

### 이족보행로봇 IWR의 궤적생성에 관한 연구

최영하, 최상호, 김진걸

인하대학교 자동화공학과(Tel:032-860-7384; Fax:032-863-4386; E-mail:withyesu@chollian.net)

## A Study on the Trajectory Planning of Biped Walking Robot IWR

Young-Ha Choi, Sang-Ho Choi, Jin-Geol Kim  
Dept of Industrial Automation Eng. Inha Univ

**Abstract** - This paper deals with the trajectory planning of IWR biped robot using genetic algorithm. The trajectory of a swing leg is generated by 5th order polynomial equation. Velocities and Acceleration properties on a viapoints are needed. These constants are given by heuristic method. The optimal values are determined by G.A to minimize the jerk of a trajectory. As a result, trajectory planning is implemented not on between two viapoints but on a whole interval.

Efficient numerical calculation routines and walking algorithms for simulation are accomplished by MATLAB package.

### 1. 서 론

이족보행로봇에 있어서 안정도 확보는 매우 중요한 문제로서 이를 위해 걸음새나 독립적인 관절에 의한 안정도 확보가 연구되어 지고 있다[1-6]. 초기 연구는 주로 걸음새에 의존하여 안정도 확보를 시도하였으나[1][2] 걸음새 자체가 한정되어 그 응용에 한계가 있다. 이족보행로봇 IWR의 방식인 독립관절에 의한 제어 방식은 안정도 확보를 위해 보행시 발생하는 모멘트를 균형관절이라는 독립관절에 의해 보상하여 균형점을 안정영역 안에 머물도록 하는 방법이며 이때 다리부의 운동과 균형점의 위치는 안정도 확보에 매우 중요한 관건이다. 로봇의 안정도 확보에 큰 영향을 미치는 요소로는 운동 계획이 있는데 로봇의 운동계획은 경로 계획과 궤적 계획으로 나누어진다 이때 경로 계획은 시작점과 목표점까지 자유공간을 통하는 경로를 발견하는 것이며 궤적 계획은 시간 구속 속에서 이 경로를 따라 가는 것이다. 이러한 궤적 계획에 있어서 이족보행로봇은 이동로봇이나 로봇팔의 그것과는 또 다른 양상을 나타내게 되는데 이동로봇은 로봇전체를 이동하나 로봇팔의 경우 말단부를, 이족보행로봇의 경우 사람의 발바닥에 해당되는 지면접지부를 시작점에서 목표점까지 이동하도록 요구된다. 따라서 로봇팔의 운동과 유사하나 로봇팔은 지지대에 고정되어 있고 이족보행로봇의 경우 단지 지면을 지지만 하고 있을 뿐 고정된 것이 아니므로 균형을 유지한 채로 이러한 이동이 이루어져야 한다는 어려움이 가중된다. 지지다리가 지면에 고정되어 있지 않으므로 구동기의 급격한 운동량 증가나 감소는 로봇에 충격량으로 작용하게 되며 이러한 양은 로봇의 균형점 위치를 안정영역밖으로 밀어내어 로봇을 넘어지게 하거나 진동을 가져올 수 있게 된다. 따라서 로봇 궤적의 부드러운 형성은 이러한 충격량을 감소시키게 되며 구동기의 구동력의 편중을 감소시키게 된다. 이족보행로봇의 궤적계획시에 이동하는 다리는 지면과 간격을 유지한 상태에서의 진행 및 장애물 회피를 위한 간격을 발생시키기 위하여 경유점을 주게 되고 이로 인하여 경유점을 전후하는 구간이 생성된다. 따라서 이러한 경유점에서는 이전구간과 후구간의 속도와 가속도

의 차이가 생겨 불연속점을 생성시키거나 일부 구간에 속도와 가속도를 편중시키게 되어 급가속이나 급감속을 발생하게 한다. 이러한 급가속이나 감속은 이동시 안정도나 구동기의 구동시 단점으로 작용하므로 따라서 본 논문에서는 궤적생성시 경유점에서 발생하는 급가속, 급감속으로 인한 기계적 충격량을 최소화하기 위해 구간을 연결하여 주는 경유점에서의 속도 가속도의 경계값을 찾는 것이며 최적해로의 접근을 위해 유전 알고리즘을 적용하여 향상된 궤적 및 동특성을 얻도록 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 이족보행로봇 시스템

본 연구대상인 IWR시스템은 기구학적 해석과 각 링크들의 동특성의 용이한 해석을 위해 유각, 지지각, 균형관절의 세 부분으로 분리하며 균형관절은 로봇의 안정척도인 ZMP(Zero Moment Point)를 걸음새와 무관하게 제어할 수 있도록 회전관절과 직진관절인 2자유도로 구성되어 있다. 균형추를 움직여서 균형점을 제어하는 구조로 되어있고 지지면에 대한 높이 방향 가속도 성분이 없으므로 균형추의 운동방정식을 선형화할 수 있다. 다리부는 진행방향 변경을 위한 롤과 보폭 및 다리의 높이 조절을 위한 3개의 피치로 구성되어 각각 4자유도를 이루고 전체 시스템은 모두 10자유도이다. 아래 그림 1은 이족보행로봇 IWR이다.

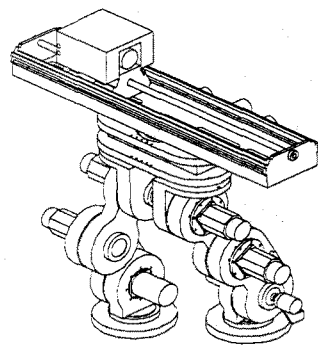


그림 1 이족보행로봇 IWR

#### 2.2 유각의 궤적계획

IWR시스템은 지지각 유각의 운동특성 및 ZMP의 궤적만으로 균형관절의 움직임을 결정한다. 궤적은 각각 지지각과 유각의 기준좌표계에 대해 표현하였고, 보행의 안정성을 고려하여 보행의 시작 단계와 끝단계에서 속도, 가속도를 각각 0으로 하고 각각의 경유점에서 기계적 충격량을 감소를 위해 가속도를 3차 함수로 표현하려고 시간에 따른 경로 구간을 5차 스플라인 곡선으로

설정하여 보간법을 이용하여 생성하였다. 궤적은 시간에 대해 식(1)과 같이 표현되고 구속 조건은 식(2)와 같이 6개의 미지수를 갖는 연립방정식으로 주어진다.

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

$$\lambda_i = a_0$$

$$\lambda_f = a_0 + a_1t_f + a_2t_f^2 + a_3t_f^3 + a_4t_f^4 + a_5t_f^5 \quad (2)$$

$$\dot{\lambda}_i = a_1$$

$$\dot{\lambda}_f = a_1 + 2a_2t_f + 3a_3t_f^2 + 4a_4t_f^3 + 5a_5t_f^4$$

$$\ddot{\lambda}_i = 2a_2$$

$$\ddot{\lambda}_f = 2a_2 + 6a_3t_f + 12a_4t_f^2 + 20a_5t_f^3$$

이 식에 대한 해는 다음의 식들로 표현된다.

$$a_0 = \lambda_i, \quad a_1 = \dot{\lambda}_i, \quad a_2 = \frac{\ddot{\lambda}_i}{2}$$

$$a_3 = \frac{20\lambda_f - 20\lambda_i - (8\dot{\lambda}_f + 12\dot{\lambda}_i)t_f - (3\ddot{\lambda}_i - \ddot{\lambda}_f)t_f^2}{2t_f^3}$$

$$a_4 = \frac{30\lambda_i - 30\lambda_f + (19\dot{\lambda}_i + 14\dot{\lambda}_f)t_f + (3\ddot{\lambda}_i - 2\ddot{\lambda}_f)t_f^2}{2t_f^4}$$

$$a_5 = \frac{12\lambda_f - 12\lambda_i - (6\dot{\lambda}_f + 6\dot{\lambda}_i)t_f + (\ddot{\lambda}_f - \ddot{\lambda}_i)t_f^2}{2t_f^5}$$

이때  $\lambda_i, \dot{\lambda}_i, \ddot{\lambda}_i$ 는 각각 초기 위치, 속도, 가속도이며

$\lambda_f, \dot{\lambda}_f, \ddot{\lambda}_f$ 는 각각 최종 위치, 속도, 가속도이다.

표1은 몸체의 궤적 계획에 사용된 시간과 전체 좌표계에 대한 경유점, 속도, 가속도이며 1초, 2초에서는 보간법 적용시 경계값으로 각각의 구간에 대해 앞의 구간에서는 최종값 뒤의 구간에서는 초기값의 조건으로 사용된다.

시간	방향	변위(경유점)	속도	가속도
0초	y축(전진방향)	0.2000	0	0
	z축(상향방향)	-0.6794	0	0
1초	y축	0.1000	0	0
	z축	-0.6144	0	0
2초	y축	-0.1000	0	0
	z축	-0.6144	0	0
3초	y축	-0.2000	0	0
	z축	-0.6794	0	0

표1 궤적계획에 사용된 시간, 경유점, 속도, 가속도

그림 2.3은 유가의 궤적계획에 의해 구해진 위치, 속도, 가속도 그래프이다.

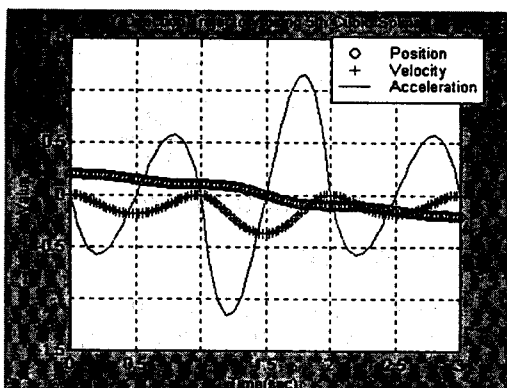


그림 2 전진 방향에 대한 변위 속도 가속도

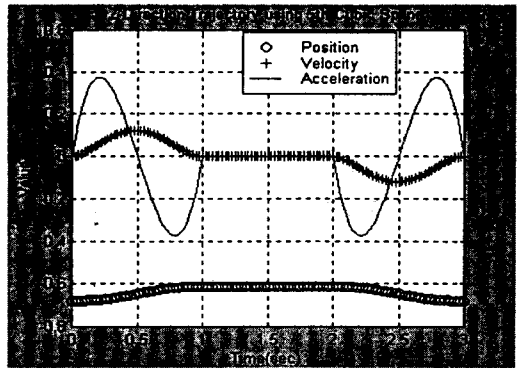


그림 3 상하 방향에 대한 변위 속도 가속도

각 경유점을 전후하여 급격한 변화를 볼수 있게 된다. 이것은 경유점을 기준으로 세구간으로 구분되어진 형태를 지니게 된다. 따라서 이 경유점이전의 구간에서 다음으로 이어지는 속도와 가속도를 충격량을 최소화 시키는 속도와 가속도를 찾기위해 본 연구에서는 유전 알고리즘을 적용한다.

### 2.3 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연의 진화 모델인 자연선택과 적자생존의 원리를 바탕으로 하는 탐색 알고리즘으로 로봇분야는 그 형태적 특성상 비선형성이 강하며 입력 파라미터와 출력 특성간의 관계가 명확하지 않는 경우가 많으므로 유전 알고리즘이 적용(7)될 유망한 분야이다.

알고리즘 구성상의 5가지 요소

- ①개체표현법
- ②유전연산자-재생산, 교배, 돌연변이
- ③적합도함수
- ④선택메카니즘-잘 적용된 함수만 남김
- ⑤알고리즘 제어 파라미터-개체군의 크기, 교배율, 돌연변이율

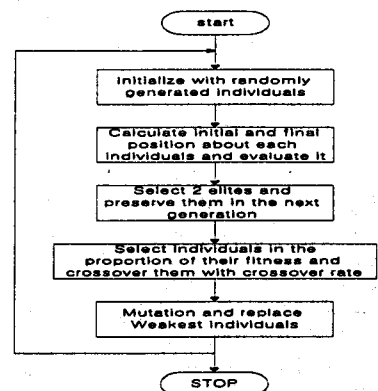


그림 4 유전알고리즘의 흐름도

### 2.4 유전알고리즘을 사용한 궤적 생성결과

경유점에서의 속도 가속도에 대하여 유전 알고리즘을 적용하였으며 이때 돌연변이율은 0.0075 개체수는 50 교배율은 1.0 세대수는 100으로 하였고 적합도 함수로는 속도 가속도의 차이를 적용하였다.

아래 표 2는 유전 알고리즘을 통하여 얻은 속도와 가속도이며 그림 5의 경우 전진방향으로의 생성궤적이며 그림 6은 상하 방향으로의 생성궤적을 나타낸다

그림 2와 3의 생성이나 그림 4와5의 생성궤적은 같은 초기값과 경유점을 지나는 궤적이나 경유점의 속도 가속

도의 차이로 인하여 전혀 다른 양상을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 양상은 가속도 부분에 있어서 특히 두드러지게 나타나는데 일반 생성제적과 유전알고리즘 적용 제적의 가속도 부분은 최대 최소값의 차가 4배나 이르렀다. 걸음의 형태를 나타내는 그림 7과 8에서는 그림 7의 경우 경유점에서 정지로 인하여 속도가 감소 되므로 짙은 부분이 발생하며 이동에도 경유점 전후로 차이가 크나 그림 8의 유전 알고리즘을 적용한 경우 경유점의 전후 차이없이 매끄럽게 이어지며 간격도 모두 일정한 형태를 나타내고 있다.

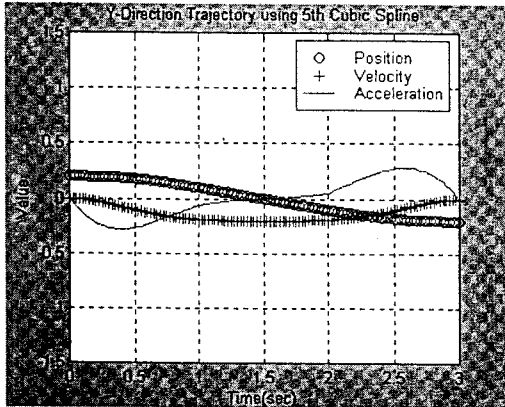


그림 5 전진 방향에 대한 변위 속도 가속도

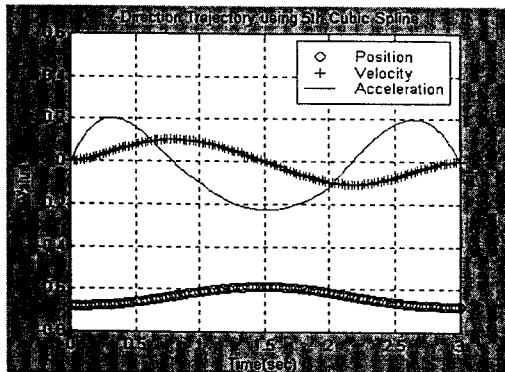


그림 6 상하 방향에 대한 변위 속도 가속도

시간	방향	변위(경유점)	속도	가속도
1초	y축	0.1000	-0.1911	-0.0640
	z축	-0.6144	0.0922	-0.0961
2초	y축	-0.1000	-0.1931	0.0543
	z축	-0.6144	-0.0961	-0.1235

표2 제적계획에 사용된 시간, 경유점, 속도, 가속도

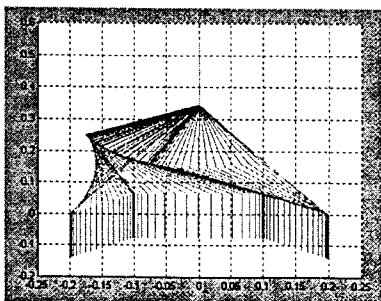


그림 7 일반 제적 생성 걸음 형태

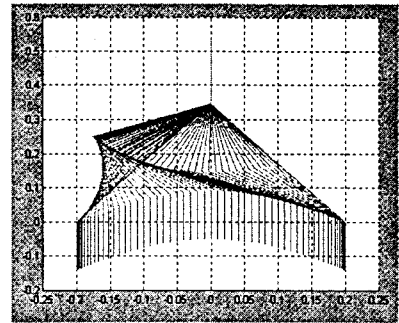


그림 8 유전 알고리즘을 적용한 제적의 걸음 형태

### 3. 결 론

유전 알고리즘을 적용하여 제한조건을 만족하는 균형추의 제적을 얻을 수 있었다. 이 값은 기존의 값에 비해 전체적으로 속도 가속도의 고른 분배를 보였으며 변위의 이동에 있어서도 경유점에서의 정지없이 연속적인 이동을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 적은 토크의 구동기 사용을 가능케 하며 균형유지에도 장점을 나타내며 빠른 보행을 유도할 수 있게 된다. 또한 일반 제적 생성의 경우 한주기 보행을 위해 3개의 구간이 이어진 형태를 나타내는데 반해 유전 알고리즘을 적용한 경우 한주기 보행이 하나의 연속된 구간의 특성을 나타내는 특징을 보였다. 앞으로의 연구과제는 보행 한 주기 구현의 속도 단축과 아울러 한주기 구현을 벗어나 네비게이션 체제에서의 제적 생성을 할 수 있도록 하는 것이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] A. Takanishi, M.Ishida, Y.Yamazaki,I.Kato, "Realization of Dynamic Walking by the Biped Robot WL-10RD," The 1985 International Confernc on Advanced Robotics, pp.459-466, Tokyo, Japan.1985
- [2] Yuan F.Zheng,"Acceleration Compensation for Biped Robots to Reject External Disturbamces,"IEEE Trans on Systems,Man,and Cybernetics,vol.19, no.1,pp.74-84,1989
- [3] A.Takanish,H.O.Lim,M.Tsuda,I.Kato,"Realization of Dynamic Biped Walking StabiliZed by Trunk Motion onaSagittaly Uneve Surface," Proceedings of the 1990 IEEE International Confernc on Intelligent Robots and Systems,pp.323-329, Tsuchiura,Japan,Jul.3-6,1990.
- [4]Q.Li,A.Takanishi,I.Kato,"Learning Control of Compensative Trunk Motion for Biped Walking Robot based on ZMP Stability Criterion,"Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Confernc on Intelligent Robots and Systems,pp.597-603,Raleigh, USA,Jul.7-10,1992.
- [5]J.Yamaguchi,A.Takanishi,I.Kato,"Development of a Biped Walking Robot Compensating for Three-Axis Moment by Trunk Motion,"Proceedings of the 1993 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol.1,pp.561-566,Yokohama,Japan, Jul.26-30,1993
- [6]이보희,"이족보행로봇 IWR의 걸음새 구현,"박사학위논문, 인하대학교 기계공학과,1996.
- [7]심경홍,이보희,김진걸,"유전알고리즘을 적용한 IWR 이족보행로봇의 균형추 제어,"Proceeding of the 11th KACC,October 1996