

이족 보행 로봇의 물체 운반 제어 알고리즘에 관한 연구

원찬희, 김영중, 임요택
고려대학교 전기전자전파공학부

A Study on the Object Carrying Control Algorithm of a Biped Robot

Chan-Hee Won, Young-Joong Kim, Myo-Taeg Lim
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 신경망이나 퍼지 시스템을 사용한 이족 보행 계획 생성에 대한 연구는 있으나 로봇의 중심점이 변경되는 상황에 대한 보행 계획 생성은 부족한 실정이다. 본 논문에서는 이족 보행 로봇의 보행에 대해 정의하고, 이를 기반으로 물체 운반시의 유전자 알고리즘을 통한 보행 계획 생성을 제안하였다. 유전자 알고리즘은 최적화 문제에 있어서 기존의 다른 알고리즘보다 전역적이고 강인한 최적화 방법을 제시하면서도 간단한 구조로서 동작하는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구를 통해 구해진 로봇의 보행 계획을 모태로 부분 사상 교배, 순서교배, 주기교배의 교배 연산자를 순차적으로 이용하여 물체 운반시의 보행 계획을 구하고 이를 검증하였다.

1. 서 론

이족 보행 로봇(Biped Robot, Humanoid Robot)은 인간과 유사한 구조를 가지고 이족 보행을 하는 로봇으로 로봇에 대한 거부감이 덜하고, 협소한 인간의 생활환경이나 작업환경 하에서 높은 이동성 및 작업성을 갖는다. 때문에 많은 국가에서 연구가 진행 중이며 일본의 혼다에서 개발한 로봇 아시모(Asimo)는 계단 및 경사 오르기, 공차기, 제자리에서 방향 전환 등 인간과 유사한 동작을 구현하는 단계까지 이르렀다[1]. 국내에서도 한국과학기술원(KAIST)의 HUBO, 한국과학기술 연구원(KIST)의 MAHRU와 AHRA 등 활발한 연구가 진행되고 있다[2][3]. 현재 이족보행 로봇의 연구는 주로 인간과 비슷한 기구학적 메카니즘을 바탕으로 가장 기본적인 자연스런 걸음새 구현 및 안정화에 중점을 두고 있으며 다른 여건에서의 기능적 부분은 매우 단순하게 적용되고 있다.

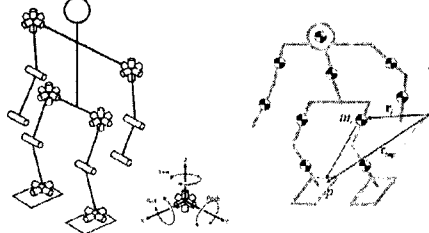
본 논문에서는 이족 보행 로봇의 물체 운반에 있어서의 안정적 보행을 위하여 단순한 구조로 동작하면서도 전역적이고 강인한 최적화 기법을 제시하는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)의 사용을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 물체 운반 제어 알고리즘의 성능을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 이족 보행

유전자 알고리즘을 사용한 물체 운반 보행에 있어서 가장 근간이 되는 것은 물체를 들지 않았을 때의 이족 보행이다. 단순한 이족 보행의 데이터 값들이 부모 유전자가 되어 물체를 들었을 경우에 적합한 자 유전자의 데이터를 생성해 내는 역할을 하기 때문이다. 본 논문에서 사용한 이족 보행의 기본 시스템은 다음과 같다.

2.1.1 이족 보행 로봇의 구조



<그림 1> 이족 보행 로봇의 구조

본 논문에서 기본으로 사용한 로봇은 <그림 1>(a)의 로봇으로서 발목 2자유도, 무릎 1자유도, 골반 3자유도, 어깨 3자유도, 팔꿈치 1자유도, 그림 1자유도로 총 22 자유도의 구조를 가지고 있다.

<그림 1>(b)는 로봇의 구조를 간략히 나타낸 것으로 로봇을 구성하는 각 부분의 질량과 가속도에 의해서 바닥면에 존재하는 임의의 점 p에 발생되는 모멘트 T는 다음과 같이 계산된다[4].

$$\sum_{i=1}^n (m_i (r_i - p) \times (\ddot{r}_i + G) - I_i \alpha_i - \omega_i \times I_i \omega_i) = T$$

이때 로봇을 구성하는 각 부분의 질량이 무게중심에 집중되어 있다고 가정하면 무게 분포와 거리의 제곱에 비례하는 값을 갖는 관성 모멘트 I_i 는 0이 되어 다음과 같은 식이 된다.

$$\sum_{i=1}^n (m_i (r_i - p) \times (\ddot{r}_i + G)) = T$$

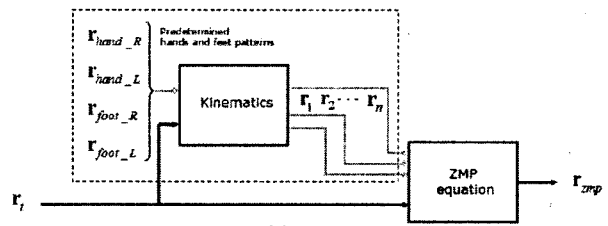
임의의 점 p를 균형점이라 가정하고 균형점 이론을 사용하면 다음과 같이 균형점 방정식으로 정리할 수 있다.

$$x_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (r_{iz} (\ddot{r}_{iz} + G_z) - r_{iz} (\ddot{r}_{iz}))}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{r}_{iz} + G_z)}$$

$$y_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (r_{iy} (\ddot{r}_{iz} + G_z) - r_{iz} (\ddot{r}_{iy}))}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{r}_{iy} + G_z)}$$

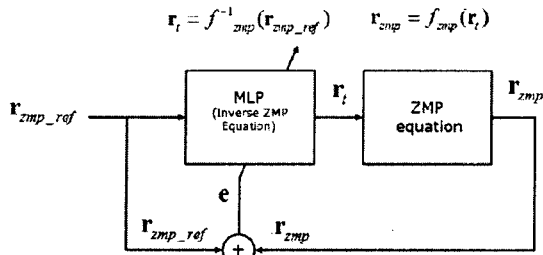
2.1.2 보행 알고리즘

보행 데이터의 생성은 신경망을 이용한 학습 알고리즘을 사용하였다[5].



<그림 2> 균형점 방정식시스템

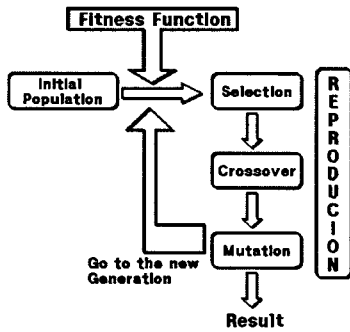
<그림 2>(a)와 같이 균형점 방정식은 변수 r_i 와 나머지 변수들의 입력에 대한 균형점의 위치 r_{zmp} 를 출력으로 갖는 시스템이다. 여기서 나머지 입력 변수들은 로봇의 양손과 양발의 움직임은 미리 정해두고 기구학을 통하여 구할 수 있으며 이는 점선의 상사부분에 해당한다. 이를 간단히 하면 <그림 2>(b)로 나타낼 수 있다. 이때 균형점 방정식을 풀다는 것은 안정된 균형점의 궤적인 r_{zmp_ref} 를 출력하도록 하는 r_i 를 구한다는 것과 일치한다. 때문에 균형점 방정식 역함수를 모델링하면 <그림 3>과 같다. 신경망의 입력 기준인 균형점 r_{zmp_ref} 는 미리 정해놓은 안정한 균형점의 궤적이며 균형점 방정식의 출력이 추종해야 할 값이다. 신경망의 출력 r_i 는 균형점 방정식의 변수로 방정식의 입력값이다. r_{zmp} 는 균형점 방정식의 출력값으로 미리 정해놓은 r_{zmp_ref} 의 값과 비슷해지도록 균형점 방정식의 출력과 기준 균형점과의 오차 $r_{zmp} - r_{zmp_ref}$ 가 적당한 범위 내로 수렴할 때까지 신경망을 학습하게 된다. 이와 같은 학습을 마친 후 신경망의 출력 r_i 는 기준 균형점 r_{zmp_ref} 에 대한 균형점 방정식의 해가 된다.



<그림 3> 균형점 방정식 역함수론 모델링

2.2. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)

유전자 알고리즘은 최적화 문제에서 기존의 다른 알고리즘보다 전역적이고 강한 최적화 방법을 제공하지만 <그림 4>와 같이 간단한 구조를 가지고 동작한다. 또한 단독 개체를 변화시킴으로서 새로운 개체를 창조하는 돌연변이 과정과 두 개의 개체를 혼합함으로써 새로운 개체를 창조하고 이 과정을 통해 부모집단과 자손집단으로부터 더 적합한 개체를 선택함으로써 세대가 지날수록 가장 좋은 최종 개체를 선택할 수 있게 된다. 이것은 그 문제에 대한 최적의 해를 의미한다 하겠다[6].



<그림 4> 유전자 알고리즘의 구조

2.2.1 교배 연산자

- 부분 사상 교배(Partially Matched Crossover, PMX)
 - 부분 사상 교배(PMX) 규칙은 한 부모의 순회에서 하위열을 선택하고, 다른 부모에서는 순서와 위치를 보존하여 하나의 자손을 만들어내는 교배 방식을 뜻한다. 즉, 교배점 사이의 구간을 교체하고 그로부터 사상열(series of mapping)을 정의한다. 자손 유전자 중에 원래 부모로부터 중복 없는 유전자를 채운 후 정의된 사상열과 비교하여 중복된 부분을 채워 넣는다.
- 순서교배(Order Crossover, OX)
 - 순서교배(OX)는 한 부모의 순회에서 하위열을 선택하고 다른 부모에서는 상대적 순서를 보존하여 하나의 순서를 만드는 방식을 취한다. 예를 들면 교배점 사이의 구간을 자손에게 복사하고 두 번째 부모의 두 번째 교배점부터 도시들의 순서를 보존하여 다시 쓰여진 값에서 첫 자손의 유전된 값을 제외시킨다. 이 값을 첫 자손의 두 번째 교배점부터 적용시킨 값을 첫 번째 자손의 값으로 취하게 된다.
- 주기교배(Cycle Crossover, CX)
 - 주기교배(CX)는 부모중 하나로부터 각각의 데이터를 받아들여 하나의 자손을 만드는 교배 방식이다. 첫 부모의 첫 데이터 값을 취하고 두 번째 부모의 첫 데이터 값을 첫 부모의 동일 데이터 위치에 유전시킨다. 유전된 데이터 위치와 동일한 위치의 두 번째 부모 데이터를 다시 첫 부모의 데이터 위치에 적용시키는 과정을 반복하여 선택된 데이터 값이 나올 때까지 주기를 반복시킨다. 이 과정이 끝나면 선택되지 않은 데이터의 부분들은 첫 부모의 데이터 값을 그대로 받게 되어 자손이 생성되게 된다.
- 산술교배
 - 위와 같이 산술교배가 진행되면 그 자손은 각각 다음의 같이 생성된다.

$$\begin{matrix} x_1 & x_2 & \dots & x_i & \dots & x_r \\ y_1 & y_2 & \dots & y_i & \dots & y_r \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} x_1^0 & x_2^0 & \dots & x_i^0 & \dots & x_r^0 \\ y_1^0 & y_2^0 & \dots & y_i^0 & \dots & y_r^0 \end{matrix}$$

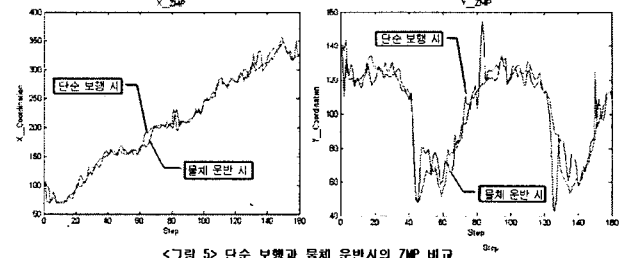
위와 같이 산술교배가 진행되면 그 자손은 각각 다음의 같이 생성된다.

$$\begin{aligned} X_i^p &= \lambda_1 X_i + (1 - \lambda_1) Y_i \\ Y_i^p &= \lambda_2 X_i + (1 - \lambda_2) Y_i \end{aligned}$$

2.2.2 유전자 알고리즘의 적용

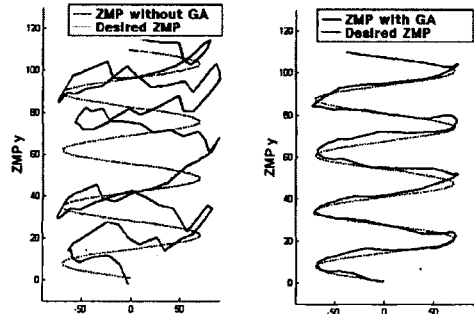
2.1절에서 구한 이족 보행 로봇의 이동 궤적의 데이터를 부모 집단으로 하여 부분 사상 교배(PMX), 순서교배(OX), 주기교배(CX), 산술교배의 교배 연산자를 순차적으로 이용하여 유전자 알고리즘을 실행하였다. 이를 통하여 얻어진 자손 데이터를 다시 부모 집단으로 설정하여 물체를 들었을 경우의 안정된 보행 패턴 데이터를 생성하게 하였

다. 아래 <그림 5>는 단순 보행 패턴의 X_ZMP, Y_ZMP와 유전자 알고리즘을 사용한 물체 운반시의 X_ZMP, Y_ZMP의 데이터 값을 시물레이션을 통해 비교한 것이다.



<그림 5> 단순 보행과 물체 운반시의 ZMP 비교

위의 결과를 통하여 단순 보행시의 ZMP 데이터의 그래프와 학습을 통해 보상된 물체 운반시의 ZMP 데이터의 그래프가 유사함을 확인할 수 있다. 이는 물체를 들었을 경우에 변화하는 이족 보행 로봇의 무게중심을 유전자 알고리즘을 통하여 보상함으로써 물체를 들고 이동시에도 전체적인 ZMP의 값이 동일하게 유지됨을 보여주는 결과라 하겠다.



(a) 유전자 알고리즘 미사용 (b) 유전자 알고리즘 사용

<그림 6> 유전자 알고리즘 사용시와 미사용시의 비교

<그림 6>은 물체 운반시의 유전자 알고리즘 사용 유무에 따른 ZMP 데이터 값의 비교이다. 유전자 알고리즘 사용 시 최적의 ZMP 데이터 값에 매우 유사하게 근접함을 알 수 있다. 이처럼 물체 운반시 유전자 알고리즘을 사용할 경우 좀 더 안정적인 보행이 이루어진다는 사실을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 이족 보행 로봇의 일반적 보행 패턴 생성에 대해 논의하고, 이를 기반으로 물체 운반 시에 유전자 알고리즘(GA)의 부분 사상 교배, 순서교배, 주기교배, 산술교배를 사용한 보행 패턴 생성에 대해 제안하였다. 또한 유전자 알고리즘을 사용했을 시의 보행 패턴의 향상을 시물레이션을 통해 검증하였다. 하지만 보다 다양한 작업 환경에서 적용하기 위해서 계단 및 경사로부터의 연구와 실제적인 로봇에의 적용을 통한 실험적 검증을 연구할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 2007년 건설교통부에서 지원한 "로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(과제번호 : 06첨단융합D01)" 사업을 통해 시행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sakagami, Y., Watanabo, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N, and Fujimara, K., "The intelligent ASIMO: System overview and integration", IEEE/RSJ International Conference, Vol. 3, pp.2478-2483, 2002
- [2] 성영희, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발" 제어·자동화·시스템 공학 논문지, Vol.7, no.5, pp.420-426, 2001
- [3] 황재필, 김은태, 박민용, "소형 이족보행 로봇 개발에 관한 연구", 대한전자공학회하계종합 학술 대회, pp.2791-2794, 2003
- [4] K. Erbatur, A. Okazaki, K. Obiya, T. Takahashi, A. Kawamura, "A study on the zero moment point measurement for biped walking robots", International Workshop on Advanced Motion Control, pp.431-436, July 2002.
- [5] 김규성, "Motion Pattern Generation of Biped Walking Robot Using Neural Network", 고려대학교 석사학위논문, 2005
- [6] M. Gen and R. Cheng, "Genetic algorithms and engineering optimization," Wiley, 2000.