

유전 알고리즘을 이용한 휴머노이드 로봇의 동작연구

공정식#, 이보희*, 김진걸**

Motion Study for a Humanoid Robot Using Genetic Algorithm

Jung-Shik Kong#, Bo-Hee Lee* and Jin-Geol Kim **

ABSTRACT

This paper deals with determination of motions of a humanoid robot using genetic algorithm. A humanoid robot has some problems of the structural instability basically. So, we have to consider the stable walking gait in gait planning. Besides, it is important to make the smoothly optimal gait for saving the electric power. A mobile robot has battery to move autonomously. But a humanoid robot needs more electric power in order to drive many joints. So, if movements of walking joint don't maintain optimally, it is hard to sustain the battery power during the working period. Also, if a gait trajectory doesn't have optimal state, the expected life span of joints tends to be decreased. Also, if a gait trajectory doesn't have optimal state, the expected life span of joints tends to be decreased. To solve these problems, the genetic algorithm is employed to guarantee the optimal gait trajectory. The fitness functions in a genetic algorithm are introduced to find out optimal trajectory, which enables the robot to have the less reduced jerk of joints and get smooth movement. With these all process accomplished by PC-based program, the optimal solution could be obtained from the simulation. In addition, we discuss the design consideration for the joint motion and distributed computation of the humanoid, ISHURO, and suggest its result such as structure of the network and a disturbance observer.

Key Words : humanoid robot(휴머노이드 로봇), genetic algorithm(유전 알고리즘), optimal walking(최적 보행), gait generation(계적 생성)

1. 서론

최근 국내외적으로 이동 로봇에 대한 관심이 증대되고 또 이러한 관심은 로봇 분야의 기술 발전과 새로운 로봇의 개발로 이루어지고 있다. 특히 인간 형상을 가지고 있는 휴머노이드 로봇에 대한 연구 및 개발 속도는 가히 혁신적이라 할 수 있다.

이러한 휴머노이드 로봇의 대표적인 예로 혼다사의 ASIMO,¹ 소니사의 SDR-4X,² 후지쯔사의 HOAP^{3,4} 등이 있다. 기본적으로 휴머노이드 로봇은 기구학적으로 불안정성을 내포하고 있으므로, 안정성을 확보하면서 보행하고자 하는 연구가 지속적으로 진행되어 오고 있다. 이러한 보행상의 안정성을 위한 연구로써는, 로봇의 안정성 지표

☞ 접수일: 2004년 10월 3일; 게재승인일: 2006년 1월 13일

교신저자 : 인하대학교 자동화공학과

E-mail tempus@dreamwiz.com Tel. (032) 860-8923

* 세명대학교 전기공학과

** 인하대학교 전자전기 공학부

중 하나인 ZMP(Zero Moment Point)를 직접적으로 보행에 적용한 경우와 ^{5,6} 인간 보행 형상을 이용하여 제작된 로봇에 이용한 경우로 나눌 수 있다 ⁷. 전자의 경우 보행의 안정성을 직접적으로 검증하면서 보행 할 수 있는 장점을 가지고 있으나 자연스러운 보행을 수행하기는 어렵다. 그리고 후자의 경우 인간 형상의 보행을 유추하기 때문에 기본적인 안정성 확보가 능동적으로 이루어지지 못하며 나아가 자율 보행 시 이에 대해 능동적으로 대처하기 어려운 문제점을 내포하고 있다.

본 논문에서는 보행 궤적 생성 시 고려되는 두 가지의 경우에 대해 두 가지 모두를 능동적으로 대처할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다. 이러한 두 가지 경우를 능동적으로 만족시키기 위해서 먼저 보행궤적 생성 시, 다리부의 궤적을 유전 알고리즘을 이용하여 부드러운 궤적을 생성한다. 이때 ZMP 검증 과정을 수행함으로써 부드러운 궤적을 생성함과 동시에 그에 대한 안정성을 확보할 수 있도록 한다. 또 유전 알고리즘 적용 시 다양한 적합도 함수를 이용하여 가장 최적의 적합도 상황을 고려하였다. 제안된 방법은 시뮬레이션으로 검증하였다.

2. ISHURO 시스템 구조

본 알고리즘을 구현하기 위한 시스템은 현재 개발중인 휴머노이드 로봇인 ISHURO 이다. 이 로봇은 전장 86.5cm, 무게 10kg 의 로봇이며, 다리 각각 6 자유도, 팔 각각 3 자유도, 허리와 머리 각각 2 자유도인 총 22 자유도를 지닌 로봇이다. Fig. 1 은 ISHURO 의 3D 모델과 좌표계를 나타낸다.

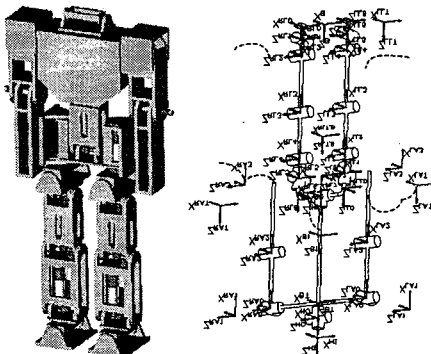


Fig. 1 3D model and coordinate system of ISHURO

ISHURO 의 시스템은 모듈화 형태를 기본으로 한다. 이는 각 관절에 제어 모듈을 내장하고 있음을 의미하며 각각의 모듈은 CAN(Controller Area Network)통신을 통해 제어 신호를 주고 받으며 상부 주 제어기에서 각 모듈에 대한 정보를 처리한다. Fig. 2 는 ISHURO 의 제어 시스템을 나타낸다

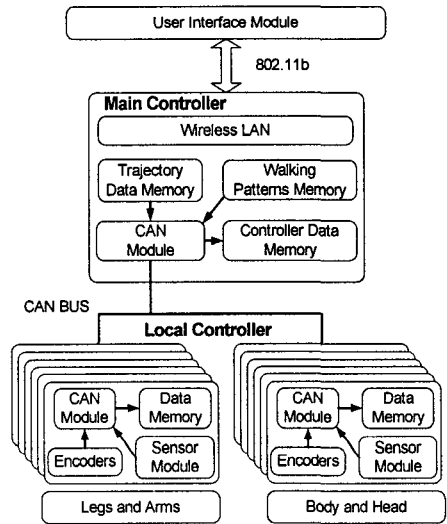


Fig. 2 System configuration

ISHURO 시스템은 크게 3 부분으로 나뉘어진다. 상부 제어기와 주 제어기 그리고 하부 제어기로 나뉘는데, 먼저 상부 제어기는 로봇에 대한 사용자의 명령을 처리하고 이에 대한 결과를 로봇 시스템에 전달하는 역할을 한다. 이러한 상부 제어기는 PC 를 통해 구현하였으며 상부 제어기와 주 제어기 사이에는 811.02b 무선 네트워크를 기본으로 한다. 그리고 하부 제어기는 모터의 정밀제어, 주 제어기와의 통신, 센서 측정 등을 수행한다. 하부 제어기는 TI 사의 32-비트 연산 DSP 인 TMS320F2812-150MHz 를 이용하여 구현하였다. 이 CPU 는 기본적으로 내부에 CAN 통신 모듈을 가지고 있으며 A/D 컨버터를 내장하고 있어 FSR(Force Sensing Resister) 센서의 정보를 가지고 있을 수 있다. 그리고 PWM 생성 모듈과 엔코더 인식 모듈을 가지고 있어 모터 제어에 적합하다. 주 제어기의 경우 Intel 사의 32 비트 마이크로컴인 XSCALE- 400MHz 를 사용하고 있으며 기본적으로 임베디드 리눅스가 포팅 되어 있다. 주 제어기는

기본적으로 하부 제어기에 필요한 모터 구동 정보를 제공하고 이에 따른 각 관절 변수의 정보를 CAN 통신을 통해 주고 받는다. 이때 상부제어기에는 CAN 제어모듈이 없기 때문에 Infenion 사의 81C90 칩을 추가하여 구현하였다.

ISHURO 시스템의 경우 구동 모터에 대한 데이터 22개와 이에 대한 현재 출력 값 22개의 데이터를 실시간으로 전송해야 한다. ISHURO 에서는 CAN 통신 속도를 1Mbps 로 수행하여 처리하였다. 이때 10ms 를 기본 전송 주기로 했을 경우 전체 데이터 송수신 소요 시간은 최대 5.1ms 로써 통신의 안정성을 확보하였다. 구동부는 MAXON 사의 DC 모터를 사용하였으며 기구부가 기본적으로 가지고 있는 비선형에 의한 리밋 사이클을 제거하기 위해 외란 관측기를 사용하였다.^{8,9,10}

센서 시스템은 발바닥에 장착되어 있는 FSR 센서의 정보를 통해 ZMP 를 구하는데 사용된다. ZMP 는 로봇의 안정보행에 있어서 안정화 정도의 지표로써 시스템에 걸려있는 각 관절의 움직임과 외력에 의해 유도된다. 식(1)과 (2)는 ISHURO 에 대한 ZMP 식을 나타낸다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^{15} (M_i (\ddot{z}_i + G_z) x_i - M_i \ddot{x}_i z_i)}{\sum_{i=0}^{15} M_i (\ddot{z}_i + G_z)} \quad (1)$$

$$y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^{15} (M_i (\ddot{z}_i + G_z) y_i - M_i \ddot{y}_i z_i)}{\sum_{i=0}^{15} M_i (\ddot{z}_i + G_z)} \quad (2)$$

식(1)과 (2)에서 x_{ZMP} 와 y_{ZMP} 는 지지각 기준좌표에 대한 균형점 좌표를 나타내고 M_i 는 i 번째 질점의 질량을 나타내며, \ddot{x}_i , \ddot{y}_i , \ddot{z}_i 는 각 질점에서의 선가속도 성분을 나타낸다. 또한 $G = (G_x, G_y, G_z)$ 는 중력 가속도 벡터를 의미한다. 본 논문에서는 보행 시 지지각의 좌표계를 기준 좌표계로 하여 해석하였다. 이에 ZMP 위치와 중력가속도 정보는 이 좌표계를 기준으로 하여 생성된다. 식(1)과 (2)는 D'alembert 에 의해 유도되었으며 현재 로봇 시스템은 질량모델을 총 15 개로 분리하여 해석을 수행하였다. 이 때 질량 모델에 대해 다리는 각각 12 개의 질량모델을 사용하였으

며 몸체와 팔 다리는 각각 1 개의 질량으로 고려하여 처리하였다. 그리고 로봇 시스템에서 ZMP 를 측정하여 그에 따른 시뮬레이션 데이터와 실제 데이터를 비교하기 위해서 FSR 센서를 이용하였다. FSR 센서에 작용하는 힘을 전압의 변화로 바꾸어 주는 센서로써 FSR 센서를 이용하여 지면에 작용하는 반발력을 계산할 수 있으며 센서의 위치가 발바닥상에 이미 정해진 위치에 장착되어 있기 때문에 거리정보를 알 수 있으며 이를 이용하여 모멘트도 측정할 수 있으며 더 나아가 로봇의 안정점인 ZMP 를 측정할 수 있다.^{11,12} 식(3)과 식(4)는 지면의 반발력에 따른 ZMP 위치를 나타낸다. 식(3)과 (4)의 \tilde{x}_{ZMP} , \tilde{y}_{ZMP} 은 각각 발바닥 기준 좌표계에 대한 센서로 측정된 균형점을 나타내며, f_i 는 FSR 센서에 의한 로봇의 지면 반발력을 나타낸다. 그리고 \tilde{x}_i 와 \tilde{y}_i 는 발바닥에 설치된 FSR 센서의 발바닥 기준 좌표계에 대한 상대 위치를 나타낸다. 식(1)과 (2)가 로봇의 움직임에 따른 ZMP 라고 하면 식(3)과 (4)는 실제 발바닥에 작용하는 힘에 의한 측정된 ZMP 값이라고 할 수 있다. ISHURO 에는 양다리에 각각 5 개씩의 FSR 센서를 장착하여 ZMP 를 측정 하였다.

$$\tilde{x}_{ZMP} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times \tilde{x}_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (3)$$

$$\tilde{y}_{ZMP} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times \tilde{y}_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (4)$$

3. 보행 알고리즘

유전 알고리즘은 진화 현상에 기초한 계산 모델로써 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘이며 주어진 다양한 환경 속에서 적응하여 적합한 것만이 살아 남는다는 적자생존의 이론을 기본으로 한 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 가능한 해들을 정해진 형태의 자료 구조로 표현한 다음 이들을 재생산, 교배, 돌연변이를 거치면서 점차적으로 더 좋은 해들을 만들어낸다.^{13, 14} 유전 알고리즘은 미분 방정식적인 접근이 아닌 대수적인 접근으로 해

를 유추해 낼 수 있으므로 해석이 난해하고 계산이 복잡한 시스템에 적용하기 유리하다.

휴머노이드 로봇이 보행함에 있어서 고려해야 할 부분은 얼마나 안정적으로 보행을 수행하느냐는 것과 로봇이 얼마나 에너지 소비를 줄일 수 있는 움직임을 만들어내느냐 하는 것이다. 이러한 두 가지 요소를 충족시키기 위해서는 안정적이면서 자연스러운 다리 궤적 생성이 가장 중요한 부분이다. 본 논문에서는 이러한 자연스러우면서도 안정적인 보행을 수행하기 위해 유전 알고리즘을 사용하여 지지각과 유각의 끝 단의 움직임에 대해 5 차 다항식 곡선을 이용하여 움직임을 정의하였다. ISHURO 에서 몸체의 움직임은 발바닥이 고정되어 있는 지지각의 끝 단의 움직임과 일치하므로 몸체의 움직임을 지지각의 움직임으로 해석하였고 지지각의 움직임에 대해 유각이 지면과 충돌하지 않으면서 움직일 수 있도록 유각의 발바닥 끝 단의 움직임 또한 5 차 다항식 곡선으로 표현하였다. 그리고 이러한 지지각과 유각의 움직임을 합성함으로써 로봇의 움직임을 결정할 수 있다. 그리고 이때 로봇의 움직임에 대한 안정성 검증은 ZMP 를 이용하여 ZMP 점이 한 다리 지지상태일 때 지지각 내에 ZMP 가 존재할 경우 안정성이 확보되므로 ZMP 의 위치를 확인하여 안정성을 검증하였다. 식 (5)는 기본적인 궤적 생성 다항식 곡선이다.

$$y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \alpha_4 t^4 + \alpha_5 t^5 \quad (5)$$

식(6)~(9)는 식(5)의 경유점 정보를 이용하여 구한 $\alpha_i, i = 0, 5$ 에 대한 각각의 결과값을 나타낸다.

$$\alpha_0 = p_i, \alpha_1 = v_i, \alpha_2 = \frac{a_i}{2} \quad (6)$$

$$\alpha_3 = \frac{20p_f - 20p_i - (8v_f + 12v_i)t_f - (3a_i - a_f)t_f^2}{2t_f^3} \quad (7)$$

$$\alpha_4 = \frac{30p_i - 30p_f + (16v_i + 14v_f)t_f + (3a_i - a_f)t_f^2}{2t_f^4} \quad (8)$$

$$\alpha_5 = \frac{12p_i - 12p_f - (16v_i + 14v_f)t_f + (a_i - a_f)t_f^2}{2t_f^5} \quad (9)$$

여기서 p_i, v_i, a_i 는 각 구간에 대한 초기 위치, 속도, 가속도를 나타내며 t_f, p_f, v_f, a_f 는 각 구간에서의 최종 시간, 위치 속도 가속도를 나타낸다.

궤적 계획 시 각 구간에 대한 초기조건과 최종조건 8 개의 정보를 통하여 식(5)의 각각의 매개변수에 대한 정보를 식(6)~(9)를 통해 구함으로써, 식(5)을 통해 시간 t 에 대한 끝 단의 좌표의 위치인 y(t)를 구할 수 있다. 그러나 5 차 다항식 곡선을 이용하여 궤적계획을 수행할 경우, 경유점 중간에서 다리부의 작업범위 밖으로 범위가 벗어날 수 있고, 5 차 다항식 곡선을 통한 해석을 통해 말단부분의 움직임이 부드럽게 생성한다고 해도 관절의 움직임이 부드러워진다고 보장할 수 없기 때문에, 궤적 생성시 관절의 부하를 줄이고 에너지를 최적화 할 수 있게 하기 위해 유전알고리즘을 이용하였다. Fig. 3 은 본 논문에 적용한 유전알고리즘의 흐름도이다.

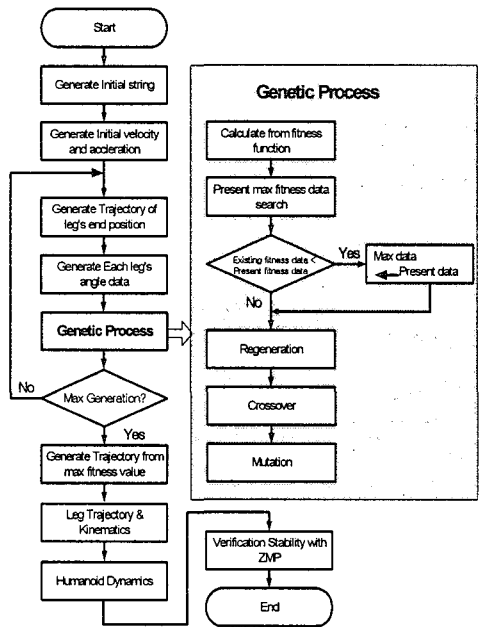


Fig. 3 Flowchart of genetic algorithm

본 논문에서는 유전 알고리즘을 적용하기 전에 먼저 로봇이 보행할 수 있는 보폭을 12cm 로 결정했으며 이에 대한 삼각형 궤적을 기본으로 하였다. 삼각형 보행을 수행 했을 때 한 보 수행 시 경유점 정보가 5 개로 나타나며 이러한 총 5 개의 궤적 중에서 중간 경유점에 대해 로봇 관절의 움직임을 최적으로 할 수 있도록 속도 가속도를 유전 알고리즘을 통해 결정하였다. Table 1 은 유전 알고리즘을 적용했을 때 각 구성요소이다.

Table 1 Parameters of genetic algorithm

Parameter	Value
Population No.	100
Generation No.	300
String No.	480
Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.15
Fitness function	$F = \frac{1}{\sum(\dot{\theta}_{i+1} - \dot{\theta}_i)^2 + \sum(\ddot{\theta}_{i+1} - \ddot{\theta}_i)^2}$

여기서 $\dot{\theta}_i$ 와 $\ddot{\theta}_i$ 는 각각 임의의 순간의 각 조인트의 각속도와 각가속도를 의미한다. 유전 알고리즘 적용 시 적합도 함수를 각 관절의 속도 가속도의 최소값을 이용함으로써 로봇이 보행 시 각 관절에 걸리는 부하나 충격량을 줄일 수 있도록 하였다. 이를 통해 로봇의 움직임을 부드럽게 하여 로봇 구동 시 가 감속이 줄어들었으므로 ZMP 와 COG(Center Of Gravity)가 보다 안정적이게 되었다. 유전 알고리즘을 적용함에 있어서 돌연변이율을 0.1로 한 후에 교배율을 0.05부터 0.95까지 0.05간격으로 유전 알고리즘을 적용했을 때 0.8에서 수렴 정도가 가장 빨리 나타났다. 이를 기초로 하여 돌연변이율을 0.05부터 0.95까지 증가시키면서 알고리즘을 수행한 결과 돌연변이율이 0.15에서 가장 빨리 수렴하는 것을 볼 수 있었고 이에 교배율과 돌연변이율을 Table 1과 같이 정의 할 수 있었다. 그리고 세대수의 경우 기본적으로 600번 이상을 수행했을 경우 평균적으로 200회 이상일 경우 적합도 정도가 안정화 됨에 착안하여 300회로 처리하였다. Fig. 4는 유전 알고리즘을 적용했을 때의 세대 수에 따른 적합도 추이를 나타낸다.

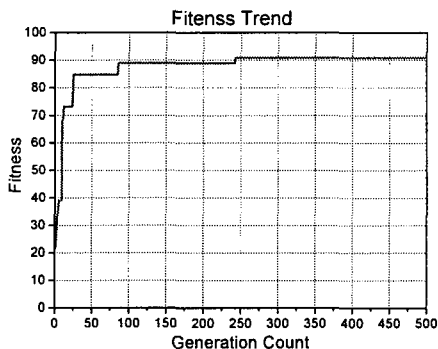


Fig. 4 Fitness trend according to number of generation

4. 모의실험

본 논문에서는 Microsoft사의 Visual C++을 기본으로 하여 Fig. 5와 같이 모의실험기를 자체 개발하였다. 모의 실험기는 사용자의 주어진 요청 보행 보폭과 방향에 대해 이동 궤적을 생성하고 이에 대한 각 관절의 토크와 안정성 해석의 기본적인 ZMP를 계산해 낼 수 있으며 또 이러한 계산된 결과를 TCP/IP를 통해 로봇의 메인 시스템에 정보를 제공할 수 있도록 개발되었다. 본 논문에서는 총 4보 보행을 수행하였으며 각 보행은 3초 보행을 기본으로 총 12초간 보행을 수행하였다.

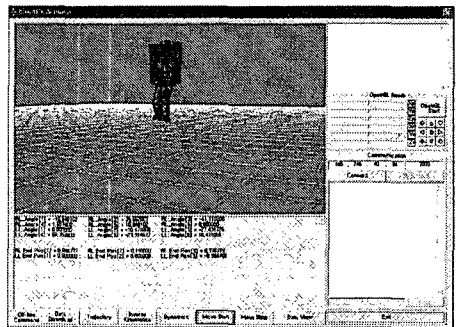
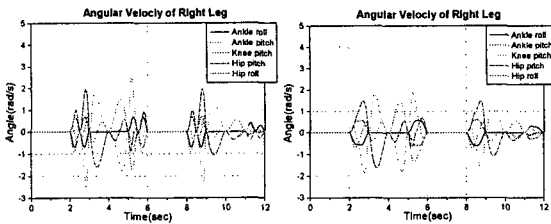


Fig. 5 Main feature of 3D simulator

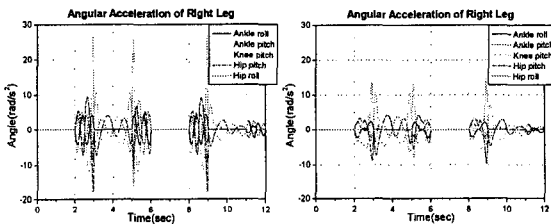
Fig. 6, 7은 ISHURO의 4보 보행에 대해 경유점의 속도, 가속도를 '0'으로 했을 때와 유전 알고리즘을 사용했을 경우의 결과 비교이다. 보통 보행 궤적을 계산할 경우 평균 속도와 평균 가속도를 이용하여 경유점의 보행 궤적을 생성한다. 이에 본 논문에서 평균 속도와 평균 가속도를 이용하여 보행 궤적을 수행할 경우 보행 궤적이 기본적으로 삼각형 궤적을 가지고 있으므로 중간 경유점의 속도 가속도는 '0'이 된다. 따라서 평균 속도 가속도가 '0'일 때의 보행 궤적의 결과와 유전 알고리즘을 이용해 생성된 보행 궤적을 비교하였다. 참고로 보행 모의실험 시 오른쪽 다리의 경우 0~3초, 6~9초에서는 지지각이 되며 3~6초, 9~12초에서는 유각이 된다.

Fig. 7에 의하면 최대 가속도가 오른쪽 무릎 관절의 경우 유전 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 각가속도가 최대 -34.8 rad/s^2 을 나타내나 유전 알고리즘을 적용한 경우 같은 무릎에 대해 각가속도가 19.2 rad/s^2 을 나타냄을 알 수 있다. 이는 유

전 알고리즘을 사용했을 경우 약 55%의 최대 가속도가 줄어들음을 의미하며 이는 로봇이 구동 중에 관절에 걸리는 충격량인 jerk 가 줄어들음을 보여준다. Fig. 8 는 지지각의 각 관절의 토크를 보여준다.

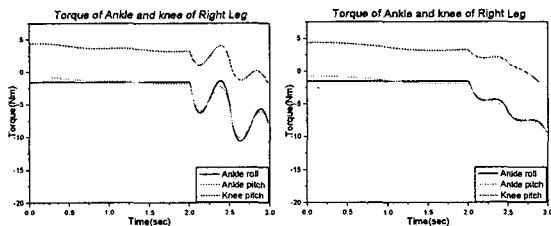


(a) Without genetic algorithm (b) With genetic algorithm
Fig. 6 Comparison of velocity of each joint



(a) Without genetic algorithm (b) With genetic algorithm
Fig. 7 Comparison of acceleration of each joint

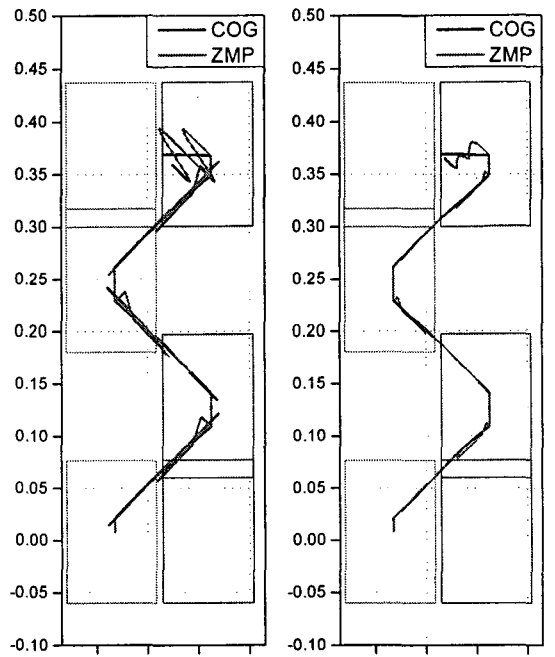
Fig. 8 에서 한 다리 지지 상태일 경우 경유점 정보를 '0'으로 했을 경우 중간 경유점에 의해 각 관절의 토크의 변화가 크고 동시에 최대로 걸리는 토크를 비교 했을 경우 15%의 토크가 더 소요됨을 알 수 있다. 이는 로봇 구동 중에 에너지 소비가 더욱 심해짐을 보여 주는 것이며 이러한 에너지 소비는 자체 내에 에너지원을 장착해야 하는 휴머노이드 로봇의 특성으로 볼 때 지속적인 구동을 유지하는데 더욱 어려움을 가져다 준다.



(a) Without genetic algorithm (b) With genetic algorithm
Fig. 8 Comparison of joint torque on the support leg

Fig. 9 는 유전알고리즘을 적용했을 때와 하지

않았을 경우에 ZMP 와 COG(Center of Gravity)에 대한 비교이다. Fig. 9 에서 발바닥은 사각형으로 표시했으며 그 크기는 137×84(mm)이다. COG의 경우 물체의 무게 중심만을 나타내고 있기 때문에 로봇의 가속도 변화에 대한 정적인 안정성에 대해서는 크게 차이가 없으나 ZMP 를 비교하였을 경우 중간 경유점에 대해 유전알고리즘을 사용하지 않았을 경우 안정성의 척도인 ZMP의 움직임이 상당히 크게 뒜을 볼 수 있다. 이러한 ZMP 요동이 클 경우 실제 보행 안정성을 보장하기 어렵다.



(a) Without GA (b) With GA
Fig. 9 ZMP Comparison

Fig. 10 은 로봇 보행에 대한 3D 형상이다. Fig. 10에서는 1초 간격으로 나누어 12초간 4보 보행을 수행한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 보행 결과 안정적으로 보행됨을 확인할 수 있었다.

5. 실험

PC 를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 후에 우리는 실제 시스템인 휴머노이드 로봇인 ISHURO 를 이용하여 실험을 수행하였다. 본 휴머노이드 로봇 시스템은 외부의 상부제어기에서 생성된 궤

적에 대해 802.11b 무선랜을 이용하여 주 제어기에 로봇의 궤적을 제공한다. 이렇게 제공된 데이터는 주 제어기에서 CAN 통신을 통해 하부 제어기에 각 모터에 필요한 궤적을 보내게 되며 하부 제어기에서는 주 제어기에서 제공된 모터 제어 데이터를 이용하여 Tracking 제어를 수행한다. 그리고 이 결과는 다시 CAN 통신을 통해 주제어기에 저장되어 실험결과를 확인 할 수 있도록 구성되었다. Fig. 11 은 적용된 실제 하드웨어이고 Fig. 12 는 적용된 시스템의 블록다이어그램이다.

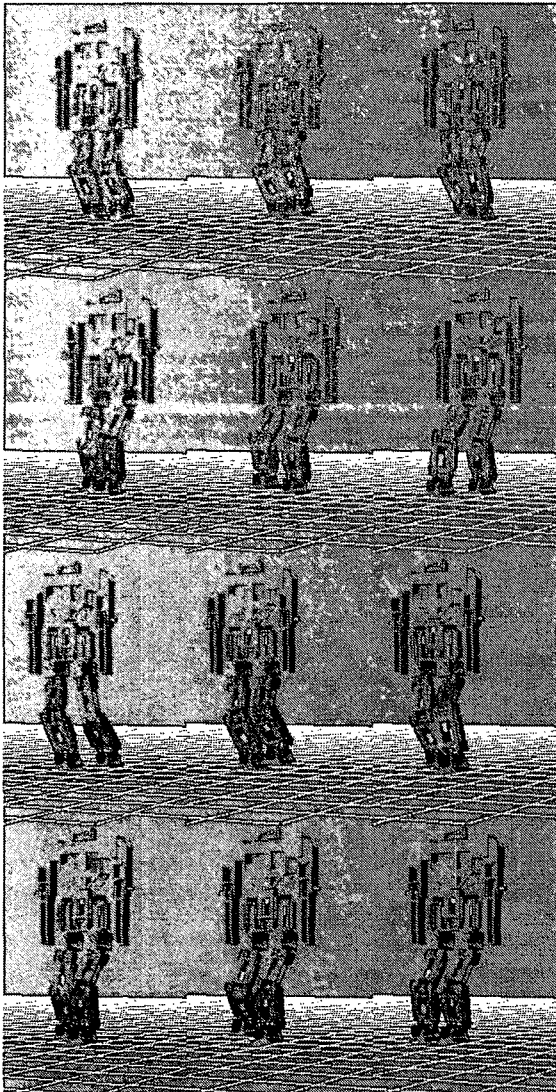


Fig.10 3D snapshot of walking sequence

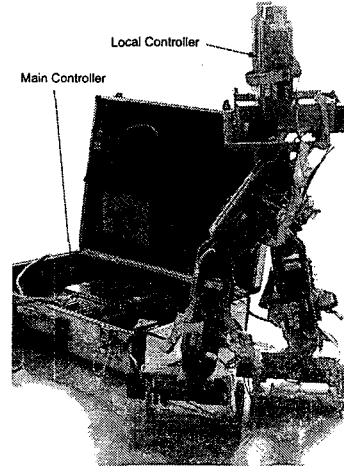


Fig. 11 Experiment system

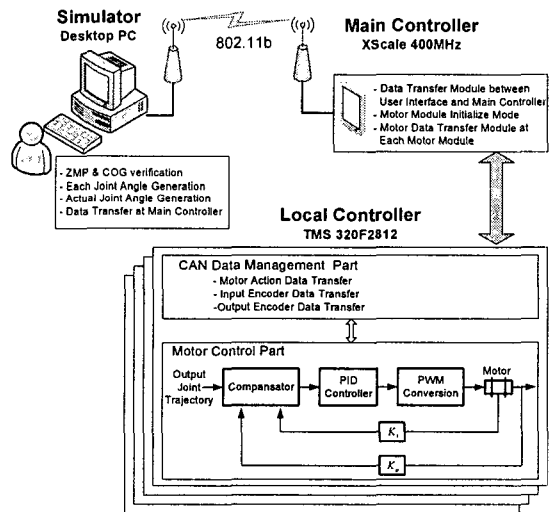


Fig. 12 Block diagram of system

Fig. 13 은 유전 알고리즘을 이용하여 생성된 궤적과 이에 대한 로봇 보행 각 관절의 Tracking Error 를 나타내고 Table 2 는 유전 알고리즘을 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 최대 Tracking error 를 나타낸다. Table 2 에서 출력축 엔코더의 해상도는 0.00307rad/pulse 이다 유전 알고리즘을 사용하지 않았을 경우 Tracking 제어에서 최대 오차는 0.0307 radian 이나 유전 알고리즘을 사용할 경우 0.0245 radian 으로 약 20%정도 향상된 궤적추종 능력을 갖게 된다.

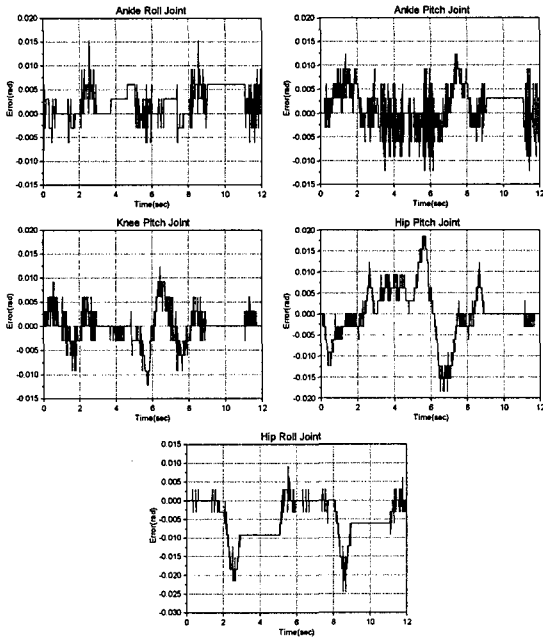


Fig. 13 Tracking error

Table 2 Performance Comparison of Position Tracking

Joint Name	Tracking Error (radian(pulse))	
	Without GA	With GA
Ankle Roll	0.0122(4)	0.0153(5)
Ankle Pitch	0.0153(5)	0.0122(4)
Knee Pitch	0.0153(5)	0.0122(4)
Hip Pitch	0.0215(7)	0.0184(6)
Hip Roll	0.0307(10)	0.0245(8)

Fig. 14 는 보행 실험시의 ZMP 실험 결과이다. Fig. 14로부터 보행 초기 시 유전 알고리즘을 사용하지 않았을 경우 ZMP가 급격하게 움직이는 반면에 유전 알고리즘을 사용할 경우 ZMP의 급격한 움직임이 보이지 않았으며 특히 외다리 지지 상황에서의 ZMP의 움직임이 보다 안정적임을 확인할 수 있다.

6. 결론

최근 휴머노이드의 기구적 불안정성을 해결하기 위한 안정보행에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 안정적인 보행을 수행하기 위해 유전알고리즘을 이용하여 보행 궤적을 생성하는 방법을 제시 하였다.

보행 궤적 생성시 안정적이면서 자연스러운 보행을 생성해내기 위해 원하는 보행 보폭에 대해 삼각형 형상의 다리 끝 단의 궤적을 만들게 되는데 이때 다리 궤적 생성 시 보행의 자연스러움을 유지시키기 위해 중간 경유점에 대한 속도 가속도 정보를 유전 알고리즘을 통해 유추하였다. 또한 유추된 정보에 대해 ZMP 검증을 통해 보행의 안정성을 확인 할 수 있었다.

현재 개발 진행중인 휴머노이드 로봇 ISHURO는 각 모듈의 테스트 및 백래쉬 컨트롤, 그리고 각 모터간의 통신 작업이 완료되어 있는 상태이다 향후에는 이러한 알고리즘을 통합적으로 ISHURO 로봇에 적용하여 보행 안정성 검증을 수행할 것이며, 또 자연스럽고 안정적인 보행을 위해 FSR 센서에 의해 계산된 ZMP를 이용한 ZMP 제어를 수행 할 것이다.

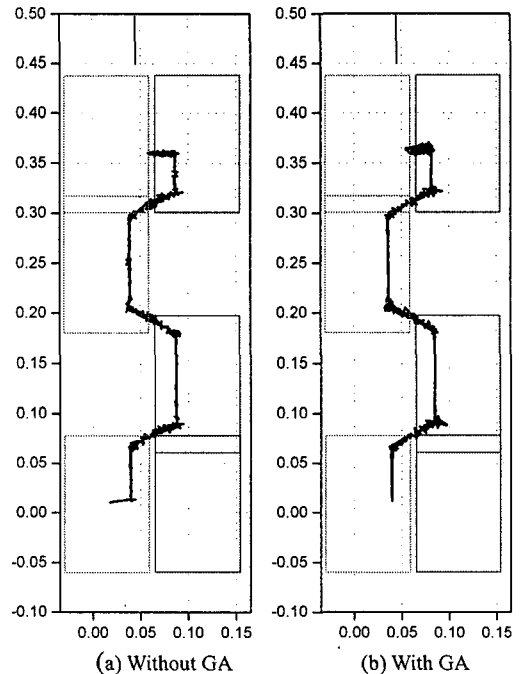


Fig. 14 ZMP Experiment

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10364-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N. and Fujimura, K., "The intelligent ASIMO: System overview and integration," *IEEE/RSJ International Conference*, Vol. 3, pp. 2478-2483, 2002.
2. Tatshzo, I., Yoshihiro, K., Jin'ichi, Y., Masahiro, F. and Toshi, T. D., "Motion Entertainment by a Small Humanoid Robot Based on OPEN-R," *IEEE/RSJ*, pp. 1079-1086, 2001.
3. Riezenman, M. J., "Robots stand on own two feet," *Spectrum IEEE*, Vol. 39, pp. 24-25, 2002.
4. Kurazume, R., Hasegawa, T. and Yoneda, K., "The sway compensation trajectory for a biped robot," *ICRA '03*, Vol. 1, pp. 925-931, 2003.
5. Park, J. H., and Chung, H., "ZMP Compensation by On-Line Trajectory Generation for Biped Robots," *IEEE SMC*, Vol. 4, pp. 960-965, 1999.
6. Napoleon, S. N. and Mitsuji, S., "Balance Control Analysis of Humanoid Robot based on ZMP Feedback Control," *Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2437-2442, 2002.
7. Nakaoka, S., Nakazawa, A., Yokoi, K., Hirukawa, H. and Ikeuchi, K., "Generating whole body motions for a biped humanoid robot from captured human dances," *ICRA03*, Vol. 3, pp. 3905-3910, 2003.
8. Yamada, K., Komada, S., Ishida, M. and Hori, T., "Characteristics of Servo System Using High Order Disturbance Observer," *Conference on Decision and Control*, pp. 3252-3257, 1996.
9. Yamada, K., Komada, S., Ishida, M. and Hori, T., "Analysis of Servo System Realized by Disturbance Observer," *AMC 96*, pp. 338-343, 1996.
10. Jung, B. J., Kong, J. S., Lee, B. H. and Kim, J. G., "Backlash Compensation for a Humanoid Robot Using Disturbance Observer," *IECON04*, 2004.
11. Atsushi, K., Noriyoshi, K., Satoshi, S., Tomoyuki, F. and Masaru, U., "Development of a Light-Weight Biped Humanoid Robot," *Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1565-1570, 2000.
12. Genichiro, K., Tomonori, K. and Makoto, S., "Dynamic Sensing Experiments of Reaction Force Distributions on the Sole of a Walking Humanoid Robot," *IEEE Intl. Conference on Intelligent Robot and Systems*, pp.1413-1418, 2003.
13. Zhung, H., Wu, J. and Hung, W., "Optimal Planning of Robot Calibration Experiments by Genetic Algorithms," *IEEE Intl. Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 981-986, 1996.
14. Shimojima, K., Kubota, N. and Fukuda, T., "Trajectory Planning of Reconfigurable Redundant Manipulator Using Virus-Evolutionary Genetic Algorithm," *IEEE Intl. Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, Vol. 2, pp. 836-841, 1996.