

정책기반 위성 텔레메트리 다운링크 주기 최적화 체계 기술

김보성*, 전현진

*한국항공우주산업(주), 한국항공우주연구원

*bosung.kim@koreaaero.com, hjjeon@kari.re.kr

Policy-based Systematic Mechanism
for Low-Rate Satellite Telemetry Interval Optimization

Bosung Kim*, Hyeonjin Jeon

*Korea Aerospace Industries, Ltd., Korea Aerospace Research Institute.

요약

인공위성 관제용으로 사용되는 S-대역의 경우, 전파손실이 적어 매우 안정적이지만, 주파수 대역이 협소하기 때문에 그 한계는 여실하다. 특히 저속 전송모드에서는 위성의 많은 TLM들을 실시간으로 지상국에 다운링크할 수 없으므로, 혁신적인 체계 분야 기술이 요구된다. 본 논문에서는 위성 구성품의 자체적이고 기계적인 특성, 이것들을 담당하고 있는 담당자나 수요처의 요구사항 등을 최대한 수렴하면서 저속 패킷 최적화까지 가능한 텔레메트리 다운링크 주기 할당 체계 기술을 제안한다.

1. 서론

UCS(Union of Concerned Scientists) 위성 데이터베이스에 따르면 2020년 12월 31일 기준으로 저궤도에서 운용되는 인공위성은 2,612기이다[1]. 이는 약 2년 전인 2018년 11월[2]에 1,232기에 비해 2배 이상 증가한 것으로 운용 중인 인공위성의 수는 해가 다르게 증가하고 있으며, 과포화 상태이다. 또한, 최근에는 고해상도 영상을 전송하는 임무를 가지고 있는 인공위성이 많아져서 과거에 비해 더 많은 주파수 자원이 요구된다. 현재는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해서 위성별로 사용하는 주파수에 대해 서로 양보하고 조절하는 과정을 통해 위성간에 서로 간섭을 최소화하고 있다 [3]. 정리하면 무선자원을 시간과 주파수의 2차원 자원으로 나눠 쓰고 있는 것이다. 하지만 앞에서 기술한 바와 같이 인공위성 수요가 계속 증가하는 가운데, 한정된 무선자원을 나눠서 쓰는 데는 한계가 있다. 저궤도위성에서 위성 관제 용도로 사용되는 S-대역의 경우, 전파손실이 적어 매우 안정적이지만, 주파수 대역이 협소하기 때문에 그 한계는 여실하다[2]. 이를 극복하기 위한 방법으로 [3]에서 언급된 방법뿐만 아니라 인공위성에서 생성되는 데이터의 중요도나 장착된 부분체/구성품별 담당자의 요구사항에 부합하도록 무선자원을 최대한 아껴 쓰는 방법을 고려해볼 수 있다.

본 저자는 [2]에서 저궤도위성에서 실시간 데이터를 시간과 주파수의 2차원 자원으로 최적화하여 다운링크(D/L, downlink)하는 기술을 제안하였다. 하지만, 부분체/구성품의 개수나 여기서 발생하는 실시간 데이터에 대한 텔레메트리(TLM, telemetry) D/L 주기 등이 기설정된 실험환경에서 수치해석 결과를 도출했다는 한계가 있었다. 본 논문에서는 데이터의 중요도(긴급성)나 장착된 부분체/구성품별 담당자의 요구사항 등을 반영하면서 패킷 최적화까지 도모할 수 있는 정책기반 텔레메트리(TLM, telemetry) D/L 주기 할당 체계 기술을 제안한다.

II. 본론

II.1. 위성 실시간 데이터 흐름 모델링

그림 1은 임무궤도에서의 위성 자체의 상태와 이를 토대로 전처리(pre-process)된 실시간 데이터 등의 흐름을 유한상태머신(FSM, Finite State Machine) 형태로 모델링한 것이다[2]. 여기서 지상국으로부터 수신된 명령들의 흐름이 생략된 것은 본 논문에서는 위성의 텔레메트리(TLM, telemetry) D/L만을 고려하기 때문이다.

그림 1을 간단히 설명하면, 원(circle)은 하나의 상태(state)를 나타내며, 각 상태는 어떤 조건을 만족할 때까지 프로세스를 중지(pause)한다. FSW는 위성 탑재컴퓨터에 내장된 비행소프트웨어(Flight S/W)를 나타낸다. FSW가 직접 생성하는 TLM 뿐만 아니라 Unit/Module로부터 수신된 TLM들은 패킷화(Packetizing)된 후, CCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems) 규격에 맞는 헤더가 포함되어 전송 프레임(transfer frame)이 된다. 생성된 전송 프레임은 VCDU(Virtual Channel Data Unit)라고 하는데, 여기에 동기 패턴(sync. pattern) 및 채널코딩이 적용되어 CADU(Channel Access Data Unit) 형태로 지상국에 D/L된다[5].

점선 화살표는 상태 천이(transition)을 나타내며, 점선 화살표 상단에 명명된 값들이 점선 화살표의 왼쪽 상태에서 오른쪽 상태로 천이하기 위한 조건을 나타낸다. 예를 들어, Unit/Module 상태에서 TLM 생성 이벤트가 발생하면 프로세스는 생성된 TLM 처리를 위해 FSW 상태로 천이한다.

II.2. 정책기반 위성 텔레메트리 다운링크 주기 할당 체계 기술

인공위성은 일반적으로 발사체로부터 분리된 후에, 지상국에서 별도의 명령이 없다면, 지상국이 위성의 상태 정보, 즉, TLM를 안정적으로 수신할 수 있도록 저속(LR, Low Rate) 전송모드를 사용한다[6]. 만약 CADU 크기가 256 바이트이고, LR 전송모드 속도가 4,096bps라면, 1초에 2개 패킷, 초당 약 400 바이트 정도의 TLM를 지상국으로 전송할 수 있다. 물론 FSW의 이벤트 정보가 차지하는 공간까지 감안하면 실제 실시간으로 지상으로 D/L할 수 있는 TLM 양은 더 적어진다. 이와 같이, LR 전송모드에서는 많은 양의 위성 TLM

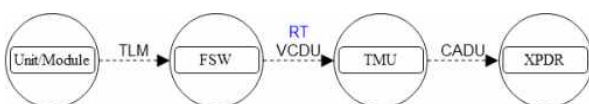


그림 1. 저궤도위성 실시간 데이터 흐름 모델링

를 실시간으로 지상국에 D/L할 수 없으므로, 효율적인 TLM D/L을 위한 혁신적인 체계 분야 기술이 요구된다.

본 저자는 [2]에서 각각의 Unit/Module에서 다른 시간에 다른 크기로 생성되는 원시 데이터(raw data)들이 FSW에 의해 VCDU에 TLM 형태로 포함되는 주기(또는 빈도)를 최적화하는 기술을 제안했다. 하지만, 원시 데이터를 생성하는 Unit/Module의 자체적이고 기계적인 특성, 이것들을 담당하고 있는 담당자나 수요처의 요구사항 등, 다양한 요소들은 절대 무시할 수 없으며, 이 같은 요소들은 각각의 이해관계가 얽혀있는 상대적인 요소들이기 때문에 최종 설계를 담당하고 있는 체계 담당자는 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 원시 데이터 각각의 생성요소들이 상대적인 요소임에도 TLM D/L 주기를 절대적으로 결정할 수 있는 체계 기술을 제안하고자 한다.

그림 2는 Unit/Module 담당자 또는 수요처가 요구하는 전송속도와 D/L 주기를 최대한 수렴하면서 LR 패킷 최적화까지 가능한 정책기반 TLM D/L 주기 할당 절차를 나타낸 것이다. 패킷 설계 담당자는 우선적으로 Unit/Module 담당자 또는 수요처에 요구사항(전송속도, D/L 주기)을 요청한다. 그 다음, 전송속도를 확인했을 때, LR 인 경우에만 그림 2의 절차 적용이 가능하다. 전송속도가 고속(HR, High Rate)인 경우에는 논의 대상이므로 생략한다.

TLM의 전송속도는 결정되었으니, 다음은 D/L 주기를 결정할 차례이다. 본 논문에서는 ITU-T-Y.1541[7]의 성능요소들을 발췌/조정하여 이중화로 고려하는 TLM D/L 주기 결정체계를 제시하였다. 가장 먼저 공통적으로 고려하는 성능요소는 지연(delay)으로 [7]의 위성망 지연요소 구분 기준에 따라 TLM D/L 주기를 결정할 수 있다. 예를 들어, 1-2초는 실시간, 4-8초는 근실시간, 16-32초는 비실시간으로 구분한다면, 실시간 수신이 요구되는 TLM은 우선 순위 정책에 반영되고 있는 긴급성의 성능요소를 추가로 고려하여 긴급한 경우 1초, 그렇지 않은 경우 2초로 결정할 수 있다. 근실시간 수신이 요구되는 TLM은 손실 성능에 민감한 경우 4초, 그렇지 않은 경우 8초로 결정할 수 있다. 실시간 수신이 요구되지 않는 비실시간 TLM은 긴급하거나 손실되어도 재차 D/L하는 등의 방법으로 복구가 가능하므로, 대용량 성능요소에 해당하

는 경우, 조금이라도 빨리 다시 D/L하기 위해 16초, 그렇지 않은 경우 32초로 결정할 수 있다.

탐재컴퓨터, FSW, 자세제어계, 탑재체 경우에는 일반적으로 어떠한 판단 로직에 의해 결정된 이산(discrete) 값 TLM들이 다수 존재하여 D/L 주기를 짧게 할당하는 것이 요구되므로 실시간 TLM라고 할 수 있으며, 이를 긴급성을 기준으로 다시 분류를 세분화하면 TLM D/L 효율을 높일 수 있다.

반면에, 전력계와 열제어계 경우에는 상태를 나타내는 값들이 전압이나 저항(온도) 등과 같이 천천히 변하는 연속적인(continuous) 값들이 상대적으로 많아 TLM D/L 주기를 길게 설정할 수 있으므로, 이를 손실민감 및 대용량 여부에 따라 다운링크 주기를 세분화하여 TLM D/L 효율성을 높일 수 있다.

이렇게 결정된 각각의 TLM D/L 주기는 LR VCDU에 할당하기에 충분한지를 한 번 더 확인하게 된다. LR VCDU에 포함시킬 용량이 남아있지 않은 경우, 어쩔 수 없는 상황이므로, 패킷 설계 담당자 주도 하에 VCDU에 포함될 수 있을 때까지 32초 이하 범위 내에서 D/L 주기를 2배씩 증가시킨다. 이렇게 결정된 D/L 주기는 Unit/Module 담당자 또는 수요처의 요구사항을 만족하는지 한 번 더 확인한다. 요구사항을 만족하는 경우에는 패킷 설계에 최종 반영되지만, 그렇지 않은 경우, 요구사항이 만족할 때까지, 다시 말해, 당사자들 간의 이해관계가 성립될 때까지 그림 2의 절차를 반복한다.

III. 결론

본 논문에서는 [2]의 부분체/구성품 각각의 TLM가 같은 주기로 D/L된다는 매우 제한적인 실험 조건을 개선하고, LR 패킷 최적화를 위한 정책기반 TLM D/L 주기 할당 체계 기술을 제안했다.

지금까지 개발된 저궤도위성들의 데이터 패턴을 분석해 부분체/구성품 중첩(superposition) 데이터 모델을 설계하는 한편, [2]를 포함한 정책기반 TLM D/L 주기 할당 체계 기술 적용이 가능하다면 향후에 개발되는 위성의 D/L 용량 산정이나 패킷 설계 시, 귀중한 선행연구 자료로 활용되리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] UCS Satellite Database, "Satellite quick facts - LEO: 2,612," Jan. 2021, (<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>)
- [2] 김보성 외 3명, "저궤도 위성 실시간 데이터 다운링크를 위한 패킷 최적화 설계," 한국항공우주학회 춘계학술대회, 2019년 4월.
- [3] 전승민, "인공위성 과포화... 주파수를 확보하라," 2015년 2월.
- [4] 편집부, "차세대중형위성 1호 성공적 발사-한국의 뉴스페이스 선도하는 KAI, 독자 밸류체인 구축," 국방과 기술 제506호, pp. 92-31, 2021년 4월.
- [5] CCSDS 130.1-G-3, Green Book, "TM Synchronization And Channel Coding - Summary of Concept and Rationale," June 2020.
- [6] 박종오, 전현진, 나성웅, "500Kg급 중형위성 표준본체 전기시스템 설계 개념," 항공우주산업기술동향 제14권 제2호, pp. 132-137, 2016년 12월.
- [7] ITU-T Recommendation Y.1541, "Network Performance Objectives for IP-Based Services," Feb. 2003.

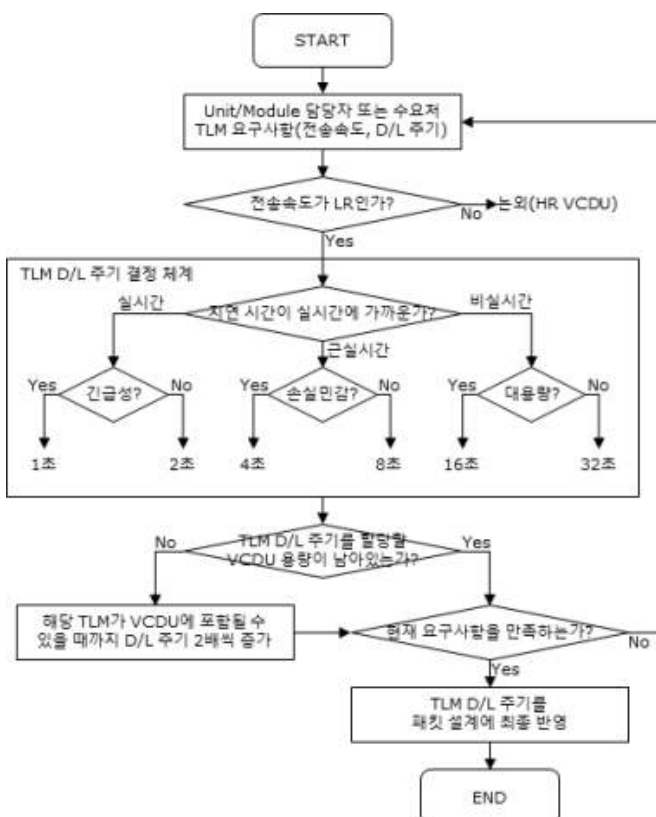


그림 2. LR 패킷 최적화를 위한 정책기반 위성 TLM D/L 주기 할당 절차