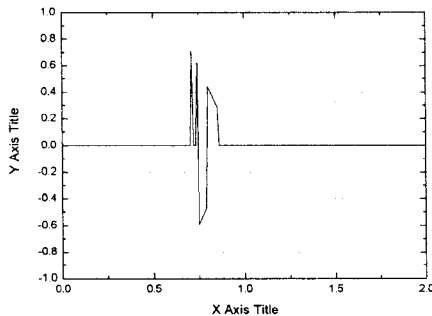


그림 8 발목관절 회전각도

5. 결론

본 논문에서는 불규칙한 지면에 대한 실시간 안정화 알고리즘을 제시한다. 휴머노이드 로봇은 인간과 협업을 하기 위해서 불규칙한 지면을 보행할 수 있어야 한다. 하지만 로봇의 움직임은 역기구학, 충돌검출, 안정성 확보 등과 같은 복잡한 연산을 포함하고 있어서 실시간 안정화는 구현하기 어렵다. 본 논문에서, 다양한 지면환경에 대한 안정한 관절 각도 값을 찾는 데에 퍼지 알고리즘을 사용하였다. 제안된 알고리즘은 ZMP값이 아닌 지면 반발력을 제어 입력으로 이용하여 연산시간이 빠르므로 실시간성을 만족한다. 시뮬레이션에서 10도 경사면에 대한 안정화 시간이 0.15초가 소요되었다.

제시된 알고리즘의 성능을 향상시키기 위해, 지지 발까지 알고리즘의 적용 범위를 확장해야 한다. 특히 실제 휴머노이드 로봇을 이용한 실험을 수행할 것이다.

후기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-041-D00320)

참고 문헌

- [1] Vukobratovic, M. Juricic, D. "Contribution to The Synthesis of Biped Gait", IEEE Trans. On Bio-Medical Engineering, vol. BME-16 pp. 1-6, 1969.
- [2] Nishiwaki, K. Kagami, S. Kuniyoshi, Y. Inaba, M. Inoue, H. "Online generation of human-oid walking motion based on a fast generation method of motion pattern that follows desired ZMP", Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots & System, vol. 3, pp. 2684 - 2689, 2002.
- [3] Djoudi, D. Chevallereau, C. "Stability analysis of a walk of a biped with control of the ZMP", IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots & Systems, pp. 2461-2467, 2005.
- [4] Sugihara, T. Nakamura, Y. "Whole-body Cooperative Balancing of Humanoid Robot using COG Jacobian", Proc. of IEEE/RSJ. Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2575-2580, 2002.
- [5] Kim, D. Seo, S. Park, G. "Zero-moment point trajectory modeling of a biped walking robot using an adaptive neuro-fuzzy system", Proc. of IEE Control Theory, vol. 152, pp. 411-426, 2005.
- [6] Fukuda, T. Komata, Y. Arakawa, T. "Stabilization Control of Biped Locomotion Robot based Learning with Gas having Self-adaptive Mutation and Recurrent Neural Networks", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 217-222, 1997.
- [7] Kajita, S. Kanehiro, F. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi, K. Hirukawa, H. "Biped Walking Pattern Generation by using Preview Control of Zero-Moment Point", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 1620-1626, 2003.
- [8] Kondak, K. Hommel, G. "Online Generation of Stable Gait for Biped Robots with Feedback Loop Algorithm", Proc. of IEEE Conf. on Robotics, Automation and Mechatronics, pp. 710-715, 2004.
- [9] Nishiwaki, K. Sugihara, T. Kagami, S. Inaba, M. Inoue, H. "Online Mixture and Connection of Basic Motions for Humanoid Walking Control by Footprint Specification", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 4110-4115, 2001.
- [10] Huang, Q. Nakamura, Y. "Sensory Reflex Control for Humanoid Walking", IEEE Trans. On Robotics, vol. 21 pp. 977-984, 2005.