

저궤도 관측위성의 Flexible Telemetry Packing 을 위한 소프트웨어 설계

신현규, 이종인, 이상곤
한국항공우주연구원
e-mail : hkshin@kari.re.kr

Software design for flexible telemetry packing of LEO satellite

Hyun-Kyu Shin, Jong-In Lee, Sang-Kon Lee
Korea Aerospace Research Institute

요 약

저궤도 관측위성의 개발 및 운영과정에서 위성의 내부 상태를 보다 면밀히 파악하고 분석하기 위하여 일반적인 telemetry 전송 주기인 초단위보다 짧은 주기로 데이터를 취합하여 지상으로 전송하기 위한 방법이 요구된다. 이를 위해 minor cycle 마다 sampling 을 수행하는 telemetry packing 방법을 제안하고 구현한 바 있다. 여기서는 이전에 제안된 telemetry packing 방법을 확장하여 보다 다양한 요구사항을 충족시키기 위한 위성 소프트웨어의 설계에 대해 간략히 소개한다.

1. 서론

지구 주위를 지속적으로 순회하면서 관측 임무를 수행하는 저궤도 관측위성은 Telemetry 를 통해 위성의 상태를 지상으로 전달하게 된다. 지상국은 이 정보를 해석하여 현재 위성의 상태를 파악하므로 위성의 개발 및 운영에 있어 Telemetry Processing 은 매우 중요한 역할을 수행하게 된다.

일반적인 경우, 위성의 Telemetry 는 초 단위의 주기로 처리된다. 하지만 위성의 자세제어 소프트웨어 등에서는 이러한 초 단위보다 더 빠른 주기로 발생, 변경되는 데이터에 대한 상세한 내용을 요구하고 있다. 이를 위해 MCS(Minor Cycle Sampling)[1]이 제안된 바 있다. MCS 는 1 개의 Telemetry Frame 을 이용하여 최대 19 개의 데이터를 minor cycle 단위로 전송할 수 있다.

MCS 는 위성의 상태 데이터를 보다 정밀하게 분석할 수 있다는 장점이 있으나, 단 1 개의 Telemetry Frame 만을 사용함으로써 분석할 수 있는 데이터의 수가 한정적이다. 위성의 자세 데이터는 보통 double 형(64 비트)의 데이터 타입을 갖는데, 기존의 MCS 방법으로는 한 번에 3 개의 변수만을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 MCS 를 이용한 Telemetry Packing 방법을 확장하여 보다 다양한 요구사항을 충족시킬 수 있는 EMCS(Extended MCS)를 이용한 위성 소프트웨어의 설계를 소개한다.

2. Telemetry Packing 의 기본 전제 및 요구사항

보다 향상된 Telemetry Packing 을 지원하는 위성 소프트웨어의 설계에 앞서 본 연구에서 가정하고 있는 전제 사항은 다음과 같다. 기본적으로 이전의 MCS 에서

전제하고 있는 가정을 그대로 유지한다.

- Telemetry 전송 주기(Major Cycle): 1 초
- 소프트웨어 실행 주기(Minor Cycle): 1/8 초

위의 가정에 따른 각 Minor Cycle 은 O_0, O_1, \dots, O_7 이며, Telemetry 의 실제 데이터를 저장하는 영역의 크기는 이전과 같은 200 바이트로 가정하고 본 연구에서는 이 저장 공간에 대해서만 다루도록 한다.

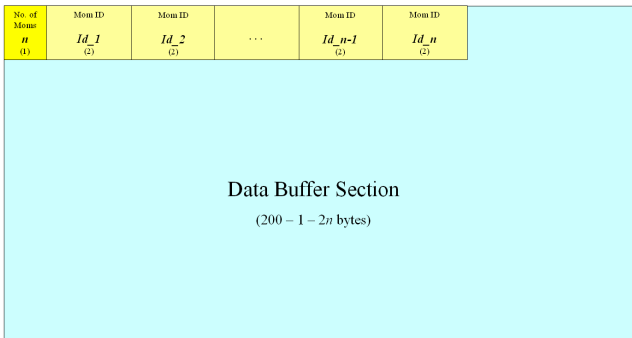
또한, EMCS 를 이용한 위성 소프트웨어 구현 시 충족해야 할 요구 사항은 다음과 같다.

- 첫째, 복수의 Telemetry Frame 을 지원해야 한다.
- 둘째, 다양한 Sampling 주기를 지원해야 하며, Sampling 주기는 8,4,2,1,1/2,1/4,1/8, 1/16 Hz 를 대상으로 한다.
- 셋째, 기 구현된 위성 소프트웨어에 대한 변경 및 파급 효과가 적어야 한다.

3. EMCS 를 위한 Telemetry Frame 구성

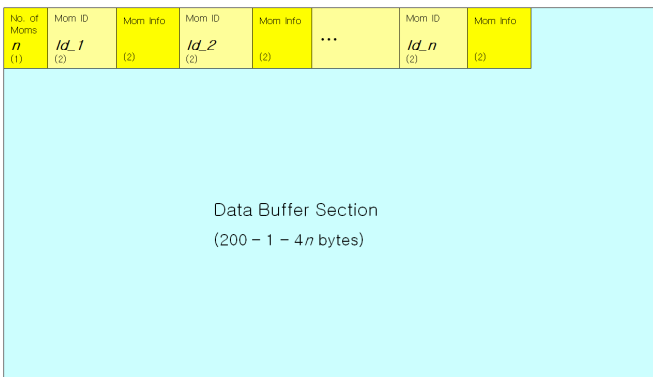
MCS 에서는 200 바이트의 저장 공간을 (그림 1)과 같이 크게 두 개의 영역으로 분리하였다. 앞 부분의 Header 에는 Sampling 하게 될 데이터에 대한 정보가 저장되고, Data Buffer Section 에는 실제 데이터를 기록한다. Header 의 내용은 Sampling 의 대상이 되는 데이터의 개수가 1 바이트 크기로 저장되며, 이어 2byte 크기로 각 데이터를 나타내는 Mom ID 가 기록되게 된다. 만약 5 개의 데이터를 Sampling 하는 경우 Header 는 모두 $1 + 2 \times 5 = 11$ byte 를 가지게 된다. 지상에서 MCS 에 의해 생성된 Telemetry Frame 을 해석하는 경우, 가장 처음에 위치한 데이터의 값을 이용하여 header 의 크기를 판단, 이후 sampling 된 데이터가

무엇인지에 대한 내용을 추출해 낼 수 있다.



(그림 1 Telemetry Frame Composition for MCS)

EMCS 에서는 기존의 MCS 에서 제안된 Telemetry Frame 의 구성 방법을 조금 변형하여 사용한다. Telemetry Frame 을 Header 와 Data Buffer Section 으로 나누어 사용하는 것은 동일하나, Sampling 주기와 오프셋의 추가로 인해 지상 장비에서 Data Buffer Section 을 해석하기 위한 정보를 제공해 주어야 하기 때문이다. MCS 에 비해 Sampling 주기와 오프셋의 두 가지 내용이 필요하여, 하나의 Mom 에 대해 2byte 가 추가로 필요하게 된다. 이를 고려한 Telemetry Frame 의 구성은 (그림 2)와 같다.



(그림 2 Telemetry Frame Composition for EMCS)

4. EMCS 를 위한 Command 구성

MCS 에서는 Sampling 을 수행할 데이터를 설정하기 위하여 아래와 같은 형태의 Command 체계를 이용하였다.

```
[MCSSET][no_of_moms][mom_id_1][mom_id_2]...
```

기존의 MCS 는 Sampling 주기가 모두 1/8 Hz 로 일정하였고, 단 1 개의 Telemetry Frame 만을 사용하기 때문에 Sampling 의 대상이 되는 데이터를 설정하는 것으로 MCS 를 수행할 수 있었다.

EMCS 는 복수의 Telemetry Frame 에 대하여 Sampling 을 수행하며, Sampling 을 수행하는 주기 역시 다양하므로 MCS 의 Command 형식으로는 처리가 불가능하다. EMCS 의 요구 사항을 충족하기 위해 제안하는

Command 체계는 다음과 같다.

```
[EMCSSET][Telemetry Frame no][no_of_moms]
[mom_id_1][period_1][offset_1]
[mom_id_2][period_2][offset_2]
...
```

EMCS 는 대상이 되는 Telemetry Frame 을 명시하고, 각 데이터에 대한 정보를 함께 표시하도록 하였다. 각 데이터에 대한 정보는 위의 Command 체계에 나타난 것과 같이 Mom ID, Sampling 주기, 오프셋을 포함한다. Mom ID 는 MCS 의 Mom ID 와 같고, Sampling 주기는 8/n Hz 에 해당하는 n 의 값을 표시한다. 즉, 매 Minor Cycle 로 Sampling 하는 경우, Minor Cycle 이 8Hz 이므로 n=1 이 되며, 2 초마다 Sampling 하고자 하는 경우 n=16 이 된다(1/2Hz = 8/16). 오프셋은 Sampling 을 시작하는 시점을 표시하는 것으로 Sampling 주기의 입력 값이 n 일 때, 오프셋 m 은 0 ~ (n-1) 의 값을 갖는다. 각 Minor Cycle 에 해당하는 임의의 시점 t 에서 해당 Mom 의 Sampling 여부는 다음과 같이 판단한다.

```
if (( t mod n ) == m ) do sampling
```

Sampling 주기가 2Hz (n=4) 이고 오프셋 m=2 인 Mom 에 대한 Sampling 은 아래와 같은 시점에 수행되게 된다.

<표 1 Sampling 예 (n=4, m=2)>

t	t mod n	
0	0	
1	1	
2	2	Sampling 수행
3	3	
4	0	
5	1	
6	2	Sampling 수행
7	3	

<표 1>에서 보는 것과 같이 n=4, m=2 로 설정된 Mom 의 경우, 1 초에 두번 (2Hz) Sampling 되며, 주어진 오프셋에 따라 Sampling 위치가 달라지게 된다.

이와 같은 EMCS 의 Command 체계를 사용할 경우, 복수의 Telemetry Frame 에 대하여 Sampling 의 대상이 되는 Mom 을 설정할 수 있으며, 다양한 주기와 시작 시점을 지원할 수 있다.

5. EMCS 를 위한 Command 검증

MCS 에서는 단일 Sampling 주기(8Hz)를 갖기 때문에 설정된 모든 Mom 이 매 Minor Cycle 마다 Sampling 되게 된다. Mom 의 개수가 n 이고 각 Mom 에 해당하는 데이터의 길이가 L_i 이라하면, Telemetry Frame 에서 MCS 가 사용할 수 있는 영역을 200 바이트로 가정하였으므로

$$1 + 2n + 8 \sum_{i=1}^n L_i \leq 200$$

의 조건을 충족하면 정상적인 Sampling 이 수행되게 되며, 이 조건은 위성 소프트웨어에서 지상으로부터 받은 Command 를 해석하여 검증하게 된다.

EMCS 의 경우, Sampling 주기와 오프셋이 다양하므로, 모든 경우에 대한 유효성 검증이 선행되어야 한다. Mom 의 개수가 n 이고 각 Mom 의 Sampling 주기가 P_i , 오프셋이 M_i 이라 하면,

$$f_t(x, y) = \begin{cases} 1 & , \text{if}((t \bmod x) = y) \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

$$g(x) = \begin{cases} 1 & , x > 0 \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

라 할 때, Header 영역의 길이 HL(k)는

$$HL(k) = 1 + 4 \sum_{i=1}^n g\left(\sum_{t=Sk}^{Sk+7} f_t(P_i, M_i)\right)$$

의 크기를 갖게 된다. 이는 Telemetry Frame 을 1 초 주기로 기록하기 때문에 8 개의 Minor Cycle 에 대해 Sampling 이 될 Mom 을 추출하고, 하나의 Mom 에 대해 4 byte 가 필요하므로 위의 식을 이용하여 Header 영역의 길이를 구할 수 있다.

또한, 실제로 Data Buffer Section 에서 해당 Mom 의 sampling 된 데이터가 기록된 영역의 크기는 아래와 같은 식으로 계산이 가능하다.

$$BL(k) = \sum_{t=Sk}^{Sk+7} \sum_{i=1}^n (f_t(P_i, M_i) \cdot L_i)$$

위의 식에서 k 는 초단위의 시간을 나타낸다. 실제 Telemetry Frame 이 생성되는 것은 초단위로 처리되기 때문에 하나의 Telemetry Frame 에 Sampling 되는 Mom 을 판별하기 위해서는 해당 초에 속하는 모든 Minor Cycle 에 대해 Sampling 여부를 확인해야 한다.

하나의 Telemetry Frame 은 Header 와 Data Buffer Section 으로 이루어 지므로, 위의 계산을 이용하면

$$HL(k) + BL(k) \leq 200$$

의 조건을 모든 k 에 대해서 검증을 해야 한다. 이때 k 의 값은 0 에서 $\max(P_i)/8 - 1$ 에 대한 양의 정수 값을 갖는다. 만약 $\max(P_i)$ 가 8 보다 작은 경우, k 가 0 인 경우만 검증을 수행하게 된다.

앞서 밝힌 EMCS 의 요구 조건은 최대 16 초를 주기로 갖을 수 있으며, 16 초에 대해 가능한 오프셋은 0~127 의 값을 포함한다. 위의 Command 검증 방법을 16 초 주기를 갖는 Mom 이 존재하는 경우에 대해 적용해보면, Sampling 하고자하는 Mom 의 수가 10 개인 경우, $128 * 10 = 1280$ 번의 loop 가 존재하게 된다. EMCS 는 Sampling 주기와 Offset 을 적절히 활용하면

현재의 요구 사항 관점에서 최대 $39 * 16 = 624$ 개의 서로 다른 Mom 을 대상으로 Sampling 을 수행할 수 있으며, 이에 대한 Command 검증 시간은 Hard Real-time System 인 위성 소프트웨어에 부담으로 작용할 수 있다.

6. Command 검증의 위임 및 지상 도구의 개발

앞서 살펴본 바와 같이 EMCS 의 경우, Command 검증에 많이 시간이 소요될 수 있다. 이를 위해 EMCS 에서는 Command 의 유효성 검증을 지상으로 위임하고 위성 소프트웨어에서는 잘못된 배열 참조 번호로 인한 오류 가능성을 없애는 것으로 위성 소프트웨어의 부담을 덜어 줄 수 있다.

기존의 MCS 는 Command 를 검증한 후 처리를 함으로써 실제 Sampling 의 경우, 배열 형태의 Telemetry Frame Buffer 에 데이터의 내용을 기록하면서 배열의 참조 번호를 확인하지 않는다. EMCS 의 경우, Command 의 검증을 지상에 위임하게 되면, 배열의 크기를 벗어난 연산 가능성이 존재하므로, 메모리 연산에 대해 제약 조건을 추가해야 한다.

Command 검증을 위한 지상 도구는 위성 소프트웨어가 참조하는 Telemetry List 를 공유하여, 주어진 Command 가 EMCS 의 제약 조건을 충족하는지 판단하고, 위성으로 전송될 Command 에 해당하는 Hex Code 를 생성하게 된다.

7. Capability & Storage Utilization

기존의 MCS 는 모든 Mom 이 8Hz 의 Sampling 주기를 이용함으로써 1 byte 크기를 갖는 19 개의 Mom 을 동시에 Sampling 할 수 있었다. MCS 와 동일 가정을 적용하여, 모든 Mom 이 8Hz 의 Sampling 주기를 갖는다고 하면, EMCS 의 Sampling Capability 는 <표 2>의 결과를 보인다.

<표 2 EMCS 의 8Hz Capability>

Byte Size of Mom				No. of Mom	Total Size
1	2	4	8		
16				16	193
	9			9	181
		5		5	181
			2	2	137
	1	1	2	4	193
1	2		2	5	189
	1	3	1	5	197
1	2	4		7	197

8Hz 에 대해서 MCS 와 비교하게 되면 Sampling 가능한 Mom 의 수나, 저장 공간의 효율성이 근소하게 떨어짐을 알 수 있다. 이는 EMCS 가 다양한 Sampling 주기와 오프셋을 지원하기 위해 추가적인 공간을 Header 에 할당하면서 발생하는 현상이다.

그러나 EMCS 는 앞서 밝힌 바와같이 현재의 가정에서 최대 624 개의 서로 다른 Mom 을 Sampling 할

수 있다. 또한 기존의 MCS 가 단일 Frame 만을 이용 하였던 것에 반해, 다수의 Frame 을 활용할 수 있어 보다 더 실용적이라 할 수 있다.

8. 결론

본 연구에서는 기존에 제안된 MCS 를 확장하여 다수의 Telemetry Frame 에 대해 다양한 Sampling 주기를 갖는 EMCS 를 제안하였다. 위성 소프트웨어가 실행 되는 주기인 Minor Cycle 에 대하여 원하는 데이터를 분석할 수 있는 기능은, 더욱 복잡하고 정밀해지고 있는 위성 개발에 있어서 필수적인 요소가 되고 있다. EMCS 는 기존의 MCS 에서 제안된 Telemetry Frame 구성을 유사하게 유지하면서도 Command 체계 및 Sampling 조건의 변경을 통해 다양한 요구사항에 보다 유연하게 대처할 수 있다. 또한 MCS 와 마찬가지로 기존의 위성 소프트웨어가 가지고 있는 Telemetry 처리 절차를 수정 없이 사용함으로써 위성 소프트웨어에 미치는 파급효과가 거의 없다.

EMCS 는 위성의 상태를 보다 정밀하게 분석할 수 있는 방법을 제공한다. 이는 위성의 자세 제어 등의 소프트웨어 검증에 많은 도움이 될 수 있다. 앞으로 EMCS 를 이용한 위성 소프트웨어의 검증 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 신현규, 저궤도 관측위성의 Telemetry Packing 을 위한 소프트웨어 설계, 2008 한국정보처리학회 춘계학술발표대회