

PowerPC 를 이용한 저궤도 위성용 탑재소프트웨어 개발환경에 대한 연구

이재승*, 박희성*, 박성우*, 김대영*, 이종인*
*한국항공우주연구원
e-mail : jslee@kari.re.kr

A Study on the Development Environment for Flight Software using PowerPC

Jae-Seung Lee*, Hee-Sung Park*, Sung-Woo Park*, Day-Young Kim*, Jong-In Lee*
*Korea Aerospace Research Institute

요 약

위성의 개발을 위해서는 오랜 개발기간과 많은 예산, 축적된 기술이 요구된다. 또한 위성에는 다양한 분야의 기술이 사용되어지기 때문에 각 서브시스템마다 독자적인 개발환경을 구축할 필요가 있다. 특히 위성의 제어, 임무수행 및 지상과의 통신 등을 담당하는 탑재소프트웨어는 위성의 용도 및 목적에 따라 개발환경이 크게 달라진다. 실시간 운영체제는 무엇을 사용하는지, 개발 및 검증을 위한 도구로 어떤 프로그램을 사용하는지, 내외부의 인터페이스는 어떠한 방식으로 수행할지, 새로운 기능의 CPU 나 하드웨어에 대한 제어 등 위성의 탑재소프트웨어를 개발하기 위해서는 다양한 사항들이 고려되어야 한다. 새로운 위성을 개발할 경우 신기술의 적용과 새로운 위성시스템의 검증 및 개발을 위한 개발검증장비가 요구되며, 위성시스템의 변경 때마다 개발검증장비를 새로이 구축하게 되면 많은 기간과 막대한 비용이 위성개발 시마다 소요된다. 위성선진국에서는 다양한 위성의 개발 시 비용절감 및 개발기간 단축을 위하여 범용위성용 개발검증장비를 개발하여 이용하고 있는 추세이다. 국내에서는 다목적실용위성 1 호가 발사되어 성공적으로 임무를 수행하고 있으며 다목적 실용위성 2 호가 개발되어 현재 통합 및 검증시험이 진행 중이다. 그러나 새로운 위성시스템의 사전 검증 및 신기술의 적용을 위한 범용위성 시스템 테스트베드에 대한 기술은 미비한 실정이다. 이러한 범용위성용 개발검증장비의 기반기술을 확보하기 위하여 현재 위성전자전산시스템 개발검증장비에 대한 연구가 수행되고 있다. 본 논문에서는 현재 수행되고 있는 PowerPC 를 이용한 위성 탑재 소프트웨어 개발검증시스템의 설계 및 개발에 대하여 설명한다.

1. 서론

세계 선진국들이 앞다투어 우주개발을 위한 위성기술 연구를 수행하고 있다. 다양한 목적과 임무의 위성들이 지속적으로 개발 및 발사되고 있으며, 요구되는 기능이 증가함에 따라 첨단 신기술의 개발 및 적용을 위한 연구가 끊임없이 이루어지고 있다. 새로운 위성을 개발하기 위해서는 위성의 해당임무 및 목적에 따라 고성능의 탑재컴퓨터 및 고기능성의 페이로드들이 필요하게 되며, 탑재컴퓨터 및 하드웨어의 변경에 따라 새로운 기술들을 사전에 모델링 및 검증하기 위한 테스트보드를 제작해야 한다. 새로운 위성의 개발 시

이러한 테스트보드의 제작과 테스트보드를 통한 새로운 위성시스템의 개발 및 검증에는 많은 시간과 예산이 요구된다. 위성선진국에서는 개발기간 단축과 비용절감을 위하여 다양한 탑재컴퓨터와 하드웨어의 변경에도 적용 가능한 범용위성 시스템 테스트베드(Flight System Testbed, FST)[1]를 개발하여 활용하고 있는 추세이다.

위성개발을 위한 기술들은 첨단기술로 분류되어 신기술을 획득하는데 어려움이 있으므로, 이러한 범용위성용 개발검증장비에 대한 기반기술을 자체적으로 확보하는 것이 중요하다. 이를 위하여 차세대 위성전자

전산시스템 개발검증장비(Spacecraft Development Tool, SDT)[2]에 대한 연구 및 기술개발이 진행 중이며, 향후 국가우주중장기 개발계획에 따라 개발될 위성의 개발에 적극적으로 활용될 예정이다.

위성탑재소프트웨어[3]는 위성의 자세 및 궤도제어, 임무수행, 명령 및 원격측정데이터 처리, 오류 탐지 및 수정, 지상과의 통신 등의 임무를 담당하는 위성개발의 핵심분야라고 할 수 있다. 탑재소프트웨어의 개발을 위해서는 사용될 실시간 운영체제, 위성에 탑재되는 탑재컴퓨터의 종류, 기타 주변장치의 기능 및 인터페이스 등 많은 부분들에 대한 사전점검이 요구된다. 현재 연구가 진행되고 있는 SDT 는 PowerPC 를 이용한 SBC(Single-Board Computer)를 탑재컴퓨터로 하고, 실시간 운영체제로는 VxWorks 를 사용하여 탑재소프트웨어의 설계 및 개발이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 SDT 설계 및 PowerPC 기반의 탑재소프트웨어 개발내용을 중심으로 현재 추진되고 있는 SDT 에 대한 연구의 진행상황을 소개한다. 먼저 위성선진국에서 개발하여 활용하고 있는 범용위성용 개발검증장비와 SDT 에 대한 기본개념에 대해 설명하고 현재까지 진행된 SDT 개발용 탑재소프트웨어의 개발과정 및 진행상황에 대해 알아보도록 한다.

2. 위성선진국의 범용위성 시스템 테스트베드

NASA 의 JPL 에서는 개발기간의 최적화, 개발예산의 최소화, 신기술의 적용 등에 활용하여 경제적으로 중소형의 우주 및 지상시스템을 개발하기 위해 FST 를 제작, 운용하고 있다. 새로운 위성개발 시 신기술을 직접 적용하기 전에 FST 에서 미리 시험, 검증함으로써 프로젝트의 비용과 위험을 줄이는 것을 목적으로 한다.

FST 는 서브시스템을 통합하여 위성시스템을 구성하고 이를 End-to-End 임무수행 시스템과 연결하여 설계에 대한 성능, throughput/timing 및 compatibility 를 평가하는 역할을 담당하며, FST 의 강점은 새로운 설계나 시스템 구조를 모사하기 위해 쉽게 서브시스템의 구현을 바꿀 수 있다는데 있다. 그리고 향후의 위성개발 목적에 적합한 표준이 있을 경우 유연하게 추가할 수 있도록 되어있다.

FST 는 현재 JPL 에 설치되어 다양한 위성의 개발 및 검증에 적용되고 있다. 참고문헌을 통하여 자세한 기능 및 설계를 확인할 수 있다.

3. 위성전자전산시스템 개발검증장비

3.1 SDT 시스템 개념설계 및 구성

FST 와 같은 범용위성용 검증장비의 기술을 확보하기 위하여 한국항공우주연구원에서는 2002 년부터 차세대 위성전자전산시스템 개발검증장비에 대한 연구를 시작하였다. 2 절에서 설명한 FST 와 같은 해외 위성선진국의 기술에 대한 분석 및 개념설계, 그리고 이를 바탕으로 자체적인 기술확보를 위한 SDT 의 상세

설계와 필요한 장비 선정 및 인터페이스 설정 등이 수행되어 왔다.

개념설계를 토대로 작성된 SDT 의 구성도는 그림 1 과 같다.

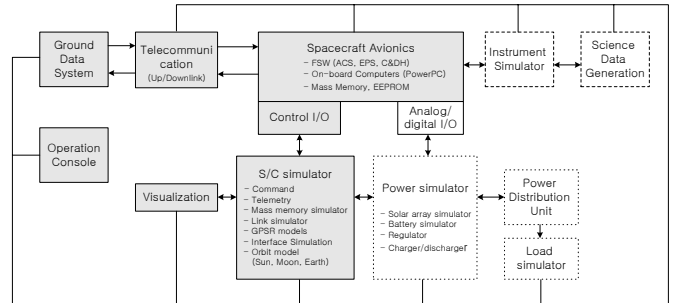


그림 1. SDT System Architecture

그림 1 에서 회색박스로 표시된 부분이 현재 진행 중인 부분이며 점선으로 표시된 부분은 향후 개발될 위성의 사양이나 규격, 요구사항 등에 따라 정해지는 부분이며 전력계 및 자세제어계에 해당하는 서브시스템에서 해당 로직의 설계가 이루어질 예정이다. 따라서 차후에 서브시스템의 기본적인 설계가 완료되면 각각의 I/O 인터페이스 등이 개발되어야 할 부분이다.

현재 개발 중인 회색박스 부분은 크게 분류해 보면 탑재컴퓨터, 탑재소프트웨어, 위성명령 및 데이터 시뮬레이터로 나누어 볼 수 있다.

탑재컴퓨터는 PowerPC 를 이용한 SBC 가 이미 개발되어 제작 되었으며 탑재소프트웨어 및 위성데이터 시뮬레이터가 개발되고 있다. 탑재소프트웨어가 필요로 하는 주요기능으로는 지상명령의 수신 및 수행[4], 수행시간에 따른 명령의 스케줄링, 위성상태데이터의 획득, 텔레메트리 프레임의 생성[5], 저장 및 전송, 위성 상태변화에 따른 contingency 모드 전환, 위성상태(전력, 온도, 자세, 궤도 등)를 점검, 위성센서 및 액추에이터를 이용한 위성제어 기능 등이 있다. 다목적실용위성 1, 2 호의 개발기술을 바탕으로 앞서 언급한 기능들 중 위성탑재체 하드웨어와의 인터페이스가 필요한 부분을 제외한 CSC(Computer Software Component)에 대한 개발이 진행되고 있으며 특히 명령 및 원격측정데이터 처리, 운영체제와 연동된 모듈을 중점적으로 개발하고 있다. 위성데이터 시뮬레이터는 지상국의 기능을 수행하기 위한 시뮬레이션 프로그램이다. 즉 프로그램을 통해 타겟에 명령을 전달하고 타겟으로부터 텔레메트리 데이터를 다운링크받아서 이를 분석 및 분석결과를 저장하는 역할을 담당한다. 업링크/다운링크 보드가 개발되지 않았기 때문에 현재는 시리얼 인터페이스를 이용한 데이터 송수신을 통하여 시뮬레이터 프로그램이 수행되도록 개발되고 있다.

PowerPC 를 탑재한 SBC 보드에는 시리얼 외에도 Ethernet 을 이용한 인터페이스도 제공해 준다. 타겟을 제어하기 위한 호스트 컴퓨터와는 Ethernet 인터페이스를 이용하여 LAN 으로 연결되어 있으며, 호스트 컴퓨터에는 소프트웨어의 빌드 및 포팅, 타겟으로

의 다운로드, 탑재소프트웨어의 실시간 분석 및 디버깅을 위한 툴들이 설치되어 타겟의 제어 및 탑재소프트웨어의 개발이 이루어진다. 그림 2 는 SDT 의 탑재소프트웨어 개발을 위한 인터페이스 환경을 보여준다.

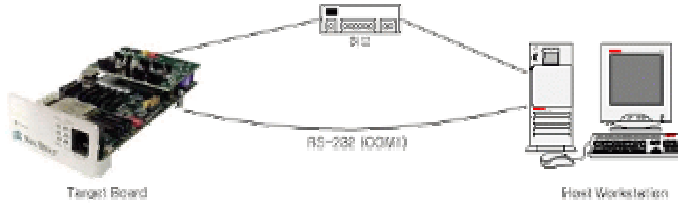


그림 2. Interface between Target Board and Host Computer

3.2 PowerPC 를 이용한 SDT 개발현황

SDT 의 타겟보드로는 앞서 설명한 PowerPC 가 탑재된 MPC750 Board 를 사용하였으며 실시간 운영체제로는 임베디드 시스템에서 많이 사용되는 상용 프로그램인 VxWorks 5.5 를 사용하였다. VxWorks 는 상용프로그램인 만큼 신뢰성이 높지만, 제공하는 다양한 용도의 라이브러리를 모두 사용하게 되면 위성에 탑재되는 소프트웨어 이미지의 용량이 커져 메모리 낭비가 발생하므로 필요한 라이브러리만을 선별해서 포팅하는 기술이 필요하다. VxWorks 가 제공하는 주요기능 및 특징은 다음과 같다.

- Multitasking
- Scheduling(pre-emptive, round-robin)
- Fast and deterministic context switching
- 256 Priority levels
- Semaphore(counting, mutual exclusion)
- Message queue, POSIX pipes
- 최적화된 부동소수점 지원
- 통신기능(Ethernet, Serial, Backplane, custom)
- Remote log-in, remote procedure calls
- File transfer protocol(ftp/tftp)
- Point-to-Point protocol(PPP)

그러나 실제 위성탑재소프트웨어에서 요구되는 운영체제의 기능은 Task Creation, TimeClock, Interrupt, Floating-point 등의 기본적인 기능만이 요구될 뿐이다. 그 외의 기능들은 탑재소프트웨어 자체적으로 개발이 이루어진다.

탑재소프트웨어는 다목적실용위성 2 호에 탑재되는 소프트웨어를 기본으로 하여 작성하였으며, 다목적실용위성 시리즈의 경우는 기본적으로 3 프로세서가 서로 연동하여 작동하도록 각 프로세서별로 작성되었다. SDT 에서는 하나의 고성능 프로세서만을 사용하게 되므로 모든 소프트웨어 기능을 하나의 CSCI (Computer Software Configuration Item)에 포함시키고 각각의 인터페이스 부분에 대한 변경 및 수정사항들을 검토하여 탑재소프트웨어를 개발하여야 한다.

또한 새로운 실시간 운영체제에 맞게 하드웨어 및 내부의 인터페이스 부분과 타이밍 및 태스크 생성, 예

외처리 등의 기능들은 운영체제가 제공하는 라이브러리를 통하여 수행될 수 있도록 개발되어야 한다. 현재까지 개발된 탑재소프트웨어의 모듈들은 다음과 같다.

- EXE(Executive) : Boot-up, Initialization, Task Management, Interrupt/Exception Handling, Interface utilities 제공
- CCI(Command & Communication Interface) : 지상 명령의 수신, 검증 및 처리
- CDS(Command Dispatch Supervisor) : 해당 지상명령의 실행
- DAQ(Data Acquisition) : 텔레메트리 데이터의 획득, 포매팅 및 저장

3.1 절에서 설명했듯이 전력제어를 위한 EPS (Electrical Power Subsystem), 온도제어를 위한 TCS(Thermal Control Subsystem), 자세제어를 위한 AOCS(Attitude & Orbit Control Subsystem)등의 모듈이 수행되기 위해 필요한 하드웨어/위성탑재체에 대한 요구사항 및 사양이 정해지지 않아 로직이 작성되지 않았으며, 추후에 해당 서브시스템에서 개발될 것이다. 현재는 위와 같은 모듈들의 기능만이 수행되어짐으로 기본적인 태스크 생성과 텔레메트리 및 명령의 송수신만이 가능하며, 시리얼 인터페이스를 이용한 위성데이터 시뮬레이터의 기능을 이용하여 기본적인 소프트웨어의 실행의 검증이 이루어졌다.

그림 3 은 현재까지 개발된 탑재소프트웨어의 이미지와 함께 VxWorks 의 이미지를 PowerPC 타겟에 로딩한 결과를 시리얼을 통하여 확인한 모습이다.

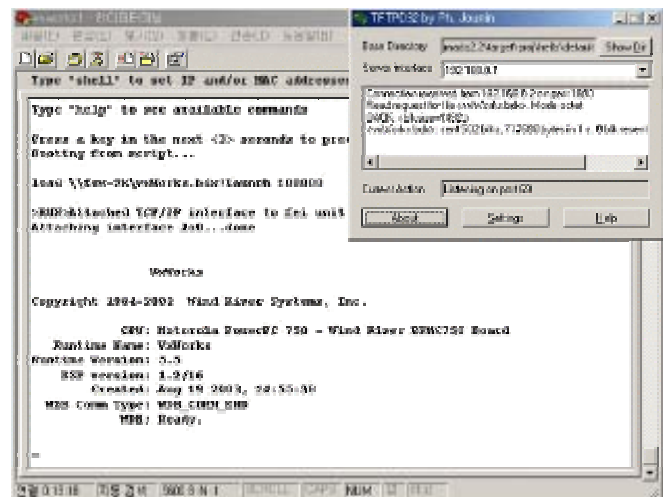


그림 3. Running of downloaded VxWorks

VxWorks 의 포팅 및 다운로드와 함께 탑재소프트웨어의 개발 및 성능분석, 디버깅을 위해 Tornado 2.2 를 사용하였다. Tornado 2.2 에서는 RAM-based, ROM-based, ROM-compressed, ROM-resident 형태의 bootable image 를 작성할 수 있는 환경을 제공해 준다. 컴파일러는 기본적으로 GNU 컴파일러가 제공되지만 메모리 관리나 기타 management 차원의

개념에서는 Diab 컴파일러를 사용하는 것이 도움이 된다. GDB 를 사용할 경우 메모리 할당을 개발자 임의로 작성하는데 어려움이 있기 때문이다. Tornado 는 이미지 파일 작성시 VxWorks 의 다양한 라이브러리를 나름대로의 기준에 따라 분리해 놓고 추가 및 제거를 가능하게 해준다. 그러나 라이브러리를 분류해 놓았다고는 하지만 각각의 개발환경에 적합하게 하기 위해서는 결국 부트시퀀스를 수정하는 것이 바람직하다. 그 밖에도 Tornado 는 매우 다양한 개발환경에서 사용할 수 있도록 많은 추가적인 툴들이 제공된다. TraceScope, CoverageScope, MemScope, ProfileScope, SingelStep, WindView 등의 툴들이 연동해서 사용되어 질 수 있으며, 이러한 툴들을 이용하여 탑재소프트웨어를 개발함으로써 소프트웨어의 디버깅 및 성능분석, 검증시험에 소요되는 개발기간을 다소 단축시킬 수 있다. 그림 4 는 Tornado 를 이용하여 VxWorks 의 부트 이미지 작성 시 WindView 툴과 관련된 라이브러리를 추가하는 기능을 나타낸다.

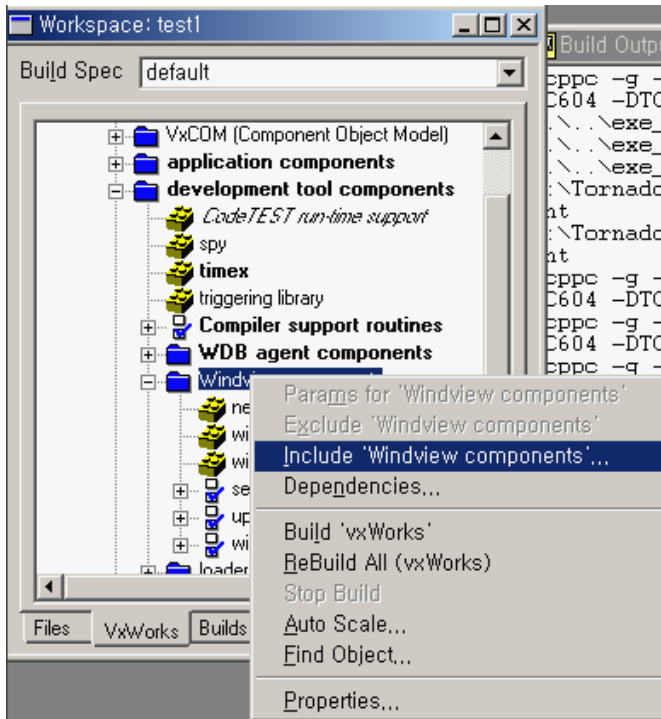


그림 4. Include WindView Library into VxWorks Image

그림 5 는 Tornado 의 WindView 툴을 이용하여 업로드된 탑재소프트웨어의 실행에 따른 context switching 및 interrupt 발생 등을 timing 정보와 함께 보여지는 것을 나타낸다. 현재의 인터럽트는 VxWorks 의 보조클럭을 사용하여 0.25 초 마다 메인 태스크를 수행하기 위한 인터럽트와 지상명령의 수신 시에 CCI 모듈을 수행하기 위한 명령 인터럽트만을 사용한다.

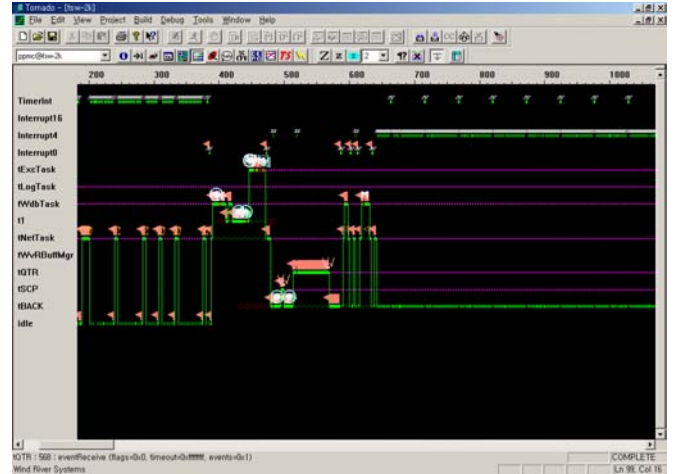


그림 5. WindView's Real-time Analysis Result

4. 결론

위성의 설계, 제작, 조립 및 시험, 검증에 소요되는 시설 및 장비, 개발기간과 소요예산을 최소화하기 위한 범용위성 개발 테스트베드의 기반기술 확보를 목표로 SDT 에 대한 연구가 진행되고 있다. SDT 에 대한 개념설계 및 개발환경 구축이 이미 완료되었으며, PwoerPC 와 VxWorks 를 이용한 위성 탑재소프트웨어의 개발 및 SDT 운용 프로그램에 대한 개발이 진행되고 있다. 이와 함께 향후 위성에 적용될 암호화 기능을 포함한 업링크 및 다운링크 보드의 개발도 병행하여 진행되고 있으며, VxWorks 에 대한 분석과 인터페이스와 관련된 탑재소프트웨어의 개발이 계속해서 이루어질 예정이다. 모든 개발이 완료되면 탑재소프트웨어를 PowerPC SBC 에 로딩하여 업링크 및 다운링크 보드와의 연동시험이 수행될 예정이다.

참고문헌

- [1] Jet Propulsion Laboratory, "Flight System Testbed Functional Capability", California Institute of Technology, 1995.
- [2] 이재승 외, "차세대 위성전자전산시스템 개발검증장비 설계", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집(Ⅲ), 제 30 권 제 2 호, pp.685~687, 2003.
- [3] 이종인, "아리랑 위성 탑재소프트웨어 소개", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집(Ⅲ), 제 25 권 제 2 호, pp.662~664, 1998.
- [4] 강수연, "아리랑 위성 2 호 명령처리", 한국정보처리학회 추계학술발표논문집(중), 제 9 권 제 2 호, pp.1213~1216, 2002.
- [5] 이재승 외, "다목적실용위성 2 호 탑재소프트웨어에서 Telemetry 데이터 처리", 한국산업정보학회 춘계학술발표 논문집, pp.70~74, 2003.