

저궤도위성 세이프가드 메모리 운영

채동석*, 양승은*, 천이진*

*한국항공우주연구원 위성기술연구소 위성분체실 위성비행소프트웨어팀
e-mail:dschae@kari.re.kr

Safeguard Memory Operation for LEO Satellite

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

*Satellite Flight Software Dept., Korea Aerospace Research Institute

요 약

위성을 전체적으로 제어하는 탑재소프트웨어가 동작하는 주 메모리와는 별도로 세이프가드 메모리가 있다. 세이프가드 메모리는 주로 위성의 장애관리를 위해 사용되는 것으로 프로세서 리셋 시에 전체적으로 초기화가 수행되는 주 메모리와는 달리 별도의 전원을 사용하여 항상 Power-ON 상태를 유지하고 주/부 2개의 메모리가 주/부 프로세서와 Cross-Strap으로 연결되어 어느 프로세서에서든 접속이 가능하도록 구성되어 있다. 위성에 심각한 장애가 발생하여 정상적인 운영이 불가능한 경우, 위성은 Fail-over 과정을 거치게 되는데, Fail-over 과정에서 2개의 세이프가드 메모리의 비상운영데이터 영역에 장애 발생원인 및 프로세서 리셋 이후에 필요한 정보들을 기록하고, 미리 정해진 Backup 하드웨어를 이용하여 시스템 초기화가 수행된다. Backup 하드웨어를 통하여 프로세서가 정상적으로 Boot-up되면 세이프가드 메모리에 저장된 비상운영데이터를 이용하여 위성의 장애발생 원인을 파악하고, 정상운영모드로 복귀하는 절차를 거치게 된다. 본 논문은 저궤도 위성에서 사용되는 세이프가드 메모리 운영 방식에 대해 기술한 것이다.

1. 서론

위성을 전체적으로 제어하는 탑재소프트웨어가 동작하는 주 메모리와는 별도로 세이프가드 메모리가 있다. 세이프가드 메모리는 주로 위성의 장애관리를 위해 사용되는 것으로 프로세서 리셋 시에 전체적으로 초기화가 수행되는 주 메모리와는 달리 별도의 전원을 사용하여 항상 Power-ON 상태를 유지하고 주/부 2개의 세이프가드 메모리가 주/부 프로세서와 Cross-Strap으로 연결되어 어느 프로세서에서든 접속이 가능하도록 구성되어 있다. 위성에 심각한 장애가 발생하여 정상적인 운영이 불가능한 경우, 위성은 Fail-over 과정을 거치게 되는데, Fail-over 과정에서 2개의 세이프가드 메모리의 비상운영데이터 영역에 장애 발생원인 및 프로세서 리셋 이후에 필요한 정보들을 기록하고, 미리 정해진 Backup 하드웨어를 이용하여 시스템 초기화가 수행된다. Backup 하드웨어를 통하여 프로세서가 정상적으로 Boot-up되면 세이프가드 메모리에 저장된 비상운영데이터를 이용하여 위성의 장애발생 원인을 파악하고, 정상운영모드로 복귀하는 절차를 거치게 된다. 본 논문은 저궤도 위성에서 사용하는 세이프가드 메모리 운영 및 관리 방식에 대해 소개한 것으로 2장에서는 비상운영데이터 구조에 대해서 요약하였고, 3장에서는 세이프가드 메모리 운영방식에 대한 것으로 세이프가드 메모리 운영을 위한 초기화 절차, 데이터 저장 및 덤프 절차에 대한 세부 제어로직에 대해서 기술하였다.

2. 비상운영데이터 구조

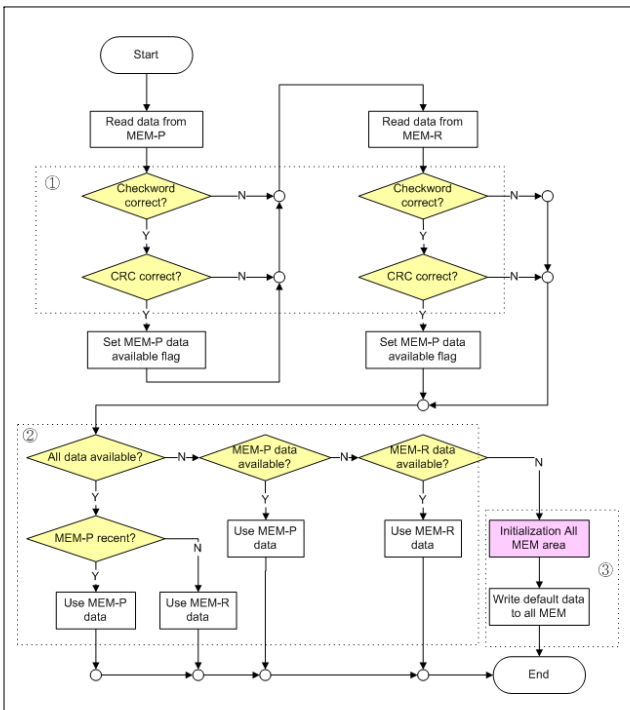
세이프가드 메모리에 비상운영데이터가 저장되는 영역은 크게 두 부분으로 구성된다. 주기적으로 또는 장애가 발생했을 때 비상운영데이터가 기록되는 영역과 시스템 초기화시에 이전에 마지막으로 기록된 비상운영데이터 영역의 모든 내용을 복사하여 지상에서 운영자가 마지막으로 저장된 데이터를 볼 수 있도록 하기 위한 초기 비상운영데이터 영역으로 구분된다. 비상운영데이터에 포함되는 내용은 크게 세 가지로 장애 발생 원인에 해당하는 데이터와 시스템 재시작 하는데 필요한 데이터 그리고 비상운영데이터의 무결성을 체크하기 위한 데이터 영역이다. 장애발생 원인에 해당하는 데이터로서 소프트웨어 오류 정보 및 오류 카운트, 소프트웨어 오류 테이블, 장애 발생 종류 및 해당 값, 장애 발생시간 등의 정보가 포함된다. 시스템 재시작 하는데 필요한 데이터로는 시스템 시간정보, 대용량메모리에 저장된 원격측정데이터의 저장 및 지상전송 상태를 나타내는 각종 포인터 정보, 대용량메모리 페이지 상태 테이블, 세이프 가드 메모리 상태정보, 자세 제어 로직을 수행하는데 필요한 주요 파라미터 및 유닛 사용정보, 전력제어 로직을 수행하는데 필요한 주요 파라미터 및 유닛 사용정보, 열 제어 로직을 수행하는데 필요한 주요 파라미터 및 유닛 사용정보, 탑재체 제어를 수행하는데 필요한 주요 파라미터 및 유닛 사용정보 등이 포함된다. 그리고 기타 세이프가드 메모리 비상운영데이터 ID, 데이터 무결성 확인을 위한 체크워드, CRC 등으로 구

성되어 있다. 장애발생 원인에 해당하는 데이터는 장애발생 시에 해당내용이 갱신되어 저장되고, 시스템 재시작을 위한 정보들은 위성운영 중에 발생하는 여러 가지 상황에 따라 운영자가 지상명령을 통하여 설정하게 된다.

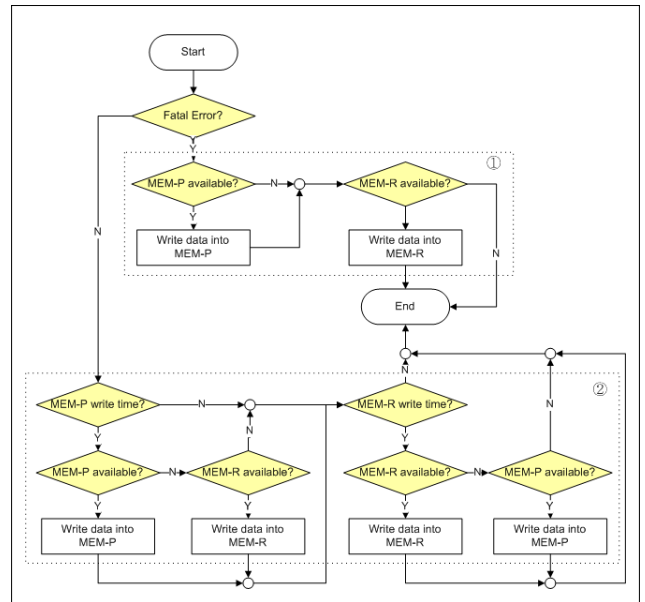
3. 세이프가드 메모리 운영방식 및 제어절차

세이프가드 메모리는 주/부 두 개의 메모리가 항상 사용 가능한 상태로 운영되는데 주/부 두 개의 프로세서와 Cross-Strap으로 연결되어 어느 프로세서가 동작중이든지 2개의 세이프가드 메모리에 데이터를 저장하고 저장된 데이터를 읽을 수 있도록 되어 있다. 초기화 시에 2개의 세이프가드 메모리에서 동시에 데이터를 읽어서 둘 다 가용할 경우 그 중 가장 최신의 데이터를 사용하고, 하나만 가용할 경우 해당 메모리의 정보를 사용한다. 정상운영모드에서는 두 개의 세이프가드 메모리에 주기적으로 데이터를 저장한다. 위성에 심각한 장애가 발생하여 정상적인 운영이 불가능한 경우 Fail-over 과정에서 해당 정보를 포함한 비상운영데이터를 두 개의 세이프가드 메모리에 추가적으로 기록한 후 프로세서 리셋 과정이 진행된다. 전력문제 등에 의해 소프트웨어가 동작할 수 없는 경우에는 비상운영데이터에 해당 정보를 기록할 수 없게 되는데, 이런 경우에는 비상운영 데이터에 내용이 없는 것을 바탕으로 소프트웨어가 동작할 수 없는 상황의 장애가 발생했음을 추론할 수 있다.

가 기록되어 있는지를 확인한다(①). 먼저 주 세이프가드 메모리 영역을 읽어 체크워드와 CRC값이 일치하는지 확인하여 데이터 기록여부를 확인하고, 부 세이프가드 메모리 영역을 읽어 체크워드와 CRC값이 일치하는지 확인하여 데이터 기록여부를 확인한다. 두 메모리가 모두 가용한 경우 두 개의 데이터에 포함된 시스템 시간을 확인하여 마지막에 기록된 데이터를 이용하고 하나만 가용한 경우에는 해당 데이터를 이용한다(②). 사용할 세이프가드 메모리 영역이 결정되면 모든 데이터 영역의 내용을 두 개의 세이프가드 메모리 초기 비상운영데이터 영역에 복사하여 마지막으로 저장된 내용을 지상에서 덤프하여 확인할 수 있도록 하고, 재시작 하는데 필요한 모든 데이터들을 탑재소프트웨어에 복사하여 필요한 파라미터들을 업데이트하고 시스템 초기화를 수행한다. 둘 다 가용하지 않을 경우에는 전체 메모리 영역의 초기화를 수행하고 비상운영 데이터 Default 값으로 기록한다(③). 둘 다 가용하지 않을 경우는 시스템이 Failover에 의한 재시작이 아닌 위성 발사 후 최초로 프로세서 초기화가 진행되고 있는 상태일 때와 실제 두 개의 세이프가드 메모리 모두 데이터 영역에 문제가 있는 경우에 해당한다. 지상명령에 의한 초기화도 가능한데, 이 경우에는 세이프가드 메모리에 정상적인 데이터가 기록되었는지의 여부와 관계없이 모든 영역의 초기화를 수행하고 이후 비상운영 데이터를 기록하는 과정으로 수행된다. 시스템 초기화가 종료되고 정상운영 모드에서는 세이프가드 메모리에 비상운영 데이터를 주기적으로 기록하게 되는데 그림 2는 세이프가드 메모리에 비상운영 데이터를 기록하는 절차를 나타낸 것이다.



(그림 1) 세이프가드 메모리 초기화 절차



(그림 2) 세이프가드 메모리 쓰기 절차

세이프가드 메모리 초기화 절차는 그림 1과 같다. 시스템 초기화 할 때 세이프가드 메모리 초기화 절차가 수행되는데 우선 세이프가드 메모리에 정상적인 비상운영 데이터

심각한 장애가 발생하여 정상적인 운영이 불가능할 경우에 해당 장애 원인 및 오류 정보들을 포함한 비상운영 데이터를 두 개의 세이프가드 메모리에 기록하고, 하드웨

어 워치도그 타이머 기능을 이용하여 리셋 절차를 거치게 되고(①), 정상적인 운영 모드에서는 비상운영데이터를 Primary 세이프가드 메모리와 Redundant 세이프가드 메모리에 0.5초 주기로 번갈아 기록한다(②). 각 경우에 해당 세이프가드 메모리가 가용하지 못한 상태이면 다른 쪽 가용한 메모리를 사용하여 데이터를 기록한다. 비상운영데이터를 처리하는 위성의 탑재소프트웨어가 구동되는 상황에서의 장애일 경우 비상운영데이터에 해당 원인을 찾을 수 있고, 위성의 탑재소프트웨어가 구동되지 못하는 상황일 경우에는 비상운영데이터를 갱신하지 못한 상태에서 프로세서 리셋이 수행되는데, 이 경우에는 비상운영데이터를 통하여 직접적인 장애의 원인을 알 수는 없지만 탑재소프트웨어가 구동되지 못하는 상황의 장애가 발생했음을 알 수 있다.

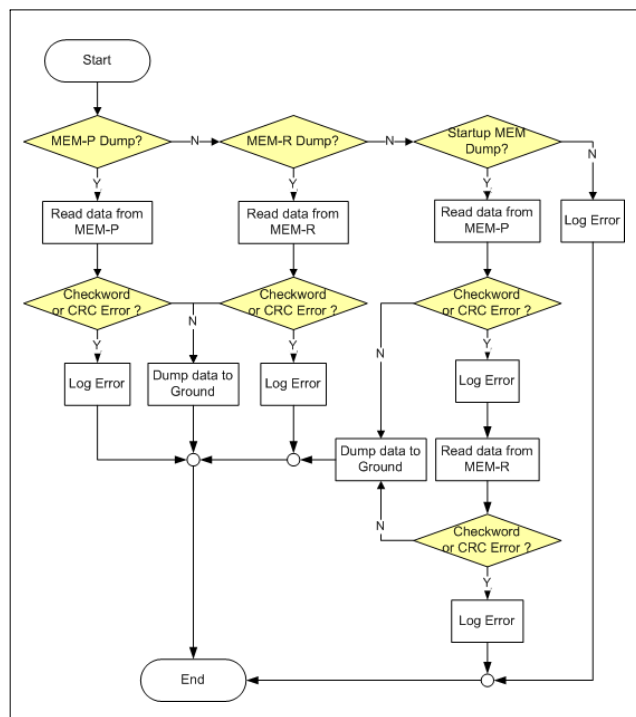
세이프가드 메모리를 읽는 경우는 시스템 초기화시에 세이프가드 메모리 초기화를 수행하는 경우와 지상에서 비상운영데이터 영역을 덤프해서 확인하는 경우이다. 지상에서 확인하는 경우는 위성에 장애가 발생하여 Failover 한 경우 해당 원인을 찾기 위해 초기 비상운영데이터 영역을 덤프할 수 있고, 기타 정상 운영 중에 재시작에 필요한 정보들을 설정하거나 확인할 때 비상운영데이터 영역을 덤프해서 확인할 수 있다. 그림 3은 세이프가드 메모리에 비상운영데이터 덤프명령 처리절차를 나타낸 것이다.

읽어 다운로드 전송포맷에 맞게 포맷하여 지상으로 전송한다. 초기 비상운영데이터 영역의 경우, 두 개의 메모리에 동일한 내용이 기록되어 있으므로 먼저 Primary 세이프가드 메모리에서 읽어 오류가 없으면 해당 데이터를 사용하고, 오류가 있는 경우, Redundant 세이프가드 메모리에 저장된 데이터를 이용한다.

세이프가드 메모리에는 우주 방사 환경에서 발생할 수 있는 SEU (Single Event Upset)을 해결하기 위해 EDAC(Error Detection and Correction) 회로가 내장되어 있다. 하드웨어 스크러버에 의해 계속적으로 스크러빙이 수행되면서 단일 비트 오류는 자동으로 정정되고 더블 비트 오류는 감지하여 오류카운트를 저장한다. 탑재소프트웨어에서 오류발생여부를 확인하여 더블 비트 오류가 발생한 경우에는 해당 세이프가드 메모리를 사용하지 않는다. 추후 지상에서 메모리 상태를 확인하고 초기화를 수행하여, 영구적인 오류가 아닌 경우에는 다시 사용할 수 있다.

4. 결론

위성에 심각한 장애가 발생하여 정상적인 운영이 불가능한 경우 장애 발생원인 및 시스템 재시작 하는데 필요한 정보를 기록하는데 사용되는 세이프가드 메모리에 대한 기본적인 운영개념과 세이프가드 메모리에 기록되는 비상운영데이터 구조, 주/부 세이프가드 메모리 운영방식, 메모리 초기화, 비상운영데이터 기록 및 덤프 방식 및 제어 절차 등에 대하여 기술하였다. 시스템 재시작 하는데 필요한 데이터는 시스템 초기화 과정에서 탑재소프트웨어에서 읽어 사용하게 되고, 장애 발생원인 데이터는 지상에서 비상운영데이터를 덤프 받아 정확한 장애원인을 파악하고 안전모드에서 정상운영모드로 복귀하는데 사용하게 된다. 세이프가드 메모리 운영방식은 기본적인 메모리 시험 및 단계별 이상상태 관리 (Fault Management) 시험을 통하여 기능이 확인되었다.



(그림 3) 세이프가드 메모리 덤프명령 처리절차

먼저 덤프 타입을 확인하여 Primary 세이프가드 메모리에 저장된 비상운영데이터인지, Redundant 세이프가드 메모리에 저장된 데이터인지, 아니면 초기 비상운영데이터 영역의 데이터인지 확인하여 해당 메모리로부터 데이터를

참고문헌

[1] 채동석, 최종욱, 이종인, “KOMPSAT-2 메모리 운용” 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집 II, 2004, pp.822~825.
 [2] 최종욱, 천이진, 이재승, “다목적실용위성 2호의 On-Board Fault Management” 한국정보과학회 2004년도 봄 학술발표논문집 제31권 제1호(B), 2004, pp403-405
 [3] 백명진, 장영근, 이진호, 김학정, “A Study on KOMPSAT On-Board Fault Management Design” 한국항공우주학회 1999년도 춘계학술발표논문집, 1999, pp.647-650