

저궤도위성 원격측정 데이터 처리를 위한 대용량 메모리 운용

채동석*, 양승은**, 천이진***

Mass Memory Operation for Telemetry Processing of LEO Satellite

Dong-Seok Chae*, Seung-Eun Yang**, Yee-Jin Cheon***

Abstract

Because the contact time between satellite and ground station is very limited in LEO (Low Earth Orbit) satellite, all telemetry data generated on spacecraft bus are stored in a mass memory and downlinked to the ground together with real time data during the contact time. The mass memory is initialized in the first system initialization phase and the page status of each memory block is generated step by step. After the completion of the system initialization, the telemetry data are continuously stored and the stored data are played back to the ground by command. And the memory scrubbing is periodically performed for correction of single bit error which can be generated on harsh space environment. This paper introduces the mass memory operation method for telemetry processing of LEO satellite. It includes a general mass memory data structure, the methods of mass memory initialization, scrubbing, data storage and downlink, and mass memory management of primary and redundant mass memory.

초 록

저궤도 위성은 지상과 교신할 수 있는 시간이 매우 제한되어 있으므로 위성에서 생성되는 모든 원격측정 데이터는 대용량 메모리에 저장되었다가 지상교신 시 실시간 데이터와 함께 지상으로 전송된다. 대용량 메모리는 최초 시스템 초기화 과정에서 초기화가 시작되어 각 블록의 상태정보가 생성되고 원격측정데이터를 저장할 수 있는 준비를 한다. 운영 중에 계속적으로 대용량 메모리에 원격측정데이터를 저장하고, 저장된 데이터를 지상으로 전송한다. 그리고 우주환경에서 발생할 수 있는 메모리 오류를 제거하기 위하여 주기적으로 메모리 스크러빙을 수행한다. 본 논문은 저궤도위성 원격측정 데이터 처리를 위한 대용량 메모리 운용방식에 대한 것으로 대용량 메모리 구조, 메모리 초기화 및 메모리 스크러빙 방식, 대용량 메모리를 통한 원격측정데이터 저장 및 전송 방식, 주/부 대용량 메모리 운용 방식에 대해서 기술한다.

키워드 : 탑재소프트웨어(Flight S/W), 대용량 메모리(Mass Memory), 원격측정데이터(Telemetry)

접수일(2012년 9월 14일), 수정일(1차 : 2012년 10월 16일, 2차 : 2012년 10월 25일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)

* 위성비행소프트웨어팀/dschaek@kari.re.kr ** 위성비행소프트웨어팀/seyang@kari.re.kr

*** 위성비행소프트웨어팀/yjcheon@kari.re.kr

1. 서 론

저궤도 위성은 생성하는 모든 원격측정데이터를 대용량 메모리에 저장하고, 지상과 교신할 수 있는 시간에 실시간 데이터와 함께 대용량 메모리에 저장된 데이터를 지상으로 전송한다. 대용량 메모리를 사용하기 위하여 초기 위성 설계 단계에서 원격측정데이터 용량 및 다운링크 전송속도를 고려하여 메모리 크기를 결정하고, 메모리를 적절한 블록 단위로 구분하여 사용하기 위한 데이터 구조를 결정한다. 그리고 메모리 초기화 및 스크리빙, 원격측정 데이터 저장 및 지상전송 기능 등을 하드웨어 로직으로 하는 부분[1], 상위 탑재소프트웨어에서 제어하는 부분으로 구분 설계하여 제작 및 구현하게 된다. 본 논문은 저궤도 위성에 구현된 원격측정 데이터 처리를 위한 대용량 메모리 운용방식에 대한 것으로 대용량 메모리 구조, 메모리 초기화 및 메모리 스크리빙(Scrubbing) 방식, 대용량 메모리를 통한 원격측정데이터 저장 및 전송 방식, 주/부 대용량 메모리 운용 방식에 대해서 기술한다.

각 모듈은 128Kbytes 단위의 메모리 블록(페이지)으로 구분 관리된다. 각 모듈은 전체 2048 페이지로 구성되고, 각 페이지의 상태 정보는 각 페이지별 메모리 스크리빙 결과에 따라 결정되어 페이지 상태 테이블(Page Status Table)에 기록된다. 페이지 상태는 Good 또는 Bad 상태로 구분된다.

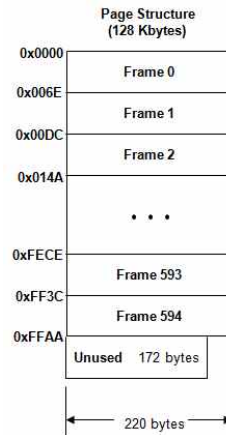


그림 2. 대용량 메모리 페이지 구조

2. 대용량 메모리 구조 및 초기화

다음 그림 1은 대용량 메모리의 데이터 구조를 나타낸 것이다.

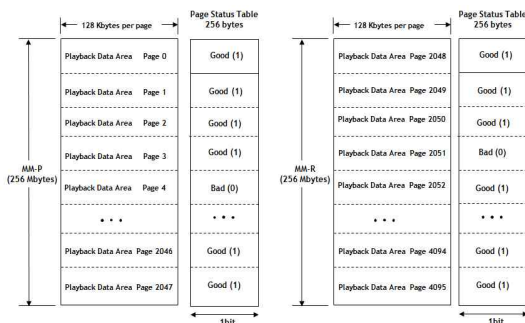


그림 1. 대용량 메모리 데이터 구조

대용량 메모리는 각각이 2Gbits 데이터 저장영역을 가진 2개의 DRAM 모듈로 구성되어 있고,

그림 2는 대용량 메모리 각 페이지의 데이터 구조를 나타낸 것이다. 위성에서 수집된 모든 원격측정데이터는 220bytes 크기의 VCDU(Virtual Channel Data Unit)[2] 프레임으로 포맷되어 저장되는데, 한 개의 페이지에는 595개의 프레임이 저장될 수 있다. 각 페이지마다 일부 사용되지 않는 영역이 존재하게 되는데 이 영역에 원격측정데이터 프레임은 저장되지 않지만, 이 중 특정 영역은 메모리 스크리빙 결과를 기록하거나 스크리빙 제어를 위한 데이터 영역으로 사용된다.

대용량 메모리는 최초 시스템 초기화 단계에서 전체적으로 메모리 초기화가 수행되는데, 메모리 초기화는 전체 데이터 영역을 0으로 기록하여 초기화 하는 것으로 각 페이지 단위로 하드웨어 로직에 의해 수행된다. 탑재소프트웨어에서는 각 페이지별로 초기화 수행명령을 보내고, 해당 페이지 초기화가 종료되었는지를 확인 한 후에 다음 페이지에 대한 초기화 명령을 보내는 방식

으로 전체적인 메모리 초기화가 시작된다. 하드웨어 로직에서 메모리 초기화는 다른 태스크에 비해 우선순위가 낮게 설정되어 있어 비교적 많은 시간이 소요된다. 대용량 메모리 전체 초기화를 수행하는데 상당한 시간이 소요되므로 시스템 초기화 과정에서는 일단 원격측정데이터를 저장할 수 있는 한 개의 페이지만 초기화가 되면 시스템 초기화 과정이 종료될 수 있도록 하여 시스템 초기화 과정에 너무 많은 시간이 소요되지 않도록 하였다. 다음 그림 3은 최초 시스템 초기화 과정에서의 대용량 메모리 초기화 과정 주요 처리 절차를 나타낸 것이다.

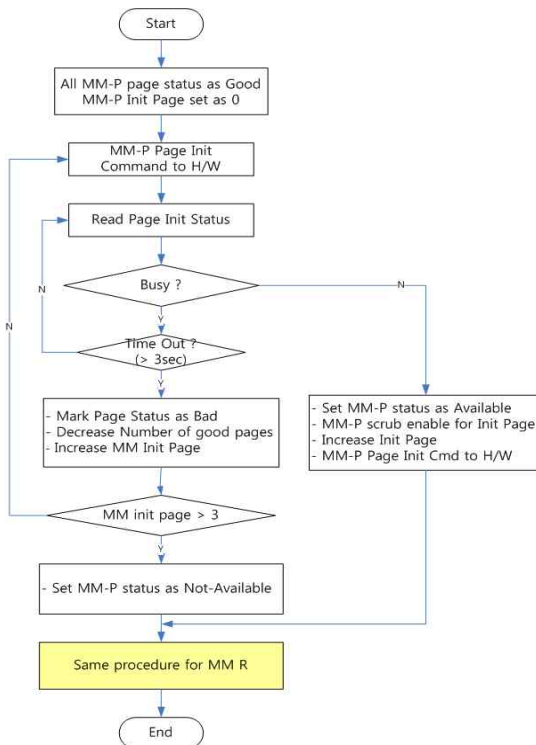


그림 3. 최초 대용량 메모리 초기화 로직 블록 다이어그램

나머지 영역의 초기화는 시스템 정상운용 모드에서 초기화된 한 개의 페이지에 생성되는 원격측정 데이터를 저장하면서 계속적으로 진행된다. 사용되는 대용량 메모리 모듈의 경우에는 마

지막 페이지까지 초기화가 수행된다. 사용되지 않는 모듈의 경우에도 일부 페이지에 대한 초기화를 수행하여 사용하고 있는 모듈에 문제가 발생하였을 때 바로 사용할 수 있도록 준비된 상태를 유지 한다.

시스템이 재부팅 되었을 경우에는 시스템 초기화 과정에서 대용량 메모리 초기화를 다시 수행하지 않고 비상운영데이터를 통해서 대용량 메모리 관련 정보들을 읽어 들인다. 시스템이 재부팅 되는 경우에는 비상운영데이터가 사용되는데, 비상운영데이터는 위성에 문제가 발생하여 정상운영이 어려운 경우 리셋 과정을 거치게 되고 이때 발생한 오류정보와 시스템 재시작 하는데 필요한 정보를 포함하는 것으로 프로세서가 리셋되는 경우에도 데이터가 보존될 수 있도록 별도의 안전한 메모리에 저장 관리된다. 대용량 메모리 관련 정보들이 이러한 비상운영데이터에 포함되는데, 대용량 메모리 상태 및 선택 정보, 초기화 상태 및 초기화 페이지, 대용량 메모리 페이지 상태 테이블, 데이터 저장포인터, 데이터 전송포인터, 저장된 원격측정데이터 프레임 수, 전송해야할 원격측정데이터 프레임 수 등의 내용이 포함된다. 이렇게 함으로서 시스템이 재부팅되는 경우에도 대용량 메모리에 저장된 데이터를 보존하고, 연속적인 저장 기능을 수행할 수 있게 된다.

3. 원격측정데이터 저장 및 전송

대용량 메모리를 통한 원격측정 데이터 저장 및 전송을 관리하기 위하여 3개의 포인터를 유지하는데 현재 생성된 원격측정 데이터 프레임을 기록하는 위치를 가리키는 CWP (Current Write Pointer), 현재 지상으로 전송되고 있는 데이터 프레임의 메모리 위치를 가리키는 CPP (Current Playback Pointer), 이전 플레이백에서 지상으로 전송된 마지막 위치를 나타내는 ELP (End of Last playback Pointer)가 있다. 그리고 데이터 전송속도는 하드웨어 전송속도에 따라 저속 (4096bps) 전송모드와 고속(1.5625Mbps) 전송모드가 있다. 저속 전송모드는 시스템 초기화 과정

이나 안전모드에서 운용중일 때 주로 사용되고 기타의 경우에는 대부분 고속 전송모드가 사용된다. 원격측정데이터는 220bytes 크기의 VCDU 형식으로 저장되고, VCDU 포맷에 동기패턴(Sync Pattern) 및 RS(Reed Solomon) 코드가 포함된 256bytes 크기의 CADU(Channel Access Data Unit) 형식으로 전송되므로 저속 전송모드에서는 최대 2개의 실시간 데이터 프레임이 전송될 수 있고, 고속 전송모드에서는 총 762개의 데이터 프레임이 전송될 수 있다.

원격측정 데이터 프레임은 종류와 관계없이 생성된 순서대로 대용량 메모리에 저장되는데, 기본적으로 2개의 실시간 SOH (State of Health) VCDU 프레임은 항상 저장되고, 기타 실시간 SOH 및 SO (Storage-only) SOH 프레임 및 POD (Precision Orbit Determination), PAD (Precision Attitude Determination), Payload 등의 데이터 프레임들은 지상명령에 따라 선택적으로 저장할 수 있다. 현재 생성된 데이터 프레임이 기록될 위치를 나타내는 CWP가 가리키는 위치에 저장하게 된다. 페이지가 변경되는 경우 페이지 상태 테이블을 검색하여 페이지 상태가 Bad인 경우에는 해당 페이지에는 데이터를 기록하지 않고, 다음 Good 페이지를 찾아 데이터를 기록해 나간다. 대용량 메모리 마지막 페이지까지 저장된 이후에는 다시 처음부터 기록한다. 새로 생성된 데이터를 저장하려는 곳에 저장된 데이터가 아직 지상으로 전송되지 않았을 때, 즉 CWP = ELP인 경우로 대용량 메모리가 Full인 상태인데, 이 경우에는 더 이상 해당 모듈에는 데이터 프레임을 기록하지 않고, 사용되지 않은 다른 메모리 모듈이 가용할 경우, 다른 모듈로 변경하여 데이터 프레임을 계속적으로 기록할 수 있도록 되어 있다. 두 개의 대용량 메모리 모듈을 동시에 사용 중에 Full이 발생한 경우에는 더 이상 데이터 저장은 할 수 없고 실시간 SOH 프레임에 대한 지상 전송만 가능하다. 그림 4는 저속 전송모드인 경우, 원격측정 데이터 프레임 저장 예를 나타낸 것이다. 2개의 실시간 SOH 프레임이 저장되면서 지상으로 전송되고, 최대 5개의 Storage only SOH 프레임들이 저장될 수 있다. 그리고 추가적으로 지상명령에 따라 POD, PAD 및 Payload 관련 프레임들이 저장될 수는 있지만 이

한 데이터 프레임들은 저속 전송모드에서는 거의 사용되지 않는다.

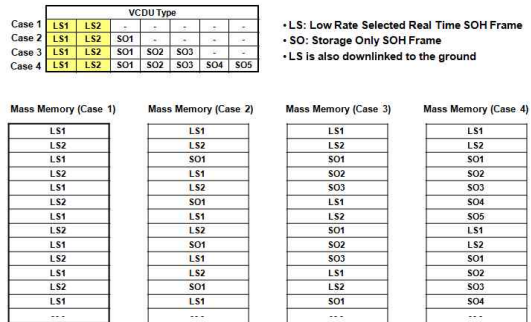


그림 4. 데이터 프레임 저장 예 (저속전송모드)

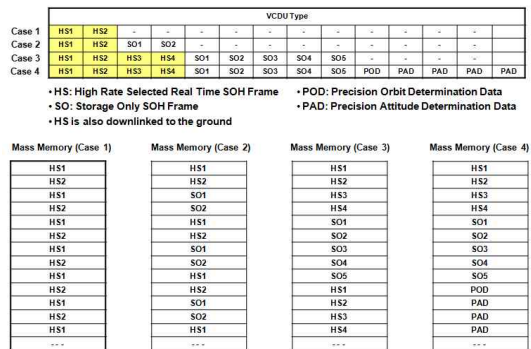


그림 5. 데이터 프레임 저장 예 (고속전송모드)

그림 5는 고속 전송모드인 경우 원격측정데이터 프레임 저장 예를 나타낸 것이다. 최대 4개의 실시간 SOH 프레임이 저장되면서 지상으로 전송되고, 최대 5개의 Storage only 프레임들이 저장될 수 있다. 그리고 추가적으로 지상명령에 따라 POD, PAD 및 Payload 관련 프레임들이 저장될 수 있다. 프레임 선택에 따라 대용량 메모리에 저장되는 순서를 확인할 수 있다.

원격측정데이터 전송은 실시간 데이터 프레임 및 대용량 메모리에 저장된 데이터 프레임을 지상으로 전송하는 것으로 프레임 전송 방식에 따라 실시간 전송 모드 및 플레이백 모드가 있다. 실시간 전송 모드는 위성에서 매초마다 생성되는 실시간 SOH 데이터 프레임만을 실시간으로 지상 전송하는 것을 말

하고, 플레이백 모드는 실시간 SOH 데이터 프레임 및 위성의 대용량 메모리에 저장된 데이터를 동시에 전송하는 것을 말한다. 기본적으로 실시간 전송모드로 운용되고, 플레이백 모드는 지상 명령에 의해서 수행된다. 그리고 플레이백이 종료되면 자동적으로 실시간 전송 모드로 바뀌게 된다. 하드웨어 전송속도가 저속 전송모드인 경우에는 실시간 전송모드만 사용할 수 있고, 매초 2개의 실시간 SOH 프레임이 전송된다. 하드웨어 전송속도가 고속 전송모드인 경우에는 실시간 전송모드인 경우 매초 최대 4개의 실시간 SOH 프레임이 전송되고, 플레이백 모드인 경우에는 최대 4개의 실시간 SOH 프레임과 대용량 메모리에 저장되어 있는 데이터 프레임이 동시에 전송되는데, 전체적으로 762개의 프레임이 매초 전송된다.

플레이백을 수행하기 위한 명령은 마지막으로 전송된 위치를 가리키는 ELP로부터 현재 새로운 데이터 프레임이 기록된 위치까지 전송하는 플레이백 명령이 있고, 특정 시작 위치로부터 새로운 데이터 프레임이 기록된 위치까지 전송하는 명령, 특정 시작 위치와 종료 위치를 지정하는 명령, 그리고 현재 사용되는 모든 메모리 전체 영역을 전송하는 명령이 있다. 그리고 플레이백 수행 이후에 ELP를 변경하기 위한 ELP 변경 명령이 있다. 정상적으로 운영될 경우에는 ELP로부터 현재 새로운 데이터 프레임이 기록된 위치까지 전송하는 플레이백 명령을 통해 새로 저장된 데이터 프레임을 전송하고, ELP 변경 명령을 수행한 후, 다음에 다시 ELP로부터 현재 새로운 데이터 프레임이 기록된 위치까지 전송하는 플레이백 명령을 보내는 방식으로 수행하면 된다. 기본적으로 플레이백 명령은 현재 사용 중인 모듈에 대해서 수행하는데 특정 시작 위치와 종료 위치를 지정하는 명령은 메모리 사용여부에 관계없이 사용할 수 있도록 되어있다. 그래서 선택된 모듈이 Full이 되어 다른 모듈을 사용하게 될 경우에 이 명령을 통하여 사용되지 않는 모듈(Full이 발생한 모듈)에 대한 플레이백을 수행하여 저장된 데이터를 확인할 수 있다. 플레이백 명령에 따라 대용량 메모리에 저장된 데이터 프레임을 읽어 RF 시스템을 통하여 지상으로 전송하는 기능은 하드웨어에 의해 수행되는데, 탑재소프트웨어에서는 주기적으로 플레이백을 수행할 포인터와 프레임을 계산하여 하드웨어 명령에

포함하여 전송기능을 제어한다.

Downlink Frame Sequence				
	1	2	3	4
				5-762
Case 1	HS1	HS2	PB	PB
Case 2	HS1	HS2	HS3	PB
Case 3	HS1	HS2	HS3	HS4
Case 4	HS1	HS2	HS3	HS4

- HS : High Rate Selected Real Time SOH Frame, PB : Playback Frame
- 762 frame/sec:
 - Case 1: 2 RT + 760 PB frames (Playback Mode)
 - Case 2: 3 RT + 759 PB frames (Playback Mode)
 - Case 3: 4 RT + 758 PB frames (Playback Mode)
 - Case 4: 4 RT + Fill Patterns (Real Time Mode)
- PB is replaced by fill pattern if PB mode is not selected

그림 6. 데이터 프레임 전송 예

그림 6은 플레이백을 수행할 경우, 실시간 SOH 프레임과 대용량 메모리에 저장된 데이터 프레임들이 전송되는 예를 나타낸 것이다. 실시간 SOH 프레임이 2개일 경우, 760개의 저장된 프레임들이 전송되고, 실시간 SOH 프레임이 4개일 경우, 758개의 저장된 프레임들이 전송된다. 플레이백이 수행되지 않을 경우에는 플레이백 영역에 임의의 데이터 패턴(Fill Pattern)으로 대치된다. 페이지 상태가 Bad인 경우에는 데이터 프레임 저장에는 사용되지 않지만, 지상 전송의 경우에는 지상명령에 따라 플레이백 데이터에 포함할 수도 있고, 제외할 수도 있다.

4. 메모리 스크러빙

우주방사환경에서 발생할 수 있는 메모리 오류를 제거하기 위하여 EDAC (Error Detection and Correction) 회로가 내장되어 있다[3]. 메모리 스크러빙은 하드웨어 스크러버에 의해 수행되는데, 스크러빙을 수행하면서 정정할 수 있는 단일 비트 오류가 발생한 경우에는 이를 복구하고, 정정할 수 없는 오류(Double Bit Error)가 발생한 경우에는 발생한 해당 카운트를 저장하고, 탑재소프트웨어에서 해당 영역의 값을 확인하여 페이지 상태를 판단하게 된다. 단일 비트 오류인 경우에도 해당 카운트를 원격측정데이터에 포함하여 우주 환경에서 오류 발생 빈도를 파악할 수 있도록 하였다. 탑재소프트웨어에서는 초기화가 종료된 모든 페이지 영역에 대해 하드웨어 스크러버가 동작하도록 스크러빙 명령을 보내면 하드웨어 스크러버는 탑재소프트웨어에서 설정한 전

체 스크러빙 페이지 영역에 대해서 계속적으로 스크러빙을 수행한다. 탑재소프트웨어에서는 주기적으로 스크러빙이 동작하고 있는 영역을 일부 페이지씩 나누어 오류 카운트를 점검하여 페이지 상태 정보를 갱신한다. 정정할 수 없는 오류가 발생한 페이지 상태는 Bad로 변경되고 해당 페이지는 데이터 프레임 저장에 사용되지 않는다. Bad 페이지의 경우, 지상명령에 따라 정상 운용을 하는 중에 초기화를 다시 수행할 수 있고, 해당 페이지에 영구적인 메모리 오류가 있는 경우, 더 이상 스크러빙을 수행하지 않도록 설정할 수 있다. 탑재소프트웨어에서 수행하는 대용량 메모리 스크러빙 제어 주요 처리절차는 다음과 같다.

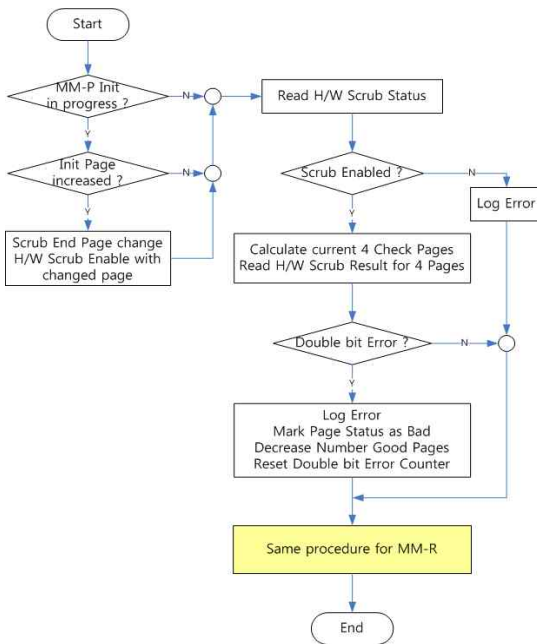


그림 7. 메모리 스크러빙 제어 로직 블록 다이어그램

다. 사용되지 않는 모듈은 일부 영역 초기화를 수행하고 데이터를 저장할 수 있도록 준비된 상태로 운영된다. 그래서 현재 사용 중인 모듈이 Full 되거나, 인터페이스 등의 문제로 사용할 수 없게 된 경우 사용되지 않았던 모듈이 바로 선택되어 데이터 프레임을 저장할 수 있도록 되어 있다. 대용량 메모리 일부 영역을 제어하거나, 초기화를 다시 수행하거나, 메모리 모듈을 변경하는 것은 지상명령을 통해서 가능하다.

‘MM-P(Mass Memory Primary) Init’ 명령은 MM-P를 사용하고자 할 때 사용하는 명령으로 MM-P 전 영역을 초기화하고 데이터 저장에 MM-P를 사용한다. MM-R(Mass Memory Redundant)은 일부 페이지만 초기화하여 데이터 저장 준비상태를 유지한다. ‘MM-R Init’ 명령은 MM-R을 사용하고자 할 때 사용하는 명령으로 MM-R 전 영역을 초기화하고 데이터 저장에 MM-R을 사용한다. MM-P는 일부 페이지만 초기화하여 데이터 저장 준비상태를 유지한다. ‘Both MM Init’ 명령은 대용량 메모리 두 모듈을 모두 사용하고자 할 때 사용하는 명령으로 MM-P, MM-R 전 영역을 초기화하고 데이터 저장에 두 모듈을 사용한다. ‘MM Block Init’ 명령은 특정한 개의 페이지만을 초기화하는 명령으로 Double Bit 오류가 발생한 모듈의 경우 이 명령을 사용하여 초기화 결과에 따라 영구적인 오류인지 파악할 수 있다. ‘MM Init Continue’ 명령은 사용되지 않는 모듈의 초기화 되지 않은 모든 페이지에 대해 초기화를 수행하고자 할 때 사용한다. ‘MM Re-Init’ 명령은 선택된 모듈의 모든 페이지에 대한 초기화를 재 수행할 때 사용한다. ‘MM Scrub Control’ 명령은 대용량 메모리 페이지별로 스크러빙 수행을 제어할 때 사용하는 명령이다.

5. 메모리 운영

대용량 메모리는 각 모듈이 독립적으로 사용될 수 있고 두 개의 모듈을 동시에 사용할 수도 있는데 기본적으로는 한 개의 모듈만을 사용한

6. 결 론

저궤도위성 원격측정 데이터 처리를 위한 대용량 메모리 운용에 대한 것으로 대용량 메모리 구조, 메모리 초기화 및 메모리 스크러빙 방식,

대용량 메모리를 통한 원격측정데이터 저장 및 전송 방식, 대용량 메모리 운영 방식에 대해서 기술하였다. 대용량 메모리 기능은 대부분 위성에서 자동적으로 수행되는 것으로 지상에서는 기본적으로 데이터 전송제어만 하면 된다. 메모리 모듈 또는 인터페이스 상에 문제가 있거나, 메모리 특정 블록에 문제가 있을 때 지상명령을 통해서 다시 초기화를 수행하거나 모듈을 변경할 수 있는데 이러한 경우 기존에 저장되어 있는 데이터를 잃게 될 수 있으므로 정해진 절차에 따라 신중하게 수행해야 한다. 그리고 데이터 종류별로 저장 및 전송제어를 별도로 수행할 수 있는 기능이 필요한 경우에는 대용량 메모리 영역을 구분한다든지 또는 파일시스템을 적용하는 것 등에 대한 고려가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 권기호, 김대영, 최승운, 이윤기, “ 다목적실용위성의 대용량 메모리/하향링크 설계” 한국항공우주학회 춘계 학술발표회, 2005.
2. CCSDS 102.0-B-5 Consultative Committee for Space Data Systems Packet Telemetry
3. 김대영, 강석주, 이윤기, 권기호, 최승운, “다목적실용위성의 메모리 오류 관리 방안” 한국항공우주학회 춘계 학술발표회, 2005.