

## 심우주 탐사선과 통신을 위한 심우주 통신 프로토콜 분석

구철희\*, 류동영\*, 주광혁\*\*

### A Study of Deep Space Communication Protocols with Spacecraft on Deep Space

Cheol-Hea Koo\*, Dong-Young Rew\*, Gwang-Hyeok Ju\*\*

#### Abstract

Adventure of human race for space exploration is toward outer region of solar system. Recently the main targets of space explorations are becoming mainly the Mars, Venus and asteroids instead of the Moon which was the popular place human wants to explore. There are several technical challenges as spacecraft goes far and far away from the Earth, and among them communication protocol is one of the most challenging problems. In this paper, several international technical trends regarding deep space communication protocol technologies in an aspect of software implementation is presented. It is expected that these references are helpful for the development of the lunar orbiter pathfinder which is planned to be launched in 2017.

#### 초 록

우주 탐사를 향한 인류의 도전은 이제 태양계 바깥으로 확대되고 있다. 2010년대 전후의 우주 탐사 무대는 달에서 벗어나 주로 화성, 금성, 그리고 소행성(Asteroids)이 되고 있다. 우주선이 지구에서 멀어 질수록 여러 가지 기술적인 도전을 받고 있는데 통신 프로토콜이 대표적인 하나이다. 본 논문에서는 심우주 탐사선과 통신을 위해서 국제적으로 사용되고 있는 통신 프로토콜 기술을 소프트웨어적인 측면에서 분석한 결과를 기술하였으며 이는 2017년에 한국으로는 최초로 발사되는 시험용 달 궤도선 개발에 중요한 참고 연구가 될 것으로 판단된다.

키워드 : 통신 프로토콜 (Communication Protocol), CDFP (CCSDS File Delivery Protocol), DSN (Deep Space Network), DTN (Delay Tolerant Network)

접수일(2014년 5월 2일), 수정일(1차 : 6월 17일), 게재 확정일(2014년 7월 1일)

\* 달탐사기술팀/chkoo@kari.re.kr, dyrew@kari.re.kr

\*\* 달탐사연구실 /ghju@kari.re.kr

## 1. 서론

위성과 지상 관제국의 통신은 위성에 명령 송신과 위성에 저장된 데이터의 지상 전송을 위해서 반드시 신뢰성 및 고효율을 가지고 연결되어 있어야 한다. 위성에 저장된 데이터는 상황에 따라 실시간 전송 (Real-time) 또는 플레이-백 (Playback) 형태를 통해 지상으로 전송되며 아직 지상으로 전송되지 않은 데이터는 위성의 대용량 메모리 (Mass Memory)에 일시적으로 보관된다. 만약 제때 데이터가 지상으로 전송되지 않으면 대용량 메모리에 여유 공간이 부족하게 되어 이전 데이터가 삭제되거나 새로운 데이터가 임시 저장될 수 없게 된다. 이 문제를 최소화하기 위해 통신 품질 (QoS) 및 효율이 중대 변수로 떠오르고 있다.

통신 강도는 거리의 제곱에 반비례해서 약해지기 때문에 160~2,000 km 고도의 저궤도 위성 (Low Earth Orbit, LEO), 35,786 km 고도의 정지궤도 위성 (Geostationary Earth Orbit, GEO)에 비해 약 380,000 km 떨어진 달, 약 78,340,000 km 떨어진 화성의 궤도를 돌고 있는 위성은 통신 품질이 상대적으로 불 때 열악하다.

ITU (International Telecommunications Union)에 따르면 2백만 km를 경계로 해서 그 안쪽을 우주 통신 주파수로, 바깥쪽을 심우주 (Deep Space) 통신 주파수로 나누고 있다<sup>(1)</sup>. 이 분류로 볼 때 달 탐사선과의 통신은 심우주 통신으로 분류되지 않는다.

심우주 통신의 특징을 몇 가지로 압축해 보면 아래와 같다.

- limited visibility & frequent abruption
- long signal propagation delay
- weak signal (poor SNR)

상대적으로 심우주 통신은 LEO 및 GEO 위성 통신과 비교해서 통신 중단 및 SNR 수준에 취약한 특성이 있다. 그래서 심우주 통신은 데이터 릴레이 위성을 중간에 두거나 SNR 값을 높이기 위해서 32~34 m 급 대형 안테나를 사용하고 있

다. 또 통상 통신 커버리지를 높이기 위해 안테나 기지국은 그림 1과 같이 약 경도 120도 간격으로 세계 3곳에 위치하고 있다.

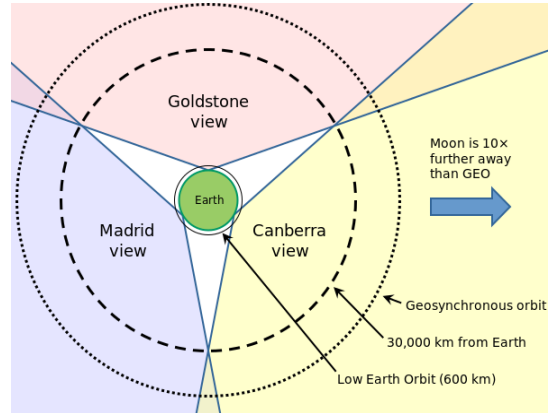


그림 1. NASA DSN 안테나 커버리지<sup>(1)</sup>

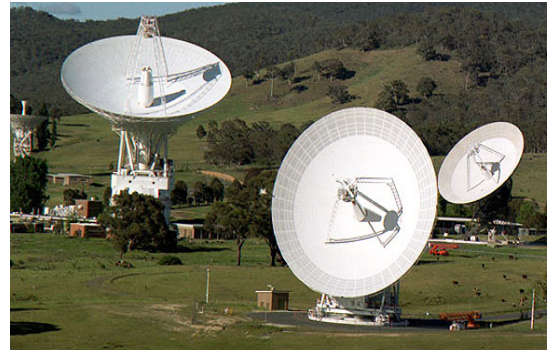


그림 2. 호주 캔버라에 위치한 NASA DSN 안테나(NASA JPL)

본 논문에서 2장은 현재 심우주 안테나의 현황, 3장은 SCPS, CFDP 프로토콜을 비롯한 DTN, AMS, Proximity-1 프로토콜의 개괄적인 특징 및 분석 결과를 소개하고, 4장 결론에는 향후에 대한 전망 및 개발 계획 등을 기술하였다.

## 2. 심우주 네트워크

### 2.1 DSN (Deep Space Network) 안테나

미국 NASA 및 유럽 ESA 등은 달, 화성, 소행성 등 심우주 탐사 미션을 지원하기 위해서 표 1

과 같이 심우주 안테나 기지국을 운영하고 있다. 그림 1에는 미국 NASA JPL에서 운영하고 있는 DSN 안테나 기지국의 커버리지를 보여주고 있다.

그림 2에는 호주 캔버라에 위치한 NASA DSN 안테나 기지국의 모습을 보여주고 있다. 좌측의 안테나가 70m(230 ft, DSS 43) 급 안테나이다. 일반적으로 DSN 안테나는 매우 감도가 좋은 수신부를 가지고 있기 때문에 외부 신호가 발생하지 않는 사막 또는 외딴 지역에 건설하는 것이 보통이다.

심우주 탐사선은 트래킹 시에 LEO 위성과 달리 급격하게 변동이 없기 때문에 적은 수의 기지국으로 관리가 가능하고 지구상 3곳에 설치된 DSN 안테나 기지국을 통해 모든 심우주 탐사선을 24시간 모니터링 가능하다. 실제로 미국 NASA JPL이 관리하는 DSN 기지국은 캘리포니아, 스페인 마드리드 그리고 호주 캔버라의 3곳에 위치하고 있으며 필요시 ESA의 ESTRACK 기지국을 빌려서 심우주 탐사선의 트래킹을 수행하고 있다. 마찬가지로 유럽 ESA도 필요시에는 미국의 DSN 자원을 빌려서 심우주 탐사선의 트래킹을 수행하고 있다. 미국 DSN과 유럽 ESTRACK은 우주 탐사 협력이 자주 있기 때문에 상호 협력시 별도의 비용 지불없이 우주탐사선 트래킹에 협력하고 있다.

### 3. 심우주용 통신 프로토콜

#### 3.1 SCPS

SCPS (Space Communication Protocol Standard)는 CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems)에서 개발되고 있는 표준이며 TCP/IP 프로토콜에 기반하고 있는 프로토콜 세트의 모음이며 아래의 항목으로 구성되어 있다.

- SCPS-FP : File Protocol로서 FTP에 기반한 파일 송수신 프로토콜<sup>(3)</sup>
- SCPS-TP : Transport Protocol로서 TCP에 기반한 전송 제어 프로토콜

· SCPS-SP : Security Protocol로서 보안 관련 프로토콜

· SCPS-NP : Network Protocol로서 IP와는 호환되지 않는 네트워크 프로토콜

표 1. 각국 DSN 현황표<sup>(2)</sup>

국 가	내 용
미국 DSN	<b>캘리포니아 Goldstone</b> 26m, 34m BWG, 34m HEF, 34m HSB, 70m
	<b>스페인 Madrid</b> 26m, 34m BWG, 34m HEF, 70m
	<b>호주 Canberra</b> 26m, 34m BWG, 34m HEF, 70m
유럽 ESTRACK	<b>벨기에 Redu</b> 13m, 15m
	<b>프랑스 Kourou</b> 15m
	<b>스페인 Cebreros, Maspalomas, Villafranca</b> 15m, 35m
	<b>스웨덴 Kiruna</b> 13m, 15m
	<b>포르투갈 Santa Maria</b> 5.5m
	<b>호주 New Norcia and Perth</b> 15m, 35m
	<b>아르헨티나 Malargue</b> 35m
일본	<b>Nagano, Kagoshima</b> 34m, 64m
인도	<b>Bangalore</b> 32m
중국	<b>Qingdao, Kashi, Xiamen, Beijing, Shanghai, Urumqi, Kunming</b> 10m, 12m, 18m, 25m, 40m, 50m
러시아	<b>Yevpatoria, Bear Lakes, Ussuriisk</b> 70m, 64m
한국	<b>Daejeon, Jeju, Sejong (남극)</b> 7.3/9/13m, 11m, 13m

SCPS 프로토콜은 현재는 NASA 및 ESA에서 심우주 통신 프로토콜로는 거의 사용되지 않는 프로토콜이다. 실험적으로 LEO 및 GEO 환경에

서 테스트되고 있는 것으로 파악된다.

### 3.2 CFDP

CFDP (CCSDS File Delivery Protocol)은 역시 CCSDS에서 파일의 자동 및 신뢰 전송을 위해 고안된 프로토콜<sup>(4)</sup>로서 심우주 탐사 임무뿐만 아니라 아래와 같이 LEO 및 GEO 프로그램에서도 적용되고 있다.

- 2001 NASA Odyssey
- 2003 ESA Mars Express
- 2005 NASA Deep Impact, NASA MRO (Mars Reconnaissance Orbiter)
- 2009 NASA LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter)
- 2009 NASA MER (Mars Exploration Rover)
- 2011 NASA MSL (Mars Science Laboratory, Curiosity)
- 2012 NASA Van Allen Probes (RBSP)
- 2013 NASA LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer)
- 2014 NASA GPM (Global Precipitation Measurement)
- 2014 NASA MMS (Magnetospheric Multiscale Mission)
- 2018 NASA JWST (James Webb Space Telescope)
- 2018 NASA Solar Probe Plus

#### 3.2.1 프로토콜

CFDP의 기본 구성단위는 PDU (Protocol Data Unit)와 FDU (File Data Unit)이다. Meta PDU에 의해서 파일 송수신이 개시되며 그 후로 FDU 패킷이 뒤따른다. FDU의 송신이 끝나면 송신측은 EOF (End Of File) PDU를 보낸다.

수신측은 중간에 손실된 FDU 패킷이 있는 경우 NAK (Negative Acknowledge) PDU를 송신측에 보내서 재전송을 요청한다. NAK의 종류는 NAK PDU를 보내는 방식에 따라서 아래와 같이 분류하는데 미션에 따라서 선택된다. 미국

NASA 및 유럽 ESA는 일반적으로 Deferred NAK을 사용한다.

- Deferred
- Immediate
- Prompted
- Asynchronous

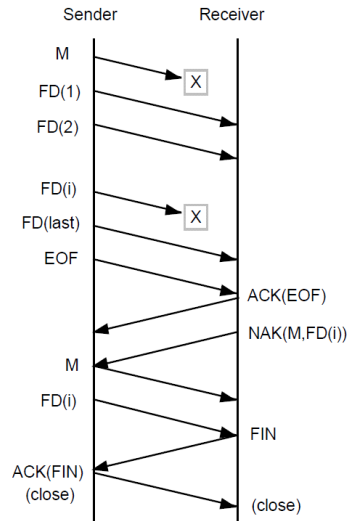


그림 3. Deferred NAK 모드의 CFDP 운용의 예<sup>(4)</sup>

그림 3에서 보여지듯 수신측에서 FDU를 모두 성공적으로 수신하면 FIN (Finalization) PDU를 송신측에 보냄으로써 하나의 파일 전송이 완료된다.

파일 데이터 블록인 FDU의 무결성은 32 비트 체크섬을 이용해서 체크한다<sup>(4)</sup>. 파일 전체의 무결성 체크(Integrity Check)가 요구될 시 사용자가 별도로 수행하여야 한다. 통신 결함시 FDU 패킷 단위로 버려지기 때문에 효율적인 FDU 패킷 사이즈에 대한 연구도 흥미로운 주제이다. CFDP를 통해서 아래와 같은 파일 관련 작업을 처리할 수 있다.

- 파일 : create, delete, rename, append, replace
- 디렉토리 : create, remove, list

CFDP는 파일 전송의 신뢰성에 따라서 아래와 같은 4 단계의 클래스로 분류된다.

- Class 1 : unreliable transfer
- Class 2 : reliable transfer
- Class 3 : unreliable transfer, waypoints
- Class 4 : reliable transfer, waypoints

일반적으로 Class 2 수준의 서비스를 사용하며 심우주 통신에서 데이터 릴레이를 사용할 경우에는 Class 4를 사용한다.

### 3.2.2 운용 개념

소프트웨어의 기저 레벨에서 CFDP는 아래와 같은 request 기능으로 구분된다.

- Put.request
- Cancel.request
- Suspend.request
- Resume.request
- Report.request

예를 들어 하나의 파일을 송신할 때는 아래와 같은 메소드를 호출하여 시작할 수 있다.

```
Put.request ("23.30", // 상대측 CFDP entity ID
            "ssmm\Hello.txt", // 소스 파일 이름
            ""); // 목표 파일 이름
```

위 메소드에는 경우에 따라서 세그멘테이션 제어, 결합 핸들러, 흐름 레이블, 전송 모드, 유저 메시지, 파일 스토어 request 등의 파라미터가 추가될 수 있다.

CFDP는 IP 주소 체계와 비슷한 entity ID로 구분된다. 예로 IP 주소가 "192.168.0.1"로 표시가 되는 것처럼 CFDP entity ID는 "23.30"으로 나타낼 수 있다. entity ID 사이즈는 제한이 없지만 미국 NASA 및 유럽 ESA 모두 2 byte 체계를 사용한다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 엔터티(Entity)는

C++의 인스턴스(Instance)와 같은 개념이며 복수의 통신을 처리하기 위해서 TCP, UDP의 포트(port)와 같은 전송 넘버(transaction number)를 내부적으로 가지고 있다. 전송 넘버의 사이즈는 제한이 없지만 보통 4 바이트를 사용한다(TCP, UDP의 경우 포트의 개수는  $2^{16} = 65,536$  즉 2 바이트 사용).

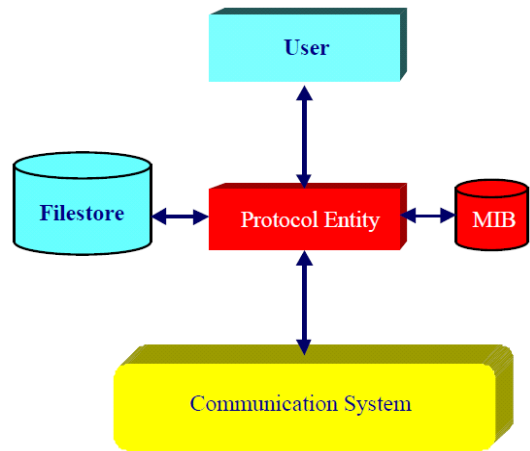


그림 4. CFDP 아키텍처 구성도<sup>(4)</sup>

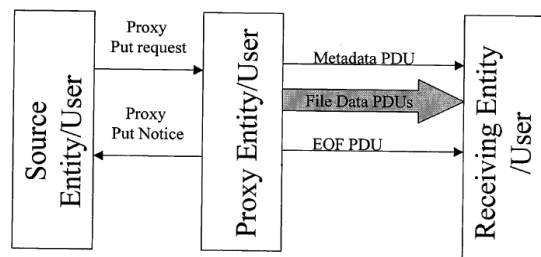


그림 5. CFDP Proxy Operation<sup>(6)</sup>

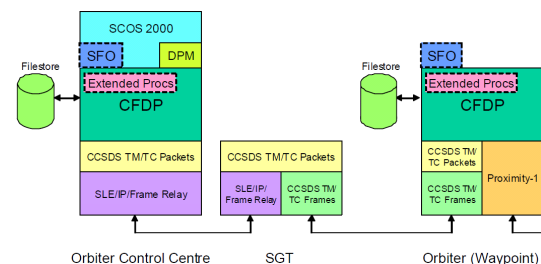


그림 6. CFDP Configuration<sup>(7)</sup>

CFDP는 그림 5와 같이 프록시(Proxy)라는 개념을 통해서 다중 CFDP 엔터티가 있는 경우 중간에 있는 엔터티로 하여금 다른 엔터티에게 파일을 송수신할 수 있게 제어가 가능하다.

CFDP는 단지 파일 전송을 위한 상위 개념으로 그림 6과 같이 데이터 통신을 위한 기저 채널은 기존 CCSDS TC (Telecommand)/TM (Telemetry) 패킷 서비스를 사용한다.

그러나 CFDP는 확장 기능 (Extended Procedures)을 통해 원격 엔터티의 CFDP 통신을 제어할 수 있고, SFO (Store and Forward Overlay) 기능도 사용가능하다. SFO를 사용함으로써 DTN의 역할을 수행할 수 있다.

CFDP는 기존의 통신 환경의 변경없이 파일 송수신을 하기 위해서 고안되었고, 최상위 어플리케이션 구현부분만 있기 때문에 만약 TC/TM을 사용할 수 있는 환경이라면 기존 환경을 이용하여 이용이 가능하다. 현재 항공우주연구원에서는 CFDP를 향후 달탐사 임무에 적용하기 위해서 2013년부터 개발해 오고 있다.

### 3.2.3 각국의 CFDP 개발 및 운용 현황

미국은 2000년 초에 CFDP를 NASA GSFC (Goddard Space Flight Center)에서 개발하여 온보드에 탑재하였으며 NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory)에서 운영하는 DSN에서 지원하고 있다. NASA JPL 주관으로 ION (Interplanetary Overlay Network) open source 프로젝트가 진행 중이며 지상 운용 환경을 위한 CFDP, BP (Bundle Protocol), LTP (Licklider Transmission Protocol), AMS (Asynchronous Message Service) 등을 공개하고 있다<sup>(13)</sup>.

유럽은 2000년 중반에 개발하였고 지상 시스템은 Java 기반 플랫폼이다. ESA ESOC은 아직 CFDP를 우주 탐사 본 미션에서는 크게 적용하지 않고 있고, 타국 심우주 탐사선의 간접 지원을 위해서 운용하고 있다.

일본은 2000년 초에 CFDP를 개발하였으나 어떻게 활용하고 있는지에 대한 상세한 정보는 알 수 없는 상태이다.

한국은 2013년 CFDP 프로토타입을 개발하였으며 2014년에 CFDP 및 관련 EGSE 개발을 완료할 예정이다.

CFDP는 OBCP (On-Board Control Procedure) 및 소프트웨어 패치 등의 위성 온-보드 파일 운용을 위해 필요한 지상국-위성간 파일 전송을 위한 통신 프로토콜로 인식되고 있다. NASA GSFC에서 비행 소프트웨어 공개 플랫폼으로 배포하고 있는 cFE (core Flight Executive) 및 OSAL (Operating System Abstraction Layer)는 온-보드 파일 운용에 기반을 두고 있다.

### 3.3 DTN

오늘날 인터넷의 원형인 ARPANET을 개발한 것으로 알려진 미국의 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, 방위고등연구계획국)와 NASA는 현재 여러 DTN (Delay or Disruption Tolerant Network) 프로젝트를 지원하고 있다. 또한 IRTF (Internet Research Task Force)에서 지원하고 연구 그룹 중에 하나인 DTN 연구 그룹 (DTNRG)에는 많은 DTN 관련 연구자들이 모여 DTN 연구를 수행하고 있으며<sup>(19)</sup> LTP, DTN2 등의 여러 DTN 프로토콜의 소스를 동시에 배포하고 있다.

대표적으로 DTNRG에서 나온 BP 및 LTP가 DTN 범주에 포함되는데<sup>(14)</sup> DTN은 통신 지연 및 중단, 손실의 경우에 대처할 수 있는 통신 아키텍처를 총칭하는 용어이기 때문에 CFDP 및 AMS 프로토콜도 DTN으로 간주될 수 있다. 실제로 BP와 LTP 모두 인터넷 프로토콜에 기반을 두고 있으며 CFDP에서 파생되었다<sup>(20)</sup>.

BP 및 LTP는 화성, 목성 등 장거리 심우주 통신에 사용하기 위해 인터넷 기술에 근간하여 고안된 프로토콜이다<sup>(8,9,10,11)</sup>. 그림 7에 BP의 링크 구성도가 나와 있는데 BP는 프로토콜에 대한 세부 규격을 가지고 있으며 보안 및 동적 바인딩과 같이 인터넷 기술도 포함되어 있다. BP는 DTN을 위한 전용 프로토콜이지만 CFDP는 단지 파일 전송을 위한 상위 규격만을 가지고 있다. 그러나 CFDP는 여전히 DTN에서 유저 데이터를

포맷팅하는 최상위 프로토콜로서 존재하며 BP 또는 LTP는 CFDP 프로토콜을 거쳐 나오는 패킷의 전달 프로토콜로 사용되고 있다.

BP는 SFO (Store and Forward Overlay) 및 보관(Custody) 네트워크에 기반하며 메시지 중심의 송신 및 재송신, 유동적 전달(Dynamic Routing)을 핵심 이론으로 한다.

BP와 LTP는 현재 CCSDS 표준 프로세스에서 Draft (RED) 버전 단계이다.

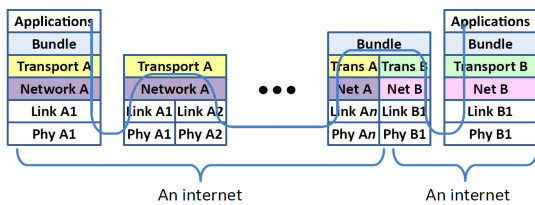


그림 7. BP Link 구성도(8)

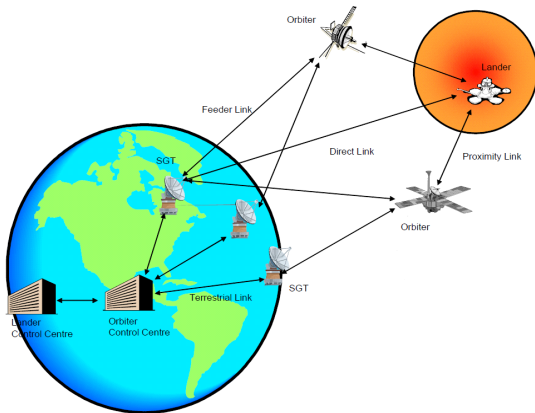


그림 8. 심우주 탐사선 통신 구성도(7)

2008년 NASA JPL에서는 화성-지구간 인터넷 기반의 심우주 통신 시험을 수행한 바 있는데 최근 Google도 향후 우주에서의 인터넷 사용에 큰 관심을 보이고 있다. DTN 프로토콜은 릴레이 기반 기술에 핵심을 두고 있으며 “Store and Forward” 및 “File Custody” 방식으로 요약할 수 있다. 최종 목적지 중간에 존재하는 데이터 릴레이 위성을 통해서 인터넷 방식에 기반을 둔 데이터 통신을 하게 되며 릴레이 위성은 다음 데이터 전달 대상이 사용 불가로 되어 있을 경우

현재 데이터를 저장(Store)한 후 다음 대상이 사용 가능해졌을 때 저장된 데이터를 전달(Forward)한다.

이 데이터 릴레이를 통해 그림 8과 같이 지구에서 화성 표면의 로버와 통신하는 것이 가능하다(7).

### 3.4 AMS

AMS (Asynchronous Message Service)는 원래는 어플리케이션 간의 통신을 위한 소프트웨어 버스 아키텍처지만(12) AMS의 확장인 RAMS (Remote AMS)는 DTN 프로토콜로서 활용이 가능하다.

그림 9에 일반적인 RAMS 아키텍처가 나타나 있는데 하나의 연속체 (Continuum) 내에서는 노드끼리 메시지 기반의 통신을 수행하지만 다른 연속체 사이에는 게이트웨이 (Gateway)로 통신한다.

AMS는 자신이 고립된 객체처럼 동작하도록 고안되었으며 상대방의 상태에 상관없이 통신을 수행할 수 있도록 구성되어 있어, 단순하고 자동화되어 있다.

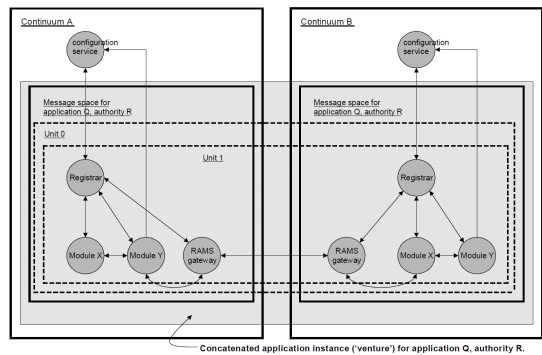


그림 9. RAMS 아키텍처(12)

### 3.5 Proximity-1

Proximity-1은 CCSDS 표준 문서로 존재하는 UHF (Ultra High Frequency) 밴드 기반의 통신 프로토콜로서 현재로서는 화성 탐사에서 화성 궤도선과 착륙선 및 로버와의 통신을 고려 대상으



로 하고 있다<sup>(15)</sup>.

Proximity-1은 양방향 (bi-directional) 우주 링크 레이어 프로토콜(Space Link Layer Protocol)로서 화성 궤도선 및 화성 표면과 같은 비교적 근거리에서 신뢰성있는 데이터 통신을 수행하기 위해 고안되었다<sup>(16)</sup>. 그림 10과 그림 11에 나타난 것과 같이 Proximity-1은 Mars Odyssey (NASA 2001) 등에서 화성 표면에서 채취한 데이터를 화성 궤도선을 거쳐 지구로 릴레이하기 위해서 사용되었다. 화성의 대기에 의한 감쇠 효과와 지구와 화성간 먼 거리 (약 78,340,000 km)로 인해 화성 표면에서 지구로의 직접 전송이 어렵기 때문이다. 주파수는 UHF (300 ~ 3,000 MHz) 밴드를 사용하고 착륙선(Phoenix Mars Lander), 로버 (MER rover(Oppportunity, Spirit), MSL Rover) 및 궤도선(Mars Odyssey, Mars Express, MRO) 사이의 통신에 사용되었다.

DTN 프로토콜과 마찬가지로 Proximity-1 프로토콜은 CFDP 데이터 패킷을 나르는 로우 레벨 전송 프로토콜 역할을 하며 실제로 전달되는 상부 데이터 패킷은 CFDP 포맷이다<sup>(18)</sup>.

#### 4. 결론

본 논문에서는 현재 지구상에 구축되어 있는 심우주 통신 네트워크 (DSN) 시설과 심우주 탐사선과 통신을 위한 CFDP를 비롯한 DTN 프로토콜을 분석하였다.

DTN 프로토콜은 CFDP를 제외하면 정도의 차이는 있지만 모두 TCP 프로토콜을 근간으로 하고 있다. DARPA에서는 여러 DTN 개발 프로젝트를 지원하고 있으며 Google은 향후 우주 차원의 인터넷 서비스를 제공하는데 크게 관심을 보이고 있다.

CFDP는 어플리케이션 레벨의 DTN 프로토콜로서 기존의 위성 통신 환경 위에서 구현이 가능하다. BP 또는 LTP는 TCP에 기반한 프로토콜로서 위성-지상국간 통신 환경의 근본적인 변경이 요구된다.

2008년 NASA JPL은 화성-지구간 인터넷 기반

통신 시험을 수행했으며 최근 미국 및 유럽의 우주 프로그램이 화성 또는 소행성 탐사에 치중함에 따라 심우주 통신도 앞으로 지속적인 조명을 받을 것으로 예상된다.

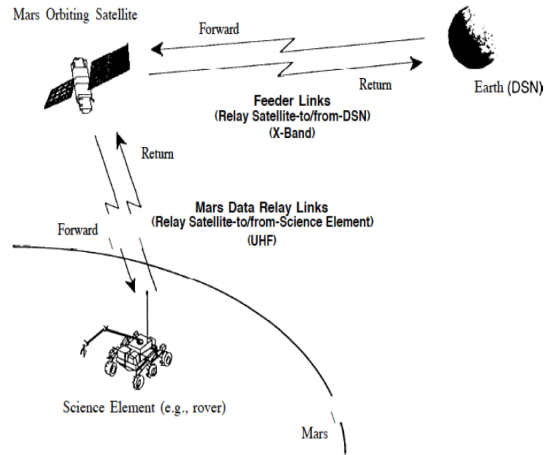


그림 10. 화성 릴레이 통신 시스템<sup>(17)</sup> (NASA JPL)

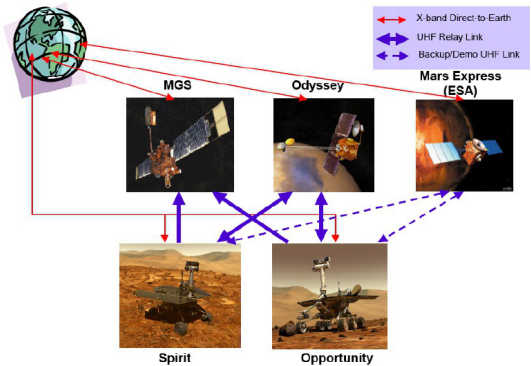


그림 11. MER 통신 시스템 아키텍처<sup>(17)</sup> (NASA JPL)

화성 표면에서 활동하는 착륙선 및 로버와 지구와의 데이터 릴레이를 위해 Proximity-1 프로토콜이 사용되었다.

한국항공우주연구원에서는 한국형 달탐사선 개발 사업 및 향후 화성 및 소행성 등 심우주 탐사를 위해 심우주 통신 관련 연구를 진행하고 있으며 관련 연구로 2013년 CFDP 프로토타입 개



발을 수행하였고 2014년에는 CFDP 및 EGSE의 개발 및 시험을 계획하고 있다. 심우주 통신은 미국 NASA 및 유럽 ESA 등과의 국제 협력이 기본 전제가 되기 때문에 CFDP를 비롯한 심우주 통신 프로토콜의 연구도 국제 호환을 고려하여 추진될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_Space\\_Network](http://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Space_Network)
2. “해외 DSN 구축현황 및 국내 달 탐사용 DSN 구축 방안”, 2012, 제3차 달탐사 심포지엄, 한양대학교, 이동 및 우주통신 연구실
3. CCSDS 717.0-B-1 "Space Communications Protocol Specification-File Protocol), 1999, CCSDS
4. CCSDS 727.0-B-4, "CCSDS File Delivery Protocol (CFDP)", 2007, CCSDS
5. CCSDS 211.0-B-4, "Proximity-1 Space Link Protocol-DATA LINK LAYER", 2006, CCSDS
6. Navid Dehghani, "CCSDS File Delivery Protocol (CFDP) JPL's Reference Implementation An Overview", 2003
7. S. Reid et al, "Integrating File Transfer with CFDP into the Operational Environment", SpaceOps, 2004
8. CCSDS 734.2-R-1, "CCSDS Bundle Protocol Specification", 2012, CCSDS
9. CCSDS 734.1-R-2, "Licklider Transmission Protocol (LTP) for CCSDS", 2012, CCSDS
10. RFC5050, "Bundle Protocol Specification", 2007
11. RFC5326, "Licklider Transmission Protocol - Specification" 2008
12. CCSDS 735.1-B-1, "Asynchronous Message Service", 2011, CCSDS
13. <https://io.ocp.ohiou.edu>, Interplanetary Overlay Network (ION), 2009
14. RFC4838, "Delay-Tolerant Networking Architecture", 2007
15. CCSDS 211.1-B-3, "PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - PHYSICAL LAYER", 2006
16. CCSDS 211.2-B-1, "PROXIMITY-1 SPACE LINK PROTOCOL - CODING AND SYNCHRONIZATION SUBLAYER", 2003
17. Stephan Gerard, "Data communication and Mars missions", 12<sup>th</sup> European Mars Conference (EMC12), 2012
18. G. J. Kazz and E. Greenberg, "Mars Relay Operations: Application of the CCSDS Proximity-1 Space Data Link Protocol", SpaceOps 2002 Conference
19. <http://www.dtnrg.org>, Delay Tolerant Networking Research Group
20. John Segui, Esther Jennings, "Delay Tolerant Networking - Bundle Protocol Simulation", SMC-IT, 2006