

퍼지와 유전알고리즘을 이용한 이족보행로봇의 장애물 회피에 관한 연구

공정식*, 김진걸*
*인하대학교 자동화공학과

A study on the Obstacle Avoidance for a Biped Walking Robot Using Genetic-Fuzzy Algorithm

Jung Shik Kong, Jin-Geol Kim
Dept. of Industrial Automation Eng. Inha Univ.

Abstract - This paper presents the obstacle avoidance of a biped walking robot using GA-Fuzzy algorithm. In the case of our previous studies, the surface has been assumed to be flat. For the case of the environment with obstacles, however, the walking robot might be unnatural. Thus, we considered the surface contained obstacles that the robot can pass through. We propose the optimal leg trajectory data-base by using genetic algorithm and optimal leg trajectory movement about obstacles that exist in front of the robot using fuzzy approach. It is shown that the robot can move more naturally on the surface that contains obstacles.

생성을 생성하여 장애물이 있는 지면에서 이족보행로봇이 보다 유연하게 보행 할 수 있도록 한다.

2. 본 론

2.1 이족보행로봇 시스템 좌표계

본 논문에서 사용한 이족보행로봇 IWR-III 시스템은 다축 구동시스템이므로 기구학적 변화와 각 링크의 운동 특성 표현이 복잡하다. 따라서 본 시스템에서는 기구학 및 운동특성을 용이하게 해석하기 위해 지지각(support leg), 유각(swing leg), 균형관절(balancing joint)의 3부분으로 나누고, 각 부분을 Denavit-Hartenberg의 강체 링크 표시법을 사용하여 세 개의 단순 기구 연쇄로 해석할 수 있도록 하였다. 그림 1은 이족보행로봇의 좌표계이다.

1. 서 론

최근, 이동성을 부가하여 작업반경을 스스로 확장시킬 수 있는 이동로봇 연구가 활발해지고 있다. 그 중에서도 이족보행로봇은 인간과 유사한 보행을 가지고 있어서 인간을 대신하여 위험한 작업공간에서 작업이 가능하다는 장점을 가진 로봇이다. 그러나 이족보행로봇은 보행을 위한 자유도를 포함한 고자유도 시스템이어서 해석의 편의를 위해 기본적으로 이족보행로봇의 보행 지면을 이상 지면-무한하고 평평한 지면-이라고 가정한 후 ZMP (Zero Moment Point)라는 균형점을 통해 이족보행로봇의 안정도를 확보하고, 다리부의 궤적을 해석하여 보다 유연한 보행이 가능하도록 하는 연구가 진행되어 왔다⁽¹⁻⁴⁾.

기존의 이족보행로봇의 다리부의 궤적 계획 시 지표면이 이상지면이라 가정하였기 때문에, 먼저 단위 걸음새를 정의하고, 각 단위 걸음새에 대한 다리부의 최적 궤적을 생성하고, 연속 보행의 경우 각 단위 걸음새의 연결을 통하여 연속 보행을 수행하였다⁽⁵⁾. 이러한 경우 목표점을 설정하여 보행 할 때 단위 걸음새에서 제공하는 기본 보폭의 배수에 대해서만 목표점까지 추정이 가능하고 그 이외에 경우 목표점을 추종하기에 어려움이 따른다. 더군다나 지면에 장애물이 존재할 경우 장애물 회피를 할 수 있는 궤적을 생성하기에 어려움이 따른다.

이에 본 논문은 기존의 이상지면이란 가정 대신에 로봇이 넘을 수 있는 장애물이 존재하는 지면을 가정하고 기본적인 장애물 정보에 대한 다리부의 최적 궤적을 유전 알고리즘을 이용하여 생성한 후, 이 데이터를 기본으로 한 퍼지 시스템을 구축하여 현 시뮬레이션 상에 존재하는 장애물에 대한 다리부의 최적 궤적을 생성하며, 매 보행 시작 전에 장애물에 대한 정보를 토대로 다리 궤적을 생성하는 알고리즘을 제공으로써 보행 시 최적 궤적

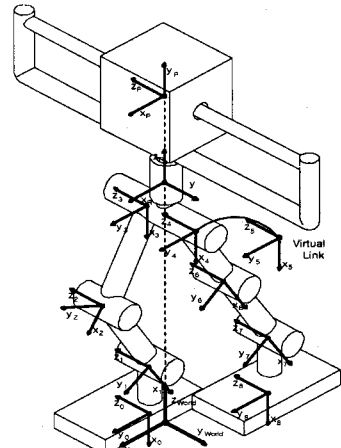


그림 1. 이족보행로봇의 시스템 좌표계

2.2 이족보행로봇 시스템 궤적 계획

이족보행로봇 시스템은 지지각, 유각의 운동특성과 목표 균형점의 궤적만으로 균형관절의 운동특성을 찾아내어 균형점을 제어하므로 보행을 수행하기 위해서는 반드시 지지각과 유각의 궤적계획이 필요하다. 궤적 계획은 각각 지지각과 유각의 기준 좌표계에 대해 표현하고 보행 시 부드러운 움직임과 기계적 충격량을 고려하여 시간에 대한 경로 구간을 5차 다항식 곡선으로 설정하여 위치, 속도뿐만 아니라 가속도도 제어할 수 있도록 하였다. 시간에 따른 궤적은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$p(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 \quad (1)$$

여기서 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 는 궤적 생성 시 초기 조건과 최종 조건에 의해 생성되는 매개 변수이고, $p(t)$ 는 시간 t 에 대한 지지각과 유각의 말단좌표의 위치 정보이다.

2.3 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)

유전 알고리즘은 진화 현상에 기초한 계산 모델로서 전역적인 최적화 알고리즘으로 생물학적인 유전자인 염색체에 해당하는 문자열을 가지고 생물과 같은 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐 다음 세대의 새로운 자손을 인공적으로 만들어 낸다.

이 논문에서 제안한 장애물 회피 알고리즘에서는 퍼지 시스템의 데이터베이스를 위한 기본적으로 정의된 몇몇의 장애물 정보에 대해 유전 알고리즘을 이용하여 다리부의 최적 궤적을 생성하는데, 먼저 장애물의 폭과 높이가 주어지면 장애물의 정보에 따른 다리부의 경유점 정보에 대해 궤적의 속도와 가속도의 변화량을 최소화시키는 경유점 정보를 적합도 함수로 하여 최적의 다리부 궤적을 유도한다. 경유점 정보를 데이터 베이스화 하기 위한 유전 알고리즘에 사용한 매개변수는 개체군의 크기를 100으로 하고 세대수를 100 세대로 하였으며 스트링의 길이는 40으로 하였다. 그리고 교배율은 0.6, 돌연변이율은 0.03으로 하였다. 그리고 유전 알고리즘의 적합도 함수는 식(2)와 같다.

$$f(n) = \frac{1}{\sum (v_{i+1} - v_i)^2 + \sum (a_{i+1} - a_i)^2} \quad (2)$$

이때 $f(n)$ 은 n 번째 개체의 적합도함수이고, v_i, a_i 는 다리부 궤적 생성 시 단위 시간에 대한 지지각과 유각 말단좌표의 속도와 가속도를 나타낸다.

2.4 퍼지 시스템(Fuzzy system)

퍼지 시스템은 인간의 언어와 사고의 애매함을 수리적으로 취급하는 알고리즘으로 실제 세계의 근사적이고 부정확한 성질을 표현하기 위한 알고리즘으로써, 개념적으로 이해하기 쉽고 부정확한 데이터에 대해 강인성을 가진 장점을 가지고 있다. 퍼지 시스템은 퍼지화부, 추론부, 기반 지식부, 비퍼지화로 나뉘며 퍼지 시스템의 구조는 그림 2와 같다.

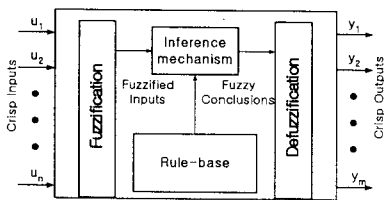


그림 2. 퍼지 제어기의 구조

이 논문에서 제안한 이족보행로봇의 시뮬레이션 상에 존재하는 장애물에 대한 다리부 궤적생성의 경우 유전 알고리즘을 통한 다리부의 최적 궤적들을 기반 지식부에 저장한 다음 보행 중 장애물을 만나게 되면 퍼지부를 통하여 장애물에 대한 정보를 퍼지화 한다. 퍼지화 된 다리부 궤적 정보는 지식 기반부와 연결되어 있는 추론부를 통하여 추론의 결과가 생성되면 비퍼지화 단계를 통해 다리부 궤적에 대한 최적 궤적을 실수값으로 추정한다. 그림 3과 그림 4는 장애물의 높이와 폭에 대한 퍼지 멤버십 함수이고 표 2는 퍼지 시스템의 추론 규칙이다.

2.5 장애물 회피 알고리즘

기존의 보행 알고리즘은 이상지면이라 가정하였기 때

문에 연속 보행에 대해 단위 걸음세의 연속으로 보행 궤적을 구성하였으나, 장애물이 존재하는 지면에 대해서는 보행 중에 장애물을 회피가 어려웠다.

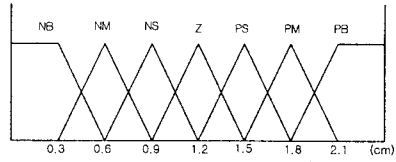


그림 3. 장애물 높이에 대한 퍼지 멤버 함수

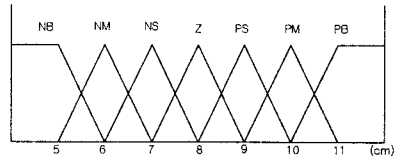


그림 4. 장애물 폭에 대한 퍼지 멤버 함수

표 1 다리 궤적 생성에 대한 지식 기반부

		장애물의 높이						
		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
장애물의 폭	PB	PB	PB	PM	PS	Z	Z	Z
	PM	PB	PM	PS	PS	Z	Z	Z
	PS	PM	PS	PS	Z	Z	Z	NS
	Z	PS	PS	Z	Z	Z	NS	NS
	NS	PS	Z	Z	Z	NS	NS	NM
	NM	Z	Z	Z	NS	NS	NM	NB
	NB	Z	Z	Z	NS	NM	NB	NB

이에 새로 제안된 장애물 회피 알고리즘은 보행을 시작하기 전에 장애물과의 거리를 확인 한 후 장애물이 기존 단위 걸음세보다 가까이 있을 경우 보행 보폭을 장애물을 회피할 수 있는 곳까지 다리를 움직이도록 하는 궤적을 생성한 후 퍼지 시스템에서 나온 장애물에 대한 최적 궤적 정보를 이용하여 장애물을 회피하도록 하였다. 그림 5는 장애물 회피 알고리즘의 구성도이다.

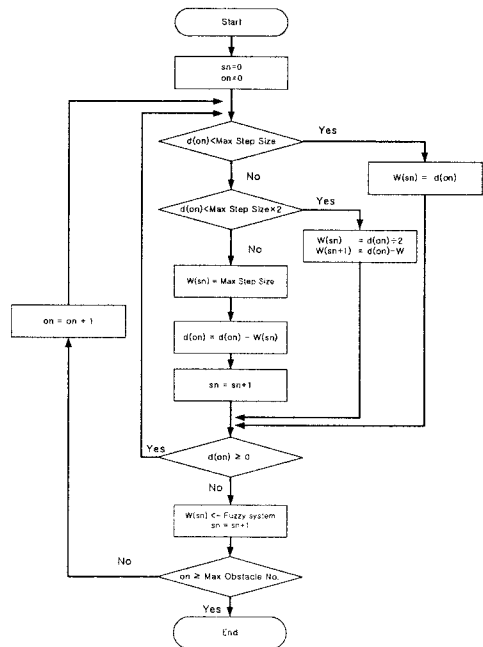


그림 5. 장애물 회피 알고리즘의 구성도

여기서 sn 은 현재 보행 횟수를 나타내고 on 은 현재 장애물의 개수를 나타낸다. $d(on)$ 은 현재 이족보행로봇과 장애물과의 거리를 나타내고 $w(sn)$ 은 보행 보폭의 크기를 나타낸다.

2.4 모의실험

이족보행로봇의 제안된 장애물 회피 알고리즘에 대한 모의 실험은 Microsoft사의 Visual C++을 이용하여 구성하였다. 그림 6은 모의 실험기의 전체 모습이다.

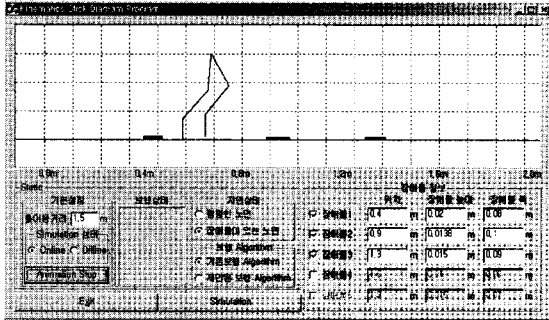


그림 6. 모의 실험기

기존 보행알고리즘의 경우 단위 걸음새의 연속이라고 가정했기 때문에 보행 중 장애물이 있을 경우는 장애물을 피하지 못하는 일이 발생한다. 그림 7은 장애물이 존재하는 지형에서의 기존 보행 알고리즘을 적용했을 때의 스틱다이아그램이다.

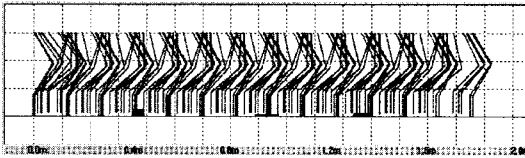


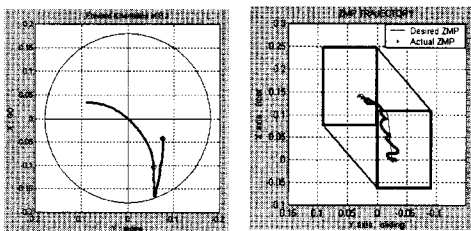
그림 7. 기존 알고리즘에 의한 보행 스틱다이아그램

장애물 회피 알고리즘을 도입한 경우 장애물 앞에서 장애물에 대한 정보를 가지고 다리부 궤적을 재해석하므로 장애물을 회피할 수 있다. 그림 8은 제안된 알고리즘을 적용했을 때의 스틱다이아그램이다.



그림 8. 제안된 알고리즘에 의한 보행 스틱다이아그램

그림 9는 장애물의 폭이 8cm, 높이가 2cm인 경우의 균형관절의 움직임과 ZMP움직임에 대한 그래프이다.



(a) 균형관절

(B) ZMP

그림 9. 장애물에 대한 균형관절과 ZMP의 움직임

3. 결 론

기존의 이족보행로봇은 로봇 자체가 가지고 있는 해석상의 어려움으로 인해 보행 안정성 해석에 많은 관심을 가져 왔다. 그러나 일반적인 경우 지면이 평행하지 않기 때문에 이족보행로봇은 고정되어 있는 로봇과는 달리 지형에 대한 고려가 있어야 된다고 생각한다. 이에 본 논문에서는 장애물에 대한 이족보행로봇 시스템의 움직임을 결정하고 이에 대해 유전알고리즘을 기본으로 한 퍼지 시스템을 도입하여 장애물을 내포한 지형에 대한 이족보행로봇의 움직임을 최적화 하는 알고리즘을 제시하여 장애물에 대해 이족보행로봇이 보다 유연한 보행을 할 수 있도록 하였다.

앞으로 장애물의 형태가 규격화되어 있지 않고, 장애물을 넘을 수 없을 경우, 장애물을 피해 움직여야 할 경우, 경사면 보행, 계단 보행 등의 보행에 대한 최적 궤적 생성이 필요한 시점이고, 이에 대한 보다 폭넓은 연구가 이루어져야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. Takanishi, M.Ishida, Y.Yamazaki, and I.Kato, "Realization of Dynamic Walking by the Biped Robot WL-10RD", The 1985 International Conference on Advanced Robotics, pp.459-466, Tokyo, Japan, 1985.
- [2] Yuan F.Zheng, "Acceleration Compensation for Biped Robots to Reject External Disturbances," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.19, no.1, pp.74-84, 1989.
- [3] A.Takanish, H.O.Lim, M.Tsuda, and I.Kato, "Realization of dynamic Biped Walking Stabilized by Trunk Motion on a Sagittally Uneven Surface," Proceedings of the 1990 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.323-329, Tsuchiura, Japan, Jul.3-6, 1990.
- [4] Q.Li, A.Takanishi, and I.Kato, "Learning Control of Compensative Trunk Motion for Biped Walking Robot based on ZMP Stability Criterion", Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.597-603, Raleigh, USA, Jul.7-10, 1992.
- [5] S.H.Lim and J.G Kim, "Control of a Biped Walking Robot using Zero Moment Point Formulation", Trans. KIEE Vol. 48A, No. 8, pp 1022-1030, 1999.