

지능형 제어기법 및 센서 인터페이스를 이용한 이족 보행 로봇의 동적보행 제어

論 文

56P-4-2

Dynamic Walking Control of Biped Walking Robot using Intelligent Control Method and Sensor Interface

高在源[†]·林東哲^{*}
(Jaw-Won Kho · Dong-Cheol Lim)

Abstract - This paper introduces a dynamic walking control of biped walking robot using intelligent sensor interface and shows an intelligent control method for biped walking robot. For the dynamic walking control of biped walking robot, serious motion controllers are used. They are main controller(using INTEL80C296SA MPU), sub controller(using TMS320LF2406 DSP), sensor controller(using Atmega128 MPU) etc. The used sensors are gyro sensor, tilt sensor, infrared sensor, FSR sensor etc. For the feasibility of a dynamic walking control of biped walking robot, we use the biped walking robot which has twenty-five degrees of freedom(D.O.F.) in total. Our biped robot is composed of two legs of six D.O.F. each, two arms of five D.O.F. each, a waist of two D.O.F., a head of one D.O.F.

Key Words : Biped Walking Robot, Dynamic Walking, Intelligent control, Intelligent Sensor Interface

1. 서 론

최근에는 스스로 환경을 인식하고, 학습, 추론을 통한 판단을 할 수 있는 지능 로봇에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이족 보행 로봇에 대한 연구는 그 목적에 따라 크게 두 가지로 나누어 질 수 있는데 그 첫째는 이족 보행 로봇의 순수 제어에 관련된 연구이고 둘째는 걸음새의 안정화에 관련된 연구이다[1][2]. 또한 로봇이 쓰러지지 않고 안정하게 걸을 수 있는 각 관절의 궤적 생성 역시 중요한 문제로서 기존 궤적의 생성 방법에 따라서는 다음과 같은 내용의 연구가 진행되어 왔다. 패시브 다이내믹스(passive dynamics)를 이용한 방법으로서 무동력 상태에서 경사를 내려오는 걸음걸이 생성방법[3], 역진자 모델에 기초한 형태로서 로봇 트렁크가 추종하게 될 기준 경로 및 각 관절의 지면과의 기구학적인 관계로부터 기준 궤적을 구하는 방법[4], 뉴럴 오실레이터를 이용하여 일정한 주기의 반복 함수를 생성하고 외부 센서로부터의 입력 데이터에 따라 보정하여 기준 경로를 생성하는 방법[5], 모의 실험이나 또는 실제 제작한 로봇에 대하여 적절한 걸음걸이가 생성될 때까지 반복적으로 보행을 시켜가면서 기준 경로를 보정하는 방법[6], 그 밖에 정역학 및 동역학을 고려하고 ZMP(Zero Moment Point), 자이로센서, 기울기 센서, 지면과의 임팩트 등 센서 입력을 참조하여 걸음걸이를 보정하면서 기준 경로를 추종

하는 방법[7][8][9] 등 여러 방면의 연구가 이루어져 있다.

이족 보행 로봇의 제어에 있어서 로봇의 관절 제어를 어렵게 하는 요인은 관절에 실리는 부하와 마찰 등이 보행 주기에 따라 매우 크게 변화한다는 점이다. 여기에 파라미터와 같은 동적 특성의 변화에 대한 적응 능력이 떨어지는 선형 PID 피드백 제어기[10][11] 등의 일반적인 선형 제어기를 적용한다면 보행의 각 단계 마다 오차가 생기는 정도가 달라져 전체적인 걸음을 안정화시키는 이득값을 찾기는 대단히 힘들 것이다. 따라서 로봇이 처한 환경의 실시간 상황 인식을 위한 지능형 센서 인터페이스를 연구 개발하여 다양한 환경에서의 안정되고 유연한 이족 보행 로봇의 동적 보행 제어를 보이고자 한다.

본 논문에서는 이와 같은 지능형 센서 인터페이스 제어기법을 25자유도를 가지는 이족 보행 로봇에 적용하여 기준 궤적 추종 작업을 수행함으로써 제안된 제어기법의 안정도 보장 및 외부 환경에 대한 강인성을 평가하고자 한다.

2. 이족보행 로봇 시스템

표 1과 그림 1은 각각 이족 로봇 사양, 이족 로봇 모델을 나타내고 있다. 그림 1에서 좌측 그림은 VC++, Open GL을 이용한 이족 보행 로봇의 시뮬레이션 모델을 나타내고 있고 우측 그림은 실제 제작된 이족 보행 로봇의 모습을 나타내고 있다.

실제 제작된 이족 로봇의 몸체 설계에 있어서 중요한 부분을 설명하면 다음과 같다. 먼저 상체에 있어서 관절의 힘을 증가시키기 위해서 어깨와 팔꿈치의 경우에 관절당 모터를 2개씩 사용하였는데 그 구조가 그림 2에 나와 있다. 상체의 경우 로봇 무게 감소를 위하여 그 재질을 대부분 아세틸로 사용하였고 비교적 힘이 많이 가해지는 어깨 및 팔꿈

[†] 교신저자, 正會員 : 柳韓大學 컴퓨터制御科 副教授 · 工博
E-mail: jwkho@yuhan.ac.kr

^{*} 準會員 : 斗源工科大学 디스플레이工學科 專任講師
接受日字 : 2007年 8月 14日
最終完了 : 2007年 11月 1日

치 관절 등의 경우에는 3t의 알루미늄 재질을 사용하였다.

표 1 이족 로봇 사양

Table 1 The specification of the biped robot

1	이족 로봇 본체	키	85cm
		무게	10kg
		D.O.F.	25(다리 - 12, 허리 - 3, 팔 - 10, 목 - 1)
		기구부 재료	알루미늄 50,60,70
		액추에이터	RC 모터(HSR - 5995TG)
2	로봇 제어기	CPU	TMS320LF2406A
		음성 모듈	JT-1000
		센서	자이로, 가속도, 압력 센서
		배터리	리튬 폴리머

또한 그림 3과 그림 4의 두 구성을 결합해서 1자유도를 구성하고 거기에 2개짜의 자유도를 구성하게 하는 풀리를 추가시킨 구조가 그림 5에 나와 있고 거기에 그 풀리를 구동시키게 되는 구동부까지 포함한 전체 2자유도 구조가 그림 6에 나와 있다. 이 경우 역시 두 개의 풀리는 그 비율이 1대2이다. 하체의 경우에 로봇 하중 등의 큰 힘을 받는 점을 고려하여 그 재질로 3t이상의 알루미늄을 사용하였다.

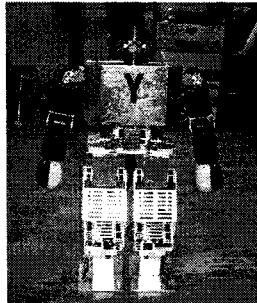
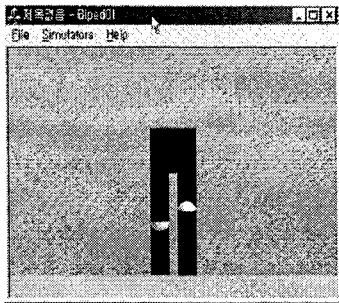


그림 1 시뮬레이션 로봇 모델 및 실제 로봇
Fig. 1 Simulation robot model and the real robot

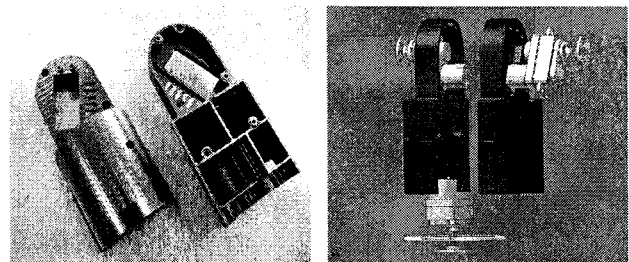


그림 2 어깨, 팔꿈치 관절의 구조 및 분해도
Fig. 2 The structure of shoulder and elbow joint

또한 하체의 경우에는 좀 더 큰 힘을 얻기 위해서 관절 당 모터를 2개씩 사용하는 것 외에 타이밍 벨트와 풀리를 사용하였는데 그 구조가 그림 3과 그림 4에 나와 있다. 각 관절당 모터를 2개씩 사용함에 있어서 그림 3은 첫 번째 모터를 구성하는 내용이고 그림 4는 두 번째 모터를 구성하는 내용인데 이 두 구성을 결합함으로써 결국 임의의 관절의 1 자유도가 형성되게 된다. 그림 3과 그림 4는 구성 내용은 둘 다 공통적으로 모터 1개와 풀리 2개, 베어링 3개, 그리고 나머지는 가공된 알루미늄 부속품으로 되어 있다. 이때 타이밍 벨트는 1대2의 비율을 가지는 큰 풀리와 작은 풀리를 서로 연결시키게 된다.

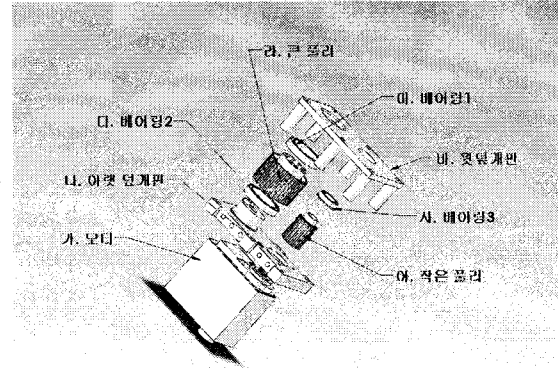


그림 3 첫 번째 모터의 구성
Fig. 3 The configuration of the first motor

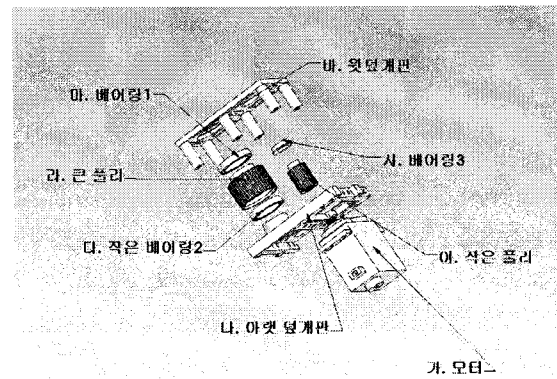


그림 4 두 번째 모터의 구성
Fig. 4 The configuration of the second motor

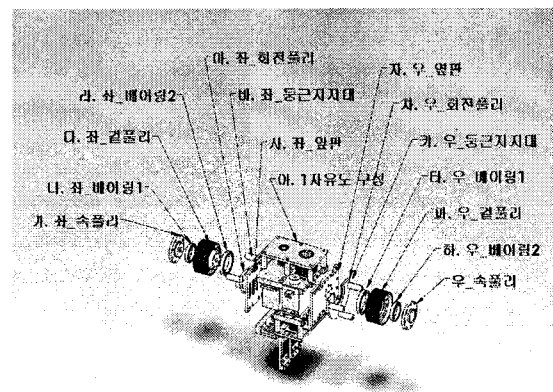


그림 5 1 자유도 구성
Fig. 5 The configuration of one D.O.F

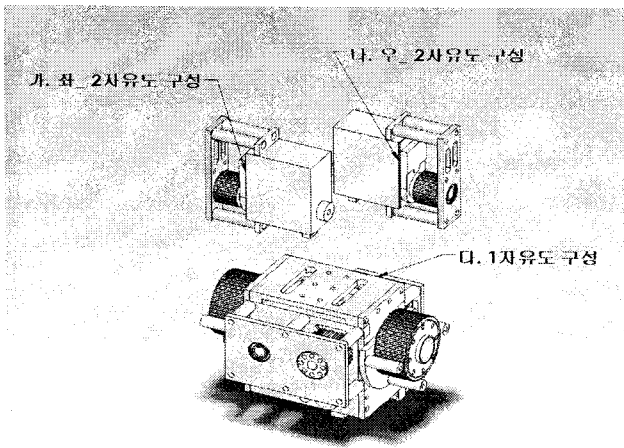


그림 6 2 자유도 구성
Fig. 6 The configuration of two D.O.F.

3. 로봇 보행 및 제어 알고리즘

이족 보행 로봇의 걸음걸이는 정적인 보행과 동적인 보행으로 나눌 수 있다. 정적인 보행은 로봇의 무게중심의 수직 투영점(VPCG : Vertically projected Point of the Center of Gravity)이 안정된 지지영역 내에 항상 존재하는 보행방식이다. 반면 동적인 보행은 로봇이 보행중에 무게중심의 지지영역 이탈을 허용하는 걸음걸이로서 이 경우 무게중심이 아닌 ZMP(Zero Moment Point)가 안정된 지지영역 내에 위치해야 한다.

정적보행의 경우는 링크의 운동 가속도가 중력 가속도 g 보다 매우 작아서 아래 식 (1)에 의하여 정의되는 VPCG가 지지점들을 연결한 convex hull 내에 존재하는 것만으로도 전도됨이 없이 안정성이 확보되는 경우로서, 이는 곧 대부분의 무게를 차지하는 몸통이 직립한 상태에서 그 위치가 한쪽 지지 발이나 양쪽 지지 발들 중간에 오는 걸음새가 되는 것이고, 따라서 정적보행 형태로서는 보행속도가 어느 이상을 넘지 못할 것으로 판단된다.

$$x_{VPCG}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad y_{VPCG}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i \quad (1)$$

동적 보행의 경우는 운동 가속도가 충분히 커서 식 (2)로 정의되는 ZMP가 상기 convex hull 내에 존재하게 하는 걸음새로, 인간의 평소 보행처럼 몸통을 약간 굽히므로써 자중에 의한 모멘트와 가속시 진행과 반대 방향으로 작용하는 관성력에 의한 모멘트를 상쇄시키는 방식을 의미한다.

$$x_{ZMP}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)x_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_i z_i - \sum_{i=1}^n I_{ix} \Omega_{ix}}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \quad (2a)$$

$$y_{ZMP}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)y_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{y}_i z_i - \sum_{i=1}^n I_{iy} \Omega_{iy}}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \quad (2b)$$

보행의 과정은 먼저 직교 관성 좌표계 (x :진행방향, y :횡방향, z :중력 방향)를 기준으로 지면에 적용하기 위한 양발의 위치와 방위 궤적을 시간 함수로 발생시키고 동시에 single support와 double support phase를 고려하여 ZMP의 지면상 위치 x_{ZMP}, y_{ZMP} 를 한발 내부 혹은 두발 사이에 지정한다.

더불어 동적 안정성을 위한 식 (2)의 ZMP 조건을 만족시키도록 골반 이상 링크의 운동을 역시 시간의 함수로 구하여 지정한다.

이족 로봇의 보행은 어떤 한 주기의 걸음걸이 형태의 반복으로 구성한다. 따라서 본 연구에서는 반복되는 특정 걸음걸이 형태를 여러 개의 작은 부분 동작으로 분해하고 각각의 부분 동작에 대한 모터의 위치값을 구하여 걸음걸이를 구현하였다.

본 연구에서는 보다 간단한 기구학 해석을 위하여 작은 부분 동작으로 연결되는 이족로봇의 특성을 이용하였다. 본 연구에서는 로봇의 VPCG를 고려하여 전체 GAIT를 19개의 부분 동작으로 나타내었으며, 다음 그림 7은 직선보행을 19개의 부분 동작으로 나눈 로봇의 정면과 측면, 그리고 밑면의 부분 동작을 나타낸 것이다.

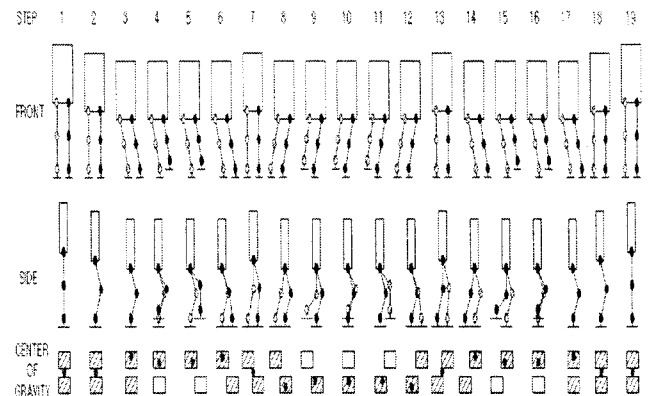


그림 7 직선 보행의 부분 동작
Fig. 7 Detail action of the straight walking

미리 계획된 보행 패턴을 사용하여 제어기에서 연속된 관절의 움직임에 계산하고 모터에 위치를 지령하여 로봇이 보행 하도록 하기 위해서는 다음의 세가지 알고리즘이 필요하다. 실시간으로 로봇의 움직임을 제어해야하므로 인터럽트에 의해 독립된 세 알고리즘이 연동된다.

그림 8에서 메인부는 수신된 정보로부터 보행 종류를 판단하고 GAIT 정보를 로드하는 부분이다. 동기화 인터럽트부는 모든 관절의 움직임이 동일하게 시작해서 동일한 시간에 종료되게 하고, 또한 다음 GATE 정보를 로드하는 시점

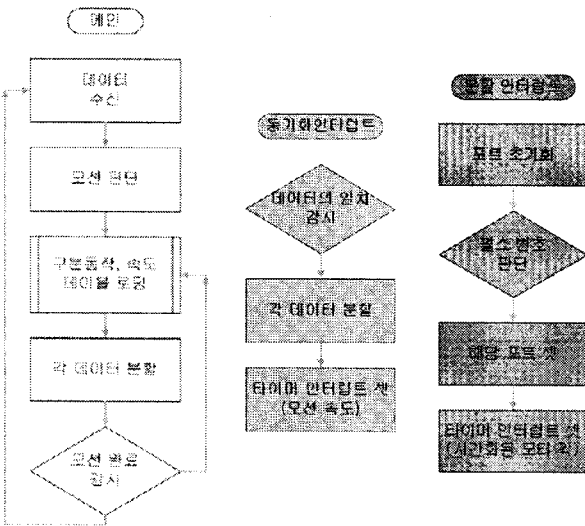


그림 8 메인 제어기 알고리즘
Fig. 8 The algorithm of the main controller

을 계산한다. 분할 인터럽트부는 로봇 관절을 구성하는 모터에 위치값을 전하기 위한 통신 신호인 PCM 신호를 생성한다.

이족 로봇에 대한 보상 모델링의 개념은 그림 9와 같다. 로봇의 상체는 항상 수직 상태를 유지해야 하고 그렇지 않으면 로봇은 불안정한 상태가 된다. 이렇게 해서 만약 로봇이 쓰러지거나 외력에 의해 기울어지면 이때 발생하는 각속도만큼 로봇의 상체를 반대로 보정해준다. 각속도에 대한 위상의 보상은 발목, 무릎 그리고 골반의 피치 관절에서 이루어진다. 다시 말하면 상체가 기울어진 만큼 로봇의 안정도도 떨어지게 되고 시간이 지날수록 로봇은 불안정한 상태에 있게 되는데 이때 기울어지는 각속도만큼 특정 관절을 반대로 보상하여 무게중심이 안정한 지지영역 안쪽으로 이동되도록 하여 균형을 잡는 것이다.

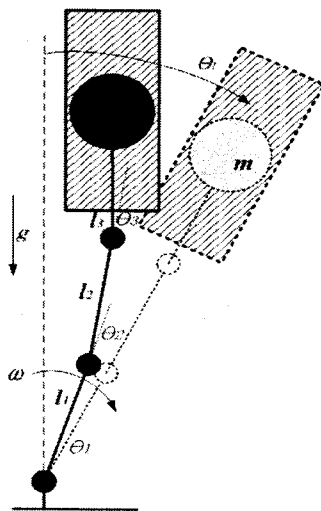


그림 9 이족 로봇 보상 모델링
Fig. 9 The compensation model of the biped robot

상체의 기울기는 수식 (3)으로부터 구해진다. 단 제어주기가 20msec 이므로 θ_t 는 매우 작다고 가정할 수 있다.

$$\theta_t = \int \omega dt \quad (3)$$

ω : 시간 t 동안 측정된 각속도
 θ_t : 상체의 기울기

이렇게 구해진 θ_t 로부터 각 관절에 보상해야 하는 값을 구한다. 이 값들도 매우 작으나 3개의 관절에 동시에 적용되므로 끝단의 상체에는 큰 영향을 준다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= K_1\theta_t, \\ \theta_2 &= K_2\theta_t, \\ \theta_3 &= K_3\theta_t \end{aligned} \quad (4)$$

K_1 : 발목 피치 각의 보상 상수
 K_2 : 무릎 피치 각의 보상 상수
 K_3 : 골반 피치 각의 보상 상수

본 연구에 적용된 로봇 제어 알고리즘은 그림 10과 같다. 먼저 상위 메인 제어기에서 하위 모션 제어기에 명령을 내리면 하위제어기는 미리 저장해 놓은 테이블에서 해당 동작을 위한 패턴 정보를 가져온다. 패턴정보는 로봇의 움직임을 몇 개의 구분동작으로 나누어 저장해 놓은 각각의 관절 각도 데이터이다. 그 다음 단계인 궤적 생성부(Path create)에서는 연속되지 않은 두개의 패턴정보로부터 로봇의 각 관절이 움직여야하는 속도와 위상을 계산한다. 한편 이득제어부(Gain controller)는 로봇의 상체에 탑재된 자이로 및 가속도센서로부터 측정된 정보를 적절한 보상 값으로 환산한다. 궤적 생성부(Path create)에서 생성된 위상은 이득 제어부(Gain controller)의 보상 데이터에 의해 제 조정되어 로봇의 각 관절 제어기에 전달된다. 로봇의 각 관절은 PD제어기에 의해 위상이 제어된다.

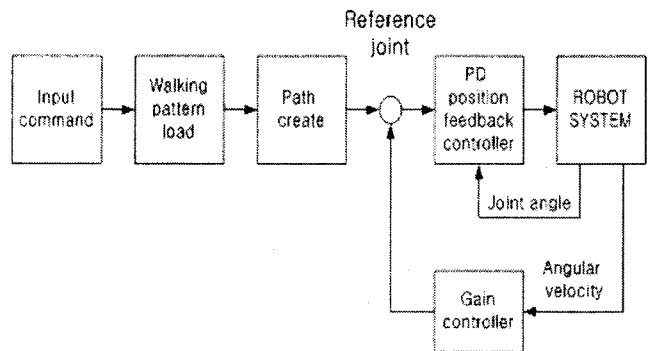


그림 10 로봇 제어 알고리즘
Fig. 10 The robot control algorithm

4. 지능형 센서 시스템 구성 및 실험

제안된 반복 학습제어 기법 및 지능형 센서 인터페이스는

25자유도를 가지는 이족 보행 로봇에 적용하였다. 그림 11은 본 연구에서 사용된 이족 로봇의 전체 제어시스템 구성도이다. 시스템의 구성은 메인 제어기, 모션 제어기, 센서 인터페이스 제어기, 로봇 기구부, PC로 이루어졌다. 메인 제어기는 TMS320LF2406A를 사용하여 음성과 장애물을 인식하여 주행을 제하고 처리하는 기능을 담당한다. 이렇게 처리된 결과는 여러 개의 명령으로 모션 제어기에 보내진다. INTEL80C296SA로 이루어진 모션제어기는 해당 모션 데이터를 로드하여 25개의 관절을 동시에 제어한다. 시스템내의 센서 인터페이스를 담당하는 두개의 센서 제어기는 ATMEGA32를 사용하여 자이로와 가속도 센서, 그리고 압력센서의 정보를 통합한다. 모션 제어기는 센서 정보를 PCM방식으로 전송받아 균형을 잡거나 안정된 상태를 유지하는데 사용한다.

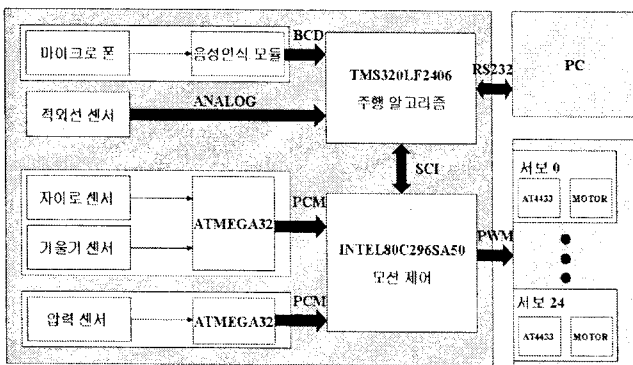


그림 11 전체 제어시스템 구성도
Fig. 11 The configuration diagram of overall control system

본 연구에 사용된 음성인식 처리 모듈은 JT-1000 모델로서 화자 종속 방식으로 10개의 단어를 저장시킬 수 있다. 음성 인식 결과는 시리얼 BCD 코드로 출력되어 메인 제어기로 전송되어 로봇을 동작시키게 된다. 표 2는 본 연구에서 사용한 음성 인식을 위해 필요한 명령들이다. 음성 인식에 성공하면 로봇은 명령에 대응되는 동작 및 보행을 한다.

한편, 본 연구에서는 효율적으로 센서 정보를 처리하기 위해 별도의 센서 인터페이스 제어기를 제작하였다. 그림 12는 로봇의 안정성을 보장하기 위한 안정도 제어 시스템이다. 자이로와 가속도 센서는 측정하는 정보의 종류가 서로 상이하지만 로봇의 급격한 움직임이나 자세 변화를 억제하는 등의 서로 같은 기능을 담당하고 있다. 측정되어 가공된 이 두 데이터는 로봇의 다리에 적용되어 로봇의 X축 방향(앞뒤, 진행 방향)과 Y축 방향(좌우 측면 방향)으로 무게중심을 이동하는데 사용된다. 본 연구에서 사용된 센서에 있어서 자이로 센서의 경우 일본 무라타사의 ENV-05G 모델로서 1축의 회전 각속도를 측정할 수 있고 가속도 센서의 경우 SA1 모델로 이것은 가속도를 측정할 수 있는 초소형 가속도 센서이다.

그림 13은 로봇이 균형을 잡는데 사용되는 균형 제어 시스템이다. 각 발바닥에 4개씩 장착되어 있는 FSR 압력센서 데이터를 이용하여 로봇의 ZMP를 측정한다. 측정된 ZMP를 이용하여 경사면이나 알 수 없는 불규칙한 지형에서 로봇의 균형을 유지하도록 한다. 본 연구에서는 이 FSR 압

력센서를 사용하여 로봇의 실제 ZMP를 측정하였다. 출력 전압/힘의 출력 특성은 거의 선형성을 유지하고 있어 ZMP 계산을 위한 수식에 바로 적용하였다. 그림 10에서 보는 바와 같이 출력은 X축 PCM신호와 Y축 PCM 신호로 나누어진다.

표 1 음성인식 명령표
Table 1 The command table of speech recognition

구분	명령	BCD	패킷	내용
1	전진	0001	:F	앞으로 5걸음을 보행한다.
2	후진	0010	:B	뒤로 5걸음을 보행한다.
3	좌회	0011	:L	왼쪽으로 회전한다.
4	우회	0100	:R	오른쪽으로 회전한다.
5	앉아	0101	:D	앉은 상태에서 일어선다
6	기상	0110	:U	일어선 상태에서 앉는다.
7	인사	0111	:H	허리를 숙여 인사한다.
8	손	1000	:A	팔을 들고 짐게손을 움직인다.
9	탐색	1001	:S	장애물을 회피하며 자율 보행한다.
10	정지	1010	:S	탐색을 정지시키거나 반복된 명령을 인식시킨다.

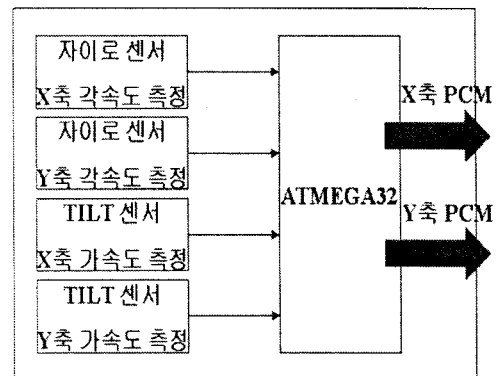


그림 12 로봇 안정도 제어시스템
Fig. 12 The robot stability control system

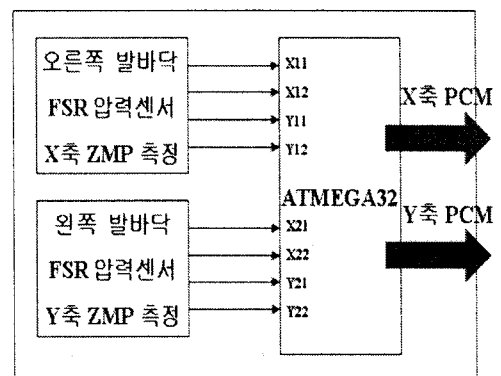


그림 13 로봇 균형 제어시스템
Fig. 13 The robot balance control system

로봇의 눈의 역할을 담당하는 적외선 센서는 본 연구에서 두개의 센서를 사용하여 사람의 실제 눈과 흡사한 구조로 설계, 배치되었다. 사용된 적외선 센서는 GP2D12 모델로서 10~80cm의 거리내의 장애물을 감지할 수 있다. 적외선 센서로 장애물의 거리를 측정하기 위해서는 출력/거리 다이어그램이 필수적이다. 비선형성을 갖는 이 센서의 출력/거리 데이터는 테이블로 변환하여 사용하였다.

센서 인터페이스 적용에 대한 실험은 이족 로봇이 정지해 있는 상태에서 수행되었다. 매우 짧은 시간에 일어나는 보상은 보행과 정지 상태 모두 같다는 조건에서 이루어졌다. 자이로 센서가 없을 때의 외력에 대한 반응 속도와 자이로 센서를 적용할 때의 외력에 대한 반응 속도를 비교하였다. 그림 14와 그림 15에서 그래프는 무릎, 골반, 발목 그리고 자이로 센서 출력의 궤적 순으로 나열되었다. 먼저 그림 14는 센서가 적용되지 않았을 때의 결과를 보여주고 있다. 외란발생 시점부터 로봇이 앞뒤로 심하게 흔들리다 약 3초가 지난 후에야 안정된 상태가 된다. 로봇의 흔들림 정도는 상체 자이로 센서로부터의 각속도이다. 반면 자이로 센서를 적용한 그림 15의 실험결과에서는 약 0.5초 만에 안정된 상태가 되는 것을 확인할 수 있다. 실제 실험에서 로봇의 불안정한 흔들림은 머리를 기준으로 했을 때 약 10cm 이상으로 확연하게 차이를 보였다.

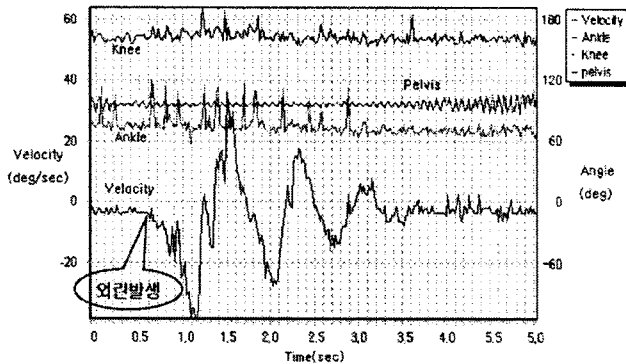


그림 14 자이로 센서 비적용시 관절 데이터
Fig. 14 The joint data at no application of gyro sensor

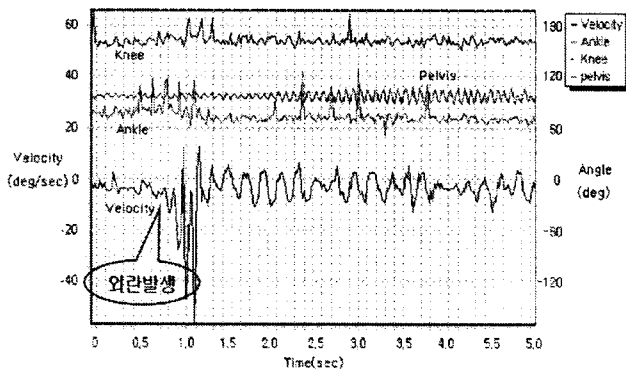


그림 15 자이로 센서 적용시 관절 데이터
Fig. 15 The joint data at the application of gyro sensor

5. 결 론

본 논문은 제한된 환경에서만 이동할 수 있는 기존의 로봇에 비해 인간이 생활하는 환경에 적용하기가 보다 적합한 로봇으로서 이족 보행 로봇을 제어 대상으로 정하였고 로봇이 처한 환경의 실시간 상황 인식을 위한 지능형 센서 인터페이스를 연구 개발하여 다양한 환경에서의 안정되고 유연한 이족 보행 로봇의 동적 보행 제어를 수행하였다. 자이로 및 가속도 센서를 적용한 실험을 통하여 간단한 보상만으로도 로봇의 안정도가 확연히 개선되는 사실을 알 수 있었다. 미지의 외력이 가해져 로봇이 불안정한 상태가 계속될 때 상체의 기울기 보정이 무게중심을 보다 안정된 영역쪽으로 이동시켜 곧바로 균형을 잡아준다. 또한 압력센서를 이용한 ZMP 측정과 이를 통한 균형 제어 실험 결과 뛰어난 보행을 구현할 수 있었다. 불규칙적인 지면에서도 발바닥에 가해지는 압력 분포가 변화하는 것을 이용하여 ZMP가 항상 로봇의 발바닥 지지 영역 안으로 오도록 제어하였다. 이것을 통해 로봇은 경사면을 보행하거나 기울기가 변하는 바닥에서 쓰러지지 않고 안정한 상태를 유지하였다.

향후 연구과제는 어떠한 상황 및 환경에서도 이족 보행 로봇이 유연하게 대처하여 넘어지지 않고 걸음을 행할 수 있도록 하는 좀 더 지능화된 보행 알고리즘 및 센서 인터페이스에 대한 연구이다.

참 고 문 헌

- [1] C. Chevallereau and Y. Aoustin, "Optimal reference trajectories for walking and running of a biped robot," *Robotica*, vol. 19, no. N5, pp. 557-569, 2001.
- [2] J. W. Grizzle, G. Abba, and F. Plestan, "Asymptotically stable walking for biped robots : analysis via systems with impulse effects," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 46, pp. 51-64, Jan. 2001.
- [3] Tad McGeer, "Passive dynamic walking," *International Journal of Robotic Research*, vol. 9, no 2, pp. 62-82, 1990.
- [4] S. Kajita and K. Tani, "Adaptive gait control of biped robot based on realtime sensing of the ground profile," *IEEE Conference on Robotics and Automation*, pp.570-577, 1996.
- [5] W. Ilg, J. Albiez, H. Jedele, K. Berns, R. Dillmann, "Adaptive periodic movement control for the four legged walking machine BISAM dynamic walk of a biped," *Proc. of International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2354-2359, May 1999.
- [6] J. Pratt, P. Dilworth, and G. Pratt, "Virtual model control of a bipedal walking robot," *IEEE Conference on Robotics and Automation*, pp. 193-198, 1997.
- [7] G. Kinoshita, T. Kimura and M. Shimojo, "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.

- [8] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO : System overview and integration," Proc, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2478-2483, 2002.
- [9] Kazuo Hirai, Masato Hirose, Yuji Haikawa, Toru Takenaka, "The development of Honda humanoid robot," Proc. of International Conference on Robotics and Automations, pp. 1321-1326, 1998.
- [10] Levis, A. H., et al., "Challenges to control : a collective view," IEEE Trans, AC,, vol. 32, No.4, pp. 275-285, Apr. 1987.
- [11] Tae-yong Kuc, Kwang-hee Nam, and Jin S. Lee "An iterative learning control of robot manipulator," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.7, No.6, Dec, 1991.

저 자 소 개



고 재 원 (高在源)

1957년 2월 21일생. 1981년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1986~1992 삼성전자 자동화연구소 선임연구원. 1993~1995 고등기술연구원 생산기술연구실 책임연구원.

1996~현재 유한대학 컴퓨터제어과 부교수

Tel : 02-2610-0833

Fax : 02-2682-6080

E-mail : jwkho@yuhan.ac.kr



임 동 철 (林東哲)

1966년 2월 21일생. 1992년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001~현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정. 2007. 3.~현재 두원공과대학 디스플레이공학과 전임강사

Tel : 031-670-7078

Fax : 031-670-7179

E-mail : dclim@doowon.ac.kr