

DSP를 사용한 소형 인간형 로봇의 제어기

A DSP-based Controller for a Small Humanoid Robot

조 정 산*, 성 영 휘*

Jeong-San Cho*, Young-Whee Sung*

요 약

2족 보행을 특징으로 하는 인간형 로봇은 구동해야할 관절의 수가 매우 많으며, 로봇의 보행 상태 등을 인식하기 위하여 다양한 센서의 활용이 필요하다. 본 논문에서는 21개의 RC 서보 모터를 사용한 소형의 2족 보행 로봇의 제어기의 구조를 제안하고 구현한다. 제안된 제어기는 호스트 PC와 DSP를 사용한 주 제어기, 그리고 FPGA를 사용한 보조 제어기의 계층 구조를 갖는다. 호스트 PC에서는 보폭, 보행 시간 등과 같은 보행 파라미터에 따른 로봇의 보행 데이터를 생성하여 주 제어기로 전송하고, TI사에서 제어용으로 출시된 DSP 칩인 TMS320LF2407A를 사용하여 구현된 주 제어기에서는 보조 제어기를 통하여 21개의 RC 서보 모터를 구동한다. 또한 주 제어기와 2축 가속도 센서를 인터페이스하여 보행 바닥면의 경사도에 따른 균형잡기 실험과 기울어진 바닥면의 기울기를 검출하여 경사면 보행이 가능함을 보인다.

Abstract

Biped walking is the main feature of a humanoid robot. In a biped walking robot, there are many actuators to be controlled and many sensors to be interfaced. In this paper, we propose a DSP-based controller for a miniature biped walking robot with 21 RC servo motors. The proposed controller has a hierarchical structure; a host PC, a DSP-based main controller, and an auxiliary controller with an FPGA chip. The host PC generates and transmits the robot walking data for given walking parameters such as stride, walking period, etc. The main controller implemented with a TMS320LF2407A controls 21 RC servo motors via the auxiliary controller. We also perform some experiments for balancing motion and walking on a slope terrain with interfacing a 2-axis acceleration sensor and a TMS320LF2407A.

Key words : Humanoid robot, Biped walking robot, DSP

I. 서 론

오늘날 산업의 급속한 발전에 따라 로봇의 비중이 점차 증가하고 있으며, 구조와 용도 및 기능에 있어서도 많은 다양화가 진전되어 왔다. 특히, 보다 다양한 환경에서 작업을 가능하게 하기 위해서는 인간과 같이 보행이 가능한 로봇 시스템 구현에 대한 요구가 대두되고 있다. 일반적으로 보행로봇(walking robot)은 사람, 동물 혹은 곤충의 모습을 닮은 여러 개의 발을 지닌 로봇으로서 2족, 4족, 6족 등 다양한 형태를 띄고 있다[1-3]. 이러한 보행 로봇 중에서도 2족 보행로봇 (biped walking robot)은 인

간과 가장 유사한 형태를 지니기 때문에 인간이 생활하고 작업하도록 구축된 작업환경에서 로봇을 변형 없이 적용할 수 있는 장점을 가지고 있으며 근래에 많은 연구가 이루어지고 있다[4,6]. 한편 2족 보행 로봇의 제어기는 로봇에 탑재되지 않고 원격지의 PC 나 워크 스테이션을 제어기로 사용하고, 통신을 이용하여 로봇에게 제어 명령을 주거나, 소형의 마이크로 프로세서, 원보드 PC, DSP, 전용 고성능 프로세서 등을 로봇에 탑재하여 제어기로 사용하는 형태가 있다.

본 논문에서는 2족 보행 로봇의 제어기의 구현에 관하여 고찰한다. 제어 대상 시스템은 소형으로 제작된 2족 보행 로봇으로서, 총 21개의 자유도를 갖는다. 이와 같이 2족 보행 로봇에서는 구동해야할 모터의 수가 많으며, 또한 보행 상태 등과 같은 외부 정보를 얻기 위해서 다수

*금오공과대학교 전자공학부

접수 일자 : 2005. 8. 30 수정 완료: 2005. 10. 25

논문 번호 : 2005-3-8

의 센서들과 인터페이스를 해야할 필요가 있다. 본 논문에서는 TI사의 DSP 중에서 제어 응용을 위해서 출시한 TMS320LF2407A[7] 칩과 FPGA 칩을 사용한 계층 구조의 제어기를 구현하여 RC 서보 모터의 제어 그리고 로봇의 보행 상태에 대한 정보를 얻기 위한 가속도 센서와의 인터페이스에 관하여 실험하고 결과를 기술한다.

II. 소형 2족 보행 로봇 시스템

로봇의 전체 시스템은 기구부와 탑재 제어부, 그리고 원격지의 호스트 PC로 나눌 수 있는데, 2족 로봇의 몸체는 세부적으로 로봇의 관절을 구성하는 21개의 서보 모터와 주변 환경에 대한 정보 획득을 위한 칼라 CCD 카메라, 로봇 제어기 회로로 구성된다.

원격제어를 위한 호스트 PC에는 로봇의 CCD 카메라로부터 획득된 영상 정보를 디지털화하는 프레임 그래버가 장착되어 있고, 캘리브레이션과 영상 처리 모듈, 영상 처리된 결과로부터 로봇의 보행 경로를 생성하는 경로 계획 모듈 등이 있다. 또한 로봇의 모션 데이터를 주 제어기인 DSP에 시리얼 통신을 통하여 전송하는 기능도 수행한다. 그림 1은 전체 2족 보행 로봇 시스템의 구성도를 나타낸다.

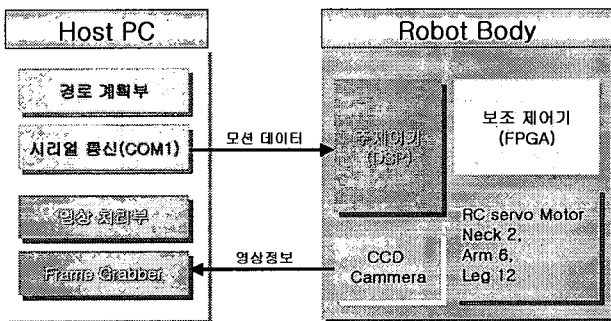


그림 1. 전체 시스템 구성도

Fig. 1. The overall system configuration

1. 로봇 기구부

제작된 로봇은 전체 키가 41cm, 몸무게가 2600g이며, 한 다리에 6 자유도와 한 팔에 3 자유도, 그리고 목에 2 자유도, 허리에 1 자유도를 가져, 총 21 자유도를 가지는 소형의 인간형 보행 로봇이다. 머리 부분에는 아날로그 칼라 CCD 카메라가 장착되어 있고, 각 다리는 6 자유도를 가지고 있어 기본적인 보행뿐만 아니라 좌·우 보행, 회전 보행, 계단 오르기 등의 보행 동작을 수행 할 수 있다. 로봇을 구동하는 액츄에이터로는 RC 서보 모터를 채택하였는데, 각 자유도마다 하나의 RC 서보 모터로 구성하여 총 21개의 RC 서보 모터가 사용되었다. 사용된 모

터는 세 종류로 골반 부분과 허리에는 13.0kg·cm의 토크를 갖는 디지털 RC 서보 모터를, 나머지 다리 부분과 목 관절에는 11.0kg·cm의 토크를 갖는 아날로그 RC 서보 모터를, 그리고 팔 부분에는 3.0kg·cm의 토크를 갖는 아날로그 RC 서보 모터를 사용하였다. 제작된 로봇은 알루미늄 합금을 이용한 프레임으로 각 관절에 해당하는 RC 서보 모터를 연결하였고, 로봇의 몸체 또한 알루미늄 합금을 이용하여 구성하고 있다. 로봇이 주변 환경을 인식하는 수단으로는 소형의 칼라 CCD 카메라를 채택하였으며 무게를 줄이기 위해 보드 카메라를 사용하여 무게를 감소시켰다. 그림 2의 (a),(b)와 (c)는 각각 로봇의 관절 구성과 설계, 외관을 보이고 있다.

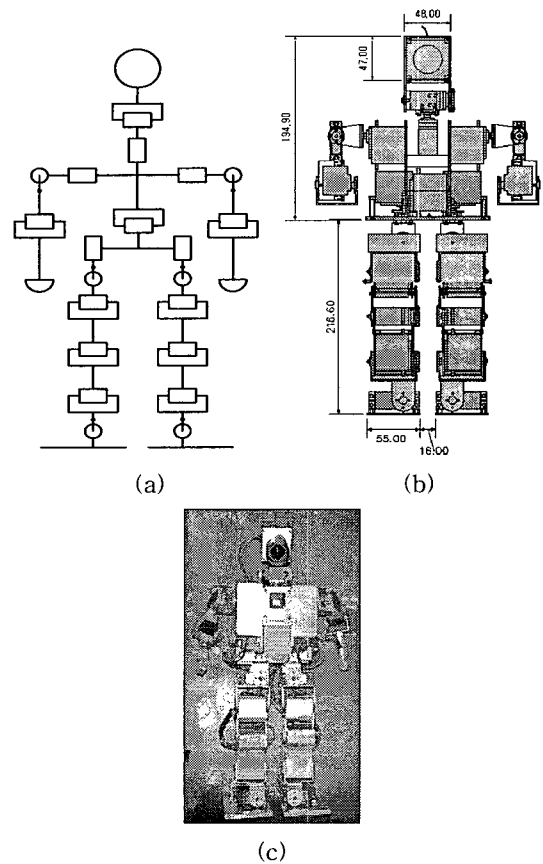


그림 2. 소형 2족 보행 로봇

(a) 관절구성 (b) 로봇의 설계 (c) 외관

Fig. 2. The small biped robot

(a) Kinematic joint configuration (b) Schematic diagram (c) Appearance

2. 로봇 제어부

로봇의 제어부는 호스트 PC, 주 제어기, 보조 제어기의 세 개의 계층으로 이루어져 있다. 호스트 PC에서는 CCD

카메라로부터 획득된 영상 정보를 해석하여 주변 환경에 대한 정보를 획득하고, 이를 바탕으로 로봇의 이동 경로를 계산한다. 계산된 로봇의 경로 데이터는 무선 통신 모듈(BIM2-433-64)을 이용하여 로봇의 몸체에 부착되어 있는 주 제어기로 전송된다. 그림 3은 제어기 계층 사이의 신호 흐름을 나타내고 있다.

DSP(TMS320LF2407A)를 사용하여 구현된 주 제어기는 호스트 PC로부터 전송 받은 로봇 경로 데이터를 메모리에 저장하고, 이를 매 샘플링 타임마다 보조 제어기에 전송한다. FPGA 칩(ATC6024)을 사용하여 구현된 보조 제어기는 PWM 형태의 모터 구동 신호를 발생하여 21개의 RC 서보 모터를 병렬로 동시 구동하여 로봇의 보행 동작을 실현한다.

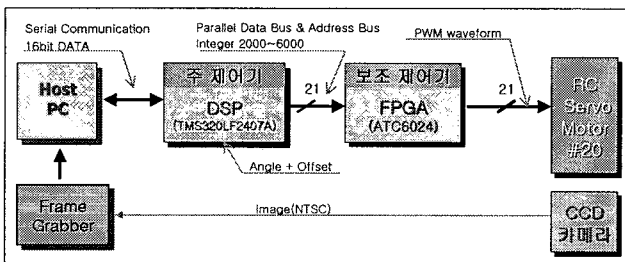


그림 3. 제어기 구조

Fig. 3. The structure of the controller

III. 2족 보행 로봇 제어기

1. 주 제어기

2족 보행 로봇의 제어기는 다수의 관절 구동부를 신속하고 정확하게 제어해야 하고, 여러 가지 센서 인터페이스도 이루어져야 하며, 외부와의 통신도 가능해야 하므로 빠른 연산과 다양한 기능을 필요로 한다. 기존의 8bit 마이크로 컨트롤러는 속도와 연산처리 부분에서 한계를 갖는다. 이러한 한계를 극복하고, Host PC에 대한 의존성을 낮추기 위해 DSP를 로봇의 제어기로 사용한다.

이전 버전에서의 로봇 제어기로는 PIC16F873 칩을 사용하였으나[6] PIC16F873은 8bit 마이크로 컨트롤러로서 데이터 분해능이 떨어지며, 21개의 RC 서보모터를 구동하기 위하여 2개의 칩이 필요하고, 호스트 PC에서 매 샘플링 시간마다 데이터를 전송해야 하며, 센서 등의 주변 회로를 인터페이스하기 위하여 별도의 마이크로 프로세서를 필요로 한다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 32K 워드의 외부메모리 영역과 내부에 강력한 주변장치를 가지고 있으며, 빠른 연산 속도를 가지는 TMS320LF2407A를 로봇의 제어기로 사용한다.

로봇 관절을 구성하는 RC 서보 모터를 제어하기 위해

서는 20ms마다 각도에 해당되는 듀티 신호를 인가해야 되는데, 이는 제어기에 상당한 부담을 안겨준다. 따라서 주 제어기의 부담을 덜기 위해서 해당각도 데이터만 전송하면 그에 상응하는 듀티 신호를 발생시키는 보조 제어기를 제안한다. 제안된 보조 제어기는 FPGA로 구성하였으며, 16bits 데이터 버스를 통해 주 제어기로부터 데이터를 입력받는다. 이전의 제어기는 시분할 기법을 사용하여 매 2.5ms 마다 신호 제어권을 넘겨주는 시리얼 통신 방식을 사용하였지만 제안된 제어기는 동시에 20개의 모터에 데이터를 전송하는 병렬 구동방식을 채택하여 보다 안정된 로봇의 동작과 샘플링 시간의 감소로 인한 부드러운 모션제어가 가능하도록 하였다. 채택된 DSP는 내부에 다양한 센서와 인터페이스 할 수 있는 장치와 인코더 인터페이스를 할 수 있는 장치가 내장되어 있어 로봇의 소형화 및 경량화에 많은 기여를 할 수 있다.

DSP(TMS320LF2407)는 TI사의 제어용 DSP로 40Mips의 속도를 가지며, 데이터 메모리는 내부에 544워드의 DARAM과 2K 워드의 SARAM이 있고, 32K 워드의 외부 메모리를 액세스 할 수 있는 인터페이스가 마련되어 있어 크기가 큰 로봇 모션 데이터의 저장에 가능하다. 프로그램 메모리는 내부에 Flash EEPROM의 전체 크기가 32K × 16 bits 이고, 외부에 32K 워드의 메모리 확장이 가능하다. 또한 64K 워드의 I/O 메모리 영역이 주어지면 회로를 확장할 때 유리하다. 제안된 제어기에서는 FPGA로 데이터를 전송할 때, 이 I/O 메모리의 외부 메모리 영역(8001h ~8014h)을 FPGA의 공간으로 할당하고, 외부 메모리 인터페이스를 이용하여 로봇 관절 데이터를 전송한다[7,8].

본 연구에서 사용된 제어기에서는 SCI Unit을 사용하여, 호스트 PC와의 통신을 수행하며, GP Timer1을 이용하여 20ms의 샘플링 타임을 발생시키고, External Memory Interface를 이용하여 모터 데이터를 보조제어기로 전송한다. PWM발생기와 QEP 회로는 기존의 21개의 RC 서보 모터 외에 로봇의 무게 중심을 이동시키기 위해서 추가적으로 부착될 DC 모터의 제어에 사용할 수 있으며, Capture와 ADC, 그리고 GP I/O를 이용하여 센서 인터페이스가 가능하다. 그림 4는 DSP를 사용한 주 제어기의 구조를 나타낸다.

2. 보조 제어기

보조 제어기는 주 제어기에서 보내온 고유의 모터 어드레스에 데이터를 저장한 후 그 값에 맞추어 신호 듀티를 생성하여 각각의 RC 서보 모터의 신호선에 공급하는 기능을 한다. 그림 5에 보조 제어기의 블록 다이어그램을 나타내었다. 보조 제어기는 파형발생부와 레벨 변환부로 나뉘어지는데 파형발생부는 FPGA를 사용하여 구현하였으며, 전압레벨 변환부에는 Octal bus Transceiver인 74LS245를 사용하였다.

FPGA는 VHDL로 내부 구조를 설계하였으며 prescaler, memory, latch, compare, counter, decoder 등의 디지털 회로들의 조합으로 이루어진다. DSP와의 인터페이스를 위하여, 16bits의 데이터버스와 6bits의 어드레스버스, 3bits의 제어 신호가 필요하다. DSP에서 I/O메모리의 해당 모터의 고유 어드레스로 데이터를 전송하면, FPGA는 해당 레지스터에 데이터를 저장하고, Compare와 Counter를 이용하여 20ms의 주기를 갖는 PWM파형을 발생시키게 된다. FPGA의 내부구조는 크게 입력단, 출력단으로 나눌 수 있는데, FPGA의 입력단은 어드레스 버스, 데이터 버스, 제어신호를 이용하여 해당 주소의 레지스터에 데이터를 저장하는 역할과 입력 클럭을 1/4로 분주하는 역할을 담당한다. 그림 6에 보조 제어기의 입력단을 나타내었다.

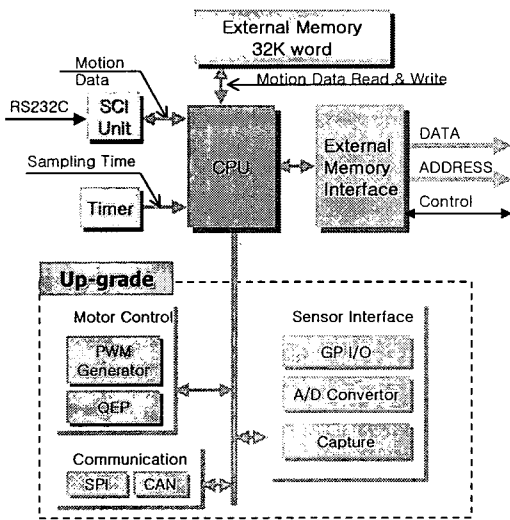


그림 4. TMS320LF2407A를 사용한 주 제어기의 구조
Fig. 4. The structure of the main controller using TMS320LF2407A

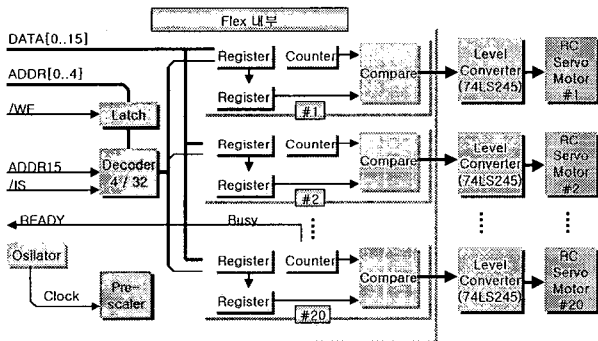


그림 5. 보조 제어기의 블록다이어그램

Fig. 5. Block diagram of the auxiliary controller

출력단은 주 제어기로부터 입력단을 통하여 들어온 신호들을 모터를 구동할 수 있는 주기적인 파형으로 변환하는 역할을 한다. 입력단을 통하여 들어온 데이터는 MEMORY_1과 MEMORY_2에 저장되고, 비교기에서는 각 모터의 각도 데이터와 카운터의 계수를 비교하여 데이터가 클 경우에는 high를, 작을 때에는 low를 발생시켜 모터의 각도 데이터에 해당되는 듀티 신호를 발생시킨다. 최종 출력부분에 D 플립플롭을 연결하여, 신호가 동시에 출력되도록 한다. 카운터의 Carry 출력은 20ms 마다 high가 되고, DSP의 READY신호와 연결되어 있다. 그림 7에 출력단의 구조를 도시하였다. 그림 8은 탑재 제어기의 실물도를 나타내고 있다.

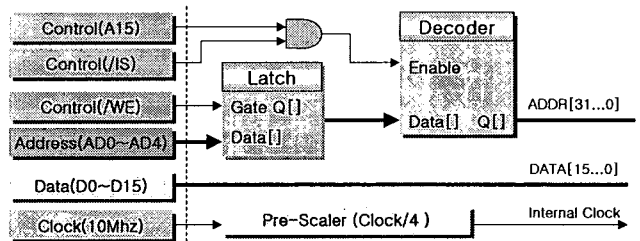


그림 6. 보조 제어기의 내부 입력단

Fig. 6. Input unit of the auxiliary controller

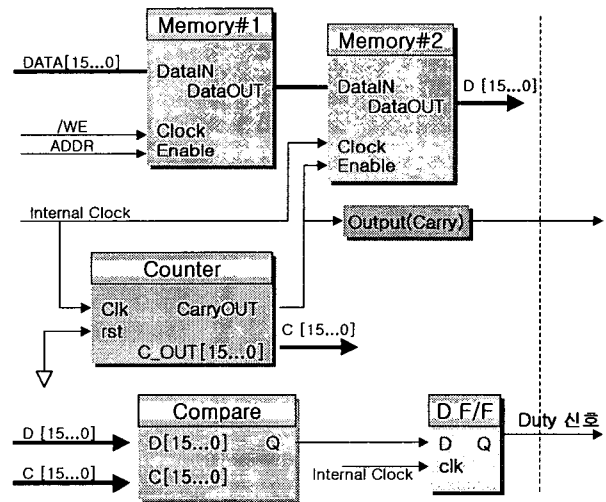


그림 7. 보조 제어기의 내부 출력단

Fig. 7. Output unit of the auxiliary controller

3. 제안된 제어기의 적용

제안된 제어기에서 DSP 프로그램은 코드 컴포저 스튜디오 2.0을 사용하여 작성 및 디버깅을 하였다. 주 제어기인 DSP의 소프트웨어 프로그램은 호스트 PC와 SCI

통신을 이용하여 받은 데이터를 메모리에 저장하는 부분과 저장된 데이터를 RC 서보 모터를 구동하기 위한 모터 데이터로 변환하는 부분, 그리고 매 샘플링 타임마다 외부 메모리 인터페이스를 이용하여 보조 제어기에 모터 데이터를 전송하는 부분으로 구성된다. 시스템에 전원을 인가하면, 제어기는 로봇의 초기 상태 즉, 곧추 서있는 직립 상태로 만들고, 호스트 PC로부터 데이터를 전송 받을 준비를 한다. 호스트 PC에서 특정 동작에 해당되는 데이터를 전송하면, DSP는 외부 데이터 메모리에 저장하게 되고, 전송이 완료되면 저장된 데이터를 사용하여 로봇은 해당 동작을 수행하게 된다. 그림 9는 다양한 보행의 예를 보인다. 전진, 좌·우 보행, 좌·우 회전 보행, 대각선 보행 등의 다양한 동작을 선택하여 실험을 한 결과 제안된 제어기를 장착한 로봇은 기존의 제어기를 사용한 로봇보다 부드럽고 안정된 동작을 보였다.

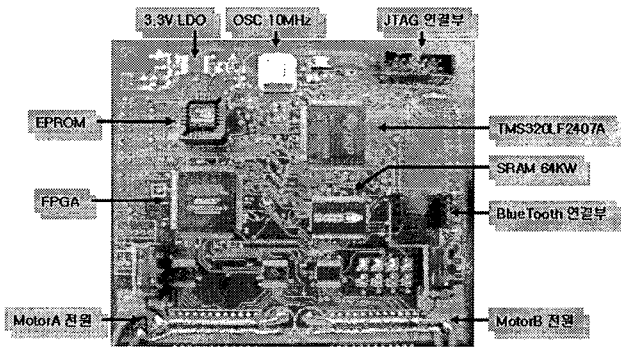


그림 8. 탑재 제어기

Fig. 8. Onboard controller

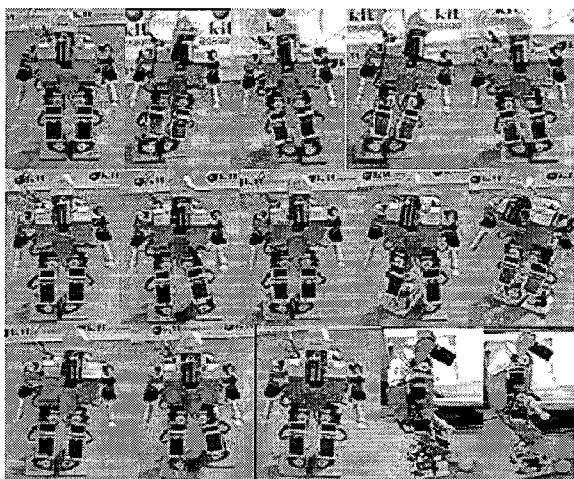


그림 9. 다양한 보행 패턴

Fig. 9. Various walking patterns

4. 센서 인터페이스

2축 보행 로봇의 제어기가 주변 환경에 대한 정보를 얻고, 이를 활용하여 보행 능력을 향상시키기 위해서는 다양한 센서와의 인터페이스가 필요하다. 현재의 로봇 제어기의 기능을 향상시키기 위해서 2축 가속도 센서를 인터페이스 하도록 한다. 본 절에서는 로봇 몸체에 센서를 부착하고, 센서의 출력값으로부터 바닥 면에 대한 로봇의 기울기를 측정하고 이 정보를 이용하여 로봇의 발목관절과 골반관절을 제어하여 균형을 유지하는 실험과 측정된 기울기를 바탕으로 경사면 보행 실험을 보인다. 그림 10에 가속도 센서인 Analog Device사의 ADXL202A 칩을 사용한 로봇의 균형 유지운동을 나타내었다. 이 센서는 2축에 대한 가속도를 측정하거나, 2축에 대한 가속도의 비를 이용하여 기울기를 측정할 수 있다[9].

출력 파형은 2축 방향의 가속도에 비례하는 듀티 싸이클이다. 이 신호의 상승 에지와 하강 에지에서 트리거를 이용하여 듀티 비를 구할 수 있는데, 이는 TMS 320LF-2407A의 캡처 유닛(Capture Unit)을 사용하여 측정할 수 있다. TMS320LF2407A의 캡처 유닛은 외부 신호를 입력받아 신호의 논리 레벨을 판별한 후 그때의 시간을 타이머 카운터 값으로 FIFO Stack에 저장한다. 논리 레벨의 상승 에지, 하강 에지 그리고 두 상태 모두에 대해 인터럽트를 발생하도록 소프트웨어적으로 정해 줄 수 있다[7]. 가속도 센서는 로봇의 배꼽 부분에 위치하며, 그림 10에 나타난 바와 같이 몸체의 x축에 대한 기울기를 측정하고, 기울기에 따른 로봇 관절의 각도를 제어하여 기울어지는 바닥에 대해 넘어지지 않고 균형을 유지하는 실험을 하였다. 제어에 대한 신호 흐름선도는 그림 11과 같다.

가속도 센서에 의해 검출된 중력방향에 대한 기울기를 TMS320- LF2407의 Capture Unit으로 이산화하고, 이를 오차로 해서 PID 제어를 통해 $\Delta\theta$ 를 구하고, 이를 각 관절에 대한 계수를 곱하여 현재의 관절 값에 더하게 된다. 계산식은 (1), (2)와 같다. 여기에서 K_p, K_i, K_d 는 각각 비례제어, 적분제어, 미분제어의 계수이고 $error_n$ 은 현 단계에서의 오차를 나타낸다.

$$\Delta\theta = K_p(error_n - error_{n-1}) + K_i error_n + K_d(error_n + error_{n-2} - 2 error_{n-1}) \quad (1)$$

$$\theta_{ankle} = Coff_{ankle} \times \Delta\theta \quad (2)$$

$$\theta_{hip} = Coff_{hip} \times \Delta\theta$$

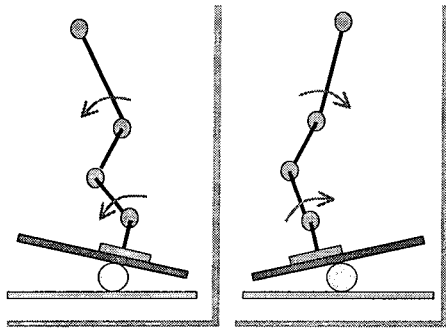


그림 10. 로봇의 균형 유지 운동

Fig. 10. Robot motion for balancing

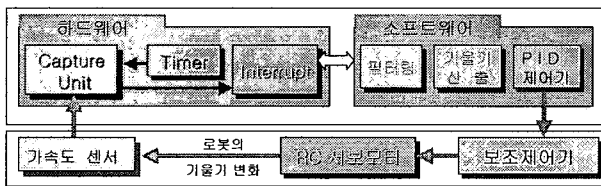


그림 11. DSP를 사용한 ADXL202A의 인터페이스

Fig. 11. Interfacing of ADXL202A using DSP

실험 결과, 일정 속도 이내에서 바닥면의 기울기를 변화시켰을 때 로봇이 넘어지지 않고 균형을 유지하며 서 있을 수 있었다. 바닥 면의 기울기 변화 속도를 빨리 할 때 모터가 빠르게 응답하도록 계수의 값을 크게 조정하면 제어량이 커지는 문제와, 모터 자체가 가지고 있는 응답속도의 한계 때문에 오실레이션 현상이 발생하여 로봇의 상태가 불안해지거나 넘어지는 경우가 발생하였다. 그림 12는 기울어지는 바닥에서의 균형유지 실험을 나타내고 있다.

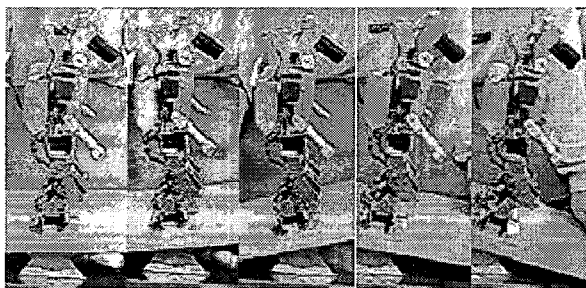


그림 12. 로봇의 균형 유지 실험

Fig. 12. An experiment for balancing motion

그림 13은 가속도 센서를 이용한 경사면 보행 과정을 나타내고 있다. 로봇이 경사면 위에 놓여진 후 몸의 균형을 잡기 위한 운동을 한 뒤, 안정된 자세에서 바닥 면의

기울어진 정도를 센서를 통해 읽어 호스트 컴퓨터에 전송하여 준다. 호스트 컴퓨터에서는 수신된 기울기 정보와 보행 파라미터를 이용하여 모션 플래닝 과정을 수행하고, 이를 바탕으로 보행에 따른 각 관절의 각도 데이터를 생성한다. 이렇게 생성된 보행 데이터를 로봇의 주 제어기인 DSP에 전송한다. 주 제어기에서는 수신된 데이터를 메모리에 저장하고 이를 매 샘플링 시간마다 보조 제어기에 넘겨주어 모터를 구동함으로써 로봇이 경사면 보행을 하게 된다.

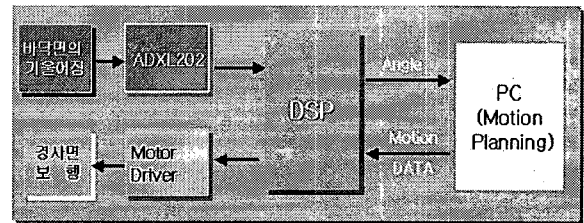
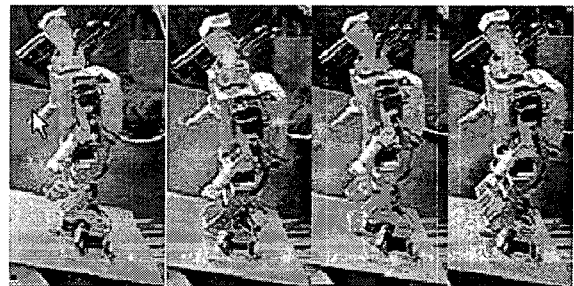


그림 13. 가속도 센서를 이용한 경사면 보행 과정

Fig. 13. The sequence of walking on a slope terrain using accelerometer



(a)



(b)

그림 14. 로봇의 경사면 보행 (a) 올라가기 (b) 내려가기

Fig. 14. An experiment for walking on a slope terrain

(a) Walking up (b) Walking down

실험 결과, 약 $\pm 15^\circ$ 이상의 기울기에서는 발바닥과 지면 사이에 미끄러짐이 발생하여 보행을 수행할 수 없었으

나, 그 이내의 각도의 경사면에 대해서는 성공적으로 보행을 수행할 수 있었다. 그림 14는 경사면 오르기과 내리기의 수행을 보이고 있다. 그림에서 왼쪽 방향이 로봇의 진행 방향으로 그림 (a)에서는 경사면 오르기를, 그림 (b)에서는 경사면 내리기를 수행하고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 소형 2축 보행 로봇의 제어기의 구조를 제안하고 구현하였다. 제안된 제어기는 로봇의 경로 계획을 주 임무로 하는 호스트 PC, 이 호스트 PC와의 무선 통신을 통하여 로봇 보행 데이터를 수신하고 매 샘플링 시간마다 보행 데이터를 보조 제어기로 전송하는 주 제어기, 그리고 PWM 신호를 발생하여 21개의 RC 서보 모터를 구동하는 보조제어기의 3개의 계층으로 구성되어 있다. 기존의 제어기에 비하여 제안된 제어기를 장착한 보행 로봇은 보다 부드럽고 안정된 보행이 가능하였다. 또한 제어기의 기능을 확장하기 위하여 2축의 가속도 센서를 주 제어기인 DSP와 인터페이스하여 로봇의 균형 유지와 경사면 보행에 적용할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Takeuchi, "Development of MEL HORSE," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.3165-3171, 2001.
- [2] 이수영, 홍예선, "4축 보행 로봇의 걸음새 안정화를 위한 몸체 임피던스 제어," *전기학회 논문지*, 49D권, 5호, pp.257-263, 2000.
- [3] 이종원, "휴먼로봇 시스템 개발 사례," *Proc. of KIEE*. Vol. 47, No. 10, pp.18-22, 1998.
- [4] Kazuo Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1321-1326, 1998.
- [5] Fumio Kanehiro, et al, "Development of a remote-brained humanoid for research on whole body action," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1302-1307, 1998.
- [6] 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제 7권, 제 5호, pp.420-426, 2001.
- [7] TI, TMS320LF2407, TMS320LF2406, TMS320LF2402 DSP controllers, Texas Instruments Incorporated, 2002.
- [8] 김도윤, 예제로 배우는 제어용 DSP, 성안당, 2003.
- [9] Analog Device, Dual Axis Accelerometers with Digital Output, 1999.



조 경 산(Jung-San Cho)

2002년 금오공과대학교 전자제어공학과(공학사)

2004년 금오공과대학교 전자제어공학과(공학석사)

관심분야 : 로봇공학, 지능제어, 디지털신호처리



성 영 휘(Young-Whee Sung)

1988년 고려대학교 전자공학과(공학사)

1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)

1996년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사)

1996년 - 1998년 LG종합기술원(선임연구원)

1998년 - 현재 금오공과대학교 전자공학부 조교수

관심분야 : 인간형 로봇, 여유자유도 머니플레이터