Zynq를 이용한 비전 및 모션 컨트롤러 통합모듈 구현

문용선* · 노상현** · 이영필***

Implementation of Integration Module of Vision and Motion Controller using Zynq

Yong-Seon Moon* · Sang-Hyun Roh** · Young-Pil Lee***

요 약

최근 자동화 시스템에 있어 중요한 요소인 비전과 모션 컨트롤러를 통합한 솔루션이 많이 개발되고 있다. 다만 이러한 솔루션은 비전 처리와 모션 컨트롤을 네트워크로 통합하거나 하나의 모듈에 두 칩 솔루션으로 구성된 경우가 많다. 본 연구에서는 최근에 개발된 확장형 프로세싱 플랫폼인 Zynq-7000을 이용한 비전 및 모션 제어를 통합한 원 칩 솔루션을 구현하였다. 또한 모션 컨트롤은 제어의 실시간이 보장되면서 대량의 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 가지고 있는 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT을 적용하였다.

ABSTRACT

Recently the solution integrated of vision and motion controller which are important element in automatiomn system has been many developed. However typically such a solutions has a many case that integrated vision processing and motion control into network or organized two chip solution on one module.

We implement one chip solution integrated into vision and motion controller using Zynq-7000 that is developed recently as extended processing platform. We also apply EtherCAT to motion control that is industrial Ethernet protocol which have compatibility for open standardization Ethernet in order to control of motion because EtherCAT has a secure to realtime control and can treat massive data.

키워드

Zynq, FPGA, EtherCAT, Network, Motion Controller
징크, FPGA, 이더넷, 네트워크, 모션 컨트롤러

1. 서 론

최신 모션 제어 제품의 특징은 모션 제어와 네트워크 기술의 통합이다. 고속 이더넷 통신 기반의 제어 솔루션들이 기존의 케이블 방식용 모션 제어 제품을

빠르게 흡수하고 있는 실정이다.

특히 자동화 시스템에 있어 중요한 요소인 비전 처리와 모션 제어를 네트워크 기반이나 하나의 모듈로 통합하여 기존 자동화 시스템 보다 정밀도 및 정확도가 증가하고, 빠른 처리 능력 및 비전 검사와 처리 단

* 순천대학교 정보통신공학부(moon@sunchon.ac.kr)

** 순천대학교 정보통신공학부(magunza@naver.com)

*** 교신저자 레드원테크놀로지(lyp@urc.kr)

접수일자 : 2012. 09. 27

심사(수정)일자 : 2012. 11. 30

게재확정일자 : 2013. 01. 21

계의 통합을 통한 효율화가 가능한 이점이 있다. 또한 비전 카메라 또한 기가비트 대역의 이더넷 방식을 사용하여 영상 데이터를 빠르게 처리할 수 있게 되었다. 기존의 자동화 시스템에서의 비전과 모션은 각각 독립적으로 구성되어 시스템이 복잡하고, 부피가 커지게 되는 문제가 있었으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 고성능의 FPGA 기반으로 비전과 모션을 통합한 모듈에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[1, 7-13]. 또한 단순히 네트워크를 통해 독립된 비전과 모션을 통합한 솔루션은 전체적인 시스템 구성이 복잡해지며, 이를 하나의 모듈에 통합한 경우는 대부분 영상 처리를 위한 FPGA와 고성능의 모션 제어를 위해 제어 프로세서를 추가한 형태로 구성된 두 칩 솔루션으로 되어 있는 문제점이 있다. FPGA 칩에 내장되는 마이크로 컨트롤러로는 제어 성능을 만족하기 어렵기 때문이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 FPGA 칩의 생산업체인 자일링스(xilinx)사와 알테라(Altera)사에서는 FPGA와 고성능의 CPU를 탑재한 확장형 프로세싱 플랫폼을 개발하여 최근 출시되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 자일링스사의 확장형 프로세싱 플랫폼인 Zynq-7000을 이용한 비전 및 모션 컨트롤러 통합한 원 칩 솔루션을 구현하였다[2]. 또한 기존의 연구를 바탕으로 모션 제어를 위해 제어의 실시간이 보장되면서 대량의 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 가지고 있는 산업용 이더넷 프로토콜인 이더넷(EtherCAT)을 적용한 통합 시스템을 구현하였다[3-6].

II. 본 론

2.1 Zynq™-7000

자일링스에서 확장형 프로세싱 플랫폼인 Zynq-7000 제품군을 발표하였다. 이 제품군은 비디오 감시, 오토모티브 드라이버 지원, 공장 자동화와 같은 시장을 타깃으로 한 하이엔드 임베디드 어플리케이션에서 요구되는 수준의 프로세싱 및 연산 성능을 발휘하도록 개발되었다.

ARM® Cortex-A9 프로세서 기반 시스템을 28나

노 저전력 프로그래머블 로직에 통합함으로써 시스템 디자이너와 임베디드 소프트웨어 개발자가 자신들의 시스템을 맞춤화, 최적화, 차별화할 수 있도록 하고 있다. 그림 1은 Zynq-7000의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

그림 1. Zynq-7000의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of Zynq-7000

Zynq-7000의 가장 큰 특징은 프로세싱 시스템(PS : Processing System)과 프로그래머블 로직(PL : Programmable Logic)이 하드웨어적으로 구분되어 있다는 점으로, PL은 확장성을 위해 구성되어 있다. 기존의 FPGA는 프로그래머블 로직에 마이크로블레이즈와 같은 MCU를 구성하여 사용하여, 프로그래머블 로직이 구성된 후에야 소프트웨어가 실행되는 것과 MCU의 성능이 떨어지는 단점이 있었다. 또한 이미지 처리를 위한 NEON과 더블 정밀 부동소수점 유닛이 하드 와이어로 통합되어 있으며, L1 및 L2 캐시, 메모리 컨트롤러, 그리고 공통적으로 사용되는 주변장치를 포함하고 있다. PS블럭과 PL블럭을 연결하는 것은 AMBA4의 AXI 인터커넥트를 이용하여 낮은 전력에서도 멀티기바이트 데이터 전송을 가능하게 한다.

Zynq-7000을 이용한 개발 절차는 기존의 FPGA의 거의 흡사하다. XPS와 PlanAhead 또는 ISE 개발 툴을 이용해 하드웨어를 구성하고, SDK 개발 툴을 이용해 소프트웨어를 개발하게 된다. 그림 2는 Zynq-7000의 개발 절차를 보인다.

그림 2. Zynq-7000의 개발 절차
Fig. 2 Development procedure of Zynq-7000

2.2 비전 및 모션 컨트롤러 통합 모듈의 설계

본 연구에서는 비전 및 모션 컨트롤러를 통합한 모듈을 Robot Mind Controller(R1_Controller)라 부르며, 기본적으로 전원을 공급해주는 Power Management Module과 Zynq를 탑재해 고성능 비전 처리 및 다축 모션제어를 수행하는 모듈인 Vision Motion Module로 구성되어 있으며, 기능 확장을 위한 External Processing Module과 다양한 네트워크를 접속할 수 있도록 Network Management Module이 있다. 그림 3은 Robot Mind Controller의 구성에 대한 것이다.

그림 3. Robot Mind Controller 구성
Fig. 3 Configuration of Robot mind controller

그림 4는 R1_Controller의 영상 처리와 모션 컨트롤 기능을 구성을 나타낸 그림으로기가넷 이더넷 카메라의 영상을 처리한 후 바로 모션 컨트롤을 수행하게 된다. 모터 제어 자체는 각각의 모터 드라이브가 수행하지만 이를 통합한 모션 컨트롤을 R1_Controller가

수행하게 되는 것이다.

그림 4. R1_Controller의 기능 구성도
Fig. 4 Block diagram of function of R1_Controller

그림 5는 R1_Controller의 하드웨어 블록 구조도로 Zynq-7020 EPP를 중심으로, 부팅 및 어플리케이션 데이터 정보를 저장하기 위한 DDR3 Memory, Flash Memory, SD Memory Card 등의 휘발성/비휘발성 메모리, 비전 및 모션 통신을 위한 100~1000Mbps 이더넷, 비디오 신호의 디스플레이를 위한 HDMI Codec, 각종 설정을 위한 인터페이스인 USB Serial, GPIO 기능을 담당하는 Switch 및 LED, 신호 확장 및 모듈 결합을 위한 Extension Port 등으로 구성이 된다.

그림 5. R1_Controller 하드웨어 블록 구조
Fig. 5 Hardware block structure of R1_Controller

2.3 비전 및 모션 컨트롤러 통합 모듈의 구현

설계를 바탕으로 구현된 R1_Controller를 그림 6에 나타내었다. PCB Artwork는 10층으로 구성되어 있다.

그림 6. R1_Controller의 PCB Artwork
Fig. 6 PCB artwork of R1_Controller

완성된 R1_Controller의 모습을 그림 7에 나타내었다.

그림 7. 구현된 R1_Controller 모듈
Fig. 7 Implemented R1_Controller module

그림 8은 ISE를 이용한 Zynq 하드웨어 구현에 대한 내용이다. 모션 컨트롤을 위한 100Mbps 이더넷을 구성하기 위해 AXI Ethernet Lite를 추가하였으며, 기본적으로 모니터링을 위한 UART1과기가넷 이더넷인 Enet0을 연결하였으며, 메모리 인터페이스를 이용해 외부에 장착된 DDR2 메모리를 이용할 수 있도록 구성되었다.

그림 8. ISE를 이용한 Zynq 하드웨어 구현
Fig. 8 Hardware implementation of Zynq using ISE

2.4 소프트웨어 구현

모션 컨트롤에 EtherCAT 통신을 적용하기 위해서는 EtherCAT 마스터가 필요하다. EtherCAT 마스터는 운영체제상에서 소프트웨어로 구현되며 일반 네트워크 카드를 제외한 추가적인 하드웨어가 필요 없다. 본 논문에서는 EtherCAT 마스터를 구현하기 위해 임베디드 리눅스를 R1_Controller에 적용하였다. 표 1에 R1_Controller에 적용된 소프트웨어 구성을 나타내었다.

표 1. 소프트웨어 구성
Table 1. Configuration of software

구현 소프트웨어	구성
임베디드 리눅스	<ol style="list-style-type: none"> 1. U-Boot 2. Linux Kernel 3. Device tree 4. Root File System
응용 소프트웨어	<ol style="list-style-type: none"> 1. Server [얼굴인식] 2. 네트워크 카메라 영상 데이터 수신 3. EtherCAT Master

그림 9는 R1_Controller에 적용된 임베디드 리눅스의 부팅 로그이다. U-boot 이미지는 Zynq의 플래시 메모리에 탑재되어 있으며, 커널 이미지는 zImage와 루트 파일 시스템은 SD 메모리 카드에 탑재되어 있다.

그림 9. 임베디드 리눅스 부팅 로그
Fig. 9 Embedded Linux booting log

III. 동작 테스트

구현된 R1_Controller의 기능을 평가하기 위해 그림 10과 같이기가빗 이더넷 포트에 네트워크 카메라를 연결하고, 모션 컨트롤을 위해 EtherCAT 기반 모터 드라이브 5축을 100Mbps 이더넷 포트에 연결하였다. 동작 순서는 네트워크 카메라로부터 영상 데이터를 수신하고 이를 TCP/IP 통신을 통해 서버로 전송한다. 서버에서는 수신된 영상에서 얼굴 인식 기능을 수행하여 그 결과를 다시 R1_Controller에 전송하고, R1_Controller는 수신된 얼굴 인식 수에 따라 5축 모터 구동에 대한 모션 제어 명령을 구성하여, 각 모터 드라이브에 명령을 전달하도록 구성하였다. 본 테스트는 R1_Controller가 비전 처리와 모션 컨트롤을 동시에 수행하기 위한 테스트가 되어야 하지만, 아직 소프트웨어가 구현되지 않아 네트워크 기능에 대한 테스트만 수행하였다.

그림 10. 테스트 베드 구성도
Fig. 10 Configuration of testbed

실제 구성된 테스트 베드는 그림 11과 같다. 테스트 수행 결과 카메라로부터 받은 영상을 서버로 전송하여 서버의 모니터에 나타나며, 서버에서 얼굴 인식한 결과를 다시 R1_Controller에 전송하여 모션 제어를 수행하는 모습이다. R1_Controller의 동작 상태는 Zynq의 UART1에 연결된 시리얼 모니터링을 통해

확인할 수 있다.

그림 11. 실제 구성된 테스트 베드
Fig. 11 Testbed organized by real

IV. 결론

본 연구에서는 Zynq-7000을 이용해 비전 및 모션 컨트롤을 통합한 모듈인 R1_Controller를 구현하였다. 아직 구현이 완료되지 않아 정확한 성능 테스트를 하지 못했지만, 원 칩 솔루션으로 비전과 모션 컨트롤을 통합할 수 있는 가능성과 복잡한 시스템 구성을 간단히 할 수 있으며, 원가 절감을 기대할 수 있어, 자동화 시스템, 로봇 분야 등 다양한 어플리케이션에 활용될 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신산업진흥원의 2012~2013년 지역 SW융합사업의 사업비 일부를 지원받아 수행된 연구 결과임

참고 문헌

- [1] 한상규, "FPGA 기반의 독립형 모션, 비전 통합 시스템 개발", 성균관대학교 석사학위논문, 2004.
- [2] xilinx, "Zynq-7000 All Programmable SoC Technical Reference Manual", www.xilinx.com, 2012.
- [3] 문용선, 노상현, 배영철, 조광훈, "FPGA 기반 로봇 통신 네트워크 구현", 한국전자통신학회 추계 학술지, 4권, 2호, pp. 17-20, 2010.
- [4] 문용선, 이영필, 서동진, 이성호, 배영철, "Ethercat을 이용한 소프트 모터 제어가 개발에 관한

연구”, 퍼지 및 지능시스템학회논문지, 17권, 6호, pp. 826-831, 2007.

- [5] 문용선, 이광석, 서동진, 이성호, 배영철, “ 로봇 모듈 구현을 위한 네트워크 기반 모터 제어 드라이버 개발”, 퍼지 및 지능시스템학회논문지, 17권, 7호, pp. 887-892, 2007.
- [6] Yongseon Moon, Nak Yong Ko, Kwangseok Lee, Youngchul Bae, Jong Kyu park, " Real-time EtherCAT Master Implementation on Xenomai for a Robot System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 244-248, 2009.
- [7] 김용진, 배영철, 김광현, “ 로봇의 다축 모션 제어용 AC 서보 드라이버 구현”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 3호, pp. 553-558, 2012.
- [8] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, “ 정밀 GPS 기반의 실외환경에서의 로봇 위치 추정 및 Open-RTM을 이용한 모니터링”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 425-431, 2012.
- [9] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, “ WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 모듈 구현, 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 409-415, 2012.
- [10] 문용선, 배영철, 노상현, “ CC2520 기반의 지그비 모듈 구현에 대한 연구”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 6호, pp. 664-671, 2010.
- [11] 문용선, 배영철, 박종규, 노상현, “ Ship Area Network(SAN)를 위한 Zigbee 및 광 통신 유무선 통합 모듈 구현”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 5호, pp. 428-434, 2010.
- [12] 문용선, 배영철, 차현록, 노상현, 박종규, “ 친환경 스마트 가전 응용 시스템용 Ecobot 로봇 플랫폼 개발”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 4호, pp. 480-485, 2010.
- [13] 문용선, 배영철, 노상현, 조광훈, 박용구, “ 이동 로봇 모듈의 RTC 미들웨어 개발”, 한국전자통신학회논문지, 5권, 2호, pp. 214-220, 2010.
- [14] Guido Beckmann, "EtherCAT Communication Specification, Version 1.0", EtherCAT Technology Group, 2004.
- [15] Beckhoff, "EtherCAT Slave Controller (ESC10/20 Hardware Data Sheet)", 2005.
- [16] xilinx, "ISE - 14.3 User Guides", 2012.
- [17] xilinx, "PlanAhead - 14.3 User Guides", 2012.

저자 소개

문용선(Yong-Seon Moon)

1983년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년~현재 순천대학교 전자공학과 교수

2012년~현재 레드윈테크놀로지(주) 기술이사

※ 관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 네트워크

노상현(Sang-Hyun Roh)

2007년 순천대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2009년 순천대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2009년~2012 순천대학교 전자공학과 공학박사 수료

2012~현재 레드윈테크놀로지(주) 연구원

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업용통신망

이영필(Young-Pil Lee)

2006년 순천대학교 전자공학과(공학사)

2008년 순천대학교 전자공학과(공학석사)

2008년~현재 레드윈테크놀로지(주) 연구원

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업용통신망