

유전 알고리즘 기반의 이족보행로봇 시스템에 관한 연구

공정식#, 한경수*, 김진걸*

A Study on Genetic Algorithm-based Biped Robot System

Jung Shik Kong#, Kyoung Soo Han* and Jin-Geol Kim*

ABSTRACT

This paper presents the impact minimization of a biped robot by using genetic algorithm. In case we want to accomplish the designed plan under the special environments, a robot will be required to have walking capability and patterns with legs, which are in a similar manner as the gaits of insects, dogs and human beings. In order to walk more effectively, studies of mobile robot movement are needed. To generate optimal motion for a biped robot, we employ genetic algorithm. Genetic algorithm is searching for technology that can look for solution from the whole district, and it is possible to search optimal solution from a fitness function that needs not to solve differential equation. In this paper, we generate trajectories of gait and trunk motion by using genetic algorithm. Using genetic algorithm not only on gait trajectory but also on trunk motion trajectory, we can obtain the smoothly stable motion of robot that has the least impact during the walk. All of the suggested motions of biped robot are investigated by simulations and verified through the real implementation.

Key Words : genetic algorithm(유전 알고리즘), leg trajectory(다리 궤적), balancing joint trajectory(균형관절 궤적), biped robot(이족보행로봇)

1. 서론

요즈음 인간 친화형 이동로봇에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 이동로봇은 인간 생활에 보다 가까이 접근하고 있고, 인간의 주변 환경인 계단이나 다양한 물체와의 접촉 등을 고려할 때 다리를 가진 로봇의 형태가 요구되며, 이에 이들 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 동안 다리를 지니고 있는 보행 로봇에 대한 연구는 크게 육족, 사족 그리고 이족보행로봇으로 크게 대별될 수 있으며 대표적인 예로, 사족보행로

봇으로는 AIBO^{1,2}, 그리고 이족보행로봇으로는 혼다사의 ASIMO³ 등이 대표적이라 하겠다. 이들 로봇 중에 이족보행로봇은 사족로봇이나 육족로봇에 비해 관절의 개수가 적어 경제적인 이득을 볼 수 있으며, 형상이 인간과 유사하여 보다 인간 생활에 접근하기 유리하지만, 기본적으로 로봇 자체에 불안정성 요소를 내포하고 있기 때문에, 로봇의 불안정성을 제거함과 동시에 보다 유연한 동작을 해석한 연구들이 계속 진행되고 있다^{4,9}. 우리나라에서도 이들 이족 보행 로봇에 대한 관심이 증가하고 있으며 예로 보행 중의 로봇의 지면에

접수일: 2003 년 4 월 2 일, 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일
 교신저자: 인하대학교 자동화공학과
 Email: tempus@dreamwiz.com, Tel: (032) 860-7384
 * 인하대학교 전자전기공학부

대한 해석에 대한 해석 및 시뮬레이션에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있다¹⁰.

그리고 한편으로는 이족보행로봇의 해석상의 비선형성에 대한 최적 해를 용이하기 구하기 위해 지능알고리즘을 적용하였는데, 그 중 유전 알고리즘은 전역적 탐색 알고리즘으로써 최적화의 대상인 목적함수에 미분 가능성과 연속성과 같은 제약이 없으면서도 최적 해를 구할 수 있는 알고리즘으로 보행로봇에 많이 이용되고 있다. 대표적인 예로 Hasegawa 는 이족보행로봇의 자연스런 보행을 위한 궤적 생성을 위해 ZMP(Zero Moment Point)라고 불리는 안정점을 만족시키는 관절 변수들을 유전 알고리즘을 이용하여 구현하였으며¹¹, Rodrigue 는 이족보행로봇의 각 관절의 궤적을 유지하는 최적 토크 값을 구하기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다¹². 그리고 유전 알고리즘을 사용할 경우 로봇의 움직임을 보다 유연하게 하기 위해 다리부에 유전 알고리즘을 사용하여 보다 안정한 보행을 유도하였으나¹³, 이러한 유전 알고리즘의 적용에 있어서 국부적인 부분에만 한정하여 사용함으로써, 로봇의 보행에 있어서 전체적인 최적의 움직임을 구현하는데 한계를 가지고 있었다.

본 논문에서는 이족보행로봇의 안정성 해석에 기초가 되는 ZMP 를 안정영역 내에 존재 시키면서 유전 알고리즘을 로봇 전역에 적용하여, 로봇의 보행 중에 발생하는 충격량을 줄이고, 보다 유연한 보행을 수행하고자 한다. 기존에는 유전 알고리즘을 이용하여 다리부의 움직임을 최적화 하였다. 그러나 보다 유연한 보행을 유지하기 위해서는 다리의 움직임을 부드럽게 하는 것과 더불어 균형관절의 움직임을 보다 부드럽게 해야 한다. 이에 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 로봇의 다리 관절의 움직임을 부드럽게 함과 동시에 이족보행로봇이 안정영역 밖으로 나가지 않는 범위 내에서 균형 관절의 움직임을 보다 부드럽게 만들도록 로봇이 안정적이면서 보다 유연한 보행을 할 수 있도록 하였다. 그리고 이에 대해 시뮬레이션과 실험을 통해 로봇 보행 시 안정성 유지하면서 충격량을 최소화하는 보행을 수행함을 검증하였다.

2. 이족보행로봇의 구조

2.1 이족보행로봇의 기구학적 해석

본 논문에서는 자체 개발한 이족보행로봇 IWR-

III를 이용하였다. 그리고 이족보행로봇의 기구학적 해석과 동특성의 용이한 해석을 위하여 지지각(support leg)과 유각(swing leg) 그리고 균형관절(balancing joint)의 3 부분으로 나누어 해석하였다. Fig. 1 은 이족보행로봇의 좌표계와 질량 모델을 표현한 것이다. Fig. 1 에서 보는 것과 같이 전체 기준 좌표계는 균형관절기준 좌표계를 지면에 투영시킨 양 발바닥 사이로 설정하고 로봇의 모든 움직임을 표시하도록 하였다. 다리부는 몸체 지지와 추진을 위한 지지각과 다음 보행 구현을 위해 이동하는 유각으로 나누었으며 각각을 보폭의 조절 및 발 부분의 높이 조절을 위해 필요한 최소 자유도인 3 자유도를 갖는 회전 관절로 구성하였다. 지지각은 발바닥 부분을 기준 좌표계로 설정하여 본 시스템의 전체 좌표계와 같은 평면상에 있게 하고, 유각의 기준 좌표계와 균형 관절의 기준 좌표계는 지지각의 말단 좌표계와 링크 시켜 기구학적 연쇄가 일어나게 하였다.

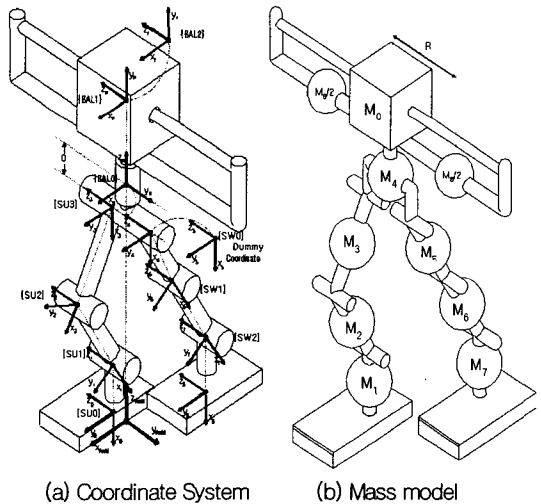


Fig. 1 Coordinate system and mass model of biped

2.2 이족보행로봇의 동력학적 해석

지면에 고정되어 있지 않아서 생기는 이족보행로봇의 불안정성을 해소하기 위해 각 링크의 모멘트의 합이 '0'이 되는 ZMP 라고 불리는 균형점을 유도하고 이를 통해 안정성을 확보하였다. 균형점은 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서 M_i 는 i 번째 질점의 질량을 나타내고, G_x, G_y, G_z 는 중력 가속도 벡터를 의미하며, x_{zmp}, y_{zmp} 는 균형점 좌

표를 나타내며, $\ddot{x}_i, \ddot{y}_i, \ddot{z}_i$ 는 각 질점에서의 선가속도 성분을 나타낸다.

$$x_{zmp} = \frac{\sum_{i=0}^8 (M_i(\ddot{z}_i + G_z)x_i - M_i(\ddot{x}_i + G_x)z_i)}{\sum_{i=0}^8 M_i(\ddot{z}_i + G_z)} \quad (1)$$

$$y_{zmp} = \frac{\sum_{i=0}^8 (M_i(\ddot{z}_i + G_z)y_i - M_i(\ddot{y}_i + G_y)z_i)}{\sum_{i=0}^8 M_i(\ddot{z}_i + G_z)}$$

$$\ddot{x}_0 - \frac{(\ddot{z}_0 + G_z)}{z_0} x_0 = -\frac{(\ddot{z}_0 + G_z)x_{zmpD}}{z_0} - G_x + \alpha / M_0 z_0$$

$$\ddot{y}_0 - \frac{(\ddot{z}_0 + G_z)}{z_0} y_0 = -\frac{(\ddot{z}_0 + G_y)y_{zmpD}}{z_0} - G_y + \beta / M_0 z_0 \quad (2)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^8 (M_i(\ddot{x}_i + G_x)z_i - M_i(\ddot{z}_i + G_z)(x_i - x_{zmpD}))$$

$$\beta = \sum_{i=1}^8 (M_i(\ddot{y}_i + G_y)z_i - M_i(\ddot{z}_i + G_z)(y_i - y_{zmpD}))$$

식(1)로부터 균형관절의 균형방정식 식(2)를 유도하였다. 여기서 M_0 는 균형추(balancing weight)의 질량, x_0, y_0, z_0 는 기준 좌표계에 대한 균형추의 질량 중심 위치, x_{zmpD}, y_{zmpD} 는 기준 좌표계에 대한 목표 균형점의 위치, 그리고 $\ddot{x}_0, \ddot{y}_0, \ddot{z}_0$ 는 기준 좌표계에 대한 균형추의 질량 중심 가속도를 나타낸다. 이차 미분방정식으로 표현되는 균형 방정식을 이용하여 균형 관절의 움직임을 결정하고 균형점 검증 방정식으로 보행 안정도 여부를 판별한다.

3. 유전 알고리즘

3.1 유전 알고리즘을 이용한 기존 연구 방법

이족보행로봇의 궤적 계획을 할 때 유각은 지면과 높이 간격을 유지하면서 진행 및 장애물을 회피를 고려하기 위해서는 최소한 4 개의 경유점 정보가 필요하고, 이때 중간 경유점에서의 속도와 가속도는 경계치 값으로 임의로 설정하게 된다. 그리고 경유점에서의 경계치 값에 의해 로봇관절의 속도 가속도의 급격한 변화를 미칠 수 있으며 이로 인해 유연한 보행 궤적 생성에 어려움을 초래하게 된다. 이에 다리부 관절에 대한 움직임을 최소화하

기 위하여 유전 알고리즘을 이용하여 보행 시 경유점에 대해 속도와 가속도에 대한 최적 해를 구함으로써, 로봇의 보행 시 충격을 최소화하면서 보행할 수 있도록 도모하였다.

3.2 유전 알고리즘을 이용한 제안된 방법

기존의 유전 알고리즘 적용은 다리부에 국부적으로 사용했을 때의 궤적 생성에 관한 것이었다. 이러한 유전 알고리즘을 이용한 다리부의 최적 궤적 생성은 로봇의 움직임에 있어서 국부적인 최적화 밖에는 처리할 수 없다. 이에 로봇의 유전알고리즘을 이용하여 전역적인 최적화를 도모하기 위해 다리 관절의 최적화와 더불어 균형관절의 최적화를 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. Table 1 은 다리부 관절의 움직임 상에 충격량을 최소화 할 수 있도록 하는 유전알고리즘의 매개 변수이다.

Table 1 Parameters of genetic algorithm applied legs

Parameter	Value
Population	60
Generation	50
Crossover Rate	0.92
Mutation Rate	0.03
Fitness Function	$f = \frac{1}{\sum \{(v_{i+1} - v_i)^2 + (a_{i+1} - a_i)^2\}}$

Table 1 에서 개체군의 크기(population), 세대수(generation), 교배율(crossover rate), 돌연변이율(mutation rate) 데이터는 다양한 데이터를 입력하여 그 중에서 적합도 추종상태가 가장 좋은 값을 매개변수로 구성하였다. v_i 와 a_i 는 다리부의 궤적 계획 시 궤적상의 속도와 가속도를 의미한다. Table 1 에서 목적함수를 궤적 생성 시 속도와 가속도의 차의 최소값을 사용하였다. 여기에서 가속도의 차는 충격량과 관계되어 있으며, 로봇의 보행에 있어서 궤적 생성 시 충격량을 최소화하면서 원하는 경유점을 지날 수 있도록 하였다. 그리고 Table 2 는 균형관절의 움직임에 대한 유전 알고리즘 적용 시 매개 변수이다.

Table 2 에서도 개체군의 크기, 세대수, 교배율, 돌연변이율은 여러 데이터를 입력 후 추종상태가 가장 좋은 데이터를 삽입하였다. 그리고 β_i 는 t 초에서의 균형관절의 위치를 나타내고, M_0 는 균

형관절의 질량을 나타낸다. 균형관절의 움직이는데 필요한 에너지를 최소화 할 수 있는 목적함수를 사용함으로써, 로봇이 보행 시 안정영역 내에서 균형관절이 사용할 에너지를 최소화 하면서 보행 할 수 있도록 유도하였다.

Table 2 Parameters of genetic algorithm applied to balancing joints

Parameter	value
Population	50
Generation	50
Crossover Rate	0.3
Mutation Rate	0.3
Fitness Function	$f = 1 / \sum \frac{1}{2} M_0 \left(\frac{\beta_{t+1t} - \beta_t}{\Delta t} \right)^2$

Fig. 2 는 기존 알고리즘과 새로이 적용된 알고리즘 사이의 순서도 비교이다. 기존에 사용된 방법은 다리부의 유전 알고리즘을 적용하여 다리부의 움직임을 최적화 한 이후에 균형관절의 움직임을 유한 요소 해석 기법을 이용하여 균형 관절의 움직임을 결정하였으나 제안된 알고리즘은 유한요소 해석 기법 대신에 유전 알고리즘을 이용하여 균형관절의 움직임을 결정함으로써 ZMP 안정영역이 확보되는 한도 내에서 균형 관절의 움직임을 최적화 하였다. 유전 알고리즘을 적용함에 있어서 시스템 전체에 유전 알고리즘을 사용할 경우에 다리부에만 유전알고리즘을 적용한 경우에 비해 다리부 뿐만 아니라 균형관절에도 충격량을 최소로 할 수 있는 움직임을 구현할 수 있으므로 로봇이 보행 시 보다 부드러운 움직임을 유도할 수 있다.

4. 모의실험

기존의 다리부에만 유전알고리즘을 적용했을 경우와, 새로 제안된 다리부와 균형 관절에 유전 알고리즘을 전체적으로 사용한 경우에 대해 살펴보기 위해 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험기는 MATLAB 6.0 을 통해 구성하였다. 모의 실험은 총 3 가지 경우에 대해 수행하였다. 첫째로 유전알고리즘을 사용하지 않았을 경우에 로봇의 상태를 모의 실험을 통해 살펴보았고, 두번째로 다리부에만 유

전 알고리즘을 사용했을 때의 이족 보행 로봇의 움직임을 살펴보았으며, 마지막으로 유전 알고리즘을 다리부와 균형관절에 대해 적용했을 경우에 이족보행로봇의 움직임을 살펴보았다. Fig. 3 은 다리부에 유전알고리즘을 사용하지 않을 경우 다리관절의 위치, 속도, 가속도 그래프이고, Fig. 4 는 유전알고리즘을 다리부에 적용했을 경우에 다리관절의 위치, 속도, 가속도 그래프이다. 여기서 유전알고리즘을 전체적으로 사용한 경우에 대해 Fig. 3 에서 보는 것과 같이 다리부의 유전 알고리즘의 적용은 동일하므로 전체적으로 유전 알고리즘을 사용한 경우와 다리부에 한정되어 유전알고리즘을 사용한 경우는 동일함을 알 수 있다.

Fig. 3 과 Fig. 4 에서 연한 실선은 발목관절을 나타내고 진한 실선은 무릎관절을 나타내면 점선

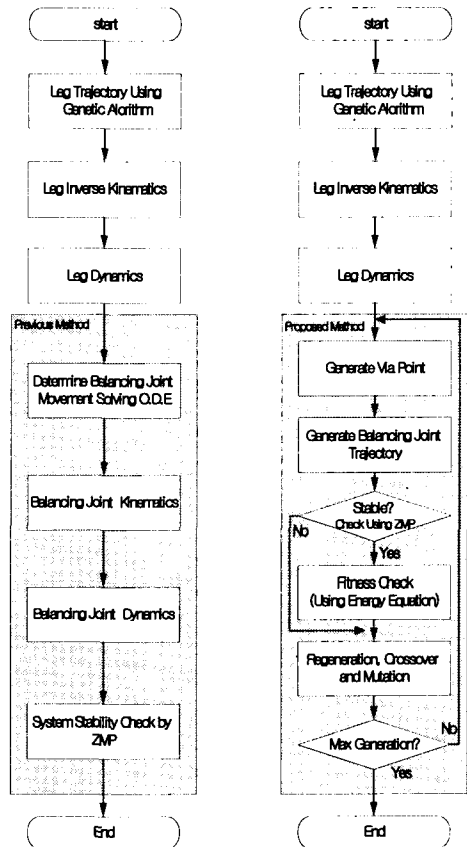


Fig. 2 Comparison between previous method and proposed method

은 대퇴부관절을 나타낸다. Fig. 3 와 Fig. 4 를 비교 해봤을 때 다리부에 유전알고리즘을 적용한 경우 적용하지 않았을 때보다 로봇의 다리관절상의 최고 점을 기준으로 24%정도 충격량이 줄어들음을 볼 수 있다. 이를 통해 유전알고리즘을 사용했을 경우 로봇의 움직임이 보다 유연해 짐을 볼 수 있다.

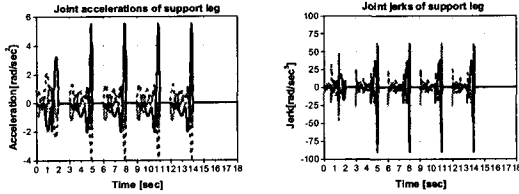


Fig. 3 Angle accelerations and jerks without genetic algorithm

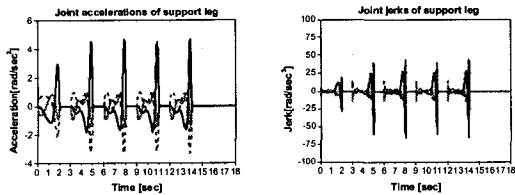


Fig. 4 Angle accelerations and jerks with genetic algorithm applied to leg

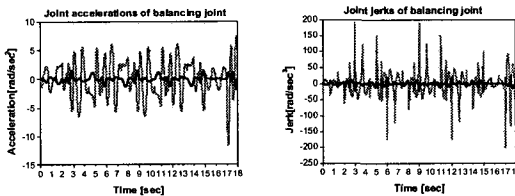


Fig. 5 Balancing joint accelerations and jerk without genetic algorithm

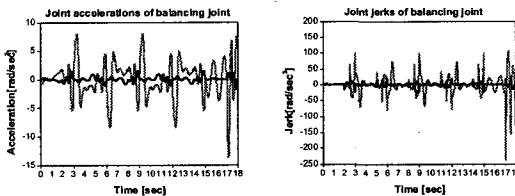


Fig. 6 Balancing joint accelerations and jerks using genetic algorithm applied to leg

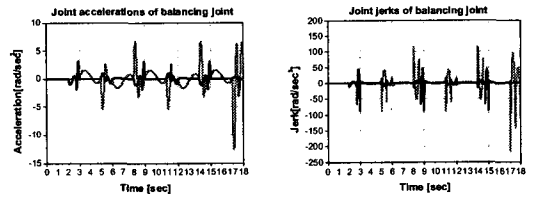
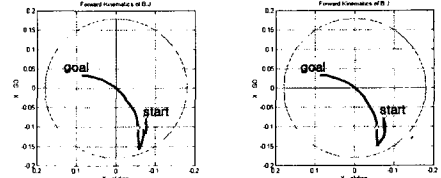


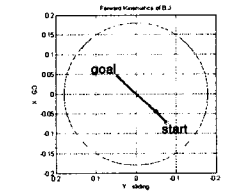
Fig. 7 Balancing joint accelerations and jerks using genetic algorithm applied to both leg and balancing joint

Figs. 5-7 에서 연한 실선은 균형 회전 관절을 나타내며 진한 실선은 균형 직진관절을 나타낸다. Figs. 5-7 은 유전 알고리즘을 사용하지 않은 경우와, 다리부에 사용한 경우, 그리고 균형관절까지 유전 알고리즘을 사용했을 때의 균형관절의 움직임을 나타낸 것이다. Fig. 5 와 Fig. 6 을 비교했을 때 다리부에 유전 알고리즘을 사용할 경우 다리부의 움직임이 보다 부드러워져서 로봇의 균형관절의 움직임에 영향을 어느 정도 주고 있지만 그 영향력이 크지 않음을 알 수 있다. 앞의 Figs. 5-6 과 Fig. 7 의 충격량을 비교해 봤을 때 전체적으로 유전 알고리즘을 사용한 경우 그렇지 않은 경우에 대해 균형 관절의 움직임상의 충격량이 상당히 많이 줄어들음을 볼 수 있다. 충격량의 평균을 비교했을 때, Fig. 5 와 Fig. 6 의 경우 약 9.3%정도 밖에는 충격량이 줄어들지 않았지만, Fig. 6 과 Fig. 7 을 비교했을 때 충격량은 약 53%정도 줄어들었다.



(a) Balancing Joint Motion without Genetic Algorithm

(b) Balancing Joint Motion with Genetic Algorithm applied Leg



(c) Balancing Joint Motion with Genetic Algorithm applied both Leg and Balancing Joint

Fig. 8 Comparisons of balancing joint motion at each case

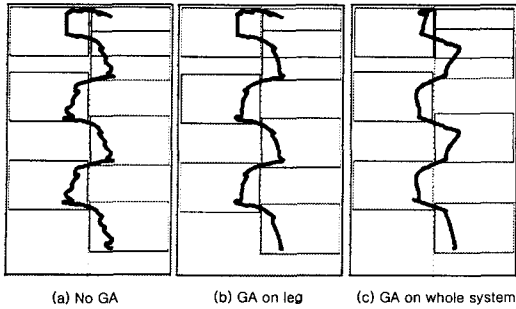


Fig. 9 ZMP comparisons of each case - (a) no GA, (b) GA on Leg and (c) GA on whole system

Fig. 8 은 유전알고리즘을 사용하지 않았을 경우, 다리부에만 유전알고리즘을 사용했을 경우, 다리부와 균형관절에 유전 알고리즘을 사용했을 때의 균형 관절의 움직임에 대한 비교이다. Fig. 8 에서 다리부와 균형관절에 모두 유전 알고리즘을 적용한 경우 균형관절의 움직임이 보다 간결해짐을 볼 수 있다. Fig. 9 는 각 경우에 대한 ZMP 추종에 대한 비교이다. Fig. 9 에서 ZMP 의 움직임은 다리부의 움직임과 균형관절의 움직임에 의해 지속적으로 전진함과 동시에 좌우로 움직임을 볼 수 있다. Fig. 9 에서 보는 것과 같이 균형관절과 다리부에 모두 유전 알고리즘을 사용할 경우 ZMP 의 움직임이 보다 부드럽고 원활해짐을 볼 수 있다.

5. 보행 실험 및 결과

5.1 실험 시스템 구성

본 논문에 사용된 자체 제작된 이족보행로봇의 본체는 경량화를 고려하여 듀랄루민을 사용하였다. 감속기로는 발목 관절에 1/100, 기타 관절에 1/60의 감속 비율로 사용하였고, 무릎 관절에는 400W, 나머지 관절에는 200W 의 구동기를 사용하여 총 47kg 의 자중을 갖는다. 로봇 제어에 이용된 제어기로는 TI사에서 개발한 TMS320C31 마이크로프로세서가 내장되어 있고 8 축 제어가 동시에 가능한 삼성전사에서 개발한 MMC(Multi-Motion Controller)를 사용하였다. Fig. 10 은 이족 보행 로봇의 측면 외관을 보여주고 있다.

본 이족 보행로봇 시스템은 먼저 모의 실험기를 통해 주어진 궤적에 대해서 균형추가 균형점을

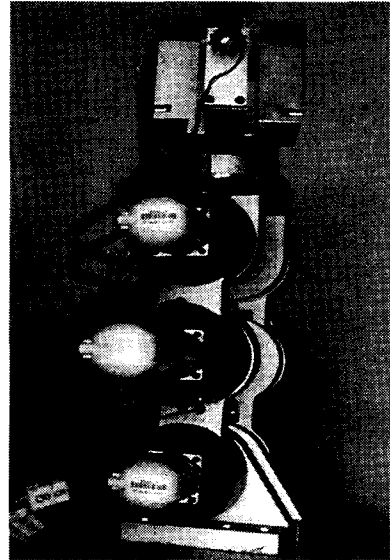


Fig. 10 Photo of a biped robot

추종하는지의 여부를 판별하고 다음에 3 차원 가상 보행을 구현하는 3D 그래픽 모의실험기를 이용하여 시각적인 확인을 거친 후 실제 실험에 들어간다.

구동기로 AC 서보 모터 8 개가 장착되었고, IBM-PC 의 ISA 버스 슬롯에 설치한 다축 제어기인 MMC 를 통하여 PC 에서 10ms 마다 이족보행 로봇 구동에 필요한 펄스를 입력하면 다축 제어기는 1ms 마다 각 서보 드라이브를 통하여 엔코더로부터 신호를 받아 서보 모터를 제어한다. Fig. 11 은 실험 시스템의 구성도이다.

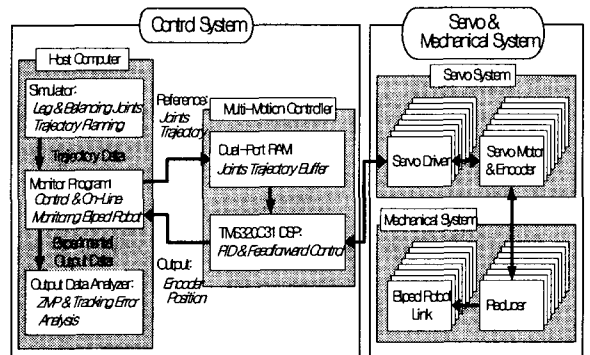
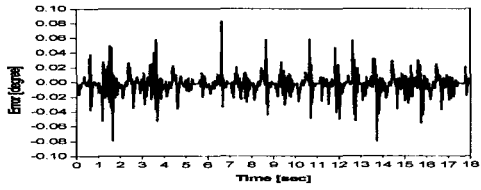
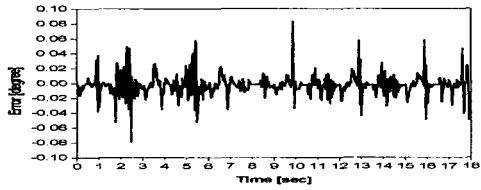


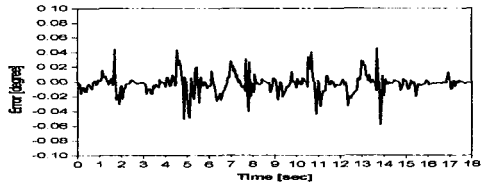
Fig. 11 Block diagram of a biped control system



(a) No GA

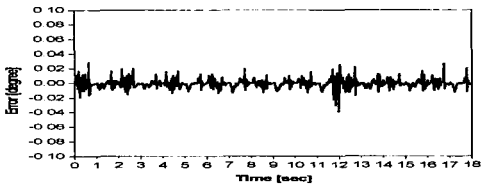


(b) GA on leg

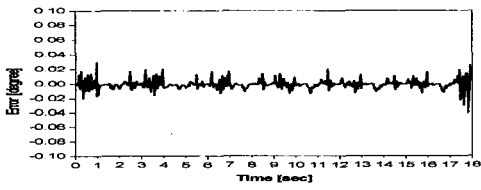


(c) GA on whole system

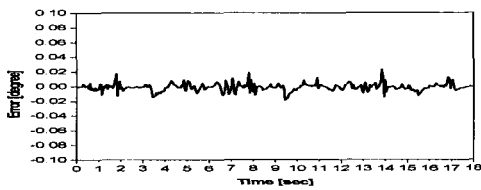
Fig. 12 Errors of left ankle joint



(a) No GA

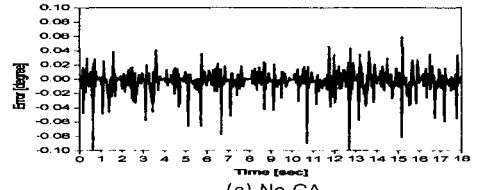


(b) GA on leg

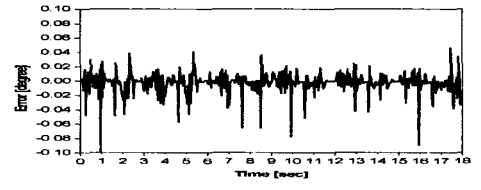


(c) GA on whole system

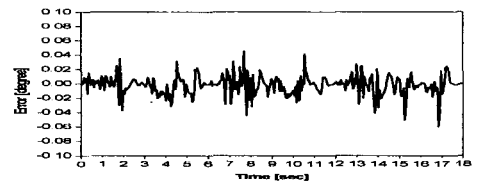
Fig. 13 Errors of left knee joint



(a) No GA

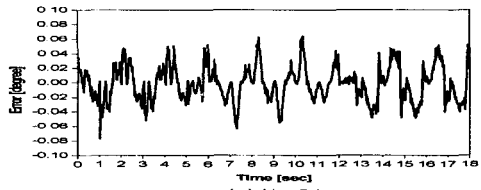


(b) GA on leg

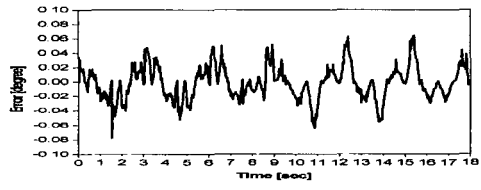


(c) GA on whole system

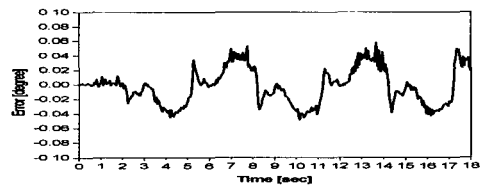
Fig. 14 Errors of left hip joint



(a) No GA



(b) GA on leg



(c) GA on whole system

Fig. 15 Errors of balancing rotation joint

5.2 실험결과

이족 보행 실험은 제안된 보행으로 단위 걸음 당 3 초, 한 보폭 당 14 cm 로 6 보 보행을 수행하였다. Figs. 12-14 는 이족 로봇의 보행 시 왼쪽 발에서의 각 관절의 오차를 나타내며, Fig. 15 는 이족 로봇의 보행 시 균형 회전 관절의 오차를 나타낸 것이다.

Fig. 12 에서 유전 알고리즘을 사용하지 않았을 경우 왼쪽 발목의 움직임이 부드럽지 않기 때문에 움직이는 동안 오차의 폭이 크게 되고 유전 알고리즘을 다리부에만 적용한 경우에도 균형관절의 움직임이 부드럽지 못하기 때문에 그 영향으로 로봇 보행 시 다리부에 오차가 상당히 크게 작용하지만, 유전 알고리즘을 다리부와 상체에 동시에 사용할 경우 로봇 전체의 움직임이 부드러워져서 오차의 폭이 줄어들음을 볼 수 있다. Fig. 13 과 Fig. 14 의 경우에도 Fig. 12 와 마찬가지로 유전알고리즘의 영향으로 로봇 관절의 움직임이 부드러워져서 오차의 양이 줄어들음을 볼 수 있다.

Fig. 15 에서 유전 알고리즘을 사용하지 않거나, 다리부에 유전 알고리즘만 사용할 경우에는 상체에 유전 알고리즘을 사용하지 않을 경우 로봇의 순간적인 움직임이 많기 때문에 오차의 변화가 상당히 심하지만 유전 알고리즘을 사용할 경우 오차의 차가 그리 심하지 않음을 볼 수 있다.

6. 결론 및 고찰

다리를 가지고 보행을 하는 로봇은 보행을 원활하게 하기 위해서는 보행에 관련된 궤적 해석은 필수적이다. 그리고 이러한 로봇의 움직임을 결정하기 위한 방법으로서 유전 알고리즘은 특별한 수학적 제약 없이 전역적인 최적 해를 찾아낼 수 있는 좋은 알고리즘이다. 본 논문은 기존 방법에 비하여, 로봇 움직임 전역에 유전알고리즘을 사용하여 로봇이 보다 적은 충격량을 가지고 보행할 수 있는 걸음새를 제안하였다. 유전 알고리즘을 다리부에 국한하여 사용하지 않고 균형관절의 움직임을 결정하는 부분에도 유전 알고리즘을 사용하여 그 결과 로봇의 움직임이 보다 부드러워졌으며, 이를 통해 로봇의 움직임이 보다 향상됨을 볼 수 있었다.

앞으로 보다 향상된 보행을 위해 양다리 지지 상태에서 몸체를 추진 할 수 있도록 하는 지속보행에 대한 연구가 계속 되어야 하며, 더 나아가 센서

와 비전을 이용하여 로봇이 주위환경에 대해 인지하는 시스템의 구축과 더불어 이에 순응하여 장애물을 회피할 수 있는 보행을 할 수 있는 로봇이 개발되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2003 년도 인하대학교 지원에 의하여 연구되었음(2003-30250).

참고문헌

1. Buschka, P., Saffiotti, A. and Wasik, Z., "Fuzzy Lankmark-Based Localization for a Legged Robot," IEEE/RSJ International Conference, Vol. 2, pp. 1205-1210, 2000.
2. Hornby, G. S., Takamura, S., Yokono, J., Hanagata, O., Yamamoto, T. and Fujita, M., "Evolving Robust Gaits with AIBO," IEEE Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 3040-3045, 2000.
3. Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyarna, 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.
4. Furusho, et al., "Sensor-Based Control of a Nine-link Biped," Int. J. of Robotics Research, Vol. 9, No. 2, pp. 83-98, 1990.
5. Shih, C. L., et al., "Trajectory Synthesis and Physical Admissibility for a Biped Robot During the Single Support Phase," IEEE Robotics and Automation, pp. 1646-1652, 1990.
6. Vukobratovic, M. and Stepanenko, "Mathematical Models of General Anthropomorphic Systems," Mathematical Bioscience 17, pp. 191-242, 1973.
7. Kenneth J. Waldron, "Realization of Dynamic Biped Walking Stabilized with Trunk Notion Under Known External Force," Advanced Robotics, pp. 299-310, 1989.
8. Atsuo Takanishi, "Robot Biped Walking Stabilized with Trunk Motion," Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics, Springer-Verlag, pp. 271-291, 1989.
9. Noh Kyung-Gon, Kong Jung-Shik, Kim Jin-Geol and

- Kim Kisik, "Gait Implementation of a Biped Robot with Smooth Walking Pattern," J. of the KSPE Vol. 19, No. 7, pp. 43-50, 2002.
10. Park Jong Hyeon and Kwon Ohung, "Reflex Control of Biped Robot Locomotion on a Slippery Surface," Proceeding of IEEE Robotics and Automation, pp. 4134-4139, 2001.
11. Hasegawa, Y., Arakawa, T. and Fukuda, T., "Trajectory Generation for Biped Locomotion Robot," Mechatronics, Vol. 10, pp. 67-89, 2000.
12. Rodrigues, L., Prado, M., Tavares, P., Silva, K. and Rosa, A., "Simulation and Control of Biped Locomotion - GA Optimization," IEEE Proc. Evolutionary Computation, pp. 390-395, 1996.
13. Kim, J. G., Noh Kyung-Gon and Park Kiheon, "Human-Like Dynamic Walking for a Biped Robot Using Genetic Algorithm," Springer, LNCS 2210, pp. 159-170, 2001.