

유전알고리즘을 이용한 워킹 궤적 파라미터의 최적화

○ 손인혜\*, 김동한\*\*, 박종국\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*경희대학교 전자공학과 (E-mail: niniv00@hanmail.net, donghani@khu.ac.kr, ckpark@khu.ac.kr)

Trajectory Parameter Optimization using Genetic Algorithm

○ In-Hye Son\*, Dong-Han Kim\*\*, Chongkug Park\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*Dept. of Electronics, Kyung Hee Univ. (E-mail: niniv00@hanmail.net, donghani@khu.ac.kr, ckpark@khu.ac.kr)

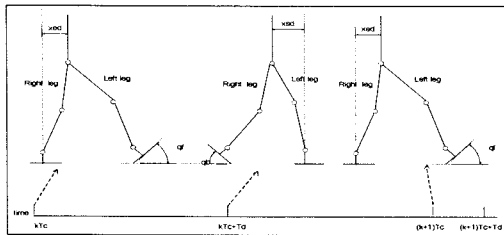
**Abstract** - In order for the robot to walk with stability, trajectory generation method for the biped robot is important. In this paper proposed the genetic algorithm to optimize biped robot motion parameters. Because most of trajectory generation, the walking parameters determined arbitrarily. Formulating the constraints of the motion parameters, and the trajectory is derived by cubic spline function. Finally walking patterns are described through simulation studies. When the ZMP(zero moment point) and DSM(dynamic stability margin) are satisfied, the walking pattern is chosen.

1. Introduction

이족로봇이 넘어지지 않고 걷기 위해서는 ZMP(zero moment point)가 DSM(dynamic stability margin)안에 존재하는 보행패턴의 생성이 필요하다.[1] 이 때 에 많은 파라미터들은 최적화되지 않고, 제작자의 임의로 정해지는 경우가 많다.[2] 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 더 나은 DSM을 갖는 보행 파라미터로 안정하게 움직일 수 있는 워킹 패턴을 제시하였다.

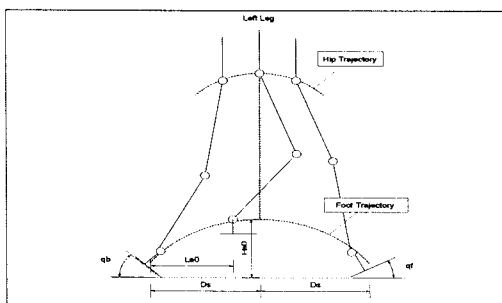
2. Trajectory Generation

본 연구에서는 허벅지, 종아리, 발로 이루어져 있으며 총 6개의 DOF(degree of freedom)을 가지고 있는 로봇을 고려하였다. 발과 힙 궤적이 계산되면, 이족로봇의 모든 조인트의 움직임은 기구학적 제한조건에 따라 결정되어 진다[4]. 로봇의 워킹은 주기적으로 반복되므로, 한 스텝에 대해서 살펴보도록 한다. 부드러운 궤적을 생성하기 위해서, 관성 항들이 모든 t에 대해서 연속적인 조건의 큐빅 스플라인 인터폴레이션을 이용하였다[6].



<그림 1>워킹 패턴

DSP(double support phase)를 kTc에서 kTc+Td로 설정하고, SSP(single support phase)를 kTc+Td에서 (k+1)Tc로 설정하였다. 발목의 위치 좌표를 (xa(t),za(t))로 설정하고, 힙의 좌표를 (xh(t),zh(t))로 설정하였다.



<그림 2>워킹 파라미터

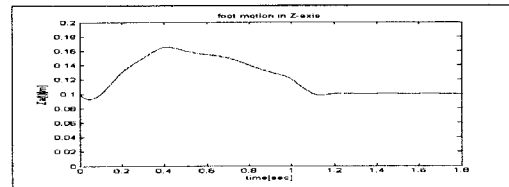
여기서 Tc는 환회의 워킹스텝의 주기이고, k는 스텝의 횟수이다. k번째 워킹 스텝을 오른쪽 다리의 힐이 바닥을 떠날 때부터 라고 정의 한다. 따라서 왼쪽 발의 궤적은 Tc만큼의 시간차가 있다. qb와 qf는 우측발이

지면을 떠난 순간과 지면에 발이 닿는 순간의 각도를 뜻한다. qb(k)와 qc(k)는 각각 DSS에서 지면과의 각도를 뜻한다. 발목의 각도를  $\theta_a(t)$ 로 표현하면,

$$\theta_a(t) = \begin{cases} q_b(k) & t = kT_c \\ q_b & t = kT_c + T_d \\ -q_f & t = (k+1)T_c \\ -q_c(k) & t = (k+1)T_c + T_d \end{cases} \quad (1)$$

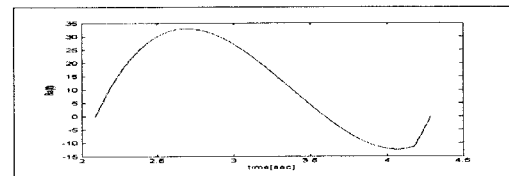
로 표현된다. 경계조건은

$$\begin{cases} \theta(kT_c) = 0 \\ \dot{\theta}((k+1)T_c + T_d) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

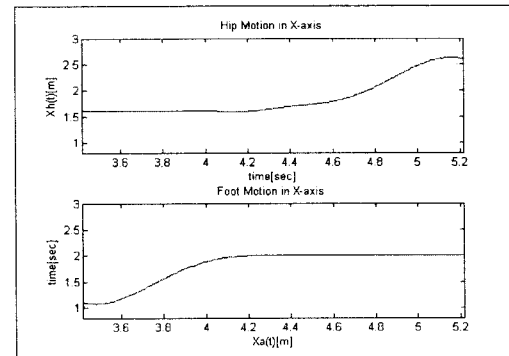


<그림 3>Foot Trajectory in z-axis

바운더리 컨디션과 보행 파라미터를 이용하면 그림3와 같은 궤적을 얻을 수 있다. 각각의 시뮬레이션 결과는 평지에서 워킹에 대해서 qb=-0.2rad, qf=-0.2rad, L0=0.20m, H0=0.16m인 조건에서 이루어졌다.



<그림 4>Foot Angle

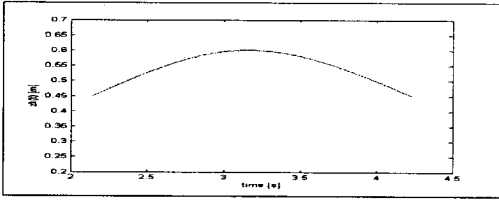


<그림 5>Foot and Hip Motion in X axis

바운더리 컨디션(식4)을 이용해 힙의 x축 궤적을 구하면, 그림 5와 같다.

$$x_h(t) = \begin{cases} kD_s + x_{cd} & t = kT_c \\ (k+1)D_s - x_{sd} & t = kT_c + T_d \\ (k+1)D_s + x_{cd} & t = (k+1)T_c \end{cases} \quad (3)$$

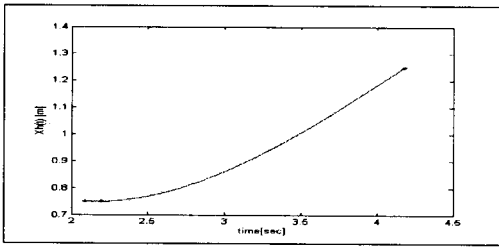
$$\begin{cases} \dot{x}_h(kT_c) = \dot{x}_h(kT_c + T_d) \\ \dot{x}_h(kT_c) = \dot{x}_h(kT_c + T_d) \end{cases} \quad (4)$$



<그림 6>Hip Motion in Z axis

한주기의 워킹 스텝의 SSP에서 힘의 가장 높은 위치를  $H_{hmax}$ 라고 하고, DSP에서 힘의 가장 낮은 위치를  $H_{hmin}$ 이라고 하면  $z_h(t)$ 는 다음 조건을 따른다.

$$z_h(t) = \begin{cases} H_{hmin} & t = kT_c \\ H_{hmax} & t = kT_c + T_d \\ H_{hmin} & t = (k+1)T_c \end{cases} \quad (5)$$



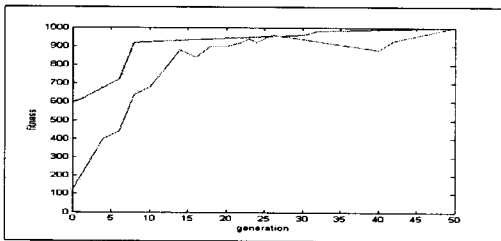
<그림 7>Hip Motion Trajectory in X-axis

### 3. Genetic Algorithm

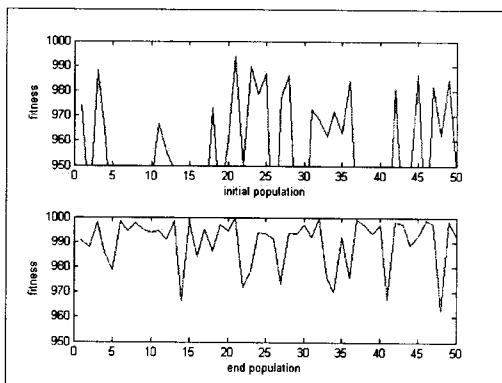
유전알고리즘 파라미터는 다음과 같다.

- 암색체 : 6bit
- 교배확률 : 0.2
- 돌연변이 확률 : 0.1
- 선택방식 : 랭크기반 선택
- Population: 60
- Generation : 100

유전 알고리즘의 개체로는 한 스텝의 길이인  $D_s$ 값을 사용하였고, 목적함수는 각  $D_s$ 마다 DSM값으로 정하였다. 최적의  $D_s$ 는 0.2641를 얻었고  $L_a$ 는 0.2413를 얻었다. 이 값을 이용한 ZMP와 DSM은 그림 10에 나타내었다.



<그림 8>진화에 따른 평균 적합도와 최우수 적합도의 변화



<그림 9>초기집단과 최종집단의 적합도

### 4. Zero Moment Point

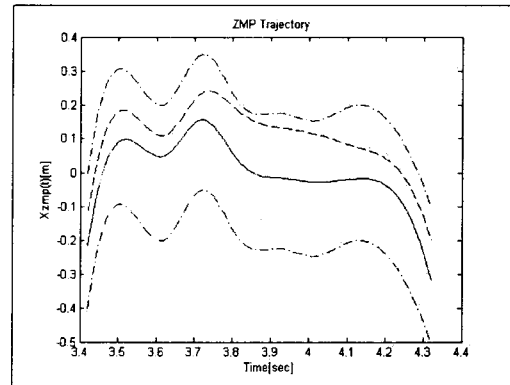
ZMP란 발이 지면에 놓여지는 순간 모든 회전력의 합이 0과 같아 지는 지점을 말한다. 지지하는 다리의 발놀이 이루는 다각형 안에 Z MP는 존재해야 한다.[3] DSM(Dynamic stability margin)은 로봇의 발끝에서부터 ZMP거리에 의하여 결정된다(식6).

$$DSM = \frac{L_1}{2} - |d_{ZMP}| \quad (6)$$

생성된 궤적을 ZMP식에 넣어서 DSM을 계산한다.Huang et al.[2]의 ZMP계산법을 따르면, ZMP는

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(z_i + g)x_i - \sum_{i=1}^n m_i x_i z_i - \sum_{i=1}^n I_{iy} \Omega_{iy}}{\sum_{i=1}^n m_i(z_i + g)} \quad (7)$$

여기서  $m_i$ 는 fig.1에서 링크 I의 질량이다. I는 관성모멘트이고  $\Omega$ 는 x축과 y축의 무게중심에서의 절대 각속도이다. g는 중력가속도이다. 그림 10에서 점선은 DSM이며, 최적화전의 ZMP값은 대쉬선으로 나타내었으며, 최적화 후의 ZMP값은 실선으로 나타내었다. 최적화 전보다 향상된 ZMP값을 확인할 수 있다.



<그림 10>향상된 ZMP 경로

### 5. Conclusion

본 논문에서는 큐빅 스플라인을 이용하여 로봇의 워킹 궤적을 생성하였고, 생성된 워킹 패턴을 이용하여 ZMP를 구하였다. 또한 유전 알고리즘을 사용하여 워킹 파라미터의 하나인  $D_s$ 를 최적화하여 더 나은 DSM을 얻어내었다. 향후 과제는 생성된 워킹 패턴을 이용하여 관절각과 토크를 계산하여 실제 휴머노이드 로봇에 적용하는 것과 더 발전된 유전 알고리즘인 Quantum-inspired Evolutionary Algorithm을 사용하여 다른 파라미터의 최적화를 하는 것이다.

#### [참고 문헌]

- [1]Jonghoon Park et al. "Control of ground interaction at the ZMP for dynamic control of humanoid robots" *IEEEtrans. Robot. Autom a. 2005*
- [2] Qiang Huang "planning walking pattern for biped robot," *IEEEtrans. Robot. Autom a. vol 17, no3. June 2001*
- [3]Jonghoon Park et al. "Control of ground interaction at the ZMP for dynamic control of humanoid robots" *IEEEtrans. Robot. Autom a. 2005*
- [4]P.H.Channon,"Derivation of optimal walking motions for biped robot," *Robotica*, vol. 10,no. 2, pp.165-172
- [5]Ito.d.Murakami / T.Onishi.K, "an approach to generation of smooth walking pattern for biped robot" -*Advanced motion control 2002*
- [6]C.Shih et al."Gait synthesis for biped robot" *Robotica* vol. 15 1997
- [7]Shuuji KAJITA et al."Biped walking pattern generator allowing Auxiliary ZMP Control" *IEEEtrans. Robot. Sys. 2006 China*
- [8]Jonghoon Park et al. "Control of ground interaction at the ZMP for dynamic control of humanoid robots" *IEEEtrans. Robot. Autom a. 2005*