

# 유전알고리즘을 이용한 사족 보행로봇의 인간친화동작 구현

## The Implementation of Human-Interactive Motions for a Quadruped Robot Using Genetic Algorithm

공정식, 이인구, 이보희  
 Jung-Shick Kong, In-Koo Lee and Boo-Hee Lee

**Abstract :** This paper deals with the human-interactive actions of a quadruped robot by using Genetic Algorithm. In case we have to work out the designed plan under the special environments, our robot will be required to have walking capability, and patterns with legs, which are designed like gaits of insect, dog and human. Our quadruped robot (called SERO) is capable of not only the basic actions operated with sensors and actuators but also the various advanced actions including walking trajectories, which are generated by Genetic Algorithm. In this paper, the body and the controller structures are proposed and kinematics analysis are performed. All of the suggested motions of SERO are generated by PC simulation and implemented in real environment successfully.

**Keywords :** quadruped robot, genetic algorithm, trajectory, human-interactive actions

### I. 서론

인간 친화형 로봇 시장은 무궁한 잠재력을 가진 지속적인 시장으로써 기술의 복합화, 치열한 경쟁 및 짧은 소비 주기의 특성을 가진 시장으로 소비자의 요구가 점점 고급화 및 다양화되고 있다. 세계적으로 소형 로봇의 개발은 미국 및 일본이 주도하고 있으며 고가격이면서도 기능이 다양한 동물 형태의 로봇이 주류를 이루고 있다. 그런데 이들 로봇은 바퀴로 이동 하는 것이 대부분이며 다리를 가지고 보행하는 구조를 가지는 경우는 드물기 때문에 우리 주변에 있는 계단을 오르거나 물체를 피하는데 문제가 있었다. 따라서 열악한 환경 이를 테면 바다 속이나 계단이 있는 환경에서는 다리를 가진 로봇이 질실이 요구되며, 이런 종류의 로봇이 인간 친화적인 형태를 갖추게 된다. 또한 이런 로봇이 인간 친화적인 요소로 발전하기 위해서는 형태적인 구조와 더불어 인공지능 요소를 갖는 기술 및 음성처리 기술, 구동기 제어기술 및 센서 장착 및 처리 기술과 이를 전체적으로 연결하여 제어할 수 있게 하는 통신기술과 마이크로프로세서 응용기술을 가지고 있어야 한다. 본 연구에서는 이런 기능을 연구하여 인간 친화적인 형태(동물이나 인간형)로 제작되면서 인간과 더불어 생활하고 오락기능이 부여된 소형 보행로봇에 초점을 맞추어 개발하려고 한다. 그 동안 이러한 종류의 로봇에 대해서는 많은 연구들이 있었고 최근에 들어 활발한 발표와 더불어 괄목할 만한 성과가 나오고 있다. 특히 일본의 ASIMO[1]와 소니 사의 AIBO[2], 육족 로봇 IOAN[3] 및 TARRY[4] 가 대표적인 예이며 최근 들어 일본 동경대의 H5,H6[5]의 연구 결과가 큰 호응을 얻고 있다. 이런 추세에 발맞추어 국내에서도 카이스트의 센토[6] 및 미니로봇의 2족 보행로봇 엔토[7]가 이미 개발 발표되어 있으며 점차 기

능성이 첨가된 형태로 다양하게 발전을 이루고 있다. 이러한 로봇은 인간과의 감각과 결합하여 음성을 인식하거나 출력하고 장애물 회피 및 극복과 같은 동작들을 수행할 수 있으며 전반적으로 인간과의 교감활동을 수행하고 있다. 본 논문에서는 이러한 기능들을 구현하기 위한 인간 친화적 형태의 로봇으로서 4족(quadruped) 형태를 개발하여 연구 모델을 만들려고 한다. 보행로봇은 4개의 다리를 가진 강아지의 행동양식을 표본으로 형태와 행동을 모방하는 과정을 우선으로 구현하고자 한다.

### II. 로봇 설계

#### 1. SERO IV의 전체구조 및 제어기

SERO IV의 구조는 강아지를 흉내낸 사족 보행 로봇이며 구동 관절은 각 다리에 3개씩 능동관절을 두어 직진 보행과 회전보행을 할 수 있게 하였으며 구동부는 제어 및 설치가 간편한 RC 서보 모터를 기반으로 전기적인 PCB와 결합된 형태의 구조물을 만들어 일체화 시켰다. 그림 1은 전체 로봇의 구조이다.

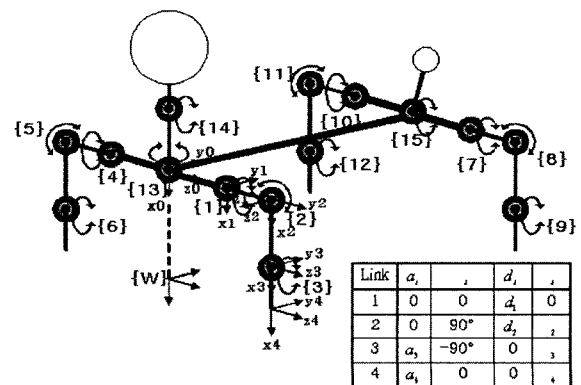


그림 1. SERO IV의 전체 구성도.  
 Fig. 1. Total configuration of SERO IV.

논문접수 : 2002. 2. 28., 채택확정 : 2002. 7. 5.  
 공정식 : 인하대학교 자동화공학과(tempus@dreamwiz.com)  
 이인구 : 세명대학교 전기전자대학원(semasil@hotmail.com)  
 이보희 : 세명대학교 전기공학과(bhlee@semyung.ac.kr)

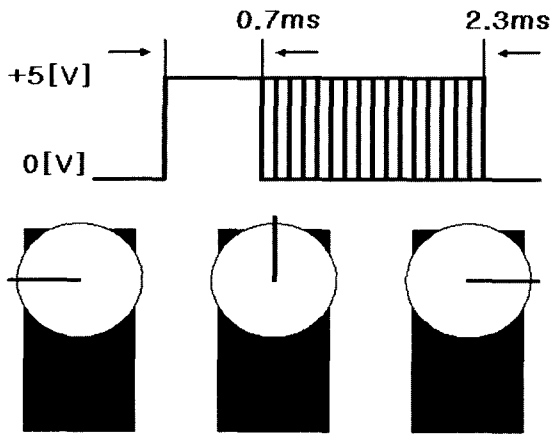


그림 2. RC 모터의 제어신호.  
Fig. 2. Control signals of RC motor.

구동기로 사용된 RC 서보 모터는 무게가 가볍고 제어가 간편하다는 장점이 있다. 사용된 TC모터는 1.5msec에서 중심각도를 가지며 0.7msec에서 -90도 2.3msec에서 +90의 각도로 움직이며 그사이에 PWM제어 형태로 동작한다.

각 관절과 관절의 연결은 구동기와 그 보조물로 연결되어지며 모터를 가공하여 보다 견고한 형태를 구성하였다. 현재 구동기에는 하나의 회전축만이 외부에 돌출되어 있어서 회전축에 모든 부하가 집중되므로 구동기의 정확한 동작과 기구적인 신뢰도 및 내구성에 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해선 회전축의 반대편을 가공하여 서로 대칭되는 축을 구성할 필요가 있다. 이를 위해 그림 3과 같은 새로운 축을 만들고, 원활한 동작을 위해 베어링을 삽입하였다. 이러한 가공은 모터 동작 특성의 신뢰도와 내구성을 높이고 각 모터의 연결을 원활히 하는데 목적이 있다. 이렇게 가공된 구동기를 이용하면 로봇을 구성할 때 제작 시간의 단축과 자유로운 변형이 가능해지게 된다.

그림 4는 모터 가공방법에 따른 단계별 모터의 가공 모양과 두개의 모터를 연결하는 방법 중 한가지를 표현한 그림이다.

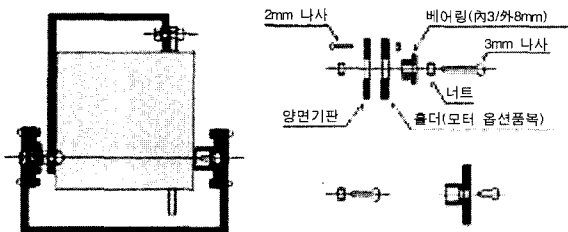


그림 3. 구동기 조립도.  
Fig. 3. Motor assembly.

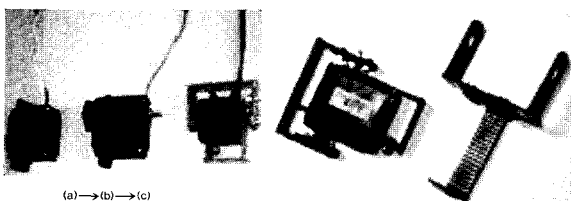


그림 4. 링크 및 관절 조립.  
Fig. 4. Link and joint assembly.

가공 순서는 (a)의 원형에서 (b)의 새로운 지지축 가공 단계를 거쳐 (c)의 보철물 연결로 마무리 된다. 이렇게 가공된 모터는 SERO IV의 전체 로봇의 형상과 관절을 구성하는데 사용되었다. 가공된 모터의 회전축은 관절로서의 역할을 수행하고 모터 외형물에 부착된 부가적인 보조물들은 각 관절과 관절을 연결하는 하나의 뼈대 역할을 한다. 오른쪽 사진은 보철물을 연결하는 방법 중에서 서로 직교 되게 연결한 것으로 SERO IV의 어깨 관절부에 사용하였다.

구동부의 구성과 함께 이를 제어하기 위한 제어부에서는 향후 기능의 다각화를 실현하기 위해 자체 내에 다양한 인터페이스를 다룰 수 있는 리눅스 기반의 임베디드 시스템을 채택하였다. 주 CPU는 ETRAX100Lx이며 외부에 병렬 프린터 포트 2개와 RS422 접속 2개 그리고 USB 및 LAN이 내장되어 있으며 향후의 무선 접속을 위한 Bluetooth기능이 내장되어 있는 시스템을 사용하였다[8]. 구동기를 제어하기 위한 서브 프로세서로는 Atmega103[9]를 사용하였다. 이렇게 메인 컨트롤러와 서브 컨트롤러를 구분하여 분산제어를 함으로서 하드웨어 제어 프로그램과 응용프로그램의 서로 연관된 부분을 작게 만들고 부하의 균등화를 도모하였다 서브 컨트롤러는 마스터 격인 메인 컨트롤러에서 지정한 지령치를 받아서 주어진 데이터가 갱신되지 않는 한 현재의 값을 유지하며 작업을 수행한다. 이러한 구조는 구동기 제어뿐만 아니라 로봇의 주변 환경을 인식하기 위한 센서 제어에서도 같은 방법을 적용한다. 이때 사용되는 센서에는 초음파 거리센서와 적외선 거리센서가 있고, 로봇 자체의 상태를 검출하기 위하여 로봇의 다리부에는 지면 감지센서를 장착하였다. 또한 자율 보행을 위해 1.5[V]의 AA 사이즈 배터리 6개를 3개씩 직렬로 연결하여 4.5[V]전원 2조를 병렬로 연결하고 로봇의 배부분에 장착하였다. 이는 평균적으로 1200mAh의 전류를 공급함과 동시에 배터리 교환의 용이성을 고려한 설계이다. 꼬리 부분은 안테나를 장착하여 꼬리로서의 역할과 무선 데이터 송수신 역할을 하게 하였다. 그리고 4개의 각 다리에는 그림5와 같이 발바닥과 지면과의 접촉 여부를 검출하기 위하여 접촉센서로 일반적인 푸쉬 버튼 스위치를 장착하였다.

로봇의 전체 제어부는 호스트PC, 주(master) 제어기, 종(slave)제어기의 세 부분으로 나뉘어진다. 먼저 호스트 PC는 각 동작들에 대해 다리의 궤적을 생성하고, 이를 로봇에게 TCP/IP통신을 통하여 하부에 궤적을 보내며, 인터넷을 통해

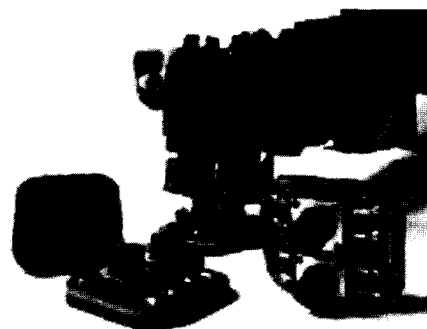


그림 5. 발바닥 접촉 센서.  
Fig. 5. Contact sensors of foot.

사용자가 로봇에게 원하는 지령을 보낼 수 있도록 하는 역할을 한다. 주 제어기는 Embedded Linux 기반의 ETRAX LX 보드를 사용하였는데, 주 제어기는 TCP/IP 상으로 보내진 궤적을 저장하고 사용자의 요청에 의해 각 동작에 대한 단위 시간당 궤적 정보를 RS-232 통신을 이용하여 종 제어기에 전달하는 역할을 수행한다. 마지막으로 종 제어기는 Atmega103를 사용하여 모터 드라이버로 역할을 담당하며, RS-232 통신을 통해 입력 받은 궤적 정보를 각 모터에 전달하는 역할을 한다. 그림 6은 전체 로봇의 제어를 나타낸 구성도이다.

2. SERO IV의 기구학 분석

SERO IV의 동작들은 기본 걸음새와 이를 변형한 응용 동작으로 구분된다. 외형적으로는 네발 동물의 형태에 더욱 근접한 형태로 강아지의 형상을 추구하고 있다. 구동기는 총 15개의 모터로 구성되어지며, 각 다리마다 3자유도를, 머리 부분은 2자유도를, 꼬리 부분은 1자유도를 가진다.

다리부에서 두개의 모터는 다리의 전후진 이동과 올리고 내리는 동작을 구현하여 어깨의 역할을 담당하고 나머지 한개의 모터는 무릎의 역할을 하게 된다. 무릎 관절의 추가로 보다 정확하고 안정된 보행을 보장하게 된다.

SERO IV의 기구학은 로봇을 위에서 보았을 때 해석을 간편히 하기 위해 왼쪽 앞다리에 대한 해석을 하고 나머지 다리는 좌표계 위치를 간략하게 이동 시키는 방법을 사용하였다. 다리부의 순기구학은 식 (1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} c_2c_3c_4 - s_2s_4 & -c_2c_3s_4 - s_2s_4 & -c_2s_3 & a_4c_2c_4 - a_4s_2s_4 + a_3c_2c_3 \\ s_2c_3c_4 + c_2s_4 & -s_2c_3s_4 & -s_2s_3 & a_4c_2c_4 + a_4s_2s_4 + a_3c_2c_3 \\ s_3s_4 & -s_3s_4 & c_3 & a_4s_3c_4 + a_3s_3 + d_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & a_x & P_x \\ s_y & a_y & P_y \\ s_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이에 따른 역기구학은 다음과 같다.

식 (1)의 (1,4)로부터

$$a_4c_2c_3c_4 - a_4s_2s_4 + a_3c_2c_3 = P_x \quad (2)$$

식 (1)의 (2,4)로부터

$$a_4s_2c_3c_4 + a_4c_2s_4 + a_3s_2c_3 = P_y \quad (3)$$

(2,4) × c<sub>2</sub> - (1,4) × s<sub>2</sub>이면

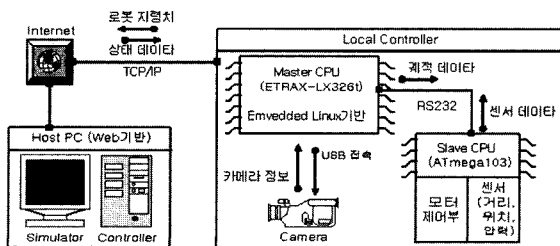


그림 6. SERO IV 기능 블럭도.  
Fig. 6. Functional diagram of SERO IV.

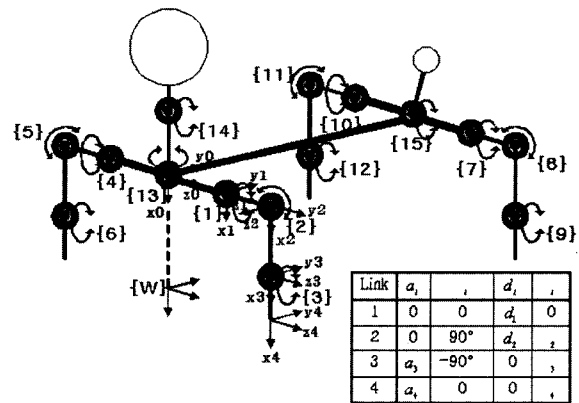


그림 7. SERO IV의 좌표계 시스템.  
Fig. 7. Coordinate system of SERO IV.

$$\begin{aligned} a_4c_2^2s_4 + a_4s_2^2s_4 &= P_y c_2 - P_x s_2 \\ a_2s_4 &= P_y c_2 - P_x s_2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\theta_4 = \text{asin}(Q) \quad (5)$$

(1,3)으로부터

$$-c_2s_3 = a_x \quad (6)$$

(2,3)으로부터

$$-s_2s_3 = a_y \quad (7)$$

(6),(7)로부터

$$\tan \theta_2 = \frac{a_y}{a_x} \quad (8)$$

$$\theta_2 = a \tan \frac{a_y}{a_x}$$

또한 (3,4)로부터

$$a_4s_3c_4 + a_3s_3 + d_2 + d_1 = P_z \quad (9)$$

이와 같이 왼쪽 앞다리에 대한 순기구학과 역기구학을 해석하였다. 나머지 다리들의 기구학은 기준 좌표값 만이 다르므로 위의 결과에 기준 좌표계만 변경된 값으로 설정하면 된다.

3. 걸음새 해석

상기 해석 결과를 이용하여 기본적인 보행과 더불어 여러 다양한 응용 동작들을 구현할 수 있다. 그림 8은 SERO IV의 동작에 대한 전체 요약이다.

기본 보행 동작으로 전진, 후진, 회전(방향전환) 동작을 구현하게 되며, 응용 동작으로는 강아지의 움직임을 모방하여 몇 가지 동작을 구현하였다.

전진은 대각선 위치의 두발을 동시에 이동하는 방법과 한 발씩 내어 디디면서 이동하는 방법이 있으나 전자의 경우 로봇의 안정도가 크게 떨어지므로 후의 방법을 사용하여 전진 동작을 수행케 하였다. 회전은 전진 동작을 토대로 좌우 방향으로 이동하기 위한 동작이다. 상체 들기는 앞의 두발을

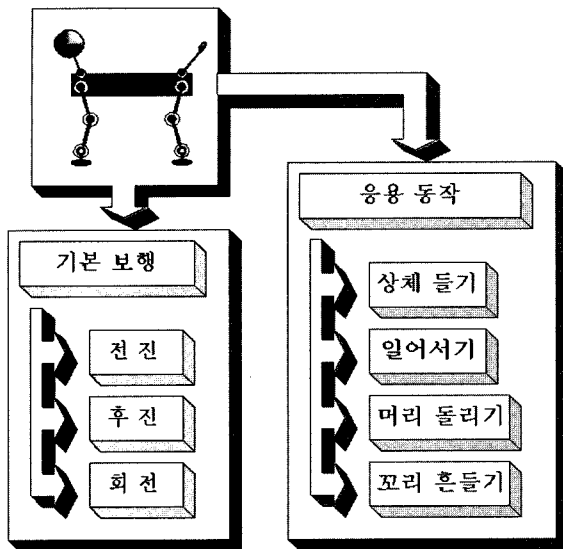


그림 8. SERO IV의 동작.  
Fig. 8. Action of SERO IV.

사용하여 상체를 세우는 동작으로 무릎 관절을 적절히 사용하여 크게 두 단계로 나누어 실행한다. 일어서기 동작은 주변에 엎드려 있거나 앉아있는 상태에서 걸음새를 취하기 위해서는 일어서는 과정이 필요하며 이러한 보행을 위한 준비 과정을 수행하기 위해 구현한 동작이다.

머리 돌리기는 두 가지의 목적을 가진다. 하나는 전체 동작의 보조적인 행위로 강아지의 동작을 유사하게 구현하는 것과 나머지 한가지는 카메라를 사용하여 주변의 상황을 인식하기 위함이다. 꼬리 흔들기 동작 또한 두 가지 목적을 가진다. 머리 돌리기와 마찬가지로 보조적인 역할을 하며 무선 데이터 통신을 위한 안테나의 기능을 수행하게 된다.

III. 궤적 계획

4족 보행 로봇 SERO VI의 부드러운 동작 수행을 위하여 각각의 보행 패턴에 대한 경유정보를 추론한 후, 이를 토대로 5차 다항식 곡선을 이용하여 궤적 획을 수행하였다. 5차 다항식 곡선을 이용할 경우 각각의 경유점에 대한 위치, 속도, 가속도의 정보가 들어가고, 경유점의 가속도가 3차 곡선으로 표현되므로, 물체의 충격량까지 고려 가능하다. 궤적 계획에 대한 5차 다항식은 식 (10)과 같이 표현된다.

$$y(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 \quad (10)$$

식 (11)은 식 (10)의  $a_0 \sim a_5$ 에 대한 각각의 결과값을 나타낸다.

$$\begin{aligned} a_0 &= p_i \\ a_1 &= v_i \\ a_2 &= \frac{a_i}{2} \\ a_3 &= \frac{20p_f - 20p_i - (12v_i + 14v_f)\Delta t_f - (3a_i - a_f)\Delta t^2}{2\Delta t^3} \\ a_4 &= \frac{30p_i - 30p_f + (16v_i + 14v_f)\Delta t + (3a_i - a_f)\Delta t^2}{2\Delta t^4} \\ a_5 &= \frac{12p_i - 12p_f - (16v_i + 14v_f)\Delta t + (a_i + a_f)\Delta t^2}{2\Delta t^5} \\ \Delta t &= t_f - t_i \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $t_i, p_i, v_i, a_i$ 는 각 구간에 대한 초기 시간, 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 8개의 정보를 통하여 식(10)의 각각의 매개변수에 대한 정보를 식 (11)을 통해 구하므로써, 식 (10)을 통해 시간 t에 대한 끝단 좌표의 위치인  $y(t)$ 를 구할 수 있다.

그러나 일반적인 5차 다항식 곡선을 이용하여 궤적계획을 수행할 경우, 경유점 중간에서 다리부의 작업범위 밖으로 범위가 벗어날 수 있고, 5차 다항식 곡선을 통한 해석을 통해 말단부분의 움직임이 부드럽게 생성한다고 해도 각 관절의 움직임이 부드러워진다고 보장할 수 없기 때문에, 궤적 생성시 관절의 부하를 줄이고 각 관절의 움직임을 보다 부드럽게 움직이게 하기 위하여 유전 알고리즘을 이용한 궤적 생성을 수행하였다.

3.1 유전 알고리즘을 이용한 궤적계획

유전 알고리즘은 진화 현상에 기초한 계산 모델로써 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘이며 주어진 다양한 환경 속에서 적용하여 적합한 것만이 살아 남는다는 적자생존의 이론을 기본으로 한 알고리즘이다. 유전 알고리즘에서는 생물학적 유전자인 염색체에 해당하는 문자열을 가지고 생물과 같은 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐서 다음 세대로 새로운 자손을 인공적으로 만들어낸다[10-11].

표 (1)은 유전 알고리즘의 각각의 매개변수 값이다. 여기서 개체군의 크기, 세대수, 교배율, 돌연변이율 데이터는 다양한 데이터를 입력하여 그 중에서 적합도 추종상태가 가장 좋은 값을 매개변수로 구성하였으며,  $\theta_i, \theta_i, \bar{\theta}_i$ 와  $\theta_{i+1}, \bar{\theta}_{i+1}$ 은 보행 도중 임의의 시간  $i$ 와  $i+1$ 에서의 각 관절에 임의의 시간에서의 각 관절의 위치, 속도, 가속도와 각 관절의 단위 시간에 대한 위치, 속도, 가속도를 나타낸다.

궤적 생성시 각 축에 대해 3개에서 5개의 경유점을 가지고 있으며, 이때 유전 알고리즘을 이용하여 중간 경유점에 대한 속도 가속도를 결정하므로 최대 18개의 경유 정보가 필요하므로, 이로부터 스트링의 길이를 18의 배수인 90으로 하였다. 적합도 함수를 각 관절의 속도와 가속도의 변화량을 최소화 하도록 하여 관절 가속도의 변화량이 줄어들게 되어 관절의 충격량을 줄이도록 하였으며, 속도와 가속도의 변화량이 최소화되게 하여 각 동작수행 시 보다 부드러운 동작을 수행할 수 있도록 하였다. 그림 9는 유전 알고리즘에 대한 상체 들기 시의 적합도의 추이를 나타낸다. 여기서 최대 적합도 데이터는 약 30세대 이후에 증가 정도가 완만해짐을 볼 수 있다.

표 1. 전 알고리즘 변수.

Table 1. Parameters of GA.

매개변수	입력값	매개변수	입력값
개체군 크기	100	세대수	100
교배율	0.6	돌연변이율	0.03
스트링 길이	90		
적합도 함수	$\frac{1}{\sum (\bar{\theta}_{i+1} - \bar{\theta}_i)^2 + \sum (\bar{\theta}_{i+1} - \bar{\theta}_i)^2}$		

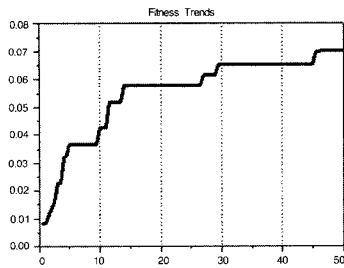


그림 9. 상체 들기 시의 적합도 함수의 추이.  
Fig. 9. Fitness trends at stand-up front body phase.

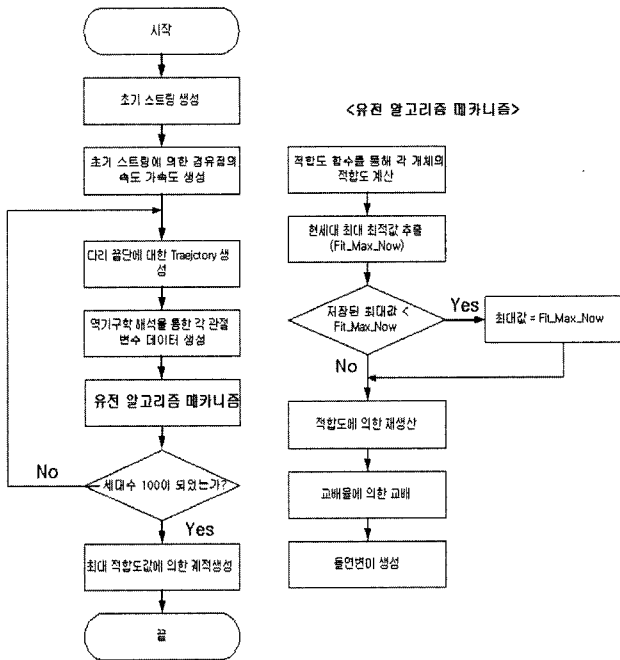


그림 10. 유전 알고리즘 순서도.  
Fig. 10. Flowchart of Genetic Algorithm.

그림 10은 궤적 생성에 적용된 유전 알고리즘의 흐름도이다.

유전 알고리즘을 이용한 궤적 생성 알고리즘은 Microsoft사의 Visual C++을 이용하여 구현하였으며 Window 2000 환경 하에 Pentium Celeron 800에서 약 2분 정도의 소요시간을 보였다.

IV. 모의실험

인간 친화적인 동작을 구현하기 위해 사족로봇의 움직임에 대한 동작을 정의 하고 이에 따른 궤적을 생성하였다. 우선 강아지 로봇의 가장 기본적인 상체 올리기에 동작을 수행하고 이에 따른 관절의 추이를 살펴보았다. 경유점의 속도, 가속도는 임의적으로 결정할 수 있는 부분이 아니므로 경유점의 속도와 가속도를 '0'으로 했을 때와 유전 알고리즘을 사용하였을 때 두가지 경우를 산정하여 각각의 경우에 궤적 데이터를 비교하였다.

그림 11-13은 상체 올리기 시의 왼쪽 앞다리에 대해서 경유점의 속도, 가속도를 0으로 했을 때와 유전 알고리즘을 사용했을 때의 각각에 대한 위치, 속도, 가속도 그래프이다. 이때 중간 경유점은 1.0초일 때이다.

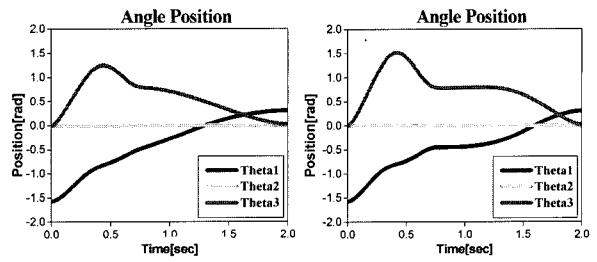


그림 11. 상체 올리기 앞다리 관절의 위치비교.  
Fig. 11. Position comparisons of front leg at stand-up front body phase.

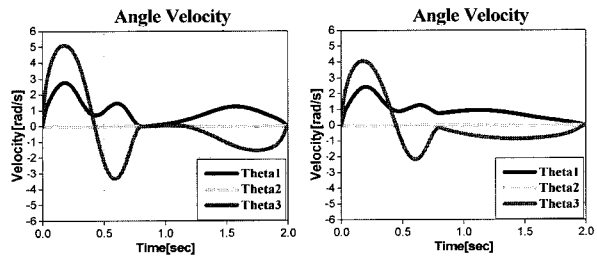


그림 12. 상체 올리기 앞다리 관절의 속도비교.  
Fig. 12. Velocity comparisons of front leg at stand-up front body phase.

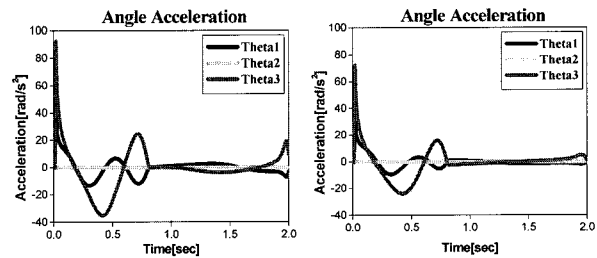


그림 13. 상체 올리기 앞다리 관절의 가속도 비교.  
그림 13. Acceleration comparisons of front leg at stand-up front body phase.

위의 그림 11-13의 그래프에서 유전 알고리즘을 사용했을 때, 경유점의 속도, 가속도를 0으로 했을 때에 비해 최고 속도가 약 20%정도 감소됨을 볼 수 있고, 가속도의 경우에도 마찬가지로 약 22%가 감소됨을 볼 수 있다. 속도와 가속도의 감소로 인해 로봇의 움직임이 보다 부드럽게 움직임을 알 수 있다.

그림 14-16은 상체 올리기 시의 뒷다리에 대한 경유점 '0'일 때와 유전 알고리즘을 이용했을 때의 그래프이다. 이때 중간 경유점은 0.8초이다.

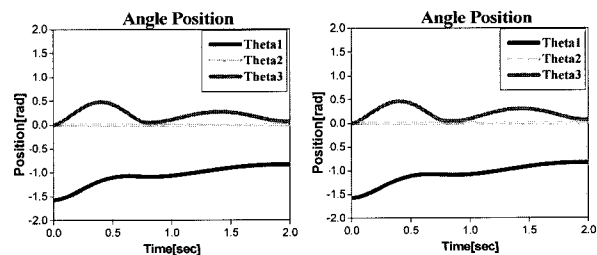


그림 14. 상체 들어올리기 뒷다리 관절의 위치비교.  
Fig. 14. Position comparisons of rear leg at stand-up body phase.

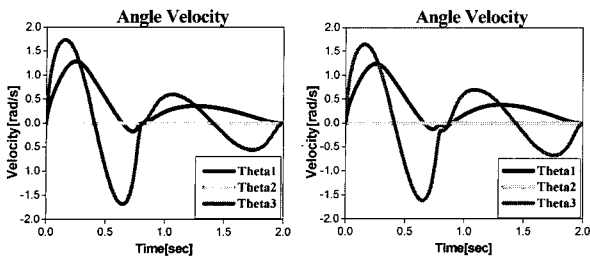


그림 15. 상체 들어올리기 뒷다리 관절의 속도비교.  
Fig. 15. Velocity comparisons of rear leg at stand-up front body phase.

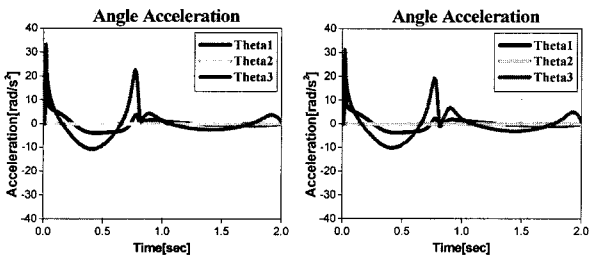


그림 16. 상체 들어올리기 시의 뒷다리 관절의 가속도 비교.  
Fig. 16. Acceleration comparisons of rear leg at stand-up front body phase.

아래 그림 17-20은 일어서기를 수행할 때의 궤적 계획에 대한 각 관절의 위치, 속도, 가속도에 대한 그래프이다. 중간 경유점은 0.5초, 1.0초, 1.5초이다.

그림 17-20의 속도 그래프를 비교해보면 최대 속도는 약 33%가 줄어들었고, 가속도의 경우에도 최대 속도가 약 42% 정도가 줄어들었다. 그리고 뒷다리의 경우 중간 경유점의 속도, 가속도를 0으로 했을 경우 궤적 생성 중간에 다리 궤적이 뒷다리 작업 영역을 넘어가는 점이 생기나, 유전 알고리즘을 사용할 경우 이러한 상황이 고려되므로 원하는 경유점 위치에서의 궤적 생성이 보다 유연해짐을 볼 수 있었다.

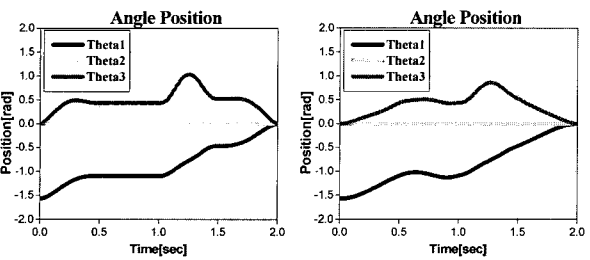


그림 17. 일어서기 시의 앞다리 관절의 위치비교.  
Fig. 17. Position comparisons of front leg at stand-up body phase.

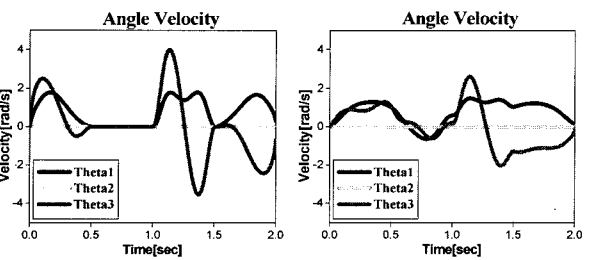


그림 18. 일어서기 시의 앞다리 관절의 속도비교.  
Fig. 18. Velocity comparisons of front leg at stand-up phase.

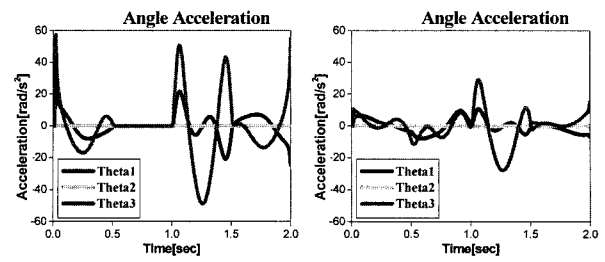


그림 19. 일어서기 시의 앞다리 관절의 가속도비교.  
Fig. 19. Acceleration comparisons of front leg at stand-up.

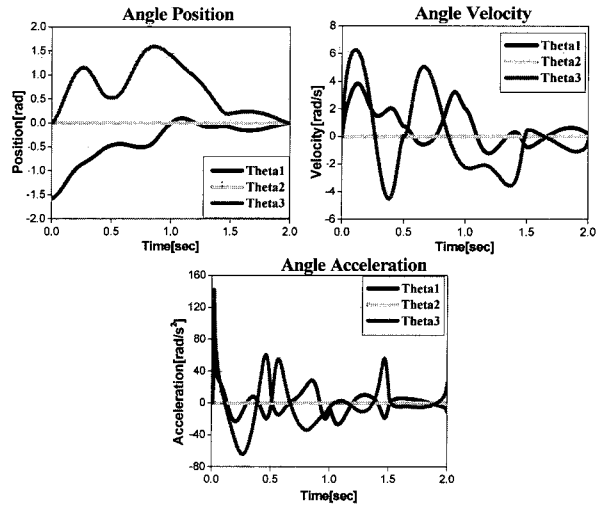


그림 20. 일어서기 시의 유전 알고리즘 사용했을 때 뒷다리 관절의 위치, 속도 가속도.  
Fig. 20. Pos. Velocity and acceleration of rear leg at stand-up body phase.

그림 21-23은 걸기에 대한 왼쪽 앞다리의 궤적 계획에 의한 위치 속도 가속도의 그래프이다. 중간 경유점은 0.5초, 1.0

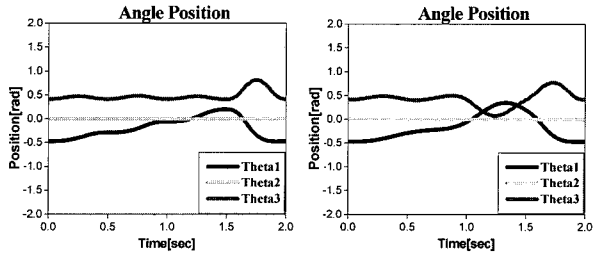


그림 21. 걸기 시의 앞다리 관절의 위치비교.  
Fig. 21. Position comparisons of front leg at straight walking phase.

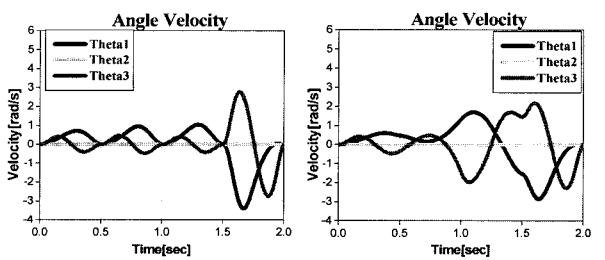


그림 22. 걸기 시의 앞다리 관절의 속도비교.  
Fig. 22. Velocity comparisons of front leg at straight walking phase.

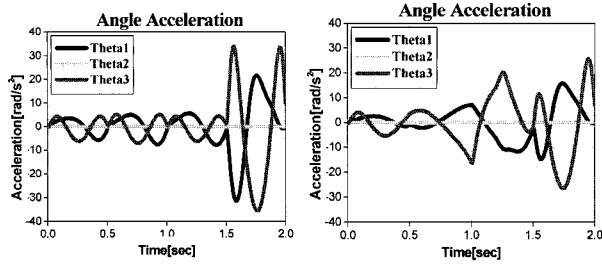


그림 23. 걷기 시의 앞다리 관절의 가속도비교.  
Fig. 23. Acceleration comparisons of front leg at straight walking phase.

초, 1.5초이다.

그림 21-23를 통해 걷기시의 다리부 관절의 속도와 가속도를 비교해보면 유전 알고리즘을 사용했을 때 최대속도가 약 20%정도 감소되고, 가속도도 21% 감소됨을 볼 수 있었다. 따라서 유전 알고리즘을 이용하여 동작을 구현하면 이용하지 않았을 때 보다도 속도, 가속도의 원활을 기할 수 있음을 알 수 있다.

**V. 구현 및 실험**

유전 알고리즘을 이용한 관절 모터의 움직임 구현 결과를 이용하여 이번에는 실제 구현 실험을 진행하였다. 그림 24은 구현된 전체 시스템의 외관이다.

유전 알고리즘에 의해 생성된 궤적은 각 관절의 실제 관절 값 이므로 RC모터 입력에 필요한 PWM값인 0부터 80사이의 데이터로 변환한다. 이 변환된 데이터는 호스트 PC에서 TCP/IP Protocol를 통해 로봇 종(slave) 제어기에 데이터를 전달한다. 호스트 PC에서 동작 수행에 대한 명령을 종 제어기에 전달하면 이에 대해 변환된 데이터를 주 제어기에 RS-232통신을 통해 정보를 전달하고 종 제어기는 각 단위시간에 전달 받은 변환된 궤적 데이터를 이용하여 PWM을 생성하여 로봇을 구동하도록 구성하였다. 이때 RC Motor의 특성상 단위시간을 30msec로 했을 때 모터의 동작이 가장 부드럽게 움직임을 볼 수 있었다. 단위시간을 30msec이하로 빨리 했을 때는 모터가 원하는 위치로 추종하기 전에 새로운 데이터가 들어오게 되어 모터가 진동하게 되었고, 너무 긴 시간마다 데이터가 들어오게 되면 동작자체가 끊어지게 됨을 볼 수 있었다.

그림 25는 사족 SERO IV의 동작 중에서 상체를 들어 올리는 동작이다.

두개의 앞발을 사용하여 상체를 세우게 되는데, 무릎을 굽히는 단계는 완전히 펴진 상태 보다 큰 토크를 가지므로 실제 로봇의 동작을 자연스럽게 하는 하나의 중간 경유 동작으로 활용하였다. 그리고 무릎 관절을 굽히는 동작과 함께

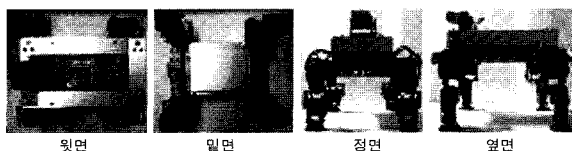


그림 24. SERO IV의 외형.  
Fig. 24. SERO IV externals.

뒷다리를 연동으로 구동하여 보조적인 역할을 하게 하였다.

그림 26는 앉은 상태에서 걷기 전에 일어나는 동작을 구현한 것이다. 여기서 주목할 점은 먼저 뒷부분을 들어올리고 앞부분을 일으켜 세우는 과정이다.

앞다리 부분을 먼저 세우는 경우 실제 로봇이 일어서기 동작을 수행하는데 어려움이 발생하였다. 앞다리 부분을 먼저 일으켜 세우는 경우 앞다리의 어깨에서 지면에 수직인 선분과 뒷다리의 동작에서 무릎까지 거리가 상당히 좁아진다. 이럴 경우 로봇의 하중은 대부분 무릎에 걸리게 되고 일어서는데 보다 큰 힘이 필요하게 된다. 하지만 뒷다리를 먼저 일으켜 세우는 경우는 뒷다리의 어깨와 지면과의 수직선분과 앞다리의 무릎과의 거리는 보다 길어지게 되면서 앞서의 동작보다 적은 힘으로 일어서기 동작이 가능해지는 것이며 이에 따른 중간 경유점이 설정되었다.

그림 27은 SERO IV의 순차걸음에 의해 전진 보행을 구현한 그림이다. 이 걸음세의 진행 순서는 (a)-(b)-(c)-(d)의 순으로 진행된다. 머리 부분을 기준으로 (a)단계는 왼쪽앞발이 최대 전진 상태에 놓이게 되고, (b)단계에서는 오른쪽 뒷발이 최대 전진 상태로 이동한다. (c)단계에서는 오른쪽 앞발을 최대 위치로 이동시킨다. 마지막 (d)단계에서는 왼쪽+뒷다리를 최대 전진 위치로 이동시킨다. 이 4개의 단계를 차례로 실행하면 로봇은 그림에 보이는 것처럼 좌측의 검은색 배경에서 우측의 회색 배경쪽으로 이동하게 된다.

**VI. 결론**

인간 친화형이란 형태적으론 인간처럼 다리를 가지고 보행하거나 인간의 오락에 이용될 수 있는 형태를 말하며, 기

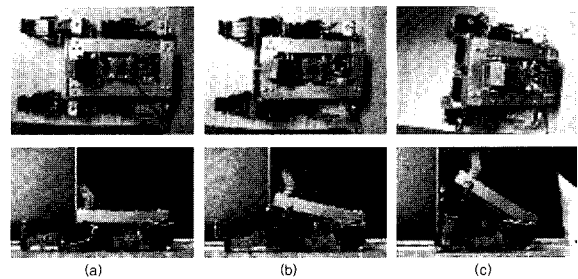


그림 25. SERO IV의 상체 들기.  
Fig. 25. Rise-up front body of SERO IV.

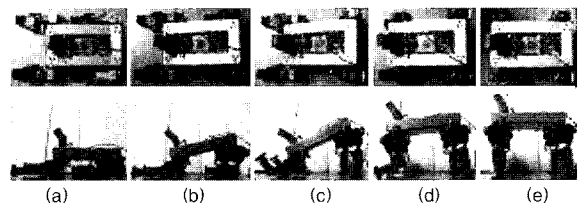


그림 26. SERO IV의 일어서기.  
Fig. 26. Stand-up of SERO IV.

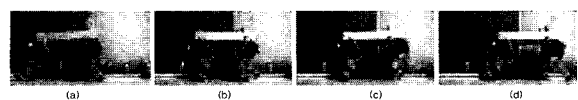
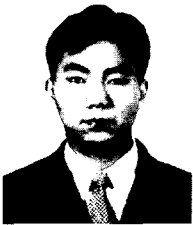


그림 27. SERO IV의 순차걸음에 의한 직진.  
Fig. 27. Straight walking sequence of SERO IV.

능적인 면에서는 음성과 화상 처리 기능을 구현하며 인간과 교감을 할 수 있는 지능을 가지고 있는 것이다. 이와 같은 로봇에 접근하기 위해서는 보행이 필수적이며 보행을 원활히 수행하기 위해서는 로봇의 기구학적 해석 및 걸음새 계획이 필요하다. 본 논문에서는 강아지 형태의 인간 친화형 로봇의 설계와 구현에 대하여 다루었다. 기본적 걸음새와 응용 동작을 유전알고리즘을 이용하여 최적 값을 찾았으며 이를 걸음새에 적용함으로써 인간의 충실한 친구인 강아지의 동작들을 구현함으로써 사람과의 친밀도를 높이고자 하였다. 차후 보다 많은 관련 기구학 해석을 통하여 다양한 동작을 실행할 것이며 신뢰도가 높은 기구적 구조와 좀더 안정적인 정적 보행을 실현하고 동적 보행을 구현해 나갈 것이다. 그리고 동작의 안정성과 더불어 각종 센서들을 조합하여 인간과 더욱 친근한 동작들과 기능을 구현할 것이며 음성의 인식과 출력 및 카메라를 통한 영상 처리 부분과의 결합을 통해 인간의 감각을 닮은 기능들을 추가하여 기능적인 보안을 하고 자체 판단 능력을 부여하여 인공지능 요소를 가지게 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] <http://www.Honda.co.jp/ASIMO>  
 [2] <http://www.aibo.com>



#### 공 정 식

1976년 1월 7일 생. 1998년 인하대학교 자동화공학과 졸업. 1998년~현재 인하대학교 대학원 자동화공학과 통합과정 재학 중. 관심분야는 표적추적, 비선형 제어.



#### 이 보 희

1963년 4월 20일 생. 1996년 인하대학교 자동화공학과 졸업, 1997년~현재 세명대학교 전기공학과 조교수 재직 중. 관심분야는 보행로봇, 기계자동화.



#### 이 인 구

1973년 4월 18일 생. 2000년 세명대학교 전기공학과 졸업, 2002년 세명대학교 전기전자대학원 졸업, 관심분야는 보행로봇, 기계자동화.

- [3] A. Preumont, P. Alexandre, I. Dorftei, and F. Goffin, "A conceptual walking vehicle for planetary exploration," 23 October 1996, <http://www.ulb.ac.be/scmero>
- [4] M. Frik, M. Guddat, M. Karatas, D.C. Losch, E. B. Sup-rijadi, and A. Buschmann, Gerhard-Mercator- Universitaet Duisburg, project: TARRY II, <http://www.mechanik.uni-duisburg.de>
- [5] <http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp>
- [6] <http://intmob-robot.kaist.re.kr/field.html>
- [7] <http://www.minirobot.co.kr>
- [8] [www.developers.axis.com](http://www.developers.axis.com)
- [9] Databook, AVR Risc Microcontroller
- [10] H. Zhung, J. Wu, and W. Hung, "Optima++I Planning of Robot Calibration Experiments by Genetic Algorithms," Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation vol. 2, pp. 981-986, Minnea-polis, USA, Apr. 22-28, 1996.
- [11] K. Shimojima, N. Kubota, T. Fukuda, "Trajectory Planning of Reconfigurable Redundant Manipulator Using Virus-Evolutionary Genetic Algorithm," Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, vol. 2, pp. 836-841, Taipei, Taiwan Aug.5-10, 1996.