

저궤도 위성의 안전성 향상을 위한 위성체 및 지상의 자율 운영 방안

양승은*

On-board and Ground Autonomous Operation Methods of a Low Earth Orbit Satellite for the Safety Enhancement

Seung-Eun Yang*

요 약

우주 비행체의 건강상태를 확인하기 위해서는 매우 많은 종류의 텔레메트리 데이터를 확인해야 하므로 시간이 크게 소요 된다. 그러나 저궤도 위성의 경우 지상국과 교신할 수 있는 횟수 및 시간이 제한적이기 때문에 짧은 시간에 정확히 위성의 상태를 파악하는 것이 중요하다. 또한 운영 중 방사현상 및 급격한 온도 변화 등 극한의 우주 환경에 노출되어 있기 때문에 교신중이 아닐 때에도 위성 자체의 탑재 고장관리 방안이 마련되어 있어야 한다. 본 논문에서는 저궤도 위성의 안전성 향상을 위해 지상 및 위성 자체에서의 자율 운영 방안에 대해 다루도록 한다. 위성 상태확인 소요 시간 단축을 위해 각종 위성 이벤트를 오류와 구분하여 기록한 후 지상으로 전달하면 지상에서는 위성에서 발생하는 문제를 명시적으로 인지하여 즉각적인 조치가 이루어지도록 한다. 또한 각 이벤트의 연관 텔레메트리를 정의하고 지속적으로 발생하는 이벤트 시퀀스를 이용하여 특정 이벤트 발생 시 지상에서 취해야 할 동작을 추천 혹은 자동 수행하는 시스템을 제안한다. 탑재 자율 고장관리 기법으로는 중요 파라미터 선정 후 검사해야 할 주기, 모드 및 문턱값을 지정하여 해당 범위를 벗어날 경우 사전에 지정 된 명령 시퀀스를 수행 하는 방안을 제시한다.

Key Words : low earth orbit satellite, state monitoring, event, on-board autonomy, fault management

ABSTRACT

Many kinds of telemetry should be monitored to check the state of spacecraft and it leads the time consumption. However, it is very important to define the status of satellite in short time because the contact number and time of low earth orbit satellite is limited. Also, on-board fault management should be prepared for non-contact operation because of the sever space environment. In this paper, on-board and ground autonomous operation method for the safety enhancement is described. Immediate fault detection and response is possible in ground by explicit anomaly detection through satellite event and error information. Also, satellite operation assistant system is proposed for ground autonomy that collect event sequence in accordance with related telemetry and recommend or execute an appropriate action for abnormal state. Critical parameter monitoring method with checking rate, mode and threshold is developed for on-board autonomous fault management. If the value exceeds the limit, pre-defined command sequence is executed.

I. 서 론

우주에서 동작하는 인공위성은 열, 진공 및 태양풍 등 가혹한 환경에 노출되어 고장의 위험성이 높다 [1]. 특히 저궤도 관측위성의 경우 지상과 교신할 수 있는 시간 및 횟수가 제한될 수 있기 때문에 위성의 상태를 빨리 확인하고 문제

발생 시 즉각적으로 대응할 수 있어야 한다.

일반적으로 위성의 상태를 파악하기 위해 필요한 정보를 텔레메트리로 정의하고 지상으로 내려 보내는데 그 종류 및 양이 매우 많기 때문에 짧은 시간에 모든 정보를 확인하는 것은 거의 불가능 하다. 또한 하향 전송 속도의 제약 때문에 모든 텔레메트리를 빠른 주기로 받아 볼 수 없으며 아날로그

*한국항공우주연구원 위성기술연구단 위성비행소프트웨어팀 (seyang@kari.re.kr)

접수일자 : 2016년 8월 29일, 수정완료일자 : 2016년 9월 28일, 최종 게재확정일자 : 2016년 9월 30일

값을 갖는 텔레메트리의 경우 개발자가 아닌 운영자가 해당 값이 정상인지 비정상인지 바로 파악하기 어렵다 [2].

이러한 문제점들을 극복하고 위성의 문제를 빨리 발견하기 위해 아날로그 값을 갖는 텔레메트리에 특정 문턱 값을 설정하여 이를 벗어 날 경우 알람을 띄우는 Out-Of-Limits (OOL) 방식을 많이 사용하고 있으나 모든 파라미터에 대해 전문가가 값을 선정해 주어야 하고 여러 개의 알람이 동시에 발생 할 경우 어떤 조치를 취해야 하는지 판단하기가 쉽지 않다 [3]. 따라서 위성에서 발생하는 주요 이벤트나 오류에 대해서는 위성과 통신이 가능할 때 추가적인 분석 없이 즉각적인 확인 및 조치를 취하는 방법이 마련되어야 한다. 그러나 사람인 운영자가 해당 이벤트를 확인 하고 조치를 취하는데 까지 시간이 더 소요될 수 있으므로 지상 시스템이 위성의 정보를 파악하여 자동으로 문제에 대처할 수 있는 방법이 요구된다.

저궤도 위성의 경우 지상과의 접속 없이 운영되는 시간이 대부분이기 때문에 위성체 자체적으로 문제를 확인하고 이에 대처할 수 있는 방안이 준비되어 있어야 한다. 이에 대해 위성체 자체적으로 중요한 데이터들을 파악하고 문제 발생 시 자동으로 안전 운영모드로 천이하여 연료 및 전력 소모를 최소화 하고 지상 접속 시 사용자가 원활한 복구를 할 수 있도록 문제의 내용들을 기록해 두어야 한다. 본 논문에서는 위에 기술 된 내용을 구현하기 위해 다음과 같이 세 가지의 사항을 다루도록 한다.

- 위성의 상태 정보를 명시적으로 전달하여 추가 분석 시간 단축
- 지상에서의 자율 운영 방안을 적용하여 문제에 대응하는 시간 단축
- 위성체 자체적인 자율 운영 방안을 적용하여 비 접속 구간에서 발생할 수 있는 문제에 대비

우선 II장에서는 이벤트 및 오류 기록을 통한 위성의 신속한 정보 전달 방법에 대해 다루도록 한다. III장에서는 지상에서의 자율 운영을 위해 이벤트와 연관 텔레메트리 분석을 통한 이벤트 시퀀스 DB 구축을 적용하여 특정 이벤트 발생 시 지상에서 취해야 할 작업을 추천 하거나 자동으로 수행하는 방법을 다루도록 한다. 또한, IV 장에서는 위성의 동작 수행을 위해 필수적인 검사해야 할 주요 파라미터를 선정한 후 이를 주기적으로 확인하여 값이 정상 영역을 벗어날 경우 저장된 일련의 동작들을 수행하도록 하는 위성체의 자율 운영 방안에 대해 다루도록 한다. 마지막으로 V장의 결론을 통해 본 논문을 정리 하도록 한다.

II. 효율적인 위성의 주요 정보 전달

저궤도 관측 위성에서는 지상의 명령 전송에 따른 동작

및 촬영 임무 수행 등에 따라 다양한 작업이 이루어진다. 텔레메트리를 이용하여 동작의 상태를 파악할 수 있으나 특정 동작에 대한 이벤트를 기록함으로써 지상에서 명시적으로 보다 빠르게 상태를 판단할 수 있다. 또한 이벤트에 중요도에 따른 레벨을 부여하고 특정 이벤트의 기록 동작을 활성화/비활성화 할 수 있게 하면 보다 탄력적인 운영이 가능해진다. 추가적으로 오류와 관련된 사항들은 테이블로 별도 관리하고 오류의 발생 여부 및 종류를 텔레메트리로 할당 할 경우 실시간 텔레메트리와 덤프 데이터를 활용한 빠른 문제 확인 및 효율적인 대응이 가능 해진다. 본 장에서는 이러한 내용을 포함한 위성의 이벤트와 오류 기록 및 운영 방법에 대해 다루도록 한다.

1. 위성 이벤트를 통한 위성의 정보 전달

위성에서 발생하는 이벤트를 기록하기 위해 표 1과 같이 고유 ID, 이벤트가 발생한 시간, 동일한 이벤트가 연속해서 발생한 횟수의 정보를 정의 하였다. 해당 내용은 200개의 공간을 갖는 이벤트 로그 테이블에 저장되며 해당 테이블은 write pointer와 read pointer를 이용하여 원형 버퍼로 관리된다 [4].

모든 오류는 이벤트로 저장되기 때문에 위성 운영 시 고칠 수 없거나 동작에 큰 영향을 끼치지 않는 오류들도 계속해서 이벤트 로그 테이블에 기록 된다. 이 경우 해당 이벤트로 인해 다른 정보 확인이 어려워 질 수 있으며 현재 1초에 10개씩 이벤트가 지상으로 전송되는데 이벤트의 발생 횟수가 더 빠를 경우 이벤트 로그 테이블이 오버플로 될 수 있다. 따라서 특정 이벤트 기록을 활성화/비활성화 할 수 있는 기능이 필요한데 지상 명령으로 이를 구현 하였다.

표 1. 이벤트 기록 내용

구분	크기	내용
Event ID	2 Bytes	이벤트 고유 ID
Time Tag	3 Bytes	이벤트 발생 시간
Number of Occurrence	1 Byte	동일 이벤트 연속 발생횟수

위성에서 발생하는 이벤트는 그 내용에 따라 중요도가 달라질 수 있다. 따라서 중요도에 따라 각각의 이벤트에 레벨을 부여하였는데 0부터 3까지 총 4 단계로 구분하고 큰 값을 가질 경우 보다 중요한 이벤트로 관리한다. 표 2에서 이벤트 처리를 위한 두 가지의 관리 레벨을 정리 하였는데 Event Log Level은 레벨에 따라 해당 내용을 기록 할지 말지 결정하는데 사용 된다. 이벤트의 레벨이 Event Log Level보다 크거나 같을 경우에만 해당 내용이 기록 된다.

또한 앞에서 이벤트 로그 테이블의 오버플로 가능성에 대해 정리 하였는데 이에 대비하여 동일한 이벤트가 연속해서 발생 할 경우 테이블의 다른 공간에 적지 않고 동일 공간에

적되 Time Tag 정보만 갱신하는 기능을 구현 하였다. 이벤트의 레벨이 Occurrence Level보다 크거나 같은 경우에만 테이블의 다른 공간에 기록이 되고 그 외에는 동일 공간에 기록이 되며 발생 횟수에 따라 Number of Occurrence가 증가한다.

표 2. 이벤트 처리를 위한 관리 레벨

구분	내용
Event Log Level	발생하는 event를 기록할지 말지 결정. 기록 조건: $Event\ Level \geq Event\ Log\ Level$
Occurrence Level	동일한 event가 연속해서 발생할 경우 Event Log Table의 다른 칸에 기록 할 것인지 동일 칸에 기록하고 Number of Occurrence를 증가시킬지 결정. 다른칸에 기록: $Event\ Level \geq Occurrence\ Level$

2. 오류 기록을 통한 상태 파악

앞서 정리한 위성 이벤트는 지상과 접속 중일 경우에는 실시간으로 해당 정보를 받아 바로 대응이 가능 하다. 그러나 비 접속 구간에서 발생한 이벤트 들은 위성의 메모리에 저장이 되고 지상에서 다운로드 명령을 보내야만 지상에 전달되어 처리가 가능하다 [5]. 따라서 다시 접속이 이루어진 후 즉각적인 오류 확인을 위해서는 해당 정보가 실시간 텔레메트리로 내려 와야 하는데 이를 위해 오류 기록 기능을 사용한다. 오류 사항을 기록할 경우 어떤 종류의 오류가 발생하였는지 표시하는 지시자를 두고 자세한 정보가 저장되는 테이블을 따로 구현하면 지시자를 통해 문제의 발생 여부와 그 종류를 파악한 후 필요 시 자세한 정보까지 덤프 받아 상황에 따른 대처가 가능해 진다.

그림 1에 오류 ID에 대한 정의를 도시 하였다. Bit 0~7까지는 고유 번호가 할당 되고 Bit 8~11은 어떤 종류의 오류가 발생 하였는지, Bit 12~15는 어떤 태스크 그룹에서 오류가 발생 하였는지 지정한다. Bit 8~11의 정보를 16bits의 크기를 갖는 오류 지시자로 정의하여 실시간 텔레메트리로 구현 할 경우 지상에서는 빠른 시간 안에 위성 오류 발생 여부 및 어떤 종류의 오류가 발생 했는지 파악 할 수 있다.

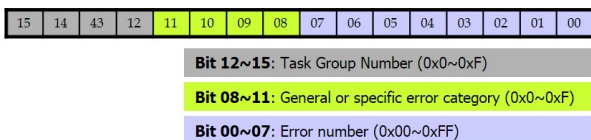


그림 1. 오류 ID 정의

모든 오류는 그림 2의 오류 테이블에 기록이 되는데 그림 1의 오류 ID, Time Tag, Occurrence Count, Detailed Information의 내용이 기록 된다. 총 32개의 정보를 저장할 수 있으며 이벤트와 다르게 선형 버퍼로 관리되고 레벨에 상관없이 모든 동일 오류는 동일 칸에 기록되고 Occ. CNT가

증가 된다. 선형 버퍼로 관리하는 이유는 특정 문제 발생 시 초기에 발생한 오류가 중요하기 때문에 초기 32개까지의 오류를 저장할 수 있게 하며 오류 지시가 확인 후 테이블 덤프를 통해 신속하게 오류에 대한 세부 정보를 확인할 수 있도록 하기 위함이다.

	Error ID	Time Tag	Occ. CNT	Detailed Information
0	0x0101	0x000123	1	STA Optical Header Over Temp.
1	0x0023	0x000128	2	1553B Communication Error
2	0x0156	0x000234	1	Invalid Voltage Sensor Value
3				
4				
			⋮	
31				

그림 2. 오류 테이블

Ⅲ. 지상의 자율 운영 방안

1. 위성 이벤트의 발생 특성

Event DB는 Event ID, 서브시스템, 레벨, 상세설명, Related Telemetry(연관 텔레메트리)의 정보를 포함한다. 서브시스템은 전력계, 자세제어계와 같이 해당 로직을 구현, 수행하는 기준이며 연관 텔레메트리는 해당 이벤트와 관련이 있는 텔레메트리들을 의미한다. 따라서 특정 이벤트 발생 시 연관 텔레메트리들의 상태가 함께 변할 수 있다. 그리고 모든 지상 명령들은 고유의 ID를 갖게 되며 이벤트로 저장된다. 따라서 Event DB는 명령과 텔레메트리 정보를 포함하며 이벤트는 Action(명령수행), Status(상태확인)로 구분하여 관리할 수 있다.

그림 3에 위성 이벤트의 발생 추이를 나타내었는데 세로축은 이벤트 발생 시간, 가로축은 이벤트 발생 순서를 나타낸다. 이를 보면 하나의 이벤트가 개별적으로 나타나기보다 여러 개의 이벤트가 연속적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 자세제어에 이상이 생길 경우 위성의 자세 감지 센서를 통한 오류 이벤트 및 태양 전지판이 태양을 지향하지 못해 전력 생성 문제에 대한 이벤트가 동시에 발생할 수 있다. 또한 특정 문제 발생 시 조치 작업이 함께 이루어지므로 오류 이벤트와 명령 수행에 대한 이벤트가 순차적으로 기록된다. 따라서 이벤트 시퀀스의 내용을 통해 특정 문제에 대한 종합적인 분석 및 조치 내용 확인이 가능 하다.

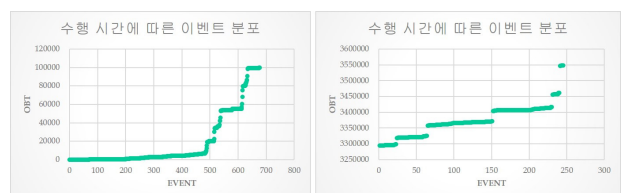


그림 3. 위성 이벤트 발생 추이

2. 이벤트 기반의 위성 운영 지원 시스템

그림 4에 이벤트 기반의 위성 운영 지원 시스템 형상을 도시 하였는데 이벤트 시퀀스 저장부는 위성에서 연속적으로 발생하는 특정 이벤트 시퀀스를 조건에 따라 구분하여 저장한다. 이벤트 시퀀스 지상 활용부는 특정 이벤트 발생 시 이벤트의 종류에 따라 자동 명령 추천 및 전송, 지상 오퍼레이터의 작업 내용 모니터를 수행하며 초기운영기간에는 이벤트 시퀀스 수집 위주로 동작한다.

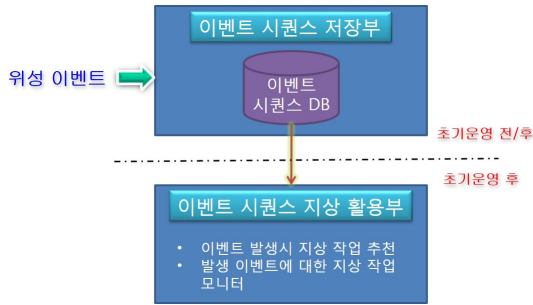


그림 4. 이벤트 기반의 위성 운영 지원 시스템

이벤트 시퀀스 저장부는 그림 5와 같이 크게 이벤트 시퀀스 수집과 이벤트 시퀀스 저장 단계로 나뉘며 그림 6에 이벤트 시퀀스 수집 과정을 도시 하였다.

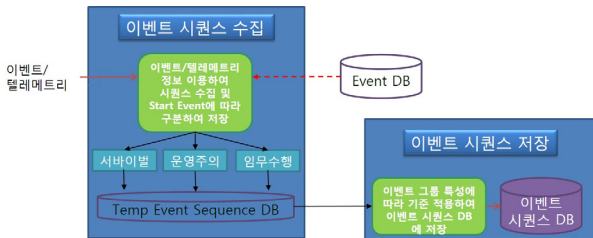


그림 5. 이벤트 시퀀스 저장부

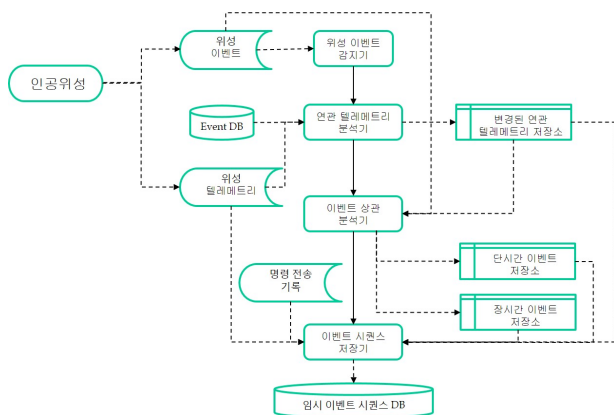


그림 6. 이벤트 시퀀스 수집 동작

- 위성 이벤트: 위성으로부터 순차적으로 받은 이벤트
- 위성 텔레메트리: 위성으로부터 받은 텔레메트리를 저장한 것으로 시간에 따른 텔레메트리의 변화 확인 가능
- Event DB: 이벤트에 대한 정의 및 연관 텔레메트리 정보를 포함하는 지상 DB

- 변경된 연관 텔레메트리 저장소: 이벤트 발생 후 지정된 시간 안에 변경된 연관 텔레메트리가 저장된 공간
- 단시간 이벤트 저장소: 변경된 연관 텔레메트리를 갖는 다른 이벤트 중 32sec안에 발생한 이벤트가 저장된 공간
- 장시간 이벤트 저장소: 변경된 연관 텔레메트리를 갖는 다른 이벤트 중 지정된 시간 안에 발생한 이벤트가 저장된 공간
- 명령 전송 기록: 지상에서 전송한 명령에 대한 시간, Command Number, Command Argument의 기록
- 임시 이벤트 시퀀스 DB: 위 과정으로 저장된 이벤트들을 하나의 시퀀스로 저장한 DB (변경된 연관 텔레메트리 정보 함께 저장)

위성 이벤트 감지기는 발생한 위성 이벤트 중 높은 중요도(high level)를 갖는 이벤트를 검출하고 이를 시작 이벤트로 저장하며 시퀀스 저장을 위한 Sequence ID를 부여한다. 연관 텔레메트리 분석기는 검출된 시작 이벤트의 연관 텔레메트리를 확인하여 이벤트 발생 시점에서 +/- 32초 (텔레메트리의 최대 전송 주기) 안에 변경된 텔레메트리를 "변경된 연관 텔레메트리 저장소"에 저장한다.

이벤트 상관 분석기는 "변경된 연관 텔레메트리 저장소"에 저장된 텔레메트리를 연관 텔레메트리로 갖는 이벤트가 발생했는지 확인한다. 120초 안에 발생한 이벤트가 있을 경우 "단시간 이벤트 저장소"에 저장한다. "장시간 이벤트 저장소"에 저장하는 시간 기준은 표 3의 이벤트 시퀀스 종류에 따라 차등적으로 적용한다. 이 과정에서 저장된 명령수행 이벤트는 추후 지상에서 특정 이벤트에 대한 명령 추천 및 자동 전송에 사용한다. 그림 7에 단기 이벤트 시퀀스 저장의 예를 도시 하였다. 시작 이벤트 Event_S가 연관 텔레메트리로 TLM_2, TLM_3을 갖는데 이 중 TLM_3만 변경 되었다. 이후 Event_C와 Event_A가 발생 하였는데 각각 연관 텔레메트리로 TLM_2, TLM_5와 TLM_1, TLM_3, TLM_4를 가지며 TLM_3가 변경된 연관 텔레메트리 이므로 TLM_3를 연관 텔레메트리로 갖는 Event_A만 단시간 이벤트 저장소에 저장 된다.

Telemetry Data Read										Event Occurrence		
OBT	TLM_1	TLM_2	TLM_3	TLM_4	TLM_5	...	TLM_n	OBT	Event ID	Level		
3372391	0	0	0	0	0		1	3372405	Event_S	3		
3372392	0	0	0	0	2		1	3372412	Event_C	0		
3372407	0	0	1	0	3		1	3372430	Event_A	0		
3372415	0	0	1	0	0		1					
3372423	0	0	1	0	0		1					
3372431	0	0	1	0	0		1					
3372439	0	0	0	0	0		1					

TLM Buffer for Event_A				TLM Buffer for Event_B			TLM Buffer for Event_C			TLM Buffer for Event_S		
OBT	TLM_1	TLM_3	TLM_4	OBT	TLM_3	TLM_5	OBT	TLM_2	TLM_5	OBT	TLM_2	TLM_3
3372391	0	0	0	3372391	0	0	3372391	0	0	3372391	0	0
3372392	0	0	0	3372392	0	2	3372392	0	2	3372392	0	0
3372407	0	1	0	3372407	1	3	3372407	0	3	3372407	0	1
3372415	0	1	0	3372415	1	0	3372415	0	0	3372415	0	1
3372423	0	1	0	3372423	1	0	3372423	0	0	3372423	0	1
3372431	0	1	0	3372431	1	0	3372431	0	0	3372431	0	1
3372439	0	0	0	3372439	0	0	3372439	0	0	3372439	0	0

그림 7. 단기 이벤트 시퀀스 저장의 예

이벤트 시퀀스 저장기는 단/장시간 저장소에 기록된 동일한 Sequence ID(동일한 시작 이벤트)를 갖는 이벤트들을 하나의 이벤트 시퀀스로 정리하여 시작 이벤트, 연관 텔레메트리와 함께 고유 ID로 "임시 이벤트 시퀀스 DB"에 저장한다. 만약 해당 이벤트가 Action일 경우 명령 전송 로그에 기록

된 내용을 바탕으로 Command Number, Command Argument Data를 모두 저장한다. 또한 저장된 장시간 이벤트 중 연관 텔레메트리를 하나라도 변경 시키는 명령수행 이벤트가 있을 경우 이를 Key Event로 구분하여 문제 해결을 위한 중요한 Action으로 저장한다. 특정 문제 발생 시 이에 대한 대처로 명령을 전송하기 까지 일정 시간이 소요 되므로 장시간 이벤트의 명령수행 이벤트만을 확인한다.

표 3. 이벤트 시퀀스 분류

구분	구분 기준 및 내용
서바이벌	이벤트 발생 시 위성의 동작에 중대한 영향을 미칠 수 있으며 빠른 대처가 이루어지지 않을 경우 위성에 대한 제어를 잃을 수 있음. 빠른 조치가 중요하므로 장시간 이벤트 저장 기준 시간 짧게 설정 (1시간)
운영주의	위성의 동작 과정에서 발생할 수 있는 중요치 않은 문제들. 지상에서 즉각적인 조치가 필요하지는 않으나 상태 확인을 위한 추가적인 조치가 이루어 질 수 있음. 장시간 이벤트 저장 기준 시간 5시간
임무수행	위성의 임무 수행을 위해 순차적으로 수행되는 이벤트 시퀀스. 임무 수행을 위한 명령 동작과 그에 부수적으로 발생하는 이벤트들로 구성되며 대부분 명령수행 이벤트이고 단시간에 걸쳐 수행됨. 장시간 이벤트 저장 기준 시간 10분.

표 3의 기준으로 저장한 이벤트 시퀀스는 표 4와 표 5의 이벤트 시퀀스 DB Header 및 이벤트 시퀀스 DB 내용으로 구분 하여 저장 한다. Header에 포함 된 Event Sequence ID 는 각 이벤트 시퀀스를 구분하기 위한 고유 ID이며 시퀀스 그룹은 시작 이벤트가 표 3의 기준 중 어디에 속하는지 나타낸다. 연관 텔레메트리에는 시작 이벤트의 연관 텔레메트리 중 +/- 32sec 동안 변경된 것이 있으면 그 값과 함께 기록한다. Key Event는 문제 발생 시 이를 해결하기 위한 중요 명령수행 이벤트를 저장한 것이고 시작 이벤트 ID는 시퀀스 수집 기준이 되는, 최초로 발생한 이벤트의 ID를 의미한다. 표 5의 Delta Time은 시작 이벤트 이후 연속적으로 발생한 이벤트 간의 시간 간격을 나타낸다. Action/Status의 구분은 해당 이벤트가 명령 수행에 대한 이벤트일 경우 Action이고 그 외에는 Status로 구분 한다. 명령수행 이벤트의 경우 명령 전송 로그기록을 이용하여 Command Number와 Argument를 포함한 모든 data가 함께 저장 된다.

표 4. 이벤트 시퀀스 DB Header

구분	내용
Event Sequence ID	시퀀스의 고유 ID
시퀀스 그룹	시작 이벤트가 속한 그룹 (서바이벌, 운영주의, 임무수행)
변경된 연관 텔레메트리 개수	변경된 연관 텔레메트리의 개수

변경된 연관 텔레메트리	시작 이벤트의 연관 텔레메트리 중 시작 이벤트의 OBTT +/- 32sec 안에 변경된 텔레메트리
Key Event의 수	Key Event의 개수
Key Event	변경된 연관 텔레메트리 값을 다시 변경 시키는 명령 수행 이벤트
시작 이벤트 ID	최초 발생한 중요 이벤트 ID
시작 이벤트 OBTT	시작 이벤트 발생 시점

표 5. 이벤트 시퀀스 DB 내용

구분	내용
Delta Time	이전 이벤트와 현재 발생한 이벤트간 시간 간격
Event ID	발생한 Event ID
Action / Status	이벤트가 명령이면 Action, 그 외 Status로 구분
CMD Data	이벤트가 명령일 경우 해당 Command Number와 Argument

최종 이벤트 시퀀스 저장 과정을 그림 8에 도시 하였다. 운영주의의 경우 임시 이벤트 시퀀스 중 동일한 연관 텔레메트리, 단시간 Status Event, Key Event를 갖는 것을 동일한 시퀀스로 간주하며 두 번 이상 동일 시퀀스가 나타날 경우 저장한다. 이때 장시간 이벤트의 경우 동일하게 발생한 이벤트만 Sequence DB에 저장하며 그 외 발생한 이벤트는 제외 한다. 서바이벌 이벤트의 경우 한번 발생으로 중대한 영향을 미칠 수 있고 그 발생 빈도가 극히 낮으므로 한번 발생 시 바로 Event Sequence DB에 저장한다. 임무수행 이벤트는 연속적인 명령의 수행으로 이루어진다. 따라서 시작 이벤트가 Action이면서 동일한 연관 텔레메트리를 갖고 시간에 상관없이 동일한 명령 수행 시퀀스를 갖는 것을 하나의 이벤트 시퀀스로 저장한다. 이때 동일하게 발생한 Status 이벤트는 함께 저장 하며 다르게 발생한 Status 이벤트는 최종 시퀀스에서 삭제한다. 위와 같은 조건으로 최소 두 번 이상 동일 시퀀스가 나타날 경우 저장한다.

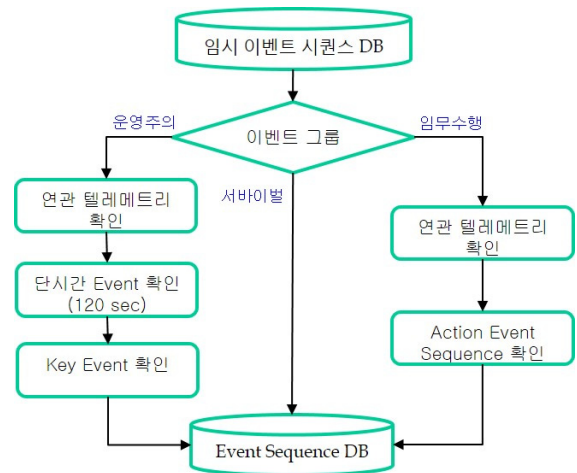


그림 8. 이벤트 시퀀스 저장 동작

이벤트 시퀀스 지상활용부는 그림 9의 순서와 같이 동작한다. 수신된 위성 이벤트가 어떤 그룹에 속하는지 분석 후 분류된 그룹 내 Event Sequence DB에 저장된 시작 이벤트 ID 중 동일한 이벤트가 있는지 확인한다. 그리고 Event Sequence DB에 기록된 연관 텔레메트리와 동일한 텔레메트리가 같은 값으로 변경되었는지 확인한다. 시작 이벤트 및 연관 텔레메트리의 변경 값이 일치할 경우 동일한 시퀀스로 인식하고 분류된 그룹에 따라 각각 다른 동작을 수행한다.

- 서바이벌: 발생한 이벤트에 대한 조치 명령 자동 전송/ 발생한 이벤트에 대한 명령 추천 (Key Event Command)
- 운영주의: 발생한 이벤트에 대한 명령 추천 (Key Event Command) 및 지상 명령 전송 내용 확인
- 임무운영: 지상에서 계획한 명령 시퀀스와 Event Sequence DB와 다를 경우 경고 발생

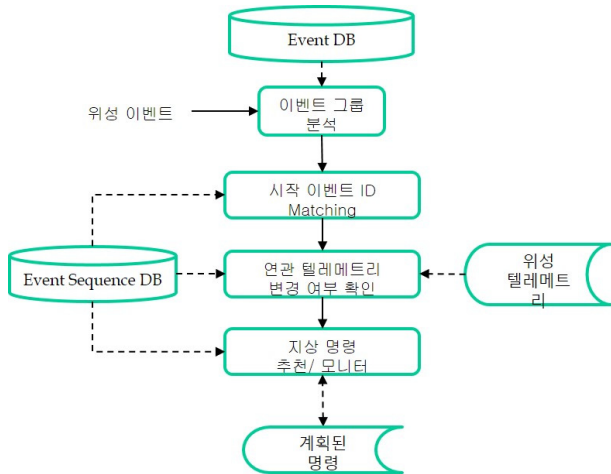


그림 9. 이벤트 시퀀스 지상 활용 동작

IV. 위성의 자율 운영 방안

앞에서 정리한 내용들은 위성과 지상 간 통신이 이루어질 경우 적용 가능한 방법이지만 저궤도 위성의 경우 통신이 이루어지지 않은 상태로 운영되는 시간이 더 많으므로 위성 자체적으로 문제를 인식하고 대처할 수 있는 방안이 마련되어 있어야 한다. 이를 위해 위성 상태 파악을 위해 반드시 확인해야 하는 파라미터를 선정 하여 주기적으로 모니터링하고 정해진 문턱 값을 벗어날 경우 일련의 작업을 수행하는 방법을 적용하였다.

그림 10에 주요 파라미터 확인을 통한 오류 대응 방안의 예를 도시하였다. 파라미터의 내용은 테이블 형태로 관리가 되며 파라미터 변수(Parameter), 확인 주기(Checking Rate), 확인 모드(Checking Mode), 정상 동작 범위를 벗어났을 때 수행해야 하는 명령 시퀀스(Safe-hold Sequence), 경계조건

(Limit Type), 경계값(Limit Value), 허용 횟수(Threshold)의 정보를 포함한다.

Index	Parameter	Checking Rate	Checking Mode	Safe-hold Sequence	Limit Type	Limit Value	Threshold
A	Variable_A	1 Hz	All Mode	Seq. A	Upper	10	3
B	Variable_B	4 Hz	All Mode	Seq. B	Lower	2	5
C	Variable_C	8 Hz	Mode A	Seq. C	Lower	10	2
D	Variable_D	4 Hz	Mode B	Seq. D	Upper	20	10

그림 10. 주요 파라미터 확인을 통한 오류 대응 방안

위성의 경우 임무 수행을 위한 지구 지향, 전력 생성을 위한 태양 지향 등 여러 가지 모드로 동작 하게 된다. 해당 모드에 따라 확인해야 하는 주기 및 경계값이 달라질 수 있으므로 각 항목에 대해 모니터 주기 및 경계값을 명시하여 해당 조건이 되었을 때 검사를 수행한다. 따라서 동일한 파라미터라고 하더라도 동작 모드에 따라 다른 항목으로 존재할 수 있다. 특정 파라미터의 값이 문턱값을 연속해서 넘은 횟수가 허용 횟수를 넘어설 경우 정의된 시퀀스의 작업이 수행된다. 그림의 예에서 Variable_A가 초반에 경계값을 벗어났지만 다음번에 정상 값으로 변하기 때문에 오류 횟수는 0으로 초기화 된다. 다시 연속해서 경계값을 벗어난 횟수가 증가하여 허용 횟수인 3보다 클 경우 정의된 작업이 수행된다. 테이블의 파라미터를 주어진 조건(확인 주기, 확인 모드 등)에 따라 운영할 수 있지만 테이블에 정리된 조건 외에 특별한 경우 경계 값을 넘어도 정상인 상태가 될 수 있다. 이럴 경우 해당 파라미터가 경계 값을 벗어나 허용 횟수를 넘었다고 하더라도 수행 작업을 실행하면 안 되므로 개별 파라미터를 모니터링 하되 Safe-hold Sequence를 실행할 것인지 말 것인지 지상 명령으로 조절할 수 있도록 구현 하였다. 또한 특성 별로 파라미터를 구분하여 그룹 별로 수행 작업 활성화 기능을 사용하면 보다 효율적인 파라미터의 관리가 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 저궤도 위성에서 문제가 발생할 경우 지상과 위성체의 자율 운영을 통해 신속히 문제를 극복할 수 있는 방안에 대해 소개하였다. 저궤도 관측위성의 경우 지상과의 통신이 제한적이기 때문에 위성에서 전달되는 정보를 직관적이고 빠르게 파악할 수 있어야 한다. 이를 위해 위성의 이벤트를 기록하고 레벨을 두어 효율적으로 관리하는 방법을 소개 하였다. 또한 문제 사항에 대해서는 소프트웨어 오류 테이블을 두어 이에 대한 정보는 따로 저장하고 실시간 텔레메트리를 통해 오류의 발생 여부 및 종류를 쉽게 파악할 수 있게 하였다. 위성 이벤트와 연관 텔레메트리를 바탕으로 이벤트 시퀀스 DB를 구축하여 특정 이벤트 발생 시 서바이

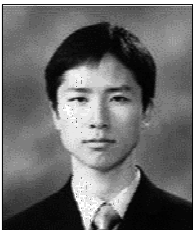
별, 운영주의, 임무수행에 따라 지상에서 자동으로 문제에 대응할 수 있는 시스템을 제안 하였다. 위성과 지상 간 통신이 이루어지지 않는 상태에서도 문제 발생 시 대처하기 위해서 주요 파라미터 확인을 통한 정의된 동작 수행 방법을 제시 하였다. 제안된 방법을 통해 위성과 지상이 통신 여부에 상관없이 발생하는 문제에 대한 대처가 가능 하다. 이벤트, 오류 및 주요 파라미터 확인을 통한 위성의 안전 운영은 기존 위성의 성공적인 운영을 통해 검증이 되었으며 추후 이벤트 기반의 지상 자율 운영 시스템을 적용하여 위성 및 지상의 자율성 및 안전성을 높이게 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Basu, S., and J. Larson, "Turbulence in the Upper Atmosphere: Effects on Satellite System," AIAA 33rd Aerospace Science Meeting and Exhibit, Reno, NV, 95-0548, Jan. 1995
- [2] James R. Wertx and Wiley J. Larson, "Space Mission Analysis and Design," Microcosm Press, Torrance CA, 1999
- [3] Jose Martinez Heras and Alessandro Donati, "Enhanced Telemetry Monitoring with Novelty Detection," AI Magazine, vol 35, No. 4, pp.37-46, 2004
- [4] Seung-Eun Yang, Jong-Wook Choi, Jae-Seung Lee, Hyun-Kyu Shin, Dong-Seok Chae, Jong-In Lee, "Software Error Handler for the Low Earth Orbit Satellite," The 29th Korea Information Processing Conference Proceeding, pp.771~772, May, 2008
- [5] 채동석, 양승은, 천이진, "저궤도 위성 원격측정 데이터 처리를 위한 대용량 메모리 운용", 항공우주기술, 제11권, 2호, pp.73-79, 2012

저자

양 승 은 (Seung-Eun Yang)



- 2005년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사졸업
- 2007년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 졸업
- 2007년~현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원

<관심분야> : 위성운영, 고장형태영향분석