

소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발

The Development of a Miniature Humanoid Robot System

성영희, 이수영
(Young-Whee Sung and Soo-Yeong Yi)

Abstract : In this paper, we introduce a case study of developing a miniature humanoid robot that has 16 degrees of freedom and is able to perform statically stable walking. The developed humanoid robot is 37cm tall and weighs 1,200g. RC servo motors are used as actuators. The robot can walk forward and turn to any direction on an even surface. It equipped with a small digital camera, so it can transmit vision data to a remote host computer via wireless modem. The robot can be operated in two modes: One is a remote-controlled mode, in which the robot behaves according to the command given by a human operator through the user-interface program running on a remote host computer, the other is a stand-alone mode, in which the robot behaves autonomously according to the pre-programmed strategy. The user-interface program also contains a robot graphic simulator that is used to produce and verify the robot's gait motion. In our walking algorithm, the ankle joint is mainly used for balancing the robot. The experimental results shows that the developed robot can perform statically stable walking on an even surface.

Keywords : humanoid robot system, biped walking, robot graphic simulator

I. 서론

근래의 로봇 연구에 있어서 중요한 한 가지 방향은 로봇의 전체 구조가 인간을 닮은 인간형 로봇을 지향한다는 것이다. 인간의 특징은 하드웨어적인 측면과 소프트웨어적인 측면으로 나누어 볼 수 있는데, 소프트웨어적인 면은 주변 환경에 대한 인식, 추론 등과 같이 인간의 두뇌 활동과 관계된 것이라 할 수 있으며, 여러 연구자들의 도전에도 불구하고 아직 그 실현에는 상당한 시일이 걸리리라 예상된다. 한편 인간의 하드웨어적인 특징은 다음과 같은 두 가지 관점에서 살펴볼 수 있다. 우선 이동성을 제공하는 기능의 관점에서 보면 두 다리를 사용하여 걷는 2족 보행이라는 특성이 있으며, 인간의 팔, 다리 등의 구조적 관점에서 보면 특정한 작업을 수행하는데 필요한 관절보다 더 많은 수의 관절을 가지고 있다는 것, 즉 여유 자유도를 그 특징으로 꼽을 수 있다. 로봇의 이동을 위한 방편으로는 주로 바퀴 또는 무한궤도를 채용하거나 양자를 적절히 혼합한 구조를 사용하여 왔으나, 최근에는 다리를 사용한 보행에 대한 연구도 활발히 진행되어 많은 발전이 있었다[1]~[5]. 여유 자유도의 관점에서 보면 주로 로봇의 팔이라고 할 수 있는 머니풀레이터의 경로 계획과 제어 등의 분야에서 문제를 다루어 왔다[6].

현재까지 국내외의 많은 연구자들이 광의의 인간형 로봇에 대하여 연구해 오고 있다. 국내에서 개발된 시스템으로는 한국과학기술연구원에서 1994년부터 1999년에 걸쳐 개발한 센토(CENTAUR)가 있다[7]. 센토는 4족 보

행 휴머노이드 로봇으로, 보행부에 속하는 하체부와 머리 및 양손을 갖는 상체부의 전체 중량 150kg, 길이 560mm, 높이 1,700mm, 폭 480mm이며 하체 12 자유도, 상체 17 자유도로 총 29 자유도를 가지고 있다. 센토는 국내에서 최초로 개발된 휴머노이드형 로봇이다. 이 로봇은 여유 자유도 머니풀레이터를 장착하여 유연한 동작을 할 수 있으며, 카메라 비전 등 센서 데이터의 처리가 가능하고, 경사면 보행과 회전 보행 등의 다양한 결음새 기능, 그리고 발에 장착된 로드셀을 이용한 균형 유지 기능등이 있는 것으로 보고되어 있다. 한편 일본에서는 혼다 자동차 회사에서 2족 2수를 가지며 사람과 거의 유사한 동작을 하는 보행 로봇을 개발하였다[8]. 1996년 겨울에 최초의 모델 P1이 발표된 이후 현재까지 새 모델들이 계속 발표되고 있다. 두 번째 모델인 P2의 경우에는 전체 무게가 210kg, 키가 1,820mm, 폭이 600mm에 이른다. 이 로봇은 한 다리에 6개의 자유도를 가지고 있으며 제자리에서의 방향 전환, 계단 오르내리기 등의 다양한 보행 동작이 가능하고, 3차원 비전을 사용하여 주변 환경을 인식한다. 일본의 소니사는 1999년에 아이보(AIBO)라는 로봇 강아지를 개발하여 발표하였다. 이 로봇은 소형의 엑튜에이터를 사용하였고, 4개의 다리로 보행을 하며 넘어진 후에도 스스로 일어서는 기구적인 구조를 가지도록 설계되었다. 일본의 동경대학교에서는 리모트-브레인(Remote-Brain)형의 소형 휴머노이드 로봇을 개발하였는데[9][10], 이 로봇의 개념은 소규모의 로봇을 개발하여 알고리듬 등을 개발하기 위한 플랫폼으로 사용하자는 것이었다. 이 로봇 시스템은 로봇의 몸체는 독립된 개체로 존재하고, 로봇의 두뇌는 몸체와 떨어져 있는 컴퓨터에 존재하는 것을 특징으로 한다.

휴머노이드 로봇은 다수의 관절을 가져야 하며 관절 구동용 엑튜에이터로는 주로 전기 모터를 사용하고 있다. 때

접수일자 : 2000. 9. 4., 수정완료 : 2001. 2. 15.

성영희 : 금오공과대학교 전자공학부(ywsung@kumoh.ac.kr)

이수영 : 전북대학교 전자정보공학부(suylee@moak.chonbuk.ac.kr)

* 이 연구는 2000년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 일부 지원된 연구입니다.

라서 휴머노이드 로봇은 필연적으로 모터가 많이 사용된다. KIST의 센토나 혼다 로봇의 경우에서 볼 수 있는 바와 같이 사용되는 액튜에이터의 크기가 크면 전체 시스템의 부피가 크고 무게가 많이 나가게 되고, 모터를 제어하기 위한 제어기와 주변 인터페이스 부분도 복잡하게 된다. 본 논문에서는 2족 2수를 가지고 있어서 사람과 유사한 형태를 가지며 평지에서 보행할 수 있는 소형의 휴머노이드 로봇 시스템에 대하여 소개하고자 한다. 개발된 로봇은 소형의 DC 모터와 기어장치, 자체의 위치 제어기를 포함하고 있으며, 펄스 코드 변조(Pulse Code Modulation) 구동 방식으로 주변 장치와의 인터페이스가 간단한 RC 서보 모터를 사용하여 전체 로봇 시스템의 무게와 부피를 작게하였고, 2족 보행이 가능하며 로봇 몸체에 제어부와 주변 회로 인터페이스부를 탑재하여 독립된 시스템으로서 자율적인 행동이 가능하도록 개발되었다.

II. 전체 시스템 구성

개발된 소형 휴머노이드 로봇 시스템의 구성은 로봇 기구부와 로봇에 탑재되는 제어기, 그리고 원격 호스트 컴퓨터의 사용자 인터페이스로 나눌 수 있다. 개발된 로봇은 호스트 컴퓨터의 사용자 인터페이스 프로그램을 사용하여 조작자가 지시하는 명령에 따라 동작하는 원격 조작 모드와 미리 프로그램되어 있는 로직에 따라 독립적으로 동작하는 독립 동작 모드의 두 가지 모드로 동작할 수 있다. 전체 시스템의 구성을 그림 1에 나타내었다.

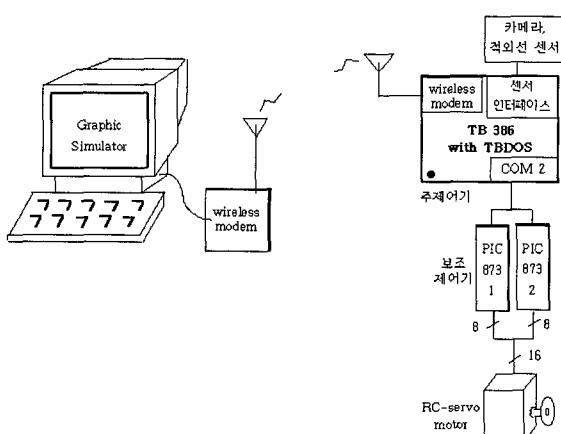


그림 1. 전체 시스템 구조.

Fig. 1. The overall system structure.

1. 로봇 기구부

개발된 로봇은 전체 키가 37cm, 몸무게 1200g이며, 1 쪽당 5 개의 자유도, 1 수당 2 자유도, 그리고 목에 2 자유도를 가져서 총 16 자유도를 갖는 소형의 인간형 로봇이다. 한편 머리 부분에는 디지털 카메라를 장착하고 있으며 목은 pan과 tilt가 가능한 구조로 구성되어 있고, 원격지에 있는 호스트 컴퓨터의 명령에 따라 화상 데이터를 호스트 컴퓨터로 전송할 수 있는 기능이 있다. 다리의 5 자유도는 위에서부터 yaw-pitch-pitch-pitch-roll의 구조로 되어 있으므로 직선 보행 뿐만 아니라 회전

보행도 가능한 구조로 설계되었다. 팔은 두 개의 pitch로 구성되어 있다. 그림 2는 로봇의 관절 구조를 나타내고 있으며, 그림 3은 로봇의 전체 외관을 보이고 있다.

액튜에이터로는 상용 RC 서보 모터를 채택 하였는데 각 자유도마다 하나의 RC 서보 모터를 사용하여 총 16 개의 RC 서보 모터를 사용하였다. RC 서보 모터는 내부에 기어 박스를 장착하고 있으며 아날로그 위치 제어 모듈을 포함하고 있어서 입력으로 주어지는 펄스 폭에 따라 위치를 제어할 수 있는 모터로서 외부 인터페이스를 줄일 수 있어서 보행 로봇과 같이 많은 관절이 필요한

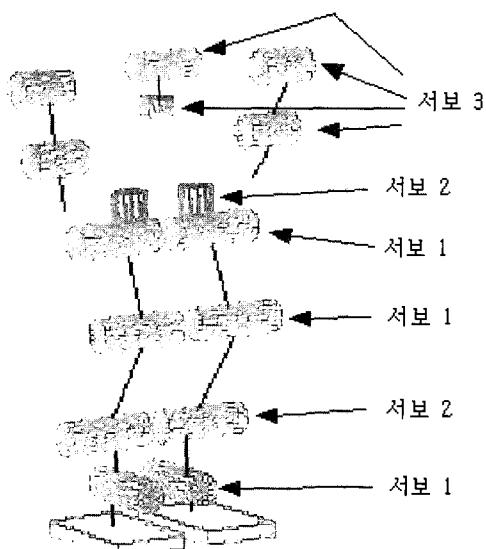


그림 2. 로봇의 관절 기구 구성.

Fig. 2. The kinematic joint configuration of the robot.

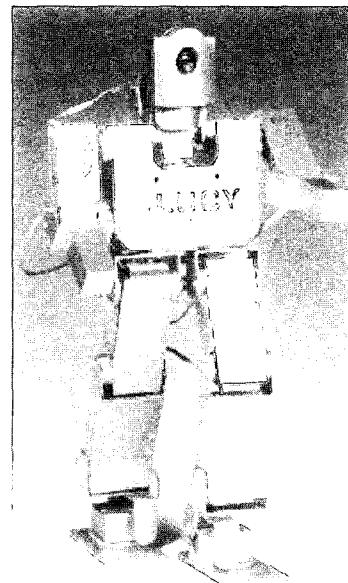


그림 3. 소형 휴머노이드 로봇의 외관.

Fig. 3. Appearance of the miniature humanoid robot.

로봇의 구성에 적합하다[14]. 사용된 모터는 세 종류로 비교적 큰 토크를 필요로 하는 발목과 무릎, 다리의 최상위 관절에는 출력 토크 9.5 kg-cm 용량의 서보를, 나머지 다리 관절에는 8.0 kg-cm 용량의 서보를, 그리고 팔과 목에는 비교적 작은 토크의 2.5 kg-cm 서보를 사용하였다(표 1).

표 1. RC 서보 모터의 규격[14].

Table 1. Specification of the RC-Servo motor.

종류	크기 (mm)	무게(g)	속도	출력 토크
서보 1	40.5x20x37.5	53	0.19 sec/60°	9.5 kgcm
서보 2	40.5x20x37.5	55	0.10 sec/60°	8.0 kgcm
서보 3	28x13x29.7	17	0.18 sec/60°	2.5 kgcm

2. 제어부 구성

로봇에 탑재되는 제어기로는 그림 1에서 보이는 바와 같이 로봇이 추종할 경로 데이터를 보조 제어기에 제공하고, 센서 데이터를 처리하는 주 제어기부와 주 제어기의 명령에 따라 각 서보 모터 구동 펄스를 생성하는 모터 구동 보조 제어기부가 있다.

주 제어기부는 다시 주 제어 보드와 인터페이스 보드로 나눌 수 있는데 주 제어 보드로는 상용의 TB-386EX 보드를 채택하였다. 이 보드는 인텔사의 i386EX(32Mhz) CPU를 탑재하고, DOS와 호환되는 TBDOS-386을 지원한다. 이 보드에서 사용 가능한 2개의 직렬 포트를 이용하여, 하나는 호스트 컴퓨터와의 무선 통신에 사용하고, 나머지 하나의 직렬 포트는 20ms의 샘플링 타임으로 보조 제어기에게 서보 모터 구동 위치 명령을 전송하는데 사용한다. 한편 인터페이스 보드는 다음과 같은 기능을 갖도록 제작하였다: (1) PC와의 무선 통신을 위한 무선 모뎀 기능, (2) 디지털 카메라 인터페이스 기능, (3) RC 서보 모터 구동용 보조 제어기와의 직렬 인터페이스, (4) 아날로그 적외선 근접 센서 인터페이스(4 채널, 4쌍), (5) 아날로그 FSR(Force Sensing Resistor) 인터페이스(8 채널).

3. 사용자 인터페이스

로봇이 원격 조작 모드에서 사용될 때, 로봇과 조작자와의 사용자 인터페이스가 필요하다. 사용자 인터페이스는 원격 조작 명령 생성 외에 그래픽 시뮬레이션 기능을 갖는다. 이 시뮬레이터부는 Visual C++과 OpenGL을 사용하여 프로그램 되었으며 로봇 경로 계획 단계에서는 로봇과 주변 환경을 컴퓨터 그래픽을 통하여 모델링함으로써 로봇의 동작을 계획하고 생성한 후, 생성된 로봇의 경로가 보행을 위해 적절한 경로인지를 시각적으로 관찰해가며 검증하기 위한 도구로 사용될 수 있다. 한편 로봇 운용 단계에서는 무선 모뎀을 통하여 로봇을 직접 원격 구동하기 위한 명령 생성 도구로 사용된다. 또한 로봇의 머리에 장착된 카메라를 통하여 로봇이 동작하는 환경의 영상 데이터를 사용자 인터페이스 화면상에 표시할 수 있는 원격 모니터링 기능도 가지고 있다. 이 사용자 인터페이스에서는 간단한 마우스 조작을 통하여 로봇과 주변 환경을 다양한 관점에서 관찰할 수 있도록 하였

으며, 관찰 대상의 확대 축소 등이 가능하다. 또한 생성된 보행 데이터를 기반으로 하여 로봇의 보행 동작을 연속적인 방법으로, 또는 각 샘플링 순간마다 스텝별로 관찰이 가능하다.

III. 보행 운동 계획

본 2족 로봇의 보행 운동은 그림 4에 보이는 운동 계획 과정을 거쳐 생성된다. 로봇 몸체 및 팔, 다리의 움직임은 지면에 미리 설정된 기준 좌표계 (World Coordinate)에 대하여 생성되며, 각 관절 운동 생성에 필요한 역학구현을 구하기 위해서는 이들의 움직임을 몸체 기준점에 대한 것으로 변환해야 한다.

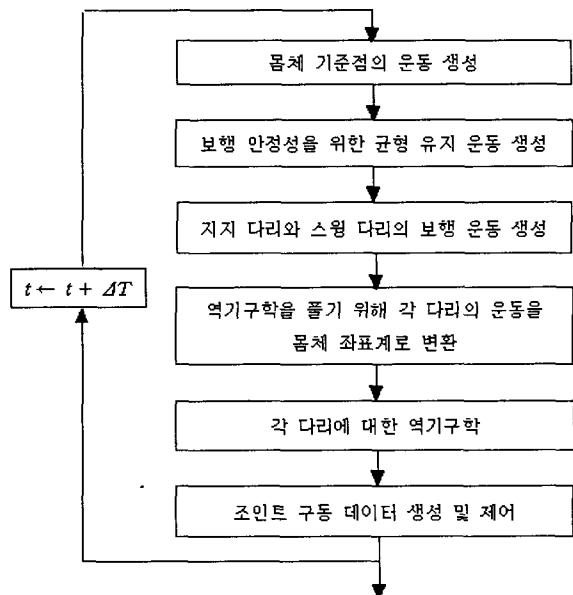


그림 4. 보행 운동 계획 흐름도.

Fig. 4. Algorithm flow of the walking motion planning.

1. 기구학 및 역학구현

그림 5는 본 논문에서 개발된 로봇의 각 관절에 설정한 관절 좌표계를 보여준다. 몸체의 중심에 설정된 T_B 가 몸체 기준 좌표계이고, T_{Ri} , T_{Li} ($i = 1, 2, \dots, 5$)가 오른

표 2. 기구학 매개 변수들의 값(MKS).

Table 2. Kinematic parameter values.

다리 체인	l_{l_0}	l_{l_1}	d_{l_1}	l_{l_2}	l_{l_3}
값	0.02475	0.02575	0.00750	0.06000	0.08000

다리 체인	l_{l_4}	d_{l_4}	l_{l_5}
값	0.03700	0.01100	0.01600

팔 체인	l_{a_1}	d_{a_1}	l_{a_2}	l_{a_3}
값	0.07300	0.09000	0.04500	0.06400

머리 체인	l_{h_1}	d_{h_1}	l_{h_2}	d_{h_2}	l_{h_3}
값	0.05500	-0.00500	0.00500	0.02500	0.04700

쪽, 왼쪽 각 다리의 관절에 설정된 좌표계이다. 끝의 두 좌표계, T_{R6} , T_{R7} , T_{L6} , T_{L7} 는 발끝의 좌표계들이다.

그리고 T_{RAi} , T_{LAi} ($i = 1, 2, 3$)과 T_{Hi} , ($i = 1, 2, 3$)은 각각 오른팔, 왼팔 체인, 머리 체인의 설정 좌표계들이다. 표 2에 기구학 매개 변수들의 실제값을 정리하였다.

보행을 위한 다리 부분의 역기구학 해는 몸체 좌표계 T_B 를 기준으로한 속도형 자코비안(Jacobian)에 의해 구하였다[15].

$$\dot{X} = J\dot{q} \quad (1)$$

여기서 $\dot{X} = [\mathbf{v}^T \ \boldsymbol{\omega}^T]^T = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \dot{\phi}_x \ \dot{\phi}_y \ \dot{\phi}_z]^T$ 는 몸체의 기준점을 중심으로한 좌우 발끝의 속도 및 각속도 값이다. 각 다리는 5 자유도를 가지므로 $\dot{q} = [\dot{q}_1 \ \dot{q}_2 \ \dot{q}_3 \ \dot{q}_4 \ \dot{q}_5]^T$ 이고, 따라서 J 는 6×5 행렬로 다음 (2)와 같이 표현된다:

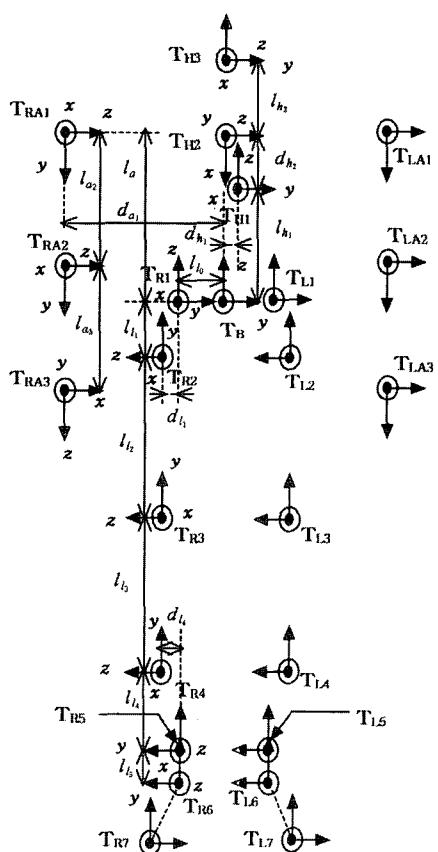


그림 5. 각 관절 좌표계.

Fig. 5. Coordinate frame of each joint.

$$J = \begin{bmatrix} Z_{R1} \times P_{R1}^{R7} & Z_{R2} \times P_{R2}^{R7} & Z_{R3} \times P_{R3}^{R7} & Z_{R4} \times P_{R4}^{R7} & Z_{R5} \times P_{R5}^{R7} \\ Z_{R1} & Z_{R2} & Z_{R3} & Z_{R4} & Z_{R5} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이제 (1)로 부터 조인트 각 q 는 의사 역행렬을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다:

양팔과 머리 체인을 포함하는 상체부의 역기구학도

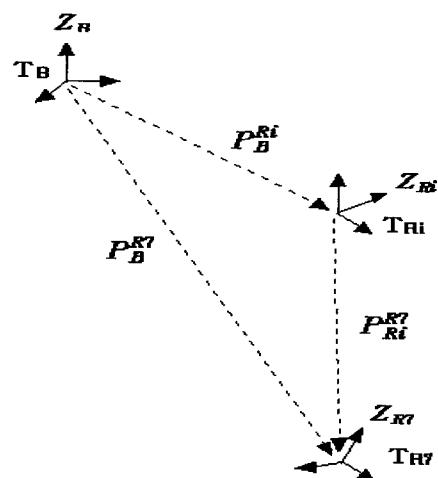


그림 6. 한 다리의 기구학 체인.

Fig. 6. Kinematic chain of a leg.

$$\dot{q} = \int^t \{(J^T J)^{-1} J^T \dot{X}\} dt \quad (3)$$

같은 방법으로 구할 수 있다.

2. 보행 운동 계획

보행 운동은 미리 설정된 보행 주기에 따라 각 반주기씩 왼쪽과 오른쪽 다리를 교대로 스윙하는 것으로 하였다. 한 다리의 스윙을 전후로 해서 균형 유지를 위한 좌우 몸체 운동이 필요하며, 한 다리가 스윙하는 동안 나머지 다리는 땅에 지지하면서 몸체의 진행을 일으킨다. 몸체의 진행 운동은 사용자가 미리 정한 보행 방향, 보폭, 주기에 따라 등속으로 하도록 하였으며, 스wing하는 다리의 발끝 움직임은 베지어(bezier) 곡선으로 생성하였다. 다음 그림 7은 보행 운동 계획의 게이트 다이어그램(gait diagram)을 보여준다:

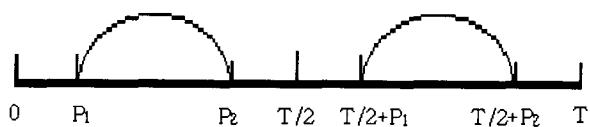


그림 7. 게이트 다이어그램.

Fig. 7. Gait diagram.

위 게이트 다이어그램의 각 구간에서 생성되는 운동은 다음과 같다:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 \leq t < P_1 : & -y \text{ 방향으로 몸체 균형 유지 운동} \\ 0 \leq t < \frac{T}{2} : & \text{왼쪽 다리 스윙} \\ P_1 \leq t < P_2 : & \text{원쪽 다리 스윙} \\ P_2 \leq t < T/2 : & +y \text{ 방향으로 몸체 복귀} \\ \frac{T}{2} \leq t < T : & +y \text{ 방향으로 몸체 균형 유지} \\ T/2 \leq t < T/2 + P_1 : & \text{오른쪽 다리 스윙} \\ T/2 + P_1 \leq t < T/2 + P_2 : & \text{오른쪽 다리 스윙} \\ T/2 + P_2 \leq t < T : & -y \text{ 방향으로 몸체 복귀} \end{array} \right. \quad (4)$$

여기서 $+y$, $-y$ 방향은 몸체 좌표계 T_B 를 기준으로 한 것이다.

보행 운동과 균형 유지 운동을 포함하는 몸체의 움직임은 다음과 같이 표현될 수 있다[15]:

$$T_B(k+1) = T_B(k) + dT_B \quad (5)$$

$$dT_B = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z & \delta_y & d_x \\ \delta_z & 0 & -\delta_x & d_y \\ -\delta_y & \delta_x & 0 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} T_B(k),$$

여기서

$$\begin{aligned} \delta_x &= w_x \Delta T, \quad \delta_y = w_y \Delta T, \quad \delta_z = w_z \Delta T \\ d_x &= v_x \Delta T, \quad d_y = v_y \Delta T, \quad d_z = v_z \Delta T \end{aligned} \quad (6)$$

이고, w , v 는 각각 기준 좌표계에 대한 몸체 좌표계의 각속도, 선속도이다. 이들의 조합에 의해 다양한 걸음새를 생성할 수 있다. 예로써 $+x$ 방향으로 직진 보행하는 경우에 게이트 다이어그램의 각 구간에서 생성되는 몸체 움직임은 다음과 같다:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 \leq t < P_1 : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = -\phi/P_1, \quad \omega_y = \omega_z = 0 \\ P_1 \leq t < P_2 : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = \omega_y = \omega_z = 0 \\ P_2 \leq t < T/2 : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = +\phi/P_1, \quad \omega_y = \omega_z = 0 \\ T/2 \leq t < T/2 + P_1 : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = \phi/P_1, \quad \omega_y = \omega_z = 0 \\ T/2 + P_1 \leq t < T/2 + P_2 : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = \omega_y = \omega_z = 0 \\ T/2 + P_2 \leq t < T : & v_x = l/T, \quad v_y = v_z = 0, \\ & \omega_x = -\phi/P_1, \quad \omega_y = \omega_z = 0 \end{array} \right.$$

여기서 l 과 ϕ 는 주기 T 동안의 몸체 이동 거리와 보행 안정성을 위한 몸체 균형각의 크기를 의미하는 보행 운동 설계 파라미터들이다.

3. 정적 보행 안정성

보행 로봇의 정적 안정성은 로봇의 전체 무게 중심이 지지 다각형의 내부에 놓이는지 여부와 관계된다. 무게 중심을 지지 다각형 내부에 놓이게 하기 위해서는 상체나 양팔의 움직임을 이용하거나, 혹은 별도의 균형추를 설치하고, 이것의 움직임을 이용하는 방법도 있으나 [11][12] 본 논문에서는 발목에 설치된 액튜에이터를 이용하여 로봇 몸체를 좌우로 움직이므로써 로봇의 균형을 유지하는 방법을 택하였다[13]. 로봇의 무게 중심을 구하기 위해서 보행 로봇을 그림 8에서 보이는 바와 같이 점질량들로 모델링하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 보행 과정 동안 항상 로봇의 전체 무게 중심이 로봇의 발바닥 면적으로 이루어지는 지지 다각형의 내부에 놓이게 되는 몸체의 균형각, ϕ 를 미리 구한 후, 실제 로봇에 적용하였다. 그림 8에 보이는 각 점질량들의 무게는 로봇 제작에 사용한 서보 모터의 무게이며, 각 단위 셀들의

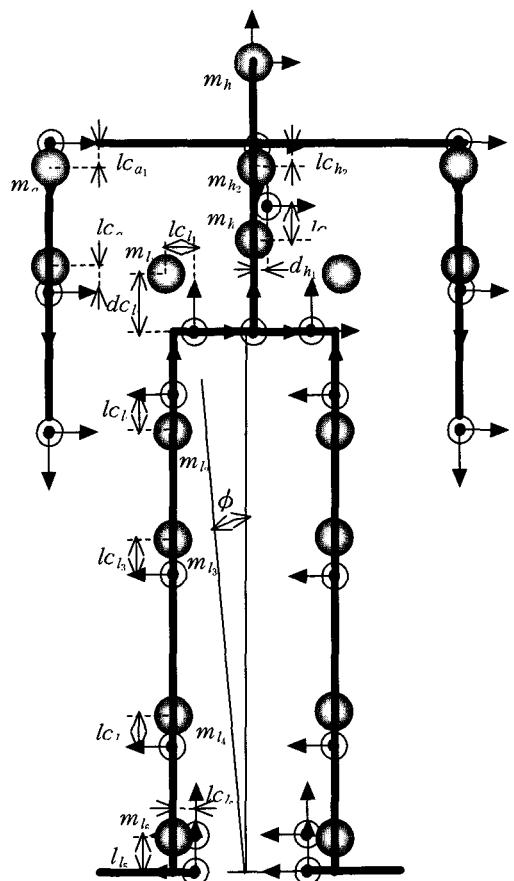


그림 8. 보행 로봇의 점질량 모델.

Fig. 8. Point mass model for the walking robot.

표 3. 점질량 모델의 관성 매개 변수들의 값 (MKS).

Table 3. Inertia parameter values for the point mass model.

(a) 무게 중심까지의 길이

다리 체인	l_{c_1}	d_{c_1}	l_{c_2}	l_{c_3}
값	0.01000	0.02150	0.01000	0.01000

다리체인	l_{c_1}	l_{c_3}	l_{c_6}
값	0.01000	0.01850	0.01000

팔 체인	$l_{c_{a1}}$	$l_{c_{a2}}$
값	0.00750	0.00750

머리 체인	$l_{c_{h1}}$	$l_{c_{h2}}$
값	0.01500	0.007500

(b) 점 질량의 무게

다리 체인	m_{l_1}	m_{l_2}	m_{l_3}	m_{l_4}	m_{l_5}
값	0.05500	0.05500	0.05500	0.05500	0.05500

팔 체인	m_{a_1}	m_{a_2}
값	0.01700	0.01700

머리 체인	m_{h_1}	m_{h_3}	m_{h_2}
값	0.01700	0.01700	0.04000

무게 중심 위치, I_c 는 서보 모터의 기하학적인 모양으로부터 균사적으로 구하였다. 이를 값들을 표 3에 정리하였다.

VI. 실험 및 고찰

그림 9는 보행 데이터를 생성하고, 보행 안정성을 사전 검증하며, 원격으로 로봇 보행 명령을 생성하기 위한 사용자 인터페이스 화면이다. 본 그래픽 시뮬레이터는 또 무선으로 로봇에 탑재된 주 컴퓨터와 통신하므로써 사용자의 보행 명령을 로봇에 내리고, 로봇의 머리에 장착된 카메라에서 획득한 화상 데이터를 받아 로봇이 바라보는 주변 환경을 모니터링할 수 있게 되어있다.

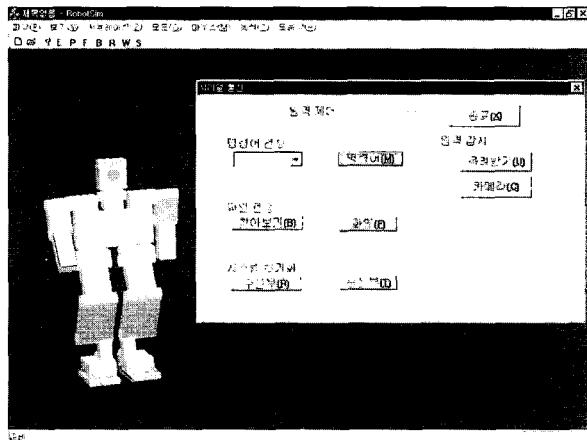


그림 9. 사용자 인터페이스 및 그래픽 시뮬레이터.
Fig. 9. User interface and the graphic simulator.

그림 10은 본 논문에서 설계한 보행 데이터에 의한 로봇 보행도이다. 그림 10(a)는 앞에서 본 그림으로 균형 유지 운동을, 그리고 그림 10(b)는 옆에서 본 그림으로 진행 운동을 보여준다.

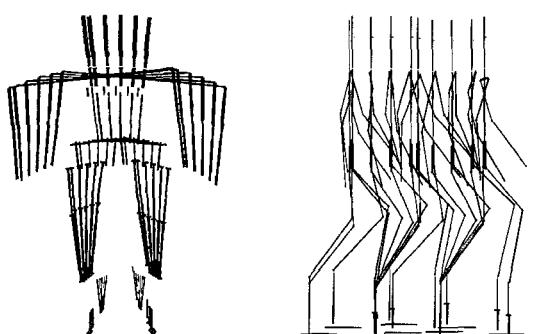
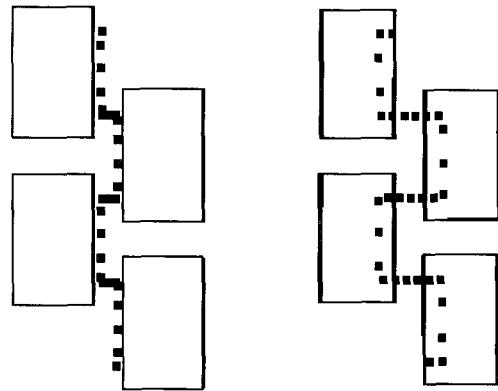


그림 10. 보행 운동 궤적.
Fig. 10. Walk trajectory.

그림 11은 직진 보행시 몸체 균형각, ϕ 의 크기에 따른 전체 무게 중심의 자취를 보여준다. 그림에서 보듯이 $\phi = 4^\circ$, 즉 몸체 균형 유지 운동을 매우 작게 한 경우에 로봇의 무게 중심이 지지 다각형의 외부로 벗어나는

경우가 있을 수 있다. 반면에 $\phi = 18^\circ$ 인 경우에는 보행 중 무게 중심이 항상 지지 다각형의 내부에 놓이게 된다. 정적 보행 안정성의 정의에 따라 본 보행 로봇은 균형각 $\phi = 18^\circ$ 일 때 안정한 보행이 가능함을 알 수 있다. 본 로봇의 균형 유지 운동은 주로 발목 서보 모터에 의해서 생성되며, 따라서 발목 부분의 서보 모터에 요구되는 토크도 가장 크다. 개발된 로봇의 보행 능력은 보폭과 걸음속도 등 여러 가지 파라미터들에 따라 변할 수 있으나 비교적 안정적인 자세로 보행을 수행할 수 있는 보행 속도는 약 1.5cm/s 정도이다.



(a) $\phi = 4^\circ$ 일 때

(b) $\phi = 18^\circ$ 일 때

그림 11. 직진 보행시 몸체 균형각에 따른 로봇 전체 무게 중심의 자취.

Fig. 11. Trace of total gravity center of the walking robot according to the balancing angle.

V. 결론

본 논문에서는 총 16 자유도를 가지며 정적으로 안정하게 보행할 수 있는 2족 2수의 소형 인간형 로봇 시스템의 개발에 관하여 소개하였다. 개발된 로봇 시스템은 원격지 호스트 컴퓨터의 사용자 인터페이스에서 주어지는 명령에 따라 동작하는 원격 조작 모드와 로봇이 독립적으로 동작하는 독립 동작 모드의 두 가지 모드로 동작할 수 있다. 개발된 로봇은 평지에서 직진 보행과 회전 보행이 가능하며 무선으로 원격지에 있는 호스트 컴퓨터로 로봇 주변 환경에 대한 영상 데이터를 전송하는 기능도 가지고 있다. 관절 구동 액튜에이터로는 자체 위치 측정 제어기를 가지며 위치 명령 인터페이스가 간단한 서보 모터를 사용하였다. 균형 유지를 위해 발목 관절을 이용하여 무게 중심을 좌우로 이동시키는 방법을 이용하였고, 무게 중심 시뮬레이션을 통해 균형 유지에 필요한 몸체 균형각을 찾았다.

추후로는 힘 감지기(Force sensor), 가속도 센서 등과 같은 센서들을 사용하여 로봇의 자세를 실시간으로 감지하고 로봇의 보행 궤적을 수정하는 온라인 알고리즘을 개발하여 로봇의 동 보행과 비평지에서의 보행이 가능하도록 할 예정이다.

참고문헌

- [1] Jin'ichi Yamaguchi, et al, "Realization of dynamic biped walking varying joint stiffness using antagonistic driven joints," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2022-2029, 1998.
- [2] Y. Fujimoto and A. Kawamura, "Three dimensional digital simulation and autonomous walking control for eight-axis biped robot," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2877-2884, 1995.
- [3] Satoshi Kagami, et al, "Design and development of a legged robot research platform JROB-1," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 146-151, 1998.
- [4] 김종태, 김진걸, "유전 알고리듬을 이용한 이족 보행 로봇의 균형 궤적 생성에 관한 연구," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, vol. 5, no. 8, pp. 969-976, 1999.
- [5] 이수영, 홍예선, "4족 보행 로봇의 걸음새 안정화를 위한 몸체 임피던스 제어," *전기학회 논문지*, 49D권, 5호, pp. 257-263, 2000.
- [6] Homayoun Seraji, et al, "Experiments in real-time collision avoidance for dexterous 7-arm arms," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 569-574, 1997.
- [7] 이종원, "휴먼로봇 시스템 개발 사례," *Proc. of KIEE*, vol. 47, no. 10, pp. 18-22, 1998.
- [8] Kazuo Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1321-1326, 1998.
- [9] Fumio Kanehiro, et al, "Development of a two-armed bipedal robot that can walk and carry objects," *Proc. of IROS'96*, pp. 23-28, 1996.
- [10] Fumio Kanehiro, et al, "Development of a remote-brained humanoid for research on whole body action," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1302-1307, 1998.
- [11] A. Takanishi et al, "Dynamic biped walking stabilized with optimal trunk and waist motion," *Proc. of IROS98*, pp. 187-192, 1989.
- [12] Q. Li, A. Takanish, and I. Kato, "Learning control of compensative trunk motion for biped walking robot based on ZMP stability criterion," *Proc. of IEEE/RSJ IROS'92*, pp. 597-603, 1992.
- [13] M. Yagi, K. Stark, and V. J. Lumelsky, "Control of planar biped robot locomotion in the presence of disturbances", *IASTED Int'l Conf. on Intelligent Systems and Control*, pp. 214-217, 1998.
- [14] RC-Servo motor catalogue, Futaba, 1999.
- [15] R. Paul, *Robot manipulators*, MIT Press, 1981.



성영희

1962년 5월 20일생. 1988. 8 고려대학교 전자공학과(공학사). 1991. 2 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1996. 2 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1995. 9 ~ 1996. 8 Oxford university, Dept. of Engineering Science, Robotics Research Group, Post Doc. 1996. 9 ~ 1998. 2 LG 산전, LG 종합기술원, 선임연구원. 1998. 3 ~ 현재 국립금오공과대학교 전자공학부 조교수. 주관심분야는 휴머노이드 로봇, 여유자유도 머니플레이터, 지능제어.



이수영

1964년 10월 2일생. 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 3월 ~ 1999년 8월 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터, 선임연구원. 1997년 2월 ~ 1998년 2월 Univ. of Southern California, Dept. of EE and CS, Post Doc. 1999년 9월 ~ 현재 국립전북대학교 전자정보공학부 전임강사. 주관심 분야는 휴머노이드 로봇, 보행 알고리즘, 지능제어.