

RTOS와 FPGA를 기반으로 한 소형 휴머노이드 로봇 제어기 구현

Implementation of a Small Humanoid Robot Controller On the Basis of RTOS and FPGA

전재민*, 서규태*, 오준영*, 유인환*, 이보희**

(Jae-min Jeon, Kyu-tae Seo, Jun-young Oh, In-hwan Yoo, Bo-hee Lee)

Abstract - This paper deals with the implementation of a small humanoid robot controller on the basis of Real Time Operating System(RTOS) and the FPGA. This controller was adapted to the humanoid robot with 25 DOFs, which are 12 DOFs in each leg, 8 DOFs in each arm, 3 DOFs in waist, and 2 DOFs in head. The robot actuators were used DX-117 servo motors that have all of the controller components in one module in order to simplify the control structure. In addition, the main controller is FPGA of Virtex4-FX from Xilinx, and ported on VxWorks that is kind of RTOS. It is essential to install this RTOS on the complex control system and to do control activity at the multitasking environments. This paper suggested the method of distributing the computational load in the humanoid robot controller using the FPGA and RTOS concepts. All of the control process was verified through the real action of the humanoid.

Key Words : Virtex4-FX, VxWorks, Humanoid, Multitasking, FPGA, RTOS

1. 서 론

최근에 인간의 형태와 유사한 2족 2수의 소형 휴머노이드 로봇^[1-2]에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 대표적인 예가 한국에서 제작·개발된 휴보^[3]와 일본에서 개발된 아시모^[4-6]를 들 수 있다. 이들 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 외관을 가지고 있으며 더욱이 인간과 유사한 행동을 표현하기 위해 다수의 자유도를 가지고 동작한다. 이러한 로봇의 자유로운 행동을 구현하기 위해서 로봇 제어기는 RTOS를 장착하여 사용할 필요가 있다. RTOS는 일반 OS와는 다르게 정해진 시간 안에 주어진 일을 처리하는 특징이 있기 때문에 멀티태스킹 제어를 하면 로봇의 움직임을 보다 정확하고 빠르며 부드럽게 제어할 수 있어 인간의 움직임과 유사한 움직임을 보일 수 있다.

하지만, OS를 포팅하면서 생기는 문제점은 시스템 자체가 복잡하게 설계가 되어 제어기 크기에 문제가 발생하고 또한 다수 및 다량의 부품을 실장하면서 나타나는 로봇의 무게가 무거워지는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 제어기 논리 설계의 유연성이 큰 FPGA를 도입시켰으며 자체 내의 고성능 CPU와 더불어 RTOS를 한칩 내에 포팅시킬 수 있는 구조의 하드웨어 및 소프트웨어의 재구성이 가능한 제어기를 설계하였다.

이러한 형태의 제어기는 하드웨어 제어논리의 단순화를 기하기 위해 소프트웨어 로직을 FPGA에 넣으려는 시도^[7-9]가 있었으나 진정한 제어기의 고효율화를 만들기 위해서는 내장된 CPU를 이용하여 제어 하드웨어 및 소프트웨어 까지도 일

체화된 연구가 필요한 실정이다. 본 논문에서 제시된 로봇 제어기는 Xilinx사의 Virtex4-FX 시리즈를 사용하였고, 이에 내장된 PPC405를 마이크로프로세서로 사용하였다. 또한 로봇의 최적제어를 위해 PPC405에 검증된 RTOS인 WindRiver사의 VxWorks를 사용하여 멀티태스킹방식에 의해 여러 가지 태스크를 생성하여 최적화된 소형 휴머노이드 로봇(SERO-VI^[10])을 멀티태스킹 제어할 수 있는 방법을 제시하였으며 로봇의 간단한 동작을 통하여 검증하였다.

2. 로봇의 전장 및 제어부 설계

2.1 로봇 하드웨어

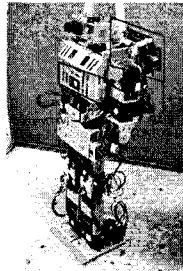


그림 1 SERO-VI 외관
Fig. 1 SERO-VI external

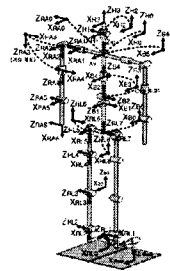


그림 2 전체 좌표계
Fig. 2 Coordinates system

본 논문에서 사용된 SERO-VI는 높이 48cm, 무게 3.4kg이며, 1.5T 알루미늄으로 제작된 프레임에 가지고 있다. 로봇은 인간의 움직임에 가장 근접하게 행동하기 위해 다리 12, 팔 8, 허리 3, 머리 2 총 25자유도를 가지고 있다. 로봇의 머리 부분에는 CmuCAM을 장착하여 향후 로봇의 영상취득을 위해 장착하였으며, 로봇의 구동기로는 로보티즈사의 토크가 상대적으로 큰 DX-117서보모터로 구성되어 있으며, 각각의

저자 소개

* 세명대학교 전기공학과 碩士課程

** 세명대학교 전기공학과 副教授 · 工學博士

모터는 RS485통신을 이용하여 구동기를 제어하였다. 그림 1은 로봇 전체 외관을 나타내고 있고, 그림 2는 로봇의 각 자유도의 좌표계를 나타내고 있다.

2.2 로봇 제어기

실험 대상인 로봇을 제어하기 위한 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기는 FPGA를 기반으로 한 구조이며 내부에 CPU하드코어 및 컴퓨터 시스템을 구성할 수 있는 버스 제어기로부터 메모리와 각종 입출력 인터페이스를 가지고 있기 때문에 외부에 적절한 메모리를 부착하면 각종 OS를 올릴수 있는 구조를 가지고 있다. 따라서 전체 제어기를 Virtex4 FX 모듈을 중심으로 외부에 JTAG를 통하여 외장 메모리를 연결 할 수 있는 SystemAce 모듈을 결합 할 수 있는 구조로 제작 되었다. 전체 제어기의 모습은 그림 3과 같다.

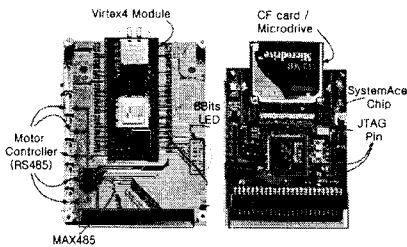


그림 3 로봇 제어기

Fig. 3 Robot controller

SystemAce로 접속되는 외장 메모리인 CF카드 안에는 미리 JTAG를 이용해 프로그램 다운로드를 하여 VxWorks를 구동 할 수 있도록 하는 파일을 저장하고 있으며 사용자의 설정에 따라 다양한 모드들 선택하여 사용할 수 있게 하였다.

제어기의 전원은 다수의 전원을 공급 하여야 하기 때문에 TPS75003을 사용하였다. 이 디바이스는 Virtex4디바이스에 전원을 공급할 수 있도록 1.2[V], 2.5[V], 3.3[V]의 전압을 만들었으며 모터 전원을 위해 14V, 3500mAh의 폴리머 전지를 장착 하였다.

로봇의 제어기를 설계하기 위하여 Xilinx에서 제공된 통합 환경 툴인 ISE(Integrated Software Environment)8.2와 EDK(Embedded Development Kit)8.2 툴이 사용 되었으며 Virtex4 디바이스 내부의 주변장치들을 CPU와 연결할 수 있는 구조로 설계하였다. 주변장치로는 LED, UART, 외부 모터 제어용 RS485 인터페이스 관련 주변장치들을 설계하여 사용되었으며, 이들은 Virtex4 내부 PLB_Bus와 OPB_BUS를 통하여 데이터를 전송하게 하였다. 메모리사용을 위해 외부 메모리로 사용되는 SDRAM과 내부메모리로 사용되는 BRAM을 가지고 있으며, PPC405 코어를 동작시키기 위해 100MHz 오실레이터를 장착하고 있다. 로봇을 직접 제어하고 현재 상황을 PC의 터미널에 Display하기 위한 RS485, RS232 사용한 UART가 장착 되어 있다.

그림 4는 로봇의 제어부의 형태를 간단하게 표현 하였다. 그림 4에서처럼 PPC405를 사용하여 VxWorks를 포팅한 로봇의 기구학 해석을 통하여 로봇의 끝점에 해당하는 각 모터

의 회전 값들이 계산되고, 이를 DX-117 모터 제어 스팩에 맞게 변환 시켜 RS485 직렬통신에 의해 전송되어 로봇을 제어 하였다.

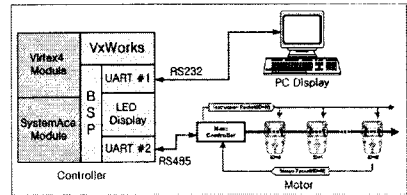


그림 4 제어부 블록 다이어그램

Fig. 4 Block Diagram of Controller

모터의 구동 패킷은 시작을 알리는 0xFF와 종료로 알리는 체크섬을 가지고 있으며, 이 사이에 모터의 아이디(ID), 데이터길이(Length), 모터의 회전각과 토크에 대한 정보를 가지고 있다. 또한 DX-117 모터는 명령 패킷과 상태 패킷을 통하여 DX-117 모터와 제어기간의 정보를 주고받을 수 있어 제어기에서 모터의 상태를 체크하여 제어 할 수 있게 하였다.

Virtex4-FX 모듈은 외부에 DDR SDRAM과 설정을 위하여 Flash 램을 장착하고 있다. 또한 사용자가 사용할 수 있는 Ethernet과 유저 LED를 사용할 수 있으며, 외부 IO 포트를 사용하여 사용자가 원하는 주변장치를 설계할 수 있다. 전체 FPGA의 내부 구조는 그림 5와 같이 구성 하였다.

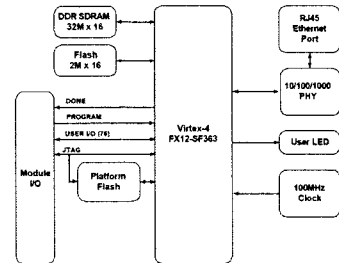


그림 5 FPGA 내부 구현 블록도

Fig. 5 Block diagram of FPGA configuration

그림 6은 구현된 제어기의 태스크 관련된 상관관계를 나타낸 블록 다이어그램이다.

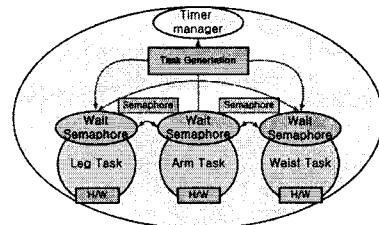


그림 6 태스크 관련 상태 다이어그램

Fig. 6 State diagram of task relationship

로봇을 구동시키기 위해 먼저 모든 태스크는 OS 내장 타이머에 의해서 100ms마다 하나의 루프 태스크를 수행한다. 수행하는 우선순위는 타이머가 가장 높고 그 다음으로 각각

의 태스크가 우선순위를 각각 다르게 갖는다. Leg Task, Arm Task, Waist Task들은 서로 세마포어에 의해 제어권을 넘겨받으며 제어권으로 인해 처음 초기화 자세로부터 각각의 끝점의 좌표들을 기구학 해석에 의해 계산된 결과 값들을 DX-117 모터를 구동하기 위한 패킷을 설정하고 이들을 RS485통신을 이용해 모터 구동 관련 하드웨어에 전달하여 로봇을 제어하는 구조로 설계되었다.

3. 실험 결과

그림 7은 제어기 설계 및 구현 실험을 하기 위한 PC의 실험 환경을 나타내고 있다.

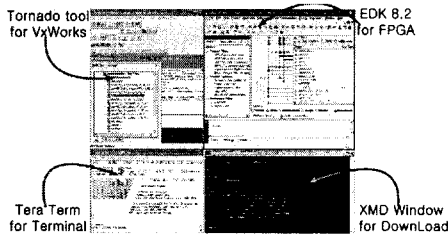


그림 7 실험 환경
Fig. 7 Experiment environment

전체 실험 환경은 우선 전체 환경을 제어하는 EDK로부터 VxWork를 구현하기 위한 Tornado작업환경과 구현된 로직을 타겟에 설치하는 Xmd작업장으로 구분된다. 하단의 좌측 그림은 구현시 실제 작업창을 표시한 그림으로 타겟에서 OS가 제대로 설치 되어 있음을 보이고 있다. 동작 방법으로는 먼저 FPGA를 위한 EDK들을 사용하여 제어기를 설계하기 위한 각종 주변장치들을 설계를 하여 주변장치들의 동작을 확인 하였다. 다음으로 OS를 포팅하기 위해 프로그램 코딩작업을 통하여 컴파일 한 오브젝트파일을 다운로드하여 터미널에 OS를 포팅 하는 순서의 실험을 하였다.

로봇을 제어하기 위하여 Timer Task를 가장 높은 우선순위에 두고 그 아래의 우선순위에 로봇의 초기동작과 한발 앞으로 나가기 위한 태스크를 생성하여 그림 7과 같이 구현 하여 검증하였다.

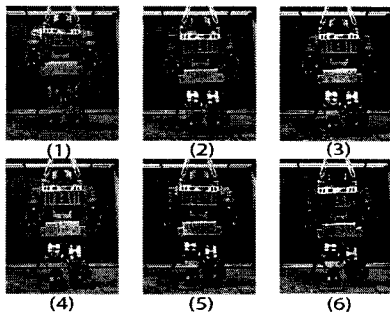


그림 8 전진 보행 동작
Fig. 8 One-step walking motion

검증된 순서는 그림 8의 (1)은 전원이 인가되었을 때 로봇이 임무를 수행할 수 있는 가장 초기 단계이며 모든 기구학

데이터는 (1)과 같은 자세에서 시작하여 로봇의 각 끝점의 좌표를 계산하여 모터의 회전각을 구한다. (2)는 로봇이 걷기 동작의 가장 처음 동작으로서 (1)과 (2)의 끝점을 모터 회전 각·감속을 고려하였고, 시작점과 끝점을 100등분하여 기구학 데이터를 모터 패킷의 설정에 맞게 변환 시켜 구현 하였다. (3),(4),(5)는 (6)을 최종 목적 값으로 하기 위해 구동기들 각·감속을 하여 로봇이 이동하는 모습을 나타내었다. 그림과 같이 제안된 제어기를 이용하여 휴머노이드 로봇을 구동한 결과 FPGA 및 VxWorks를 기반으로 제어 방법이 유용함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 하드웨어 및 소프트웨어의 재구성이 가능한 FPGA 및 RTOS를 이용하여 휴머노이드 로봇의 제어기를 구현하는 방법을 제안 하였다. FPGA의 가장 큰 특징 중 사용자의 편의대로 시스템을 설계 및 수정을 할 수 있는 특징을 이용하여 제어기를 설계 하였으며, RTOS의 특징인 정해진 시간동안 태스크를 처리하고 이를 여러 개의 태스크를 제어하여 로봇의 간단한 동작을 구현 하여 검증 하였다.

향후 로봇의 동작을 다양화 시킬 수 있는 구조의 태스크 관리 및 제어기 구조의 연구가 필요하다. 아울러 로봇에 장착된 센서 및 구동기의 연계를 통한 장애물 회피 및 협조 작업과 같은 복잡한 휴머노이드 작업을 수행하기 위한 제어기 연구가 요구 된다.

참 고 문 헌

- [1] 박재준 외 2인, "소형로봇의 이동 방법에 대한 연구", 성균관대학교 논문집 4권 1호
- [2] T. Ishida, et al., "Motion entertainment by a small humanoid robot based on OPEN-R", IEEE/RSJ, pp. 1709-1086, 2001
- [3] <http://ohzlab.kaist.ac.kr/robot/KHR-3.htm>
- [4] Y. Sakagami et al., "The inteliging ASIMO: System overview, and intergration", IEEE/RSJ International Conference v.3, pp. 2478-2483, 2002
- [5] <http://www.honda.co.jp/ASIMO>
- [6] http://nbinside.com/graphic_info/gi_188.htm
- [7] Ying-Shieh Kung et al. "Development of a FPGA-based motion control IC for robot arm", ICAR 2005 Proceedings. pp 1397-1402, 2005
- [8] Wei Zhao et al., "FPGA Implementation of Closed-Loop control system for small-scale robot", ICAR 2005. Proceedings., pp 70-77, 2005
- [9] M.A. Hannan Bin Azhar et al, "Design of an FPGA Based Adaptive neural controller for intelligent robot navigation", 2002 IEEE, Proceedings of the Euromicro Symposium on Digital System Design(DSD'02), pp 283-290, 2002
- [10] 전재민외 5인, "소형 휴머노이드(SERO-VI)로봇 설계 및 구현" 2005년도 정보 및 제어 학술대회(CICS 05) 논문집, pp 255-257, 2005