

멀티코어 항공기소프트웨어 개발을 위한 시스템 플랫폼

구금서^o, 전용기
경상대학교 컴퓨터학과, 경상대학교 정보과학과
{gs, jun}@gnu.ac.kr

A Development Platform for Multi-Core Avionics Software

Geum-Seo Koo^o, Yong-Kee Jun
Dept. of Computer Science, Gyeongsang National University
Dept. of Informatics, Gyeongsang National University

요 약

항공기 내에서 단일코어 기반의 임무컴퓨터를 포함하는 연합형 항공전자 모델은 항공기의 임무 요구도 증대와 전장 환경의 변화에 따라 기내 데이터 양이 급격히 증가하여 비행 운용 프로그램(OPF)의 실시간성 및 처리성능에 한계를 보인다. 또한 분산된 임무컴퓨터의 공간점유와 무게 및 높은 전력소비가 발생하므로, 본 연구에서는 실시간 운영체제 모듈을 적용한 멀티코어 기반의 통합 모듈형 시스템(IMA) 플랫폼을 제시하여 비용과 체적을 감소시킨 개발 환경을 제공한다.

1. 서 론

항공 임베디드 시스템은 단일코어 기반의 임무컴퓨터(Mission Computer)를[12, 13, 14, 15] 포함하는 연합형 모델로 구성된다. 현대의 항공기는 전장 환경의 변화와 성능향상에 따른 임무 요구도가 증대되면서 기내 데이터 양이 급격히 증가하여 비행 운용 프로그램(OPF: Operational Flight Program)의 실시간성 및 처리성능에 한계를 보인다. 또한 분산된 임무컴퓨터의 공간점유로 인한 체적과 무게 및 높은 전력소비가 발생하므로 통합 모델 시스템으로의 전환 요구와 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 실시간 운영체제 모듈인 RTAI(Real-Time Application Interface)[11]을 적용한 멀티코어 기반의 통합 모듈형 시스템(IMA: Integrated Modular Avionics)[7, 9, 10] 플랫폼을 제시하여 비용과 체적을 감소시킨 통합 개발 환경을 제공한다. 이 플랫폼은 'Quad-Core Intel Xeon Processor ULV'를 사용하는 3개의 SBC(Single Board Computer)를 하나의 VME Rack으로 구성하였으며, 각각의 SBC에는 2.5inch SATA Interface를 사용하는 64GB Solid State Disk를 장착하였다. SBC간 기본 통신 방식은 VME Bus이며 모듈에 장착된 Gigabit Ethernet port를 통해서 TCP/IP 통신도 가능하다. 추가로 2개의 SBC에 'S3 Graphics'사의 'XMC 403/233' 모듈을 장착하여 OpenGL 기반의 그래픽 처리 또한 원활하게 수행할 수 있다.

2절에서는 연구배경으로 항공 임베디드 시스템과 VME

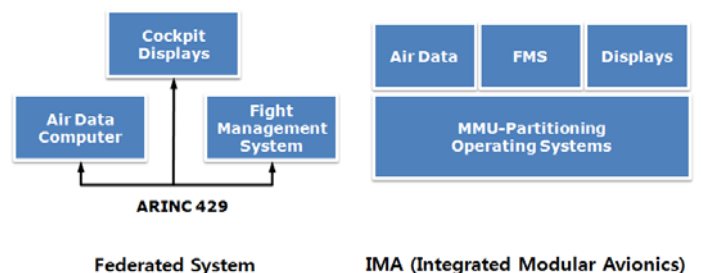
Bus 및 실시간 운영체제에 대해서 알아본다. 3절에서는 멀티코어 IMA 기반 시스템 플랫폼의 설계와 구축에 대해서 설명한다. 마지막으로 결론 및 향후과제를 제시한다.

2. 연구배경

본 절에서는 항공 임베디드 시스템과 VME Bus 및 실시간 운영체제에 대해서 살펴본다.

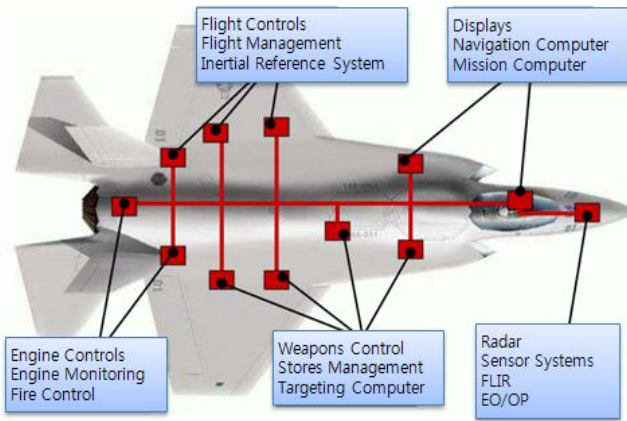
2.1. 항공 임베디드 시스템

항공기 내부에는 많은 종류의 컴퓨터가 서로 연동되어서 동작하며 이러한 것을 MMC(Mudular Mission Computer)라고 부른다. 즉, 각각의 임무에 맞게 설계되어 모듈방식으로 통합된 것을 통상적으로 미션컴퓨터라 한다. 여기에 조종사의 임무수행을 지원하기 위한 비행운용프로그램(OPF: Operational Flight Program)이 탑재된다. 항공 임베디드 시스템은 다수의 독립적인 임무컴퓨터가 ARINC-429[1]로 통신하는 연합형 모델에서 통합 모듈형 모델인 IMA 모델[그림 1]로 발전하고 있다. IMA는 Safety Criticality Level을 갖는 많은 애플리케이션으로

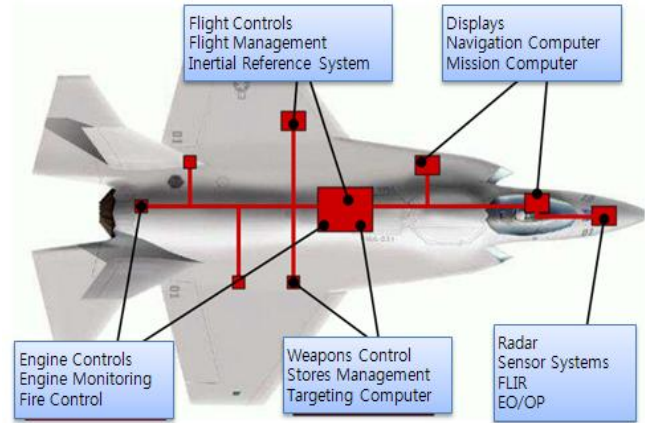


[그림 1] 연합형 & IMA 방식의 항전 시스템

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C1090-1031-0007))



[그림 2] 연합형 항전 시스템 구성 예



[그림 3] IMA 방식의 항전 시스템 구성 예

이루어지며 이들간의 안전성 및 효율성을 위해서 도입한 기술이다. 두 모델의 항전 시스템 구성 예는 [그림 2] [그림 3]과 같다. IMA는 항공기내 정보장치들의 실시간 네트워크 시스템을 위한 통합 모듈형 정보장치 모델로서 FAA 규격[6] DO-297에서 명시된 개방형 표준 모델이다. IMA는 다수의 함수를 탑재할 수 있고 소프트웨어 재사용성, 이식성, 모듈성이 뛰어나기 때문에 개발비, 운영 및 유지비를 절감하게 할 뿐만 아니라, 통합적 모델로서 항공기 항법장비의 무게 및 전력소비를 줄인다. 현재의 IMA는 하나의 주 프로세서와 10개 정도의 SBC로 구성되고 있으며, IMA 구조에 적용가능한 운영체제 API(Application Programming Interface)로는 ARINC-653[2, 3, 4]이 있다.

차세대 항공 전자 시스템의 핵심 기술은 멀티코어 프로세싱, 운영체제 가상화 기술, 스마트 임무/무장 관리 소프트웨어 등으로 예상되며, 임무제어를 위한 처리능력의 요구[그림 4]는 2015년에는 테라비트 규모의 부동소수점 연산을 능가할 것으로 예상된다.

2.2 VME Bus

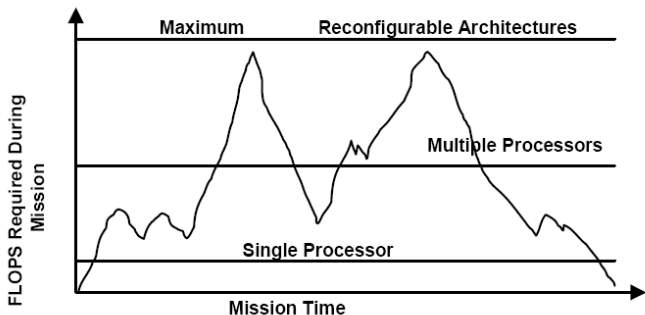
IMA 시스템을 구성하기 위해서는 Bus 분석이 선행되어야 한다. 각각의 Bus는 고유의 특징과 장단점이 존재하며 Bus가 결정되면 이에 따른 H/W가 결정된다. 항전 시스템에는 전통적으로 VME Bus가 산업계의 표준으로 사용되고 있다. 항공분야의 특수성 때문에 비교적 느린 속도를 가지고 있지만, 오랜 기술의 축적으로 인한 동작

의 안정성 및 신뢰성이 보장되며, 부품 수급 및 기술자원이 용이하다. VME(Versa Module Eurocard)는 보드규격인 Versa 보드를 유럽규격에 외형을 맞춘 것으로 68K CPU에 대응되는 Bus 체계이지만 잘 정의되고 쉬운 인터페이스로 인텔계열을 포함한 기타 보드에도 많이 사용된다. 초기의 VME Bus는 PCI Bus나 Compact PCI Bus의 성능에 미치지 못했으므로 이를 확장시킨 VME64 Bus가 만들어졌다. 이 구조의 전송속도는 64비트에서 80Mb/s이며, 기존 VME와 상호 동작성(interoperability)이 우수하여 두 개 이상의 카드를 사용시 오작동의 문제가 발생하지 않는다. VME Bus는 기존에 개발된 보드를 재사용하거나 추가, 변경이 가능별로 이루어지게 되어 개발의 편의성을 가지며 DIN(유럽규격)의 RACK과 커넥터 등이 진동이나 분진 가스 등에 강한 내환경성을 가지므로 기계 내에 내장하는 컨트롤러로의 사용도 가능하다. 실제로 많은 수의 PLC 업체에서 확장 커넥터를 DIN 커넥터로 사용하고 있다.

VME 본연의 기능은 멀티프로세서 지원이라 할 수 있다. 백프레임 최대 슬롯수인 21개까지 모듈 연결이 가능하므로 많은 수의 S/O를 제어할 때, 필요한 다중 프로세서에 의한 전담 I/O 컨트롤이 가능하다. 이러한 동작은 마스터(Master)와 슬레이브(Slave) 방식으로 동작한다. 본 연구에서도 VME Bus를 채택하였다.

2.3 실시간 운영체제

실시간 시스템은 입력 신호에 대해서 결과의 정확성 뿐만 아니라 주어진 시간내에 응답할 수 있어야 한다. 실시간성을 보장해주는 운영체제를 실시간 운영체제(RTOS: Real-Time Operating System)라고 한다. 대표적인 항공용 실시간 운영체제로는 VxWorks, QNX 등이 있지만 현재까지 멀티코어 지원이 되지 않거나, 그래픽 처리에 따른 별도의 모듈을 추가하는 등 고가(수천만원)로 연구용으로 사용하기에는 부적절하다. Real-Time Linux(RT-Linux)는 소스가 공개되어 있으며 커널을 패치하여 실시간 서비스를 제공하는 운영체제이다. 본 연구에서는 오픈 소스로 제공되는 Politecnico di Milano에서 개발한 RTAI(Real-Time Application Interface)를 적용하였다. RTAI의 대표적인 기능은 다음과 같다.



[그림 4] 임무 수행중 요구되는 부동소수점 연산

- POSIX 1003.1b 호환(Pthreads, mutexes와 conditional variable 포함)
- PISIX 1003.1c 호환(Pqueues only)
- 일반적인 RTOS IPCs(Semaphore, Mailbox, FIFO, Shared memory, RPC 포함)
- 동적 메모리 할당
- PERL 바인딩/proc 인터페이스
- UniProcessor, Multi-UniProcessor, SMP(Symmertic Multi-Processor)
- FPU 지원
- One-shot and periodic schedulers 지원 등이 있다.

RTAI는 단일 CPU에서의 실시간 스케줄러뿐만 아니라, SMP(Symmertic Multi-Processor)에서도 실시간 스케줄러를 제공한다.

3. 멀티코어 IMA 기반 시스템 플랫폼

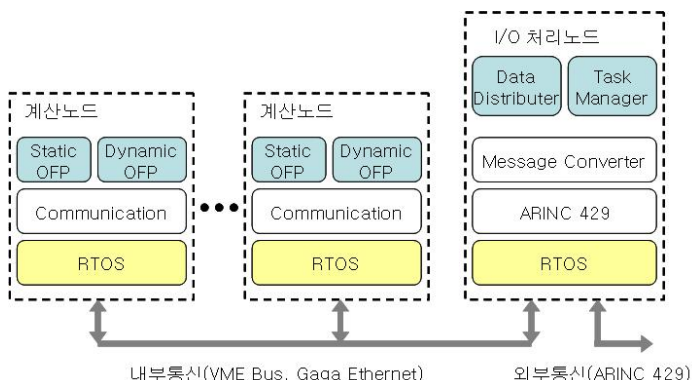
본 절에서는 멀티코어 IMA 기반 시스템 플랫폼의 설계와 구축에 대해서 살펴본다.

3.1 IMA 기반 항공 임베디드 시스템 설계

항공 임무 컴퓨터는 항공기내에 특정 목적을 수행하는 실시간 컴퓨터로 여러 개의 SBC로 구성된다. 각 SBC에는 OFF가 1~2개 탑재되어 독립적인 기능을 수행한다. 본 연구에서는 기존의 단일코어 기반의 SBC를 멀티코어로 대체함으로써 여러 개의 SBC 수를 줄이고 여러개의 서로 다른 OFF가 하나의 SBC에서 수행되도록 한다.

본 연구에서 구성한 항공 임베디드 시스템 플랫폼의 설계는 [그림 5]와 같다. 시스템은 여러 개의 멀티코어 기반 SBC로 구성되며 OFF를 수행하는 계산 노드와 외부 항공 데이터를 처리하는 I/O 처리노드로 나누어진다. 모든 SBC에는 실시간 운영체제가 탑재되어 실행되며 데이터에 대한 실시간성을 보장한다. 주요 구성 요소 및 역할은 다음과 같다.

- RTOS: 실시간 운영체제로 각 SBC의 실시간성 제공
- Static OFF: 고정적으로 실행이 되는 주요 항공



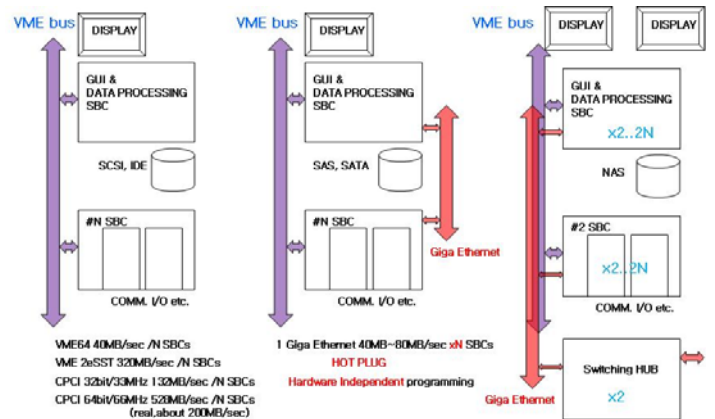
[그림 5] 항공 임베디드 시스템 구성

- OFF
- Dynamic OFF: 동적으로 실행이 되는 주요 항공 OFF
- Communication: 항공 임베디드 시스템 내에서 주고받는 데이터에 대한 실시간성 보장
- Data Distributer: 입력된 항공 데이터에 대해서 해당 OFF에 전달
- Task Manager: 입력된 항공 데이터에 대해서 동적으로 OFF생성
- Message Converter: 외부로부터 받은 데이터를 내부 데이터 형식으로 변환
- ARINC 429: 항공 데이터 표준인 ARINC 429 프로토콜 스택

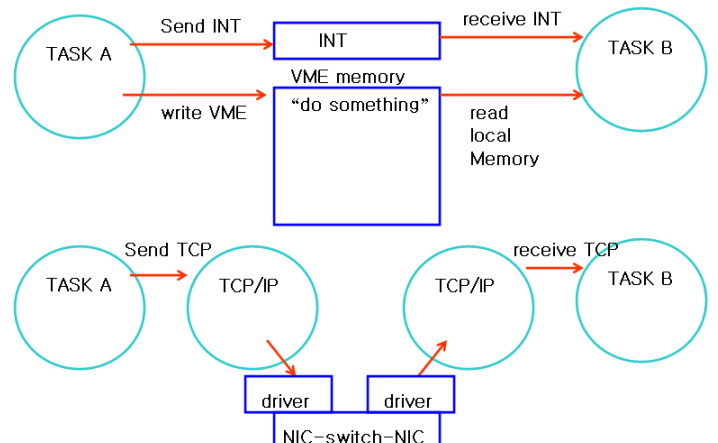
다음 절에서 IMA 기반 S/W 개발환경 구축에 필요한 기본 개념과 방법을 살펴본다.

3.2 IMA 기반 S/W 개발환경 구축

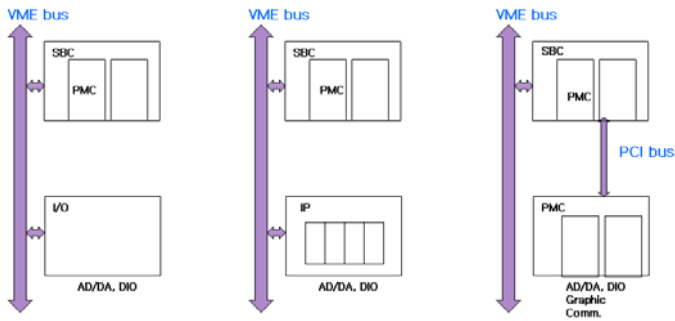
IMA 시스템에는 여러 모듈(SBC- 계산, I/O 기능 등)이 통합되어 운영되며 IMA 내의 여러 SBC는 제어신호 및 대용량의 데이터를 빈번하게 전송하여야 한다. VME 기반의 플랫폼으로 구성시 [그림 6]과 같이 VME Bus를 통한 연결 및 Gigabit Ethernet을 통한 연결이 가능하다. IIMA 모듈간의 기본 통신 방식은 VME Bus의 사용이다.



[그림 6] VME SBC간 상호연결



[그림 7] VME vs Giga Ethernet



[그림 8] VME I/O 확장



[그림 10] SBC(VP 426/231-63)

더욱 중요한 문제는 국산화에 있어 장애 요인이 발생하는 것이다. 본 연구에서는 다양한 운영체제를 지원하는 Intel 계열의 Processor를 선택하였다. 현재 구매 가능한 SBC의 최대 코어는 8-Core이다. 하지만 코어의 수가 Quad를 넘어설 경우 운영체제에서의 지원 및 전력소비, 발열 등의 이유로 비효율적인 환경으로 전락한다. 그러므로 위 요건을 고려하여 Intel의 Quad-core Xeon Processor(VP 426/231-63)[그림 10][5]를 선택하였으며 기본 사양은 다음과 같다.

1) 기본사양

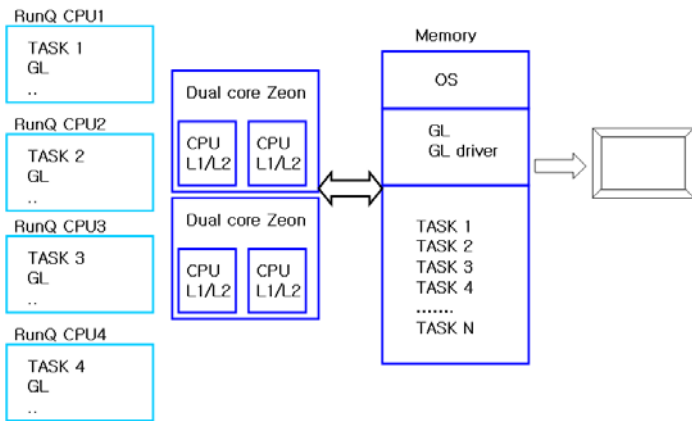
- Quad-Core Intel Xeon Processor ULV
- 1.66 GHz/2 Mbytes On-die shared L2 cache
- 4 Gbytes DDR2-400 SDRAM
- 1 x PMC or XMC interface
- 2 x SATA 150(SATA) channels
- 4 x 10/100/1000 Mbps rear panel ethernet interfaces
- On-board Graphics 지원
- 4 x USB 2.0 Ports
- 2 x RS232/RS422/RS485 serial channels

2) 호환성

Intel 계열 프로세서의 사용으로 RTLinux, Windows XPm QNX, Solaris and Lynx OS, VxWorks등을 사용 가능하다. 본 환경에서는 Linux에 RTAI를 적용하여 실시간 시스템으로 구축하였으나 멀티부팅 환경을 제공하여 VxWorks, Windows 운영체제도 선택적으로 사용가능하다.

3.2.2 그래픽 처리 모듈

그래픽 처리 모듈은 수행 결과를 직접적으로 보여주는 중요한 요소이다. SBC의 온보드(On-Board) 그래픽 모듈로 기본적인 그래픽 처리는 가능하지만 OpenGL 등의 빠른 처리 및 시뮬레이션을 위해서 별도의 모듈을 사용해야 한다. SBC에 장착되어 있는 프로세서는 64bit



[그림 9] OpenGL & SMP

이는 Send, Receive Interrupt 사용만으로도 쉽게 통신이 가능하며 [그림 7]과 같이 TCP/IP 통신도 가능하다. IMA에 VME Bus를 사용한 추가 모듈 확장을 고려할 때 [그림 8]과 같이 SBC 및 I/O 모듈을 삽입하여 확장할 수 있으며, 모듈 자체의 PMC(PCI Mezzaine Card)와 다른 모듈의 PMC를 연결하여 추가 확장 또한 용이하다. 또한 그래픽 출력을 위한 계산 작업을 많이 필요한 경우 멀티코어를 사용하여 분산 처리하고 이를 통해 나온 그래픽 데이터를 VME Bus 및 Ethernet으로 전송하여 빠른 수행이 가능하도록 구성하였다.[그림 9] IMA 기반 멀티코어 소프트웨어의 수행 플랫폼은 여러 코어간의 실시간 정보전달 및 대량의 데이터 전송이 필수적이다. VME 기반의 플랫폼은 Bus 레벨 통신과 Ethernet을 통한 대용량 데이터 전송이 가능하며, 여러 SBC를 추가 장착하더라도 제어가 용이하다.

3.2.1 멀티코어 SBC

IMA 기반 멀티코어 소프트웨어 수행 플랫폼에서 SBC의 역할은 아주 중요하다. 현재 항공 임베디드 시스템에 사용되는 대표적인 프로세서는 파워피씨(PPC, Performance optimization with enhanced RISC for Personal Computer)이다. 하지만 PPC 사용 시 높은 비용이 걸림돌로 작용하며 운영체제 사용에도 제한이 발생한다. 대표적으로 PPC와 VxWorks는 최적의 구성이지만 높은 가격 및 그래픽처리에 어려움이 발생한다. 그리고



[그림 11] XM 403/x33 XMC Graphics Adaptor

Xeon으로 XMC Type으로 연결 가능한 그래픽 모듈을 조사하였다. VxWorks 기반에서 OpenGL을 사용하려면 환경 구축비용이 매우 높아지며, 사용 가능한 모듈 또한 제한이 생긴다. 그리고 VxWorks로의 Porting 작업 또한 수천 만원의 비용이 예상된다. 그러므로 Window 혹은 Linux 기반의 OpenGL Driver가 제공되고 별도의 H/W 추가없이 OpenGL을 빠르게 수행할 수 있는 Concurrent Technologies사의 “XM 403/x33” 그래픽 모듈을 장착하였다. 그래픽 모듈의 기본 사양은 다음과 같다.

- S3 Graphics 2300E 3D/2D Dual Display Controller
- 128bit 300MHz Processor
- OpenGL made by S3 graphics
- 2 independent graphics interfaces
- Resolution up to 2048 * 1536 pixel CRT, 32bit
- Resolution up to 2560 * 1600 pixel DFP, 32bit
- 256MB 64bit gDDR2 400MHz DRAM
- DVI-I and VGA port on the front pannel

3.2.3 저장장치와 모듈 연결장치

플랫폼에 사용되는 저장매체로는 2.5 inch SATA interface를 사용하는 64GB SSD- SLC(Solid State Drive-Single Level Cell)을 적용하였다. SLC Type은 반도체를 이용하여 정보를 저장하는 장치이며 하드디스크 드라이브에 비하여 속도가 빠르고 기계적 지연이나 실패율, 발열, 소음도 적으며, 소형화 경량화 할 수 있는 장점이 있다. Intel의 SSD를 사용하였으며 SBC(VP 426)의 Rear Connect에 연결되어 동작한다. SBC의 통신 모듈(Ethernet) 연결은 Concurrent Technologies사의 “FP 210/024”[그림 12]이며 기본 사양은 다음과 같다.

- C-FP 210/024-01: 24pt GigE Switch
- AD FP2/001-24: 12 x RJ45 front panel connectors
- 24 port 10/100/1000Mbps Ethernet Switch board
- Full line rate layer 2 switching engine
- Supports up to 8K MAC addresses with automatic



[그림 12] FP 210/024 Ethernet Switch Board

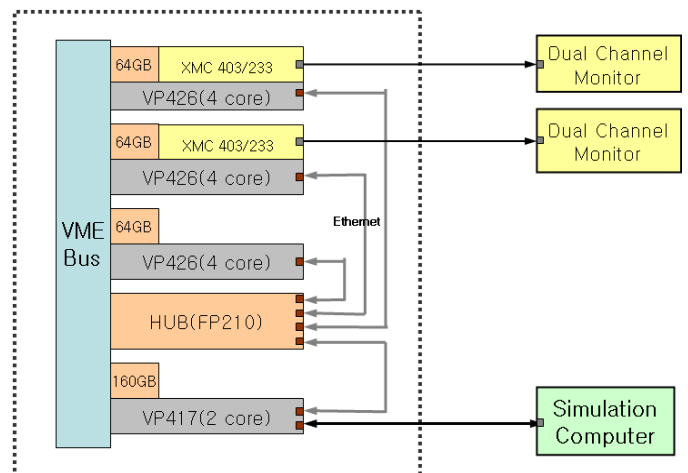
learning and aging

- Auto-Negotiation on all Ethernet ports(1000Mbps full-duplex)

항공 임베디드 시스템 구축에 포함되는 각각의 모듈은 랙(SY VME8U/64x10-V-P2)에 통합하여 제작하였다. IMA기반의 멀티코어 시스템에는 여러 SBC와 통신모듈 및 추가 I/O 모듈이 발생할 수 있으므로 확장성 및 전원의 안정성을 고려해야 한다. 그러므로 전체 10개의 Slot으로 확장성을 고려하고 모듈 추가에 따른 파워 부족에 대비하여 500Watt Power Supply를 Dual로 장착하였다. 본 연구에서 구축한 랙은 VMETech(주)에서 제작하였으며 랙의 기본 사양은 다음과 같다.

- 19 Inch Rackmount Type
- Height: 8U
- 10 slots VME64x P1/P2/P0 Backplane
- Dual 500 Watt Slot Power Sup

멀티코어 IMA 기반 시스템 플랫폼의 구조를 [그림 12]에 나타내었다. 기본 Bus로 VME를 사용하여 제어 및 안



[그림 12] Rack(SY VME8U/64x10-V-P2)



[그림 13] SY VME8U/64x10-V-P2 (앞)



[그림 14] SY VME8U/64x10-V-P2 (뒤)

정성을 고려하였으며, 모듈 추가에 따른 확장성을 고려하였다. OpenGL 등을 사용한 그래픽 처리를 원활히 수행하기 위해서 2개의 그래픽 모듈을 장착하였다. 이 모듈을 통해서 모든 시각적인 요소가 시뮬레이션 된다. 계산작업이 많은 경우 3개의 SBC로 분산처리하고 VME Bus 및 Ethernet을 통하여 데이터 전송이 가능하며 외부 시뮬레이션 컴퓨터에서 TCP/IP 및 ARINC 429 신호를 받아서 처리할 수 있다. 시스템에 RTAI를 적용하여 실시간성을 보장한다. 제시한 플랫폼의 모습은 [그림 13][그림 14]와 같다.

4. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 멀티코어 기반 통합 모듈형 항공전자 시스템(IMA) 플랫폼을 제시하였다. 기존의 항공 임베디스 시스템이 가지는 연합형 모델의 문제점을 개선하고 차세대 IMA 시스템으로 활용할 수 있으며 실시간 운영체제 모듈을 적용하여 항공기 소프트웨어의 개발 환경을 제공한다.

향후계획으로 멀티코어 IMA 구조에 적용가능한 비용 운용 프로그램 개발 및 ARINC 653 API를 개발하여 다양한 테스트와 오류 검증을 거쳐서 안정적이고 신뢰성있는 플랫폼으로 완성해 나가야 할 것이다.

참고문헌

[1] ARINC Spec. <http://www.arinc.com/>.
 [2] ARINC, Avionics Application Software Standard Interface, Part 1 - Required Services, ARINC Specification 653P1-2, December 2005.
 [3] ARINC, Avionics Application Software Standard Interface, Part 2 - Extended Services, ARINC Specification 653P2-1, December 2008.
 [4] ARINC, Avionics Application Software Standard Interface, Part 3 - Conformity Test Specification, ARINC Specification 653P3, October 2006.
 [5] Concurrent Technologies Inc., *Technical*

Reference Manual for VP426/23x VME, 2007.
 [6] FAA DO-297, <http://www.faa.gov/>.
 [7] James W. Ramsey, *Integrated Modular Avionics: Less is more*, Avionics, February 2007.
 [8] Joao Monteiro, *RTAI Installation Complete Guide*, February 2008. [] Philippa Conmy, mart Nicholson, John McDermid, "Safety Assurance Contracts for Integrated Modular Avionics," *the 8th Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software(SCS03)*, vol. 33. United Kingdom, 2003.
 [9] Rene L.C. Eveleens, "Integrated Modular Avionics Development Guidance and Certification Considerations," *National Aerospace Laboratory NLR*, Netherlands, 2006.
 [10] Rochard L. Alenam, Andre Goforth, "Communications for Integrated Modular Avionics," *IEEE Aerospace Conference*, December 2006.
 [11] RTAI, <http://www.rtai.org>.
 [12] 구금서, 전용기, "항공기의 실시간 임무컴퓨터 개발을 위한 멀티코어 테스트베드," *한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집*, 16(1), pp. 688-691, 한국정보처리학회, 2009. 4.
 [13] 문성태, 양승열, 이재억 "임무컴퓨터의 하드웨어 시험을 위한 테스트 소프트웨어 개발," *한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집*, pp. 562-565, 한국항공우주학회, 2008. 11.
 [14] 반천식, 양상우 "고속 직렬버스를 적용한 임무컴퓨터의 개발," *한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집*, pp. 554-557, 한국항공우주학회, 2007. 11.
 [15] 양상우, 이진섭, 임성진 "IT 기술을 접목한 항공 임베디드 시스템 개발," *한국통신학회지 정보와통신*, 25(6), pp. 18-24, 한국통신학회, 2008. 5.