

# 유전 알고리즘 기반의 최적 이족 로봇 보행 생성에 관한 연구

한 경 수, 공 정 식, 김 진 겐  
인하대학교 전기공학과, 인하대학교, 인하대학교  
전화 : 032-860-7384 / 핸드폰 : 019-476-3920

## Genetic Algorithm-Based Optimal Walking Trajectory Generation for Biped Walking Robot

Kyoung Soo Han, Jung Shik Kong, Jin-Geol Kim  
Dept. of Electrical Eng., Inha University  
E-mail : hks613@dreamwiz.com

### Abstract

This paper is concerned with walking trajectory generation by applying the genetic algorithm. The walking trajectory is generated through three via-points and genetic algorithm is employed to find velocity and acceleration at each via-point. Also genetic algorithm is applied for balancing joint trajectory. Fitness function is used for minimizing the trajectory. As a result, new algorithm generated the smooth trajectory. The proposed algorithm is verified by the experiment of biped walking robot developed in our Control laboratory. and we compared the result with the previous walking algorithm.

It showed that the new proposed algorithm generated the better walking trajectory.

### I. 서론

이제는 상상만 하던 로봇이 우리 생활에 밀접한 관계를 가지게 되었다. 단순한 용접이나 페인트칠 같은 일을 하는 로봇에서부터 인간과 같은 외형에 인간처럼 걷는 로봇까지 그 모습이나 역할도 다양하다.

이중 가장 발달 된 형태는 인간처럼 걷는 이족 보행 로봇이다. 이족 보행 로봇은 궁극적으로는 인간의 모든 일을 대신하는 역할을 하게 될 것이다. 이족 보행 로봇에 대한 중요 분야는 보행 패턴에 관한 연구이다. 이와 관련하여 Vukobratovic에 의해서 제안된 ZMP(Zero Moment Point)는 보행 안정 현상에 대하여 간단하고 직관적이며 쉽게 받아들일 수 있는 해석으로 이족 보행 로봇의 안정도 해석에 효과적으로 응용되었다[1]. Hung은 ZMP를 이용하여 다리 궤적과 Hip궤적의 안정도를 유지하기 위한 보행 패턴에 관해 연구하였다[2]. 또한 Fukuda는 보행 시 에너지의 최소화를 위해서 유전 알고리즘의 목적함수를 각 관절의 에너지 최소화를 설정하여 다양한 환경에서 인간과 같은 보행 패턴을 생성하기 위한 연구를 하였다[3]. 본 논문은 이족 보행 로봇을 대상으로 보행 패턴에 관한 연구이다. 이족 보행 로봇이 효과적인 보행을 하기 위해서는 한 가지 패턴이 아니라 상황에 따라 패턴이 바뀌서 보행이 이루어져야 한다. 평지, 경사, 계단 등 여러 환경에 맞는 보행이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 평지에서 보다 더 효과적인 보행을 위해서 다리와 균형관절의 궤적생성에 대해 새로운 알고리즘을 제시한다. 다리와 균형관절에 궤적을 생성하기 유전 알고리즘이 이용되었으며 이를 검증하였다.

## II. 이족 보행 로봇 시스템

이족 보행 로봇의 보행 해석을 위해서는 유각과 지지각의 궤적, 그리고 균형관절의 궤적이 필요하다. 이족 보행 로봇시스템은 기구학 및 동특성 해석을 쉽게 하기 위해서 다리부는 지지각(Support leg), 유각(Swing leg)으로 그리고 균형관절(Balancing joint)의 세 부분으로 나누어 기준 좌표계를 정하였다. 지지각과 몸체부는 연속된 변환 행렬로 표현이 가능하며 지지각의 끝단은 몸체에 연결되어 있으므로 궤적 계획은 몸체 추진 궤적 계획을 의미한다. 유각의 경우 끝단이 발바닥의 움직임을 구현한다. 세 부분 각각에 대하여 D-H(Denavit Hartenerg)강체 링크 표기법을 사용하여 움직임을 해석하였다. 그림 1은 이족 보행 로봇의 전체 좌표계이다. 몸체와 유각은 2초 동안 동시에 움직이고, 1초간의 상 변환 과정을 거치면서 균형추가 다음 보행을 위한 초기 위치로 움직여 유각과 지지각이 바뀌게 된다.

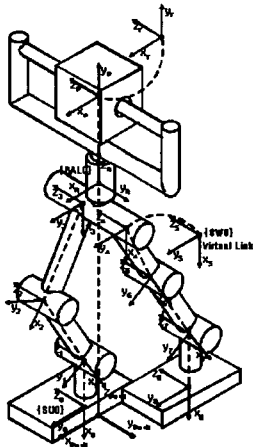


그림 1. 이족 보행 로봇의 전체 좌표계

## III. 궤적 생성 알고리즘

### 3.1 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연의 진화 현상에 기초한 모델로서 John Holland에 의해 1975년에 개발되기 시작했다[4]. 유전 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로서, 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아 남는다는 Darwin의 적자생존(survival of the fittest)의 이론을 기본 개념으로 한다. 유전 알고리즘은 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐서 다

음 세대의 새로운 자손을 인공적으로 생성한다[5].

### 3.2 기본의 생성 방법

#### 3.2.1 다리 궤적 생성

기존에는 다리 궤적을 생성하기 위해서 경유점을 4개를 적용하였다. 그리고 중간 경유점인 0.7초와 1.4초에서의 속도, 가속도를 결정하기 위해서 유전 알고리즘을 적용하였다. 그리고 경유점에서 위치, 속도, 가속도를 사용하여 5차 스플라인을 사용하여 궤적을 생성하였다. 하지만 보행 시 경유점은 로봇이 반드시 지나야 하는 점이기 때문에 장애물이 없는 평지에서는 필요 이상의 에너지를 소모하는 결과를 초래하였다. 따라서 경유점의 개수가 많으면 로봇의 관절은 그만큼 많은 움직임을 필요로 하고 이는 에너지 소모를 초래하게 된다. 따라서 새로운 방법으로 경유점의 개수를 줄이는 방법을 제안하여 그 결과를 시뮬레이션과 실험을 하였다.

#### 3.2.2 균형 관절 궤적 생성

이족 보행 로봇의 보행에 있어서 가장 중요한 부분은 균형을 유지하여 안정성을 확보하는 것이다[6]. 이를 위해서 로봇은 균형관절의 움직임으로 보행 시 균형을 유지하게 된다. 균형 관절은 회전관절과 직진 관절로 구성이 되어 있다. 이족 보행 로봇이 보행 시 균형 관절의 움직임이 적어야 안정된 보행이 이루어질 수 있다. 이를 위해서 기존의 방법은 유전 알고리즘을 사용하여 0.0초, 2.0초, 2.5초, 3.0초에서 위치를 결정하였고, 그리고 그 위치 값을 사용하여 궤적을 결정을 하였다. 이때 유전 알고리즘에 적용된 목적함수는 에너지를 최소화 하는 함수를 사용하였다.

### 3.3 제안된 궤적 생성 방법

#### 3.3.1 최적 다리궤적 생성

기존의 방법을 다리궤적을 생성하기 위해서 경유점을 4개를 주었으나 본 논문에서는 경유점을 3개로 적용하였다. 이는 기존에 방법이 장애물이 없는 평지에서는 필요 이상의 관절의 움직임을 초래하였고 이는 로봇의 에너지 소모를 발생시켰다. 따라서 이를 개선하기 위한 방법으로 경유점을 3개로 적용하였다. 경유점 3개는 각각 0.0초, 1.0초, 2.0로 중간 경유점인 1초에서의 속도, 가속도를 결정하기 위해서 유전 알고리즘을 사용하였다. 표 1에서 String의 길이는 40bit으로 설정하였다. 처음 20bit는 속도, 뒤에 20bit는 가속도의 값을 나타내도록 설정하고 재생산, 교배, 돌연변이를 적용하여 새로운 자손을 결정하고 목적함수에 적용하여 fitness값이 가장 큰 string을 선택하게 하여 원하는 값을 선택하게 하였다. 그리고 이때 목적함수는 가속도

가 최소가 되는 함수를 설정하여 가속도의 크기를 줄여지게 하였다. 한편 0.0초와 2.0초에서는 시작과 끝 위치이므로 속도, 가속도를 0으로 설정하였다. 또한 설정된 교배율과 돌연변이율은 여러 실험을 통하여 fitness값이 가장 높은 값들이다. 표 1은 속도, 가속도의 최적 값을 구하기 위해서 다리케적 설정된 유전 알고리즘의 매개 변수 값들이다.

표 1. 다리 관절의 유전 알고리즘의 매개 변수 값

Parameter	Value
Population	100
Generation	100
String length	40bit
Crossover Rate	0.6
Mutation Rate	0.03
Gene Number	2
Fitness function	$f = \frac{1}{\sum (a_{i+1} - a_i)^2}$

3.3.2 최적 균형관절 궤적 생성

이족 보행 로봇이 안정하게 움직일 수 있는 요소 중에 하나는 균형관절의 움직임이다. 균형관절의 움직임이 많으면 균형관절에 가속도가 커지므로 보행 로봇은 그만큼 보행이 불안해 진다. 표 2는 적용된 유전 알고리즘의 설정값들이다. 유전 알고리즘 설정에 있어서 string의 길이는 40bit로 설정하였다. 이중 처음 10bit는 0.0초에서의 위치, 다음 10bit는 2.0초에서의 위치, 다음 10bit는 2.5초에서의 위치, 마지막 10bit는 3.0초에서의 위치로 설정하였다. 그리고 fitness값을 결정하는 목적함수는 회전관절과 직진관절의 움직임을 최소화 하는 함수를 적용하였다.

표 2. 균형 관절의 유전 알고리즘의 매개 변수 값

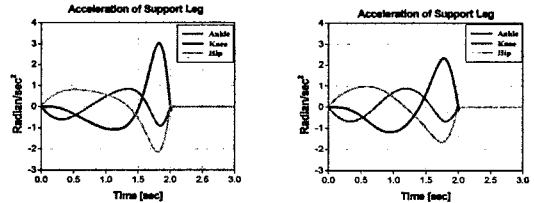
Parameter	Value
Population	50
Generation	50
String length	40bit
Crossover Rate	0.3
Mutation Rate	0.3
Gene Number	4
Fitness function	$\frac{\text{구간당회전각}}{\text{전체회전가능각}} + \frac{\text{구간당이동거리}}{\text{전체이동가능거리}}$

균형관절에 유전 알고리즘을 적용하여 0.0초, 2.0초, 2.5초, 3.0초에서의 회전관절과 직진관절의 위치를 결정한다. 또한 2.0초와 2.5초에서의 속도, 가속도를 결정하기 위해서 유전 알고리즘을 다시 적용하였다. 경유점들의 위치, 속도, 가속도를 사용하여 5차 스플라인을 사용하여 최적의 궤적을 생성하였다.

IV. 결과

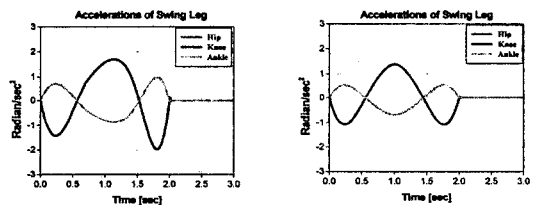
4.1 모의 실험

모의 실험은 표 1과 표 2에서 설정된 값들을 가지고 유전 알고리즘을 적용하였다. 다리 궤적에 있어서는 기존의 방법에 비해 가속도의 폭이 많이 줄어들음을 보였다. 이는 경유점의 개수를 줄임으로써 로봇이 보행시 높이가 줄어서 관절의 움직임이 줄었기 때문이다. 그림 2-4는 시뮬레이션을 통한 가속도의 결과를 비교하는 그림이다. 결과를 통해서 지지각은 기존의 방법보다 새로운 방법이 약 23.5%의 향상을 보였으며 유각은 약 18.7%의 향상을 보였다. 균형관절은 약 17.9%의 향상을 보임을 확인 할 수 있었다. 특히 균형관절에 경우는 다음 보행을 위한 상 변환이 일어나는 2초와 3초 사이의 가속도가 많이 줄었음을 알 수 있다. 균형관절의 궤적에 적용된 유전 알고리즘의 목적함수가 균형관절의 움직임을 최소화 하는 함수를 설정했기 때문에 이러한 결과를 얻을 수 있었다.



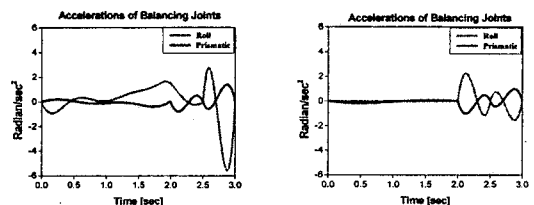
(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법

그림 2. 지지각의 가속도



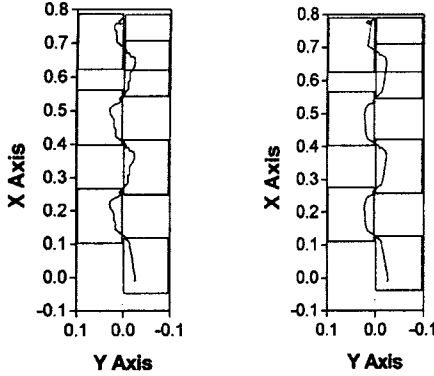
(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법

그림 3. 유각의 가속도



(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법

그림 4. 균형관절의 가속도

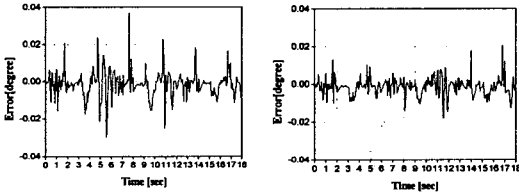


(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법  
그림 5. 균형점 추종

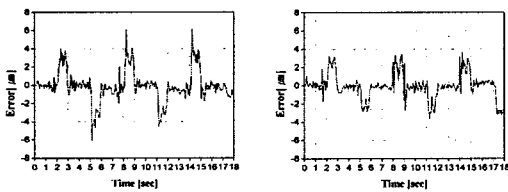
그림 5은 6step, 18초 보행의 안정도 판별을 위한 균형점의 궤적이다. 궤적의 추정에 있어서 기존의 방법보다 부드럽게 추정함을 알 수 있다. 이는 균형관절의 경유점에서 속도, 가속도를 결정할 때 기존과는 달리 유전 알고리즘을 적용하였기 때문이다. 유전 알고리즘은 궤적생성에 있어서 부드러운 모양을 만들어 줌으로써 속도, 가속도를 줄일 수 있는 장점이 있는 것으로 판명되었다.

4.2 실험결과

모의 실험의 결과를 이족 보행 로봇에 적용하여 실험을 수행하였다. 그림 6-7는 실험을 통하여 얻는 결과의 오차 그래프로 계측된 각 관절의 오차량을 각 관절의 감속비로 나누어 표현하였다.



(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법  
그림 6. 유각 무릎의 오차



(a) 기존의 방법 (b) 새로운 방법  
그림 7. 균형관절의 오차

그림으로 비교해 본 바와 같이 각 관절의 에러 값이 많이 줄어들었음을 알 수 있다. 지지각의 무릎은 약 18.7%, 힙은 17.9%, 균형관절의 회전관절은 약13.13%, 직진관절은 약 50%의 향상을 보였다. 오른쪽 다리도 같은 결과를 얻었으나 지면상 생략한다.

V. 결론

본 연구는 유전 알고리즘을 이족 보행 로봇의 보행에 적용한 것으로서 기존의 알고리즘보다 보행에 있어서 많은 향상을 보였으며, 특히 기존에 알고리즘의 경유점의 개수보다 적은 경유점을 사용해서 보다 로봇의 관절의 움직임을 줄였다. 만약 이족 보행 로봇이 장애물이 없는 평지를 보행한다면 기존의 알고리즘보다 새로운 알고리즘을 사용하는 것이 도 효과적임을 본 연구에서 확인 할 수 있었다. 이후에 여러 상황에 맞는 보행패턴을 생성할 때 본 논문의 결과를 사용한다면 많은 도움이 될 것이다. 또한 유전 알고리즘을 3차원 궤적을 필요로 하는 도립 진자와 같은 균형관절의 해석에도 이용할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

[1] M. Vukobratovic, A. A .Frank, D. Juricic, "On the Stability of Biped Locomotion", IEEE Trans. on Bio-medical Engineering, BME-17: 25-36, 1970.  
 [2] Q. Huang, S. Kajita, N.Koyachi, K. Kaneko, K. Yokoi, T. Kotoku, H. Arai, K. Komoriya, K. Tanie, "A High Stability, Smooth Walking Pattern for a Biped Robot," Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.65-71, 1999.  
 [3] T. Arakawa, T. Fukuda, "Natural Motion Trajectory Generation of Biped Locomotion Robot using Genetic Algorithm through Energy Optimization", IEEE, 1996.  
 [4] D. E. Goldber, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, Massachusetts, 1989.  
 [5] K. H. Sim, "Determination of motion of balancing weight for IWR-III Robot by Genetic algorithm", Inha University, 1997.  
 [6] C. U. Park, C. T. Kim, Y. H. Choi, S. H. Lim, J. G. Kim, "A Study of finding Balancing joint's Design factor for a Biped Robot", KIEE autumn conference, 1997.