

중복안정성 확보를 위한 항공전자 소프트웨어 설계방안 연구

임성신^{1,†} · 조한상¹ · 김종문¹ · 송재일¹

¹한국항공우주산업(주) 항전체계실

A Study on the Avionics Software Design for Redundancy

Sungshin Lim^{1,†}, Hansang Jo¹, Jongmoon Kim¹ and Chaeil Song¹

¹Avionics System Section, Korea Aerospace Industries

Abstract : The aircraft manufacturers are constantly driving to reduce manufacturing lead times and cost at the same time as the product complexity increases and technology continues to change. Integrated Modular Avionics (IMA) is a solution that allows the aviation industry to manage their avionics complexity. IMA defines an integrated system architecture that preserves the fault containment and ‘separation of concerns’ properties of the federated architectures. In software side, the air transport industry has developed ARINC 653 specification as a standardized Real Time Operating System (RTOS) interface definition for IMA. It allows hosting multiple applications of different software levels on the same hardware in the context of IMA architecture. This paper describes a study that provided the avionics software design for separation of fault and backup of core function to reduce workload of pilot with cost efficiency.

Key Words : Avionics Software, Integrated Modular Avionics, ARINC 653, Operational Flight Program, Redundancy, Partitioning, Backup

1. 서 론

고객의 요구가 복잡해지고, 납기일정 단축 및 비용 절감에 대한 압력도 증가하고 있어 항공기 개발에 어려움이 가중되고 있다. 그리고 최신의 항공기 개발에는 항공전자의 적용과 통합의 복잡도가 더욱 증가하고 있다[1].

지금까지의 항공전자 시스템은 단일 기능을 독립적인 Sub-System 또는 LRU(Line Replacement Unit) 단위로 개발하여 결합하는 Federated 방식으로 개발되었다. 그러나 컴퓨터 성능이 향상되고 항공기의 기능이 첨단화/고기능화됨에 따라 요구하는 LRU가 증가

하여 무게가 늘어나고 장착 공간이 부족한 문제가 있다. 이의 해결을 위해 단일 LRU에서 여러 기능을 수행할 수 있는 통합모듈형 항공전자인 IMA(Integrated Modular Avionics) 방식이 복잡도를 해결할 수 있는 수단으로 대두되고 있다[2,3]. 이와 같은 상황에서 소프트웨어 분야는 재사용 가능한 표준 컴포넌트/모듈화를 위해 ARINC 653이라는 표준을 제정하여 발전하고 있다[4,5].

해외의 경우 항공기 중량 및 비용절감을 위해 개방형 IMA 항공전자를 A380, F-35, B-787 등에 적용하여, 하드웨어에서 소프트웨어로의 패러다임 변화를 통해 항공기의 SWaP(Size, Weight and Power)을 감소하여 궁극적으로 비용 절감을 달성하고 있다. 개방형 IMA 항공전자를 적용한 B787은 중량을 1,000 Lbs 줄여 비용을 절감하였으며, 특히 F-35의 경우 탑재장비를 13개에서 5개로 줄이고 소프트웨어 능력을 강화

Received: Feb. 14, 2014 Revised: June 25, 2014 Accepted: June 28, 2014

† Corresponding Author

Tel: +82-55-851-9188, E-mail: sslim@koreaero.com

Copyright © The Society for Aerospace System

하는 형태로 발전시켰다[6-8].

국내 항공전자 소프트웨어는 해외기술에 의존하여 시스템통합을 추진하였다. 그러나 2007년 Air-BEST 과제로 비행운용프로그램, 항공운영체제, 임무컴퓨터 중심으로 자체 연구 개발을 수행했으며 ARINC 653 및 IMA구조에 대한 응용연구를 수행하였다[9]. 2010년 WBS과제로 무인기 표준 SW플랫폼 및 Test-bed 개발과제 사업을 통해 ARINC 653 표준 소프트웨어 인터페이스, 실시간 스케줄링, 파티션관리 및 메모리 관리 기능을 지원하는 Qplus-653을 개발했다[10].

이와 같은 기술 발전의 배경에는 조종사의 임무능력 극대화를 위해 결합의 분리와 핵심기능의 백업에 대한 요구가 있었다. 이에 본 논문에서는 위의 요구를 만족하고 투자대비 성능이 뛰어나며 Redundancy를 확보할 수 있는 항공전자 소프트웨어 설계방안을 찾아보고자 한다.

2. 기술 동향

2.1 항공전자/무기체계 소프트웨어

항공전자(avionics)라 함은 항공(aviation)과 전자(electronics)의 합성어로서 항공기 및 항공우주 관련 전 분야에 이용되는 전자장비 체계를 총칭한다. 전투기에서는 주로 통신, 항법, 시현, 탐색 및 식별, 정찰, 공격, 전자전 등에 사용되는 장비를 항공전자 장비라고 일컬으며, 이들을 동작시키는 소프트웨어까지 포함한다. 군용 항공기의 기능별 상세 분류는 Fig. 1과 같다[11].

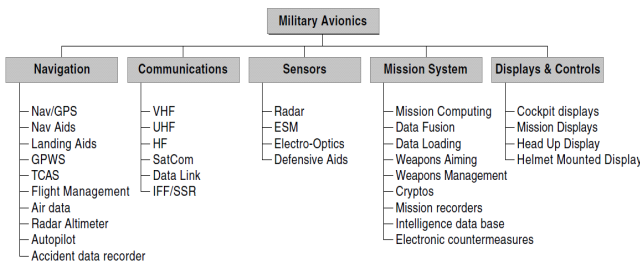


Fig. 1 Product Breakdown Structure of a Military Aircraft System

Fig. 2에서 알 수 있는 것처럼 무기체계의 소프트웨어 비중은 과거보다 급격히 증가하고 있으며 전투기는 소프트웨어에 의한 기능 구현 비율이 1960년대에는 10% 미만이었으나 2000년대에 개발된 F-22(랩터)의 경우 약 80%에 달한다고 한다. 국내의 경우 최근에 개발된 신형소총(K-11)에 소프트웨어가 내장될 정도로 이제는 소프트웨어가 없는 무기체계는 찾아보기 어려울 정도이다.

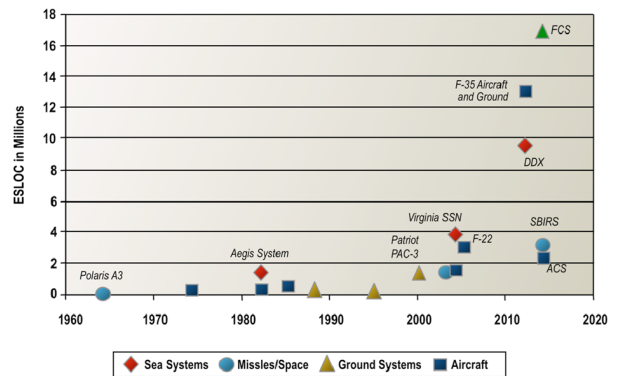


Fig. 2 Executable Source Lines of Code within Classic Weapon Systems

무기체계 소프트웨어는 개발비용도 많이 소요될 뿐 아니라 운용유지 비용도 많이 소요된다. 무기체계는 대부분이 획득 후 약 20-30년 이상 장기간 운용되므로 체계 운영 중에 기능을 개선하거나 성능을 개량할 경우가 많은 특징이 있다[12-13].

2.2 IMA(Integrated Modular Avionics)

과거의 항공기 시스템은 단일 기능을 독립적인 Sub-System 또는 LRU(Line Replacement Unit) 단위로 개발하여 결합하는 Federated 방식으로 개발하고 있으나, 컴퓨터 성능이 향상되고 항공기의 기능이 첨단화/고기능화됨에 따라 요구하는 LRU가 증가하여 단일 LRU에서 여러 기능을 수행할 수 있는 IMA(Integrated Modular Avionics) 방식이 활용되고 있으며 S/W도 이에 맞춰 재사용 가능한 표준 컴포넌트/모듈화되고 있다.

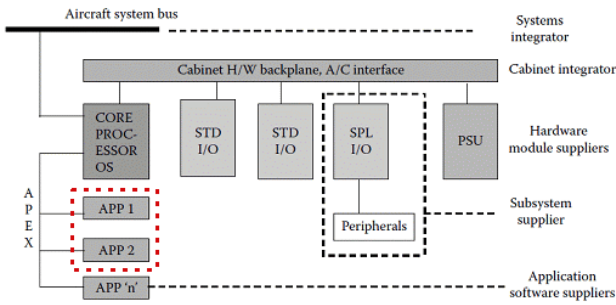


Fig. 3 IMA System Architecture

IMA는 항공기체계의 영원한 숙제인 수명주기비용 절감을 실현하기 위한 항공전자시스템의 기술적 해결책이다. 기술적인 측면에서는 예전 방식의 항공전자장비들 대신 위의 Fig. 3과 같이 표준 모듈들의 통합 컴퓨터시스템으로 구성하는 것이 점차 요구된다. 소형, 경량화를 통한 연비/성능향상(SWaP) 및 표준화를 통한 하드웨어와 소프트웨어의 단종대처가 쉽기 때문이다.

2.3 ARINC 653

ARINC는 Aeronautical Radio, Incorporated의 약자로 미국의 비영리 단체이며, 5개 분야(항공, 공방, 국방, 정부, 수송)를 주 업무 영역으로 두고 있다. 이 단체는 LRU(Line Replaceable Units)에 대한 표준을 확립한 단체로써 지상 기지국과 항공기간의 통신 서비스 및 항공 전자 표준 규격을 정의하고 있다. 이중 ARINC 653은 IMA 시스템을 위하여 운영체제와 응용 프로그램 간의 인터페이스에 대한 표준을 정의하고 있으며 그 구조는 Fig.4와 같다.

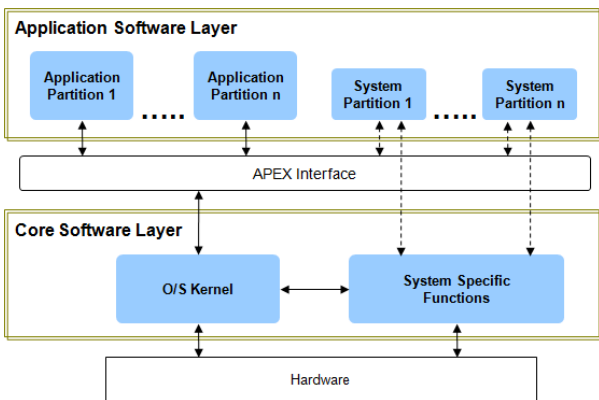


Fig. 4 ARINC 653 Architecture

ARINC 653은 IMA를 위하여 파티셔닝이라는 핵심적인 기능을 정의한다. 파티셔닝이란 각 응용프로그램을 하나의 파티션으로 인식하고 각 파티션에 대하여 공간분할(Spatial Partitioning)과 시간분할(Temporal Partitioning)개념을 도입하였다. 공간분할은 다른 각 파티션이 서로 물리적 메모리 자원에 영향을 끼치지 못하는 것을 말한다. 그리고 시간분할은 파티션에 할당된 시간자원(프로세서 자원) 역시 다른 파티션에서 간섭할 수 없다는 것을 의미한다. 이와같은 파티셔닝 개념은 항공전자 시스템과 같이 중요한 임무를 수행하는 환경에서 하나의 응용프로그램 오류가 전체 시스템에 악영향을 미치는 것을 방지하여 높은 신뢰성을 제공할 수 있다.

이러한 특성을 가진 ARINC 653은 다양한 환경에 적용하고자 활발히 연구되고 있다. 예로서 WindRiver의 VxWorks653은 보잉 787 드림라이너를 포함한 40여가지 이상의 기체에서 180개 이상의 서브시스템에 적용되어 사용되고 있고, GHS의 Integrity 178은 JSF(Joint Strike Fighter)에서 이용되고 있다.

3. 항공전자 소프트웨어 Redundancy 확보 방안

항공전자 소프트웨어 측면에서 조종사의 임무능력 극대화를 위해 결함의 분리와 핵심기능의 백업에 대한 요구가 있으며 이와 가장 연관이 많은 장비가 임무컴퓨터(MC: Mission Computer)이다. MC에 장애가 발생하면 전체 항공전자시스템의 제어 및 시현을 할 수 없어질 수 있다. 국산항공기는 이의 해결을 위해 MC를 2대 탑재하여 이중화하는 방법을 XKT-1과 KUH에서 사용했고, FA-50에서는 MC를 SMFD(Smart Multi-Function Display)가 백업하는 형태로 개발되었다. 그리고 IMA가 도입되면서 MC 내부에서 자체적으로 여분의 카드를 두고 백업하는 형태의 연구가 진행되고 있다. 이에 본 장에서는 사례를 통해 특징을 분석해 보고자 한다.

3.1 MC 2대를 이용한 Redundancy 확보

XKT-1과 KUH의 경우 Primary MC와 Secondary

MC를 두어 운용하는데 평상시에는 Primary MC가 제어를 담당하고 백업모드에서 Secondary MC가 제어를 담당한다. 백업모드에서 사용할 수 있도록 두 MC는 실시간으로 상태 정보를 동기화한다. 이를 위해 2개의 MC에는 동일 형상의 4개의 OFP(Operational Flight Program)가 탑재되며 각각의 OFP는 자신이 Primary MC에 탑재되었는지 Secondary MC에 탑재되어 있는지와, 동일 MC 내에서 Monarch / Non-Monarch Processor에 탑재되는지 확인하여 동작 기능을 제한한다.

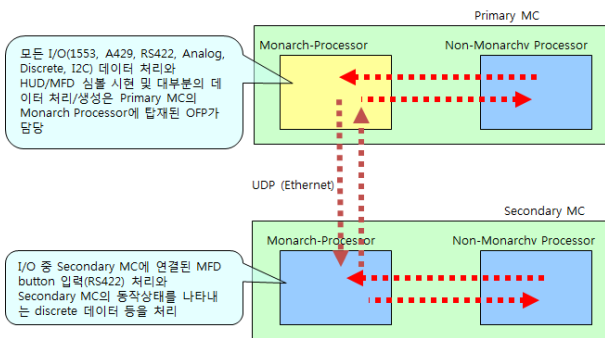


Fig. 5 KKT-1 Dual MC Architecture

3.2 Smart LRU를 이용한 Redundancy 확보

FA-50에서는 MC에 장애가 발생할 경우 주요 기능을 SMFD에서 백업한다. 디스플레이장비(MFD: Multi-Functional Display)에 “Smart”를 붙여 표현한 이유는 외부로부터 비디오를 입력받아 보여주는 기본 기능뿐만 아니라, 내부의 CPU와 GPU등을 통해 자체적으로 그래픽을 생성할 수 있는 기능 및 입출력 처리까지 자체적으로 가능하기 때문이다. 실제 FA-50에서 사용하는 SMFD는 MC보다 CPU 성능과 지원 기능이 다소 낮을 뿐이지 MC와 비슷한 기능을 수행하고 있다. 특히 백업모드에서 OpenGL을 이용한 페이지 시현, IUFC(Integrated Up Front Control) control, 1553 Bus Control 등 MC의 핵심 기능을 효과적으로 수행하고 있다. Fig.6은 백업모드에서 시현되는 페이지의 사례를 나타낸 것이다.

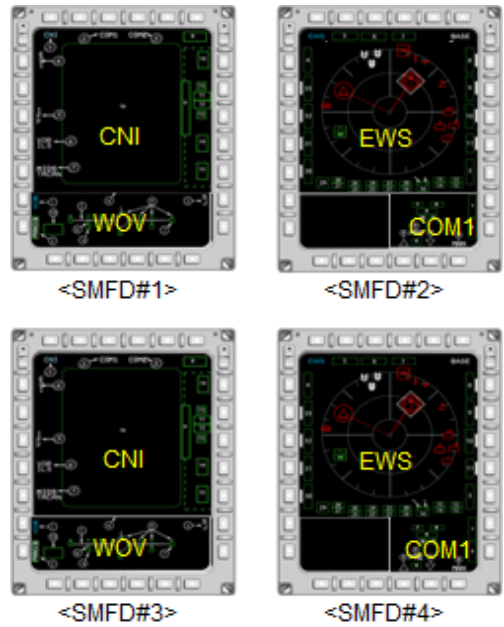


Fig. 6 FA-50 Backup Function on SMFD

3.3 IMA를 이용한 Redundancy 확보

IMA의 경우 동일한 형상의 모듈(Common Purpose Module)을 MC에 여분으로 둘 수 있으며, 각 모듈은 독립적으로 작동하므로 하나의 하드웨어 모듈에서 고장이 발생할 경우 여분의 자원(모듈)을 활성화하여 정상 작동 가능하다. 또한, Fig. 7과 같이 ARINC 653 규격을 지원하는 운영체제와 Multi-Partition 기반으로 개발한 항공전자 소프트웨어는 특정 파티션에 오류가 발생하여도 해당 모듈의 다른 파티션이나 다른 모듈의 OFP 동작에 아무런 영향을 미치지 않으며, 오류가 발생한 파티션을 폐쇄하고, 대응되는 대기(Standby) OFP 파티션을 즉시 활성화하여 정상적인 작동을 유지할 수 있다. 따라서 이는 하드웨어 수준 및 소프트웨어 수준에서 모듈 및 파티션 단위의 중복안정성을 제공할 수 있다. 심지어 대체 자원이 고갈된 경우의 추가 고장이 발생하더라도 해당 기능을 제외한 다른 기능은 정상적으로 유지할 수 있는 특성을 제공할 수 있는 2세대 IMA에 대한 연구가 진행되고 있다[15,16].



Fig. 7 IMA Reconfiguration(Scarlett project)

3.4 IMA와 Smart LRU를 이용한 Redundancy 확보

앞에서 살펴본 두 방식을 합친 것이 IMA 구조의 MC와 Smart LRU를 이용한 redundancy 확보 방법이다. 최신 항공기에는 Smart MFD를 넘어 Smart LAD(Large Area Display)로 발전해 가고 있다. 이는 대화면을 가지고 터치스크린의 입력도 지원되는 차세대 시현 장비로 그 활용도가 커지고 있다.

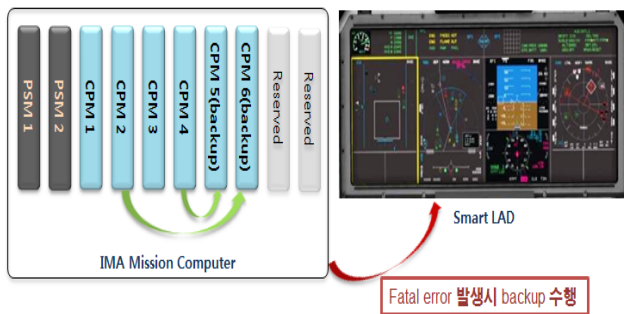


Fig. 8 Redundancy with IMA MC and Smart LAD

Fig. 8처럼 구성할 경우 IMA 구조의 MC가 이용되므로 모듈에 장애가 발생했을 경우 이를 예비 모듈에 백업할 수 있다. 그리고 IMA MC에 물리적 장애가 발생하거나 복구할 수 없는 상황이 발생할 경우 Smart LAD를 이용하여 핵심 기능을 백업하는 것이 가능하리라 생각된다.

4. 결 론

최근 항공기는 증가하는 요구도를 만족시키기 위해 항공전자의 적용이 많아지고 있으며 또한 통합의 복잡도 또한 증가하고 있다. 이를 개선하고자 항공전자시스템은 IMA 형태로 발전하고 있으며, 이를 위해 소프트웨어 측면에서도 개발된 표준이 ARINC 653 이다. ARINC 653의 핵심인 파티셔닝은 각 응용프로그램 하나의 파티션으로 인식하고 각 파티션에 대하여 공간 분할과 시간분할 개념을 통해 하나의 응용프로그램 오류가 전체 시스템에 악영향을 미치는 것을 방지하여 높은 신뢰성을 제공할 수 있다.

본 논문에서는 조종사의 임무능력 극대화를 위해 결합의 분리와 핵심기능의 백업에 대한 요구를 만족시킬 수 있는 Redundancy가 보장된 항공전자 소프트웨어 설계방안을 살펴보았다. 요컨대, IMA MC 2대를 이용한 Redundancy 확보방안의 경우 성능은 좋겠지만 투자비용이 많이 소요되며, Smart LRU를 이용한 Redundancy 확보의 경우 비용적인 측면에서는 장점이 있지만 모든 기능에 대한 Redundancy 확보엔 제한이 있다고 생각된다. 그리고 IMA MC를 이용할 경우 단일 LRU로 Redundancy를 확보할 수 있으나 single point 오류의 발생에 대한 보완 방법이 없다. 그래서 IMA와 Smart LRU를 결합하여 Redundancy를 확보하는 방법이 가장 투자대비 효과가 좋다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Mambo, K. Usuda and E. Okamoto, "Proxy Signature : Delegation of the Power to Sign Messages," In IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No. 9, pp. 1338-1353, Sep., 1996.
- [2] CARY R. SPITZER, Avionics: Development and Implementation, 2007
- [3] Richard Garside, Joe F. Pighetti, "Integrating Modular Avionics: A New Role Emerges", 2007, IEEE
- [4] James Windsor, Marie-helene Deredempt, Regis De-Ferluc, "INTEGRATED MODULAR AVIONICS

FOR SPACECRAFT - USER REQUIREMENTS, ARCHITECTURE AND ROLE DEFINITION", 2011, IEEE

[5] Paul J. Prisaznuk, "ARINC 653 ROLE IN INTEGRATED MODULAR AVIONICS(IMS)", 2008, IEEE

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/ARINC_653

[7] <http://www.windriver.com/>

[8] <http://www.ghs.com>

[9] 양상우, 이진섭, 임성신, "IT기술을 접목한 항공 임베디드 시스템 개발", 2008, 한국통신학회지

[10] 이서준, 김두현, "국방용 RTOS 기술 동향", 2011, 정보과학회지

[11] Ian Moir, Allan G. Seabridge, "Military Avionics Systems", 2006, John Wiley & Sons Ltd

[12] 이성남, 김태원, "무기체계 SW 현황 및 발전방향", 2011, 정보과학회지

[13] Jack Ferguson, "Crouching Dragon, Hidden Software: Software in DoD Weapon System", 2001, IEEE

[14] Defense Science Board Task Force, "Department of Defense Policies and Procedures for the Acquisition of Information Technology", 2009, Office of the Under Secretary of Defense

[15] 나원규, 양승열, "KF-X 적용을 위한 통합형 모듈러 구조 임무컴퓨터 중복안정성 연구", 2012, 항공우주무기체계세미나

[16] <http://www.scarlettproject.eu>

저자 소개



임성신

2003년 부산대학교 전자계산학과 박사 수료. 2003년~2007년 동명대학교 초빙 교수. 2007년~현재 한국항공우주산업(주) 책임연구원. 관심분야는 항공전자 소프트웨어, 인공지능, IMA.



조한상

1996년 국민대학교 기계설계과 졸업. 2003년 경상대학교 대학원 석사. 1996년~현재 한국항공우주산업(주) 수석연구원. 관심분야는 항공전자, 무기체계 소프트웨어, IMA.



김종문

1990년 충북대학교 전자계산기공학과 졸업. 1992년~현재 한국항공우주산업(주) 항전S/W팀장. 관심분야는 항공전자 소프트웨어, IMA, 임베디드 소프트웨어.



송재일

1985년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1985년~현재 한국항공우주산업(주) 고정익항전체계실장. 관심분야는 항공전자, 무기체계소프트웨어, IMA.