

천리안 위성의 탑재체 접속장치에 대한 고장감지, 격리 및 회복에 대한 분석

조영호*, 원주호*, 이윤기*, 권기호*, 이상곤*
한국항공우주연구원*

COMS MPIU FDIR(Fault Detection, Isolation & Recovery) Analysis

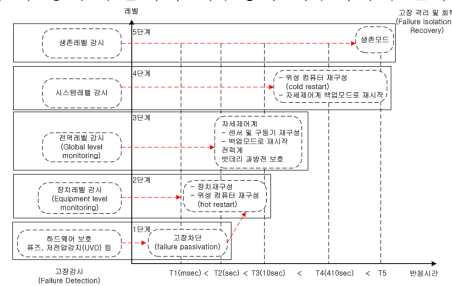
Young-Ho Cho*, Joo-Ho Won*, Yun-Ki Lee*, Ki-Ho Kwon*, Sang-Kon Lee*
Korean Aerospace Research Institute*

Abstract - 위성의 가장 큰 제한 중에 하나는 발사하면 더 이상의 수리가 불가능하다는 것이다. 그래서 사용하는 위성의 부품 및 시스템에 대하여 신뢰성 검증이 지상에서 많이 이루어지고 있지만 모든 고장을 막을 수 있는 것은 불가능하므로 이에 대한 감시 및 고장시 대처하는 기능이 필요하다. 위성의 고장운영(fault management)은 탑재체소프트웨어나 하드웨어로 구현하여 운영 중 시스템의 이상상황(anomaly)을 모니터링하고 이상상황이 발생한 경우 시스템이 안전하도록 조치하는 것이다. 본 논문은 천리안위성의 FDIR구조를 소개하였고 탑재체접속장치 경우 설계된 FDIR를 분석하였다.

대응이 필요한 부분이다. 하드웨어 차단은 고장 격리에 해당하며 회복은 상위 2단계에서 처리하게 된다. 1단계는 모두 하드웨어로 구현되어 있다. 2단계는 탑재체 재구성(ORB : On Board Reconfiguration) 소프트웨어로 구현되어 있으며 장치레벨의 감시 파라미터를 소프트웨어 감시 루프를 통하여 수행하며 고장이 감지되고, 만약 잉여 자원이 없을 경우 장치 스위치를 끄고 상위 단계로 넘겨 상위 수준에서 재구성이 이루어지게 된다.

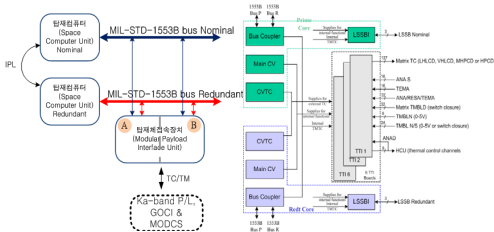
1. 서 론

천리안위성의 탑재체 접속장치는 GOCI 탑재체, Ka-대역 통신 탑재체 및 MODCS와의 인터페이스 기능을 담당한다. 탑재체 접속장치는 그림 1처럼 탑재 컴퓨터로부터 명령 정보를 전달받아 해당 탑재체에 이를 분배하고 각 탑재체로부터 수집된 상태 데이터를 탑재 컴퓨터로 전달하는 기능을 수행한다. 탑재컴퓨터와 탑재체접속장치 간은 MIL-STD-1553B를 통하여 이중화 구조를 갖으며 고장 시 탑재체 접속장치의 다양한 조합의 구성이 가능하도록 하였다. 이러한 탑재체접속장치는 그림1의 우측과 같이 총 6장의 TTI(Telecommand & Telemetry Interface) 보드를 사용한다. 탑재체 접속장치 내부 역시 이중화 구조를 가지고 있으며 한쪽에 전원이 인가되면 다른 쪽은 인가되지 않는 cold 잉여 구조로 고신뢰성을 갖는 시스템이다.



〈그림 2〉 천리안 위성 FDIR 구조

3단계는 전역 수준의 FDIR로서 주로 자세제어계(ADCS) 운영 모드에 국한되면 일부 전력계(EPS)부분의 운영도 포함하여 동작한다. 이 단계는 1, 2단계처럼 고장 부분이 한 곳으로 명확한 것이 아니라 기능(function)과 성능 등이 고장 판별의 기준이 된다. 4, 5단계는 시스템 수준의 FDIR로서 위성컴퓨터(SCU) 내에 존재하는 감시재구성전자(MRE : Monitoring and Reconfiguration Electronics)장치를 통하여 처리한다. 4단계는 지구 감시 여부에 따라 위성컴퓨터, 소프트웨어, 지상에서 미리 선택된 하드웨어 장치를 가진 서브시스템으로 모두 재구성하게 된다. 마지막으로 배터리의 과전류 및 과방전을 감지하여 예상 못한 고장이나 전 단계 FDIR에서 회복하지 못한 것을 처리하게 된다. 이 레벨은 생존 모드로 회복하는 마지막 단계이다.



〈그림 1〉 탑재체 접속장치의 접속도 및 내부구조

본 논문에서는 천리안 위성의 FDIR 구조와 설계를 간략히 설명하였으며, 이를 근거로 서브시스템의 장치레벨인 탑재체 접속장치의 경우 어떻게 설계되었는지 분석하였다.

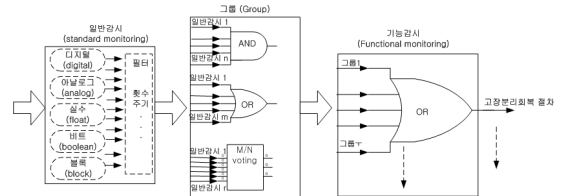
2. 본 론

2.1 천리안 위성의 FDIR 설계

천리안 위성의 FDIR 목적은 자율기능과 고장 허용(tolerance) 요구 사항을 충족하도록 수행하는 것이다. 특히 천리안 위성의 임무운영 동안에 시스템에서 자율기능 요구조건으로 고장이 발생하지 않는 경우에는 48시간 동안 지상국의 조정 없이 위성의 요구되는 성능을 만족하면서 동작해야 하고, 단독 고장이 있는 조건에서는 48시간동안 지상국과 접속이 없더라도 위성은 생존해야 한다. 이러한 시스템의 요구조건은 천리안 위성 FDIR의 근간이 되며 또한 이러한 구조는 모든 서브시스템에도 적용되어지게 된다. 천리안 위성 FDIR은 그림 2처럼 5단계를 갖는 계층적 구조(hierarchical structure)이다. 불필요한 스위칭을 최소화하기 위해서 상위 단계로 가기 전에 하위 단계에서 해당 FDIR을 수행하게 된다. 즉, 고장에 대한 FIR 반응 시간은 그림4에 보이듯이 높은 수준으로 갈수록 느리다. 부품단위의 보호기능은 1단계이며 현실적으로 지상에서 제어할 수 없고 고장이 발생 시 빠른

탐재체 접속장치의 FDIR은 대부분은 유닛레벨에서 처리된다. 일부는 해양탐재체의 FDIR에 영향을 받고 일부는 열제어 FDIR과 관련되어 동작하기도 한다. 이처럼 다른 시스템과 연관된 것과 시스템레벨의 FDIR은 여기서 언급하지 않고 접속장치 내부에 국한된 장치 FDIR만 기술하였다.

탐재체소프트웨어 감시 기능은 그림과 같은 순차적인 구조로 진행된다. 일반 감시는 그림에 있듯이 5가지 유형이 있으며 의미는 표1과 같다. 이러한 여러 개의 일반 감시는 'OR', 'AND', 'Voting(M out of N)' 논리에 의하여 그룹을 형성하게 된다. 각 그룹은 다시 'OR'되어 하나의 기능감시가 되면 이를 근거로 고장분리회복이 수행되게 된다.



〈그림 3〉 순차적인 감시 구조

천리안 위성의 많은 장치레벨의 고장 감시 기능은 그림3과 같은 구조로 되어 있으면 고장 분리 처리과정은 탑재체구성 소프트웨어(ORB : On-board Reconfiguration Block)에 의하여 처리되어진다.

〈표 1〉 일반감시 유형

감시 유형	설명
디지털	감시 데이터에 마스크가 적용된 후 그 값이 예상된 것인 경우
아날로그	정수 값이 최대, 최소를 벗어 난 경우
실수	감시 실수 값이 최대 최소 문턱을 벗어 난 경우
비트	감시된 데이터를 비트 발생 유무
블록	16비트의 감시 데이터가 이전 값을 유지하지 못한 경우

2.2 탑재체접속장치 FDIR 분석

FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis : 고장모드, 영향 및 치명도 분석)는 모든 고장 가능성, 감지방법 및 영향을 분명하는 방법 중 하나이다. 이러한 해석결과에 따라 탑재체 접속장치의 FDIR 설계 방향과 운영이 결정되어지게 된다. 천리안 탑재체접속장치의 FMECA 수행결과 총 71가지 고장 모드에 대한 대응방법으로 천리안 위성의 탑재체접속장치 자동조치기능에 반영하게 된다. 소프트웨어의 반응시간으로 대응할 수 없는 빠른 보호동작을 요하는 고장에 대하여 1차 레벨인 하드웨어적으로 보호 및 회복 구조가 필요하다. 탑재체 접속장치의 많은 기능 중 본 논문에서는 주 전원 컨버터 모듈만 표2에 기술하였다. DC/DC 컨버터는 저전압 검출에 의한 경우를 제외하고 컨버터는 외부의 명령에 의해서만 재시작할 수 있다. 컨버터는 50V 버스 전압을 받아 4종류의 이차 전압을 생성하게 되는데 이에 대한 1차 레벨의 고장 보호기능은 표 2와 같이 정의된다.

〈표 2〉 컨버터 모듈의 하드웨어 보호

전원	과전류보호	저전압보호	과전압보호
버 스 전 원	3A 퓨즈 (하니스 내 설치)	<ul style="list-style-type: none"> • 컨버터 자동으로 전 원 꺼짐 • 모든 탑재체접속장 치 기능 리셋 수행 • 저전압(35V) 이상 회복 시 컨버터 자동 으로 재시작 수행 	N/A
+5V(이 차 주 전 원)	과전류 검출 시 회로차 단기를 이용하여 자동 (3.44A @1.9m s)으로 주 컨버터 차단함	어떤 가짜(spurious) 명령이나 잘못된 동작 을 방지하기위하여 모든 로직 회로가 리 셋됨	주 컨버터가 6.35V에서 넘 지 않게 자름 (cut off)
+15V(아 날 로 그)	과전류 검출 시 회로 차 단기를 이용하여 자동(1.2A @1.9ms)으 로 주 컨버터 차단함	N/A	주 컨버터가 18.3V에서 넘 지 않게 자름 (cut off)
-15V(아 날 로 그)	과전류 검출 시 회로 차 단기를 이용하여 자동(1.2A @1.9ms)으 로 주 컨버터 차단함	N/A	주 컨버터가 -18.3 V에서 넘 지 않게 자 림(cut off)
+17V(릴 레 이)	전류제한기 (current limiter) 회로차 단기(컨버터 를 끄지 않음) 과전류 검출 제 설정 필요	N/A	회로 차 단기를 이용한 전류 명령을 차단기 시킴

FDIR 모니터링은 2가지 목적을 수행하게 된다. 첫 번째는 고장이 전파되는 위험에 대하여 대처하기 위한 것이고 둘째는 상태 획득 기능을 위한 것이다. 탑재체 접속장치의 FDIR 모니터링을 정의해야 한다. 아래 표는 컨버터 모듈 경우이다.

〈표 3〉 소프트웨어 고장 감시 및 처리 방법 정의

종류	니모닉	허용범위	필터	목적	처리 방법
컨 버 터 온도	PIU1_C VM_TP	<101℃	10초	어 떠 한 문 열적 제의 생 과 파를 막 기 위 하 여	인여 MPU를 이용 하여 새로운 경로 제공. 단 50초이내 회복되어야 하며 이때는 모니터링 도더라도 회복 알 고리즘 동작하지 않음
기 준 전압	PIU1_VR EF21_M UX PIU1_VR EF_ADC	4.3V<5V_ 기준<4.8V 9.25<10_ 기 준 <10.75	10초	상 태 획득 으로 수 행되는지 확인	인여 MPU를 이 용하여 새 로운 경 로 제공

각 기능별로 모니터링 방법에 대한 정의가 이루어지면 소프트웨어

어 구현을 위하여 일반감시 유형을 아래 표와 같이 정의해야한다.

〈표 4〉 일반감시 종류

일반감시 ID	유형	설명
SM_PIU1_TEMP_CV_TC	아날로그	TC 컨버터 온도
SM_PIU1_VREF21	아날로그	기준전압
SM_PIU1_VREF_ADC	아날로그	ADC 기준전압
SM_PIU1_TEMP_CV_MAIN	아날로그	주 컨버터 온도
SM_PIU1_TTI_VBIAS_TEM A	디지털	TTI 바이어스 전압 이상 유무
SM_PIU1_TTI_TP	디지털	TTI 온도 초과 유무
SM_PIU1_TTI_VREF_TMB LD	디지털	TTI 보드의 TM과 바이레벨의 기준전압 발생유무
SM_PIU1_ADRVAL_B5_0	아날로그	TEMA 형태 아날로그 이상 검증
SM_PIU1_ADRVAL_B5_1	아날로그	ANA 형태 아날로그 이상 검증

히터 조작을 위하여 온도 조절 고장처리부분과 관련된 것을 구별하여 그룹을 형성하면 아래 표와 같이 형성된다.

〈표 5〉 그룹 정의

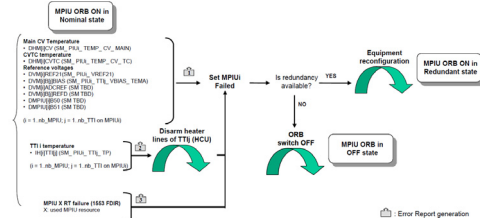
그룹 ID	유형	일반감시 ID 리스트
GR_PIU1_NF	OR	SM_PIU1_TTI_VBIAS_TEMA SM_PIU1_TTI_VREF_TMBLD SM_PIU1_TEMP_CV_TC SM_PIU1_VREF21 SM_PIU1_VREF_ADC SM_PIU1_TEMP_CV_MAIN SM_PIU1_ADRVAL_B5_0 SM_PIU1_ADRVAL_B5_1
GR_PIU1_TP	OR	SM_PIU1_TTI_TP

두 그룹은 서로 다른 회복 과정을 수행해야 함으로 기능감시를 아래와 같이 표시하였다.

〈표 6〉 기능감시 정의

모드 상태	기능감시 ID	주기	해당 그룹
MPIU_ORB_ON	FM_PIU1_TTI_TP	0.5Hz	GR_PIU1_TTI_TP
MPIU_ORB_ON	FM_PIU1_NF_FAILED	0.5Hz	GR_PIU1_NF

상기 파라미터를 근거로 전체적인 FDIR 흐름은 다음 그림과 같이 진행되어진다.



〈그림 4〉 탑재체접속장치 FDIR 흐름

3. 결 론

천리안위성은 한반도의 해양을 관측하기 위한 해양탐체, 위성통신 서비스를 제공하기 위해서 Ka-대역 전파를 사용하는 통신탐체체를 내장한 정지궤도복합위성이다. 이러한 기능이 잘 수행되기 위해서는 위성본체에 의하여 잘 제어가 되어야 하면, 동시에 탐체체의 상태를 잘 모니터링할 수 있는 인터페이스 장치가 안정적으로 동작해야 한다. 본 논문에서는 천리안위성에서 사용되는 탑재체 접속 장치의 주요 부분의 고장 감시, 격리 및 재구성에 대하여 간략히 분석하였다. 본 분석은 향후 정지궤도 위성의 탑재체 접속장치 설계 시 기반 기술이 될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "EUROSTAR 3000 MPU DESIGN REPORT", EUR3 -NT-PIUM-484-V-ASTR, Astrium, 2005.
- [2] "Spacecraft user manual FDIR/Contingency plan", COMS.UM.000 01.DP.T.ASTR, Astrium, 2009.
- [3] 조영호외3, "통신해양기상위성의 탑재체접속장치 설계에 관한 연구", 정보 및 제어 학술대회(CICS' 08) 논문집, pp 369-370, 2008
- [4] "COMS Failure Detection, Isolation and Recovery (FDIR) Design Report", COMS.DDD.00018.DP.T.ASTR, Astrium, 2007.