

유전알고리즘을 이용한 유연한 보행로봇

한경수*, 김상범(인하대 대학원), 김진걸(인하대 전자전기공학부)

Smooth Walking Robot Using Genetic Algorithm

K. S. Han*, S.B. Kim(Graduate student, Inha Univ.) and Jin-Geol Kim(School of Electrical Eng., Inha Univ.)

ABSTRACT

This paper is concerned with smooth walking robot using genetic algorithm. The new walking algorithm is proposed and we simulated and experimented the algorithm. We suggested the leg trajectory algorithm and balancing trajectory algorithm by applying genetic algorithm. First the leg trajectory algorithm generated the smooth trajectory. Also the balancing trajectory generated the optimal trajectory. We compared results with the previous walking algorithm. It showed that the new proposed algorithm generated the better walking trajectory.

Key Words: genetic algorithm, leg trajectory, balancing trajectory

1. Introduction

이족 보행 로봇에 대한 주요 연구 분야 중 하나는 보행 패턴에 관한 연구이다. 이것은 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데 그 중 하나는 높은 안정도를 갖는 보행 패턴에 대한 연구이다. Vukobratovic에 의해 제안된 ZMP(Zero Moment Point)는 보행 안정 현상에 대하여 간단하고 직관적이며 쉽게 받아들여질 수 있는 해석으로서 이족 보행 로봇의 안정도 해석에 효과적으로 응용되었다^[1]. Huang은 ZMP를 이용하여 다리 궤적과 Hip 궤적의 안정도를 유지하기 위한 보행 패턴에 관해 연구하였고^[2], Takanishi는 이족 보행 로봇 WL-12의 안정도 판별을 위해 ZMP를 사용하여 무릎 관절의 움직임을 계획하고 몸체 운동을 해석하였으며 허리 관절에 외부 힘과 모멘트가 작용할 때의 안정도에 대해서도 언급하였다^[3]. 그 외에도 Shih이 안정도를 유지하기 위한 보행 패턴에 관해 연구하였다^[4]. 또 다른 보행 패턴에 관한 연구는 최소의 에너지를 소비하는 보행에 대한 연구이다. 보행에 관한 해석적인 연구들 가운데서 소비하는 에너지의 최소화에 관한 연구는 인간의 보행처럼 효과적이고 부드러운 보행을 얻을 수 있기 때문에 많은 연구자들에 의해 수행되어지고 있다. MaGeer는 경사면에서 중력과 관성력을 이용해 에너지를 사용하지 않는 자연스런

보행패턴에 관해서 연구를 하였으며^[5], Chevallereau는 보행의 처음과 끝에 발바닥에 작용하는 충격량을 고려하여 이족 보행 로봇의 에너지를 최소화하는 궤적 생성에 관한 연구를 하였다^[6]. Fukuda는 보행 시 에너지의 최소화를 위해서 유전 알고리즘의 목적함수를 각 관절의 에너지 최소화로 설정하여 다양한 환경에서 인간과 같은 보행 패턴을 생성하기 위한 연구를 하였다^[7].

본 논문에서는 유전 알고리즘의 목적함수를 에너지 최소화로 선정하여 균형관절의 최적의 궤적을 생성하였으며, 다리궤적 또한 유전 알고리즘을 사용하여 보다 유연한 궤적을 구현하여 이족 보행 로봇의 성능향상과 인간과 유사한 자연스러운 보행을 시도하였으며 기존보행 알고리즘보다 유연한 보행을 구현하였다. 2장에서 이족 보행 로봇의 궤적 계획과 보행설명을 하였다. 3장에서 다리와 균형관절에 유전알고리즘을 적용하여 기존의 보행과 비교하였고, 4장에서 다리 궤적과 균형 관절 궤적에 유전 알고리즘을 사용하여 구현한 모의실험과 실제 이족 보행 로봇에 적용한 실험결과를 제시하였다.

2. Trajectory planning of a biped system

이족 보행 로봇의 보행 해석을 위해서는 유각과 지지각의 궤적, 그리고 균형관절의 궤적이 필요하

다. 지지각과 몸체부는 연속된 변환 행렬로 표현이 가능하며 지지각의 끝단은 몸체에 연결되어 있으므로 지지각의 궤적 계획은 몸체 추진 궤적 계획을 의미한다. 유각의 경우 끝단이 발바닥 좌표계의 원점이므로 유각의 궤적 계획은 발바닥의 움직임을 구현한다. 몸체와 유각은 2 초 동안 동시에 움직이고, 1 초간의 상 변환 과정을 거치면서 균형추가 다음 보행을 위한 초기 위치로 움직여 유각과 지지각이 바뀌게 된다. 균형 관절의 궤적은 유각과 지지각의 운동 특성, 그리고 목표 균형점을 구속 조건으로 하여 기존에는 수학적 모델을 하여 결정되도록 구현하였으나 본 논문에서는 궤적의 시작점, 경유점, 끝점의 위치, 속도, 가속도를 유전 인자로 사용한 유전 알고리즘을 이용하여 구하였다.

3. Genetic algorithm

3.1 기존 연구방법

기존 보행방법은 다리궤적 생성에 있어서 여러 경유점이 있어도 항상 두 개씩 경유점을 짝을 지어 궤적을 생성한 후 각각 시간축에 대해 평행이동을 시켜 전체 시간에 대한 궤적을 만들어 낸 형태이므로 위치 그래프는 연속적이지만 속도 및 가속도에 대해선 주어진 경유점에서 미분가능하지 않는 문제점을 발생시킨다. 그리고 균형 궤적에 있어서는 기존까지는 적절한 균형점 궤적을 설정하여 이에 따른 균형추의 운동을 구현하여 안정 영역 내에서 균형점의 궤적 계획이 이루어지므로 안정성이 크게 보장되지만 한 걸음 보행시의 최적 궤적이 다음 걸음을 위한 상변환 과정에서 오히려 나쁜 결과를 가져올 수 있고, 또한 이족 보행로봇이 갖는 균형관절의 기구적 구속을 충족시키기에 부적절하였다.

3.2 제안된 궤적 생성 방법

3.2.1 최적 다리궤적 생성

이족 보행 로봇의 다리 궤적 계획을 할 때 유각은 지면과의 높이 간격이 일정하게 유지된 상태에서 진행 및 장애물 회피를 위하여 경유점을 주게 된다. 이로 인해 한 걸음의 보행에서 경유점으로 인한 몇 개의 구간들을 만들어 내게 되며 경유점들은 보행 한 주기를 분할하는 역할을 하게 되며 이때의 속도와 가속도는 경계치 값으로 임의로 설정하는 값이다. 속도 및 가속도 곡선의 불연속성과 균등하지 못한 분배로 인한 급가속, 급감속을 줄여 기계적인 충격량을 최소화하며 균형점 추종을 보다 원활하게 하기 위해 경유점에서의 속도, 가속도를 유전 알고리즘을 이용하여 최적의 해를 구했다. Table 1 은 속도, 가속도의 최적 값을 구하기 위한 유전 알고리즘의 매개 변수 값이다.

Table 1 Parameters for genetic algorithm

Parameter	Value
Population	60
Generation	50
String Length	10 bit
Crossover Rate	0.92
Mutation Rate	0.03
Gene Number	4
Fitness function	$f = 1/\sum((v_{i+1}-v_i)^2 + (a_{i+1}-a_i)^2)$

3.2.2 최적 균형관절 궤적 생성

이족 보행 로봇의 안정적인 보행에 있어서 중요한 세가지 사항은 다리의 궤적과 원하는 균형점 궤적, 그리고 균형 관절의 움직임이다. 균형 관절의 움직임을 결정하기 위해서는 다리와 원하는 균형점 궤적을 구해야 하는데 균형 관절의 움직임을 결정 짓는 미분 방정식의 선형화 및 해석 방법의 차이에 따른 오차 발생 문제와 균형 관절의 기구적 구속 조건에 의한 문제 등을 피하기 위해서 유전 알고리즘을 사용하여 균형 관절의 궤적을 직접 생성하여 안정도를 판별하였다.

$$\frac{1}{2}mv^2 - mb\beta(t) + \frac{1}{2}am\beta(t)^2 = mc \quad (1)$$

식(1)은 에너지를 최소화하기 위하여 목적 함수로 유전알고리즘에 사용된 에너지식이다. Table 2 는 균형 관절의 궤적을 생성하기 위한 유전 알고리즘의 매개 변수 값이다.

Table 2 Parameters for genetic algorithm

Parameter	Value
Population	50
Generation	50
Crossover Rate	0.3
Mutation Rate	0.3
Gene Number	4
Fitness Function	Energy Minimization

4. Simulation and experiment result

4.1 모의 실험

모의 실험 결과는 유전 알고리즘에 의한 다리 궤적 특성 값들과 균형 점의 움직임을 보였고, 또한 균형 관절에 움직임을 에너지 최소화 관련 유전 알고리즘을 적용하여 얻은 결과에 대한 안정도 결과를 보였다. Fig. 1-3 은 보행 로봇의 다리 궤적에 유전 알고리즘을 사용한 후에 궤적의 관절값, 속도, 가속도를 역기구학에 대입하여 구한 값들을 그래프로 나타낸 결과이다. 유전 알고리즘을 이용함으로써 관절 변수들이 부드러운 곡선을 보였으며, 또한 속도, 가속도의 값들도 부드러운 곡선을 취함으로

써 급가속, 급감속이 크게 줄어들면서 보행의 안정성을 높였다.

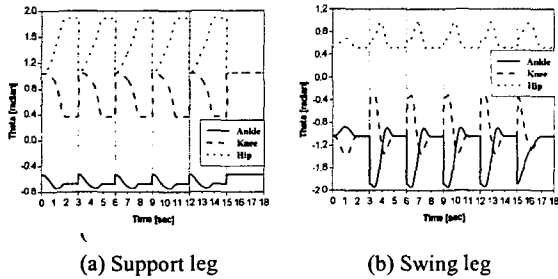


Fig. 1 Joint angle

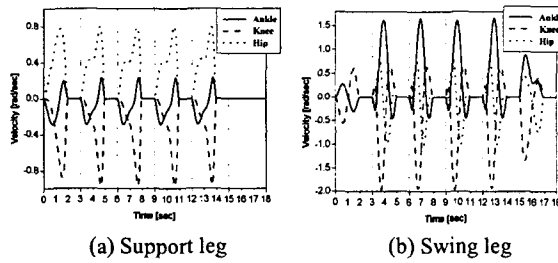


Fig. 2 Joint velocity

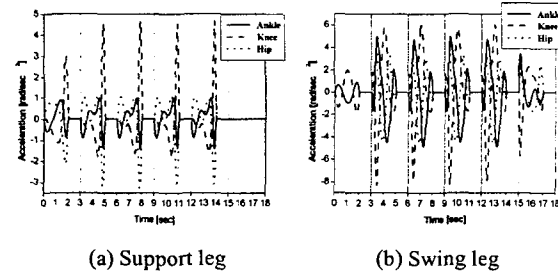


Fig. 3 Joint acceleration

Fig. 4 는 에너지를 최소화하기 위해서 목적 함수로 식(1)인 에너지식을 사용하여 유전 알고리즘을 구현한 균형 관절의 움직임을 각 step 별로 나타내었으며 단위는 meter 이다. 균형 관절의 중간 경유점이 궤적의 원점에 가까이 이동하는 경향이 있음을 볼 수 있다.

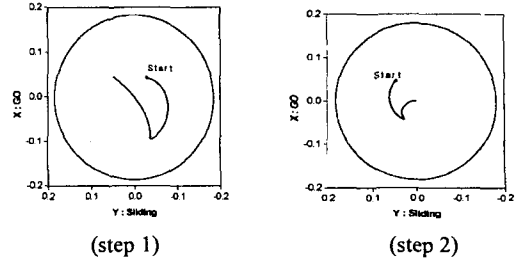
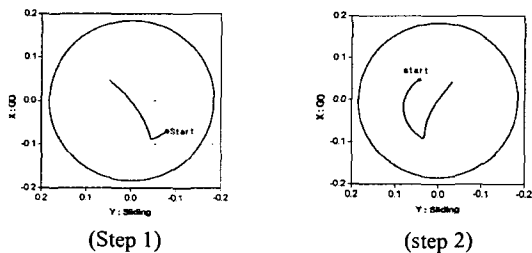


Fig. 4 Trajectory of balancing joint

식(1)에 의하면 에너지는 일정 시간 동안의 균형 관절 이동거리의 제곱에 비례하기 때문에 원점에 가까이 이동하는 것은 최소의 에너지를 얻을 수 있게 된다. Fig. 5 는 6step, 18초 보행의 안정도 판별을 위한 균형 점의 궤적이다. 안정 영역을 유지하면서도 기존의 좁은 안정 영역에서 균형 점을 생성할 때 보다 지면 접촉면의 활용성을 높일 수 있었다. 이는 유전 알고리즘을 이용한 보행의 특징이며 기존의 원하는 균형점을 설정해야 하는 과정을 줄일 수 있고 효율적인 보행을 위하여 로봇 발바닥의 활용도를 높일 수 있다는 장점이 있다.

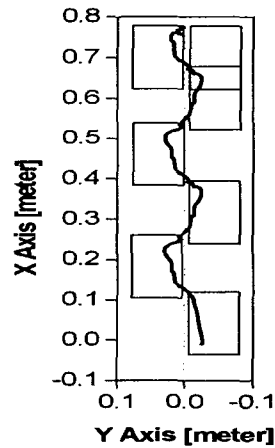


Fig. 5 ZMP trajectory of using genetic algorithm

4.2 실제 실험

모의 실험 결과를 이족 보행로봇에 적용하여 3 가지 방법의 보행을 시도하였다. Fig. 6~8 에서 왼쪽은 유전 알고리즘을 사용하지 않은 결과이고, 오른쪽은 다리 궤적에 유전 알고리즘을 사용한 결과이며, 중앙은 균형 관절 궤적에 유전 알고리즘을 사용한 결과의 오차 그래프로서 계측된 오차량을 각 관절의 감속 비로 나누어 표현하였으며, 회전 관절의 단위는 degree 이다. 각 Fig를 비교해 보면 유전 알고리즘을 사용한 경우에 관절들의 오차가 감소한

것을 볼 수 있다.

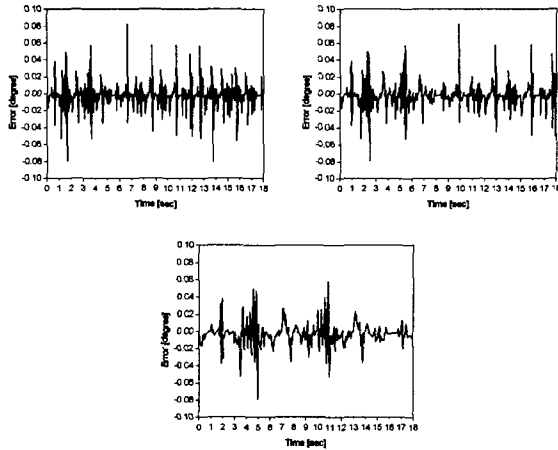


Fig. 6 Error of left ankle joint

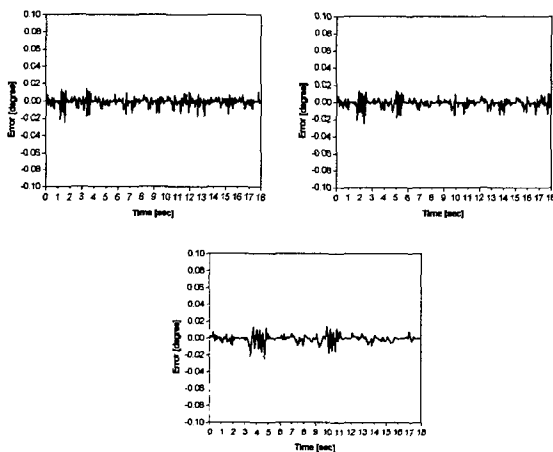


Fig. 7 Error of left knee joint

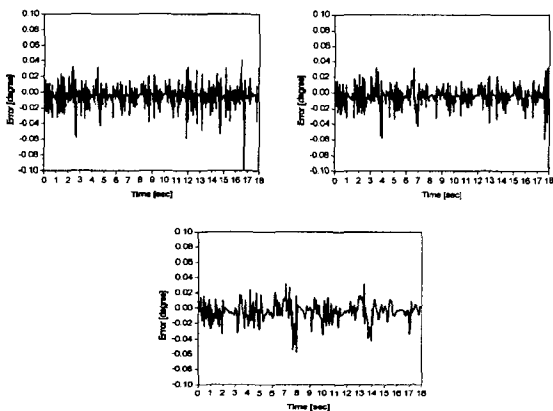


Fig. 8 Error of left hip joint

위 그림들에서 비교해 본 바와 같이 에너지 최소화를 목적으로 유전 알고리즘을 사용한 보행은 기존의 보행보다 모터 구동의 오차가 줄어들었음을 알 수 있다. 각 관절의 오차들이 기존 알고리즘을 이용한 보행보다 감소하게 되었는데 이것은 모의 실험에서 얻어낸 각 관절 값들이 모터의 구동을 원활하게 만들었음을 의미하며 이전 결과 보다 더 나은 결과임을 보여준다. 오른쪽 다리에서도 같은 결과를 얻었으나 지면상 생략한다.

V. Conclusion

본 연구를 통해서 유전 알고리즘을 이용하여 이족 보행 로봇의 에너지 최소화를 위한 다리 관절과 균형 관절의 최적 궤적을 생성할 수 있었고 실제 실험을 통하여 새로운 알고리즘이 더 나은 결과를 보임을 확인하였다. 이와 같은 결과를 이용하여 앞으로 유전 알고리즘의 진보된 매개 변수를 설정하여 궤적 생성의 능력을 향상시켜 장애물 회피나 비탈길에서의 보행뿐 아니라 도립 진자와 같은 균형 관절에 대한 해석에도 이용할 수 있을 것이다.

References

- [1] M. Vukobratovic, A. A. Frank, D. Juricic, "On the Stability of Biped Locomotion," *IEEE Trans. on Biomedical 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] A. Takanishi, "Robot Biped Walking Stability with Trunk Motion," *Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics*, Springer-Verlag, pp. 271-291, 1989.
- [4] C. L. Shih, "Analysis of the Dynamics of a Biped Robot with Seven Degree of Freedom," *IEEE ICRA*, Vol.4, pp.3008-3013, 1996
- [5] T. McGeer, "Passive walking with Knee," *IEEE IRCA*, pp.1640-1645, 1990.
- [6] C. Chevallereau, A. Formal'sky, B. Perrin, "Low Energy Cost Reference Trajectories for a Biped Robot," *IEEE IRCA*, pp.1398-1404, 1998.
- [7] T. Arakawa, T. Fukuda, "Natural Motion Trajectory Generation of Biped Locomotion Robot using Genetic Algorithm through Energy Optimization," *IEEE Proc. System, Man and Cybernetics*, Vol. 2, pp.1495-1500, 1996.