

# 다목적실용위성 2호 Executive 탑재소프트웨어 모듈 설계

최종욱<sup>0</sup> 이재승 이종인  
한국항공우주연구원  
(jwchoi, jslee, jilee)@kari.re.kr

## The Design of Executive Flight Software CSC for KOMPSAT-2

Jong-Wook Choi<sup>0</sup> Jae-Seung Lee Jong-In Lee  
Space Division, Korea Aerospace Research Institute

### 요 약

다목적실용위성 2호에 탑재 되어 있는 탑재소프트웨어는 위성의 자세, 전력, 열 제어 및 지상 명령 수신, 측정 데이터 수집 등 여러 개의 소프트웨어 모듈로 구성되어 있으며, 각 소프트웨어 모듈은 실시간 운영 체제인 VRTX에 의해서 제어된다. 다목적실용위성 2호에서 사용하는 탑재소프트웨어는 일반적인 소프트웨어와 달리 고도의 신뢰성과 안정성을 보장해야 하며 지상과의 통신이 없는 상태에서도 위성을 정상적으로 운용할 수 있어야 하며, 위성 시스템의 장애가 발생시 위성을 안전 모드로 전환 할 수 있어야한다. 본 논문에서는 다중프로세서 구조를 갖는 다목적실용위성 2호의 탑재소프트웨어 초기화 및 태스크를 관리하며 위성의 Health 관리를 담당하는 Executive CSC(Computer Software Component)의 설계와 구현에 대하여 설명한다.

### 1. 서 론

위성 탑재소프트웨어는 대표적인 경성 실시간 시스템에 속하며, 다른 응용소프트웨어와 달리 고도의 신뢰성과 안정성을 가져야 한다. 만약 발사이후 임무 수행 중 소프트웨어 버그나 오류 등의 치명적인 문제점은 전체 위성의 임무 실패를 야기 시킬 수 있다. 현재 개발 중인 다목적실용위성 2호의 탑재 프로세서는 80386을 채택하고 있으며 각각의 프로세서는 기능에 따라 지상으로부터의 명령 수신 및 라우팅, 원격 측정데이터의 수집 & 송신을 담당하고 있는 탑재 컴퓨터(OBC, On-Board Computer) 그리고 위성의 전력 발생 및 분배 그리고 위성체에 대한 열제어를 담당하는 전력계 제어장치(ECU, Electrical Power Subsystem Control Unit) 그리고 자세 센서로부터 정보를 받아들이고 위성 자세 및 궤도에 대한 제어를 담당하는 원격 구동 장치(RDU, Remote Drive Unit)로 3개의 프로세서로 구성된 다중 프로세서 구조를 가지고 있으며 primary processor와 redundant processor로 이중화 되어있다. 각각의 프로세서와 탑재체간의 통신을 위해서는 명령-응답 방식의 MIL-STD-1553B 데이터 방식을 사용하고 있으며 OBC는 Bus Controller로 동작하며 RDU와 ECU는 Remote Terminal로 동작하게 된다.

다목적실용위성 2호의 탑재소프트웨어 개발환경은 실시간운영체로서 Microtec Research사의 VRTX x86/rm을 채택하고 있으며, 개발 툴로서는 Microsoft Visual C++ 1.52, Microsoft Assembler v6.11, Beacon Link/Locator를 이용하여 개발되고 있으며, 80387 코프로세서가 장착되지 않은 OBC/ECU를 위하여 수치연산 library로 PACLIB가 사용된다. 다목적실용위성 2호의 탑재소프트웨어는 각각의 모듈의 기능과 역할에 따라 위성의 초기화와 태스크를 관리하는 Executive, 지상의 명

령을 처리하는 Command Processing, 위성의 상태 정보와 센서들의 정보를 관리하는 Telemetry Acquisition, 위성의 다양한 임무동안 위성의 모드와 오류를 관리하는 Mode Management, 대용량 메모리 및 다운링크를 관리하는 Mass Memory & Downlink Management, 위성의 자세를 담당하는 AOCS Processing, 전력을 담당하는 EPS Processing, 열제어를 담당하는 TCS Processing, 1553B 통신을 담당하는 External Communications로 구성되어 있다. 본 논문에서는 다목적실용위성 2호 탑재 소프트웨어중 가장 기본이 되는 Executive 모듈의 설계와 기능, 탑재소프트웨어의 초기화에 대해서 설명한다.

### 2. 다목적실용위성 2호 시스템 및 소프트웨어 구조

다목적실용위성 2호의 탑재컴퓨터 시스템 및 소프트웨어 구조는 그림 1에 나타나 있으며 주요 특징은 다음과 같다.

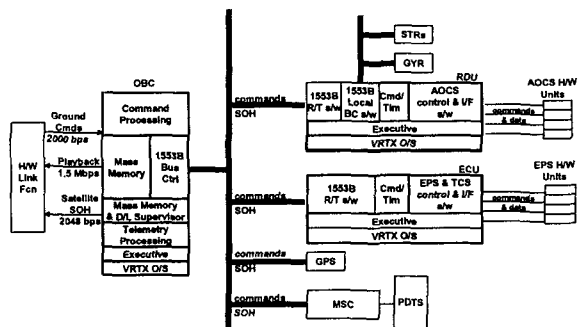


그림 1. 다목적실용위성 소프트웨어 및 인터페이스 구성

- MIL-STD-1553B 데이터 버스로 연결된 세 개의 프로세서, OBC, RDU 및 ECU로 구성

- 각 프로세서간은 primary와 redundant side로 이중화 됨
- 각 프로세서는 1pps신호에 동기화 되며 프로세서 내의 작업 수행은 minor cycle interrupt(250ms)에 의해 동기화 됨
- 세 프로세서는 정기적인 상태정보를 교환을 통해 타 프로세서의 상태를 상호 감시함
- 각 프로세서는 독립적인 WDT(Watch Dog Timer)를 가짐
- 초기화 과정에서 OBC가 주 프로세서가 됨
- 장애가 탐지되면 OBC의 WDT에 의해서 세 프로세서 모두 redundant side로 power가 자동 전환됨
- OBC는 Mass Memory내에 CODA(Contingency Operation Data Area) 정보를 유지

3. 탑재소프트웨어 : Executive

탑재소프트웨어 Executive 모듈은 위성의 초기화 과정의 모든 부분을 담당하며, 초기화시 세 프로세서간의 동기화, 위성의 초기 모드 결정, 실시간 운영체제 VRTX의 로딩/초기화, 태스크 생성 등을 담당한다. 정상적인 위성 운영시에는 태스크 관리 및 메모리 관리, 세 프로세서의 상태 및 위성의 Health를 관리하게 된다. 위성의 문제가 발생하게 되면 Executive는 해당 오류의 정보를 Mass Memory에 저장한 이후 redundant side로 fail-over하게 되며 안전모드 전환하게 된다. 이후 지상에서 장애원인을 파악한 후 프로세서들을 복구하게 된다. 다음에서는 위성의 초기화 과정에 대해서 자세히 설명한다.

3.1 프로세서의 초기화 및 BOOT-UP

탑재 컴퓨터의 프로세서 초기화는 프로세서의 리셋, 전원의 교체에 의해서 발생되며, 지상의 명령에 의해서 이루어진다. 프로세서 초기화는 크게 Cold Boot와 Warm Boot로 나뉘어 지게 된다. Cold Boot 과정에서는 프로세서의 초기화와 메모리 초기화를 하게 되며, EEPROM에 저장되어 있는 탑재 소프트웨어를 램영역으로 복사하게 된다. RDU인 경우에는 80387 코프로세서를 초기화 하게 되며, 수치연산을 위한 코프로세서 레지스터들을 설정하게 된다. Cold Boot은 컨트롤을 Warm Boot으로 넘기게 되며, Warm Boot에서는 탑재 소프트웨어를 구동하기 위한 수행 환경을 설정한 뒤, 시스템 초기화 루틴으로 컨트롤을 넘겨주게 된다.

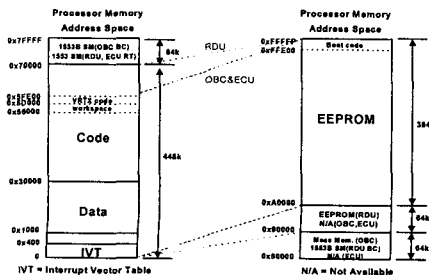


그림 2. KOMPSAT-2 Memory Map

3.2 시스템 초기화 및 동기화

부팅 이후 탑재소프트와 하드웨어에 대한 초기화가 이루어지게 되며, 3개 프로세서간의 1pps 신호에 동기화 과정을 거치게 된다. 하드웨어 동기 과정동안, 각 프로세서간의 초기상태 정보의 교환을 위한 통신을 시도하게 된다. 이 경우, 특정 프로세서의 premature wake-up이나, hang-up 등의 어떠한 프로세서들의 상태하에서도 dead-lock 없이 프로세서간의 초기화가 완료될 수 있도록 통신 프로토콜이 설계되었다.

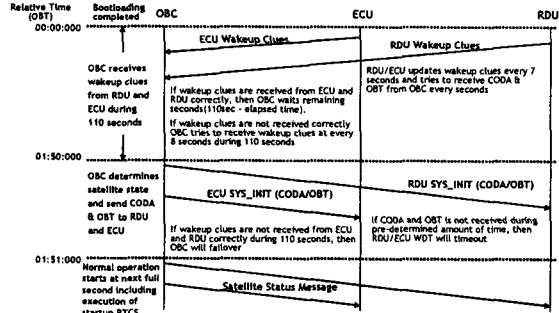


그림 3. 자동적인 프로세서 초기화 과정

- 1) 각 프로세서는 Wake-Up clue를 읽어서 1553B Bus 통신을 위한 shared memory에 저장한다. Wake-up clue는 위성의 초기 상태를 나타내는 relay 또는 하드웨어 status로 processor의 power on/off에 영향을 받지 않는다.
- 2) OBC는 Mass Memory CODA를 읽고 RDU와 ECU로부터 Wake-Up clue message를 1553b Bus를 통하여 받은 다음 하드웨어 DLL 동기화 설정 대기시간 동안 기다린다. 이때, RDU와 ECU로부터 Wake-Up clue를 정해진 시간(110초) 이내에 받지 못하면 OBC는 WDT의 reset을 중단하여 세 프로세서 모두를 redundant side로 fail-over 시킨다.
- 3) OBC는 Wake-Up clue를 이용하여 위성 초기 state를 결정한다. 위성 초기 state에 따라서 향후 위성의 운영 모드가 결정되어 진다.
- 4) OBC는 Mass Memory CODA page에서 복구한 On-Board Time(OBT)와 RDU, ECU CODA data를 1553B Bus를 통하여 RDU와 ECU로 보낸다.
- 5) RDU와 ECU는 OBC로부터 수신한 OBT로 자신의 OBT를 초기화 하고 CODA data를 저장한다. RDU/ECU는 지정된 시간 내에 OBC로부터 CODA 및 OBT를 받지 못하면 WDT reset을 중단하여 프로세서를 리셋한다.
- 6) 각 프로세서들은 VRTX OS 환경을 초기화 하고 태스크를 생성한 후 컨트롤을 VRTX로 넘기게 된다.

3.3 VRTX 초기화 및 태스크 생성

다목적실용위성 2호에 사용되는 실시간 운영체제 VRTX는 다목적실용위성 1호에서 사용되어 검증된 운영체제로서, VRTX 초기화 과정에서 Configuration Table

과 VRTX workspace가 초기화 된다. VRTX 초기화 이후, 다목적실용위성 2호에서 사용되는 태스크를 생성하게 된다. 다목적실용위성 2호에서 태스크는 크게 250ms수행되는 Quater Task(QTR) 태스크, Stored Command Processor(SCP) 태스크, 백그라운드로 수행되는 EXE 태스크로 나뉘어 진다. 각각의 태스크의 우선 순위는 아래의 그림 4와 같다.

TASK	PRIORITY*		
	OBC	RDU	ECU
QTR	10	10	10
SCP	30	30	30
EXE	50	50	50

\* Lower value = higher priority

그림 4. Task Priority of KOMPSAT-2

QTR 태스크에는 위성의 중요한 대부분의 소프트웨어 모듈이 할당 되어졌으며, SCP 태스크에는 ATC(Absolute Time Commands)나 RTCS(Relative Time Command Sequences)와 같은 내장형 command와 관련된 소프트웨어 모듈이 할당되며, EXE 태스크에는 메모리 관련된 소프트웨어 모듈이 할당되었다.

### 3.4 태스크 스케줄링 및 타이밍 분석

다목적실용위성 2호에서 사용하는 QTR, SCP, EXE 태스크가 생성되고, 이벤트 플래그가 설정되게 되면, 모든 소프트웨어 컨트롤을 VRTX에 전달한다. VRTX는 가장 우선순위가 높은 QTR 태스크부터 수행을 시작하게 된다. VRTX에 의한 태스크 스케줄링은 인터럽트에 의한 이벤트 방식을 이용하고 있으며, 그림 5는 인터럽트에 의한 태스크 호출 방식을 보여준다.

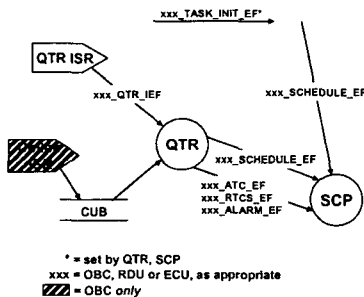


그림 5. Interrupt Driven Task Scheduling for KOMPSAT-2

그림 6은 태스크 스케줄링과 타임라인을 보여주고 있다. 태스크들은 기본적으로 우선순위가 기반의 선점형(preemption) 스케줄링 방식으로 수행되며, QTR 태스크가 → SCP 태스크 → EXE 태스크 형식으로 수행이 되어진다. SCP 태스크는 항상 수행되는 태스크가 아닌 on-demand 방식으로 수행이 되어지며, QTR 태스크가 수행 중에 발생하는 ISR에 대해서는 ISR은 모든 태스크보다 가장 먼저 수행되기 때문에 QTR 태스크 수행중에

ISR 루틴을 처리하고 다시 QTR 태스크로 돌아오게 된다. Executive와 VRTX가 이러한 태스크의 스케줄링을 관리하게 되고, 만약 QTR 태스크가 Overrun이 발생할 경우 시스템에 심각한 문제가 발생한 것으로 간주하여 위성을 redundant side로 fail-over하도록 설계하였다.

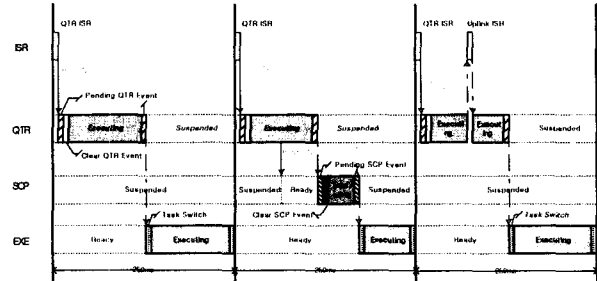


그림 6. Task Scheduling and Task Timelines of KOMPSAT-2

### 3.5 Throughput of KOMPSAT-2 Flight Software

태스크중 QTR 태스크는 time critical한 태스크이며, 태스크중에서는 가장 높은 우선순위를 가지고 있다. QTR 태스크는 deadline이 250ms로 제한되어 있으며, Executive와 VRTX는 이러한 QTR 태스크의 필수조건을 만족시켜 주어야 한다. 위성 탑재소프트웨어 Overall Verification Test기간 중 모든 서브시스템이 참여하여 QTR 태스크의 Throughput을 측정된 결과 아래의 표1처럼 요구조건을 만족한다는 것을 확인할 수 있다.

QTR	RDU Science Coarse Mode		RDU Science Fine Mode		OBC Science Coarse Mode		OBC Science Fine Mode		ECU Science Coarse Mode		ECU Science Fine Mode	
	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
Q1	77,046	274,131	116,384	429,189	12,372	89,278	13,362	79,086	21,062	33,262	23,165	34,208
Q2	60,917		100,255		15,961		17,134		2,745		2,962	
Q3	66,917		104,659		13,404		14,236		3,159		3,166	
Q4	68,261		107,891		27,521		26,324		6,296		4,903	
Q1	77,485	274,851	116,481	431,391	12,372	89,367	13,185	74,265	21,065	32,677	22,176	33,678
Q2	62,789		100,169		15,978		17,176		2,744		2,911	
Q3	65,261		106,262		13,404		14,378		3,158		3,440	
Q4	69,296		108,478		27,643		29,526		5,720		5,108	

표 1. Throughput of KOMPSAT-2 FSW

## 4. 결론

본 논문에서는 다목적실용위성 2호의 탑재소프트웨어 중 시스템의 초기화와 태스크를 관리하는 Executive 모듈에 대한 설계와 구현에 대하여 설명하였다. Executive는 탑재소프트웨어의 가장 기본이 되면서 위성의 Health를 항상 관리하여 오류 발생시 위성을 안전모드로 전환하여 위성의 safety를 제공해 준다.

## 5. 참고문헌

- [1] KOMPSAT-2 Flight Software Critical Design Audit(CDA), 2002
- [2] KOMPSAT-2 Fault Management Design, 2003
- [3] 이종인, 최종욱, "KOMPSAT-2 위성 탑재컴퓨터 초기화 설계", 한국항공우주학회, 2002
- [4] 최종욱, KARI-SEG-TM-2003-003, "다목적실용위성 2호의 실시간운영체제 VRTX 연구", 2003