

2025 제 10 회 초소형위성 워크숍

Presentation [4-6]

결함 허용네트워크(DTN) 개발 현황 및 초소형위성 임무 발굴 아이디어

구 철 회

한국항공우주연구원

결함허용네트워크(DTN) 개발 현황 및 초소형위성 임무 발굴 아이디어

2025. 5. 29.

구철회

한국항공우주연구원 위성관제팀



Agenda

1.

항우연 결함허용네트워크(DTN) 개발 현황

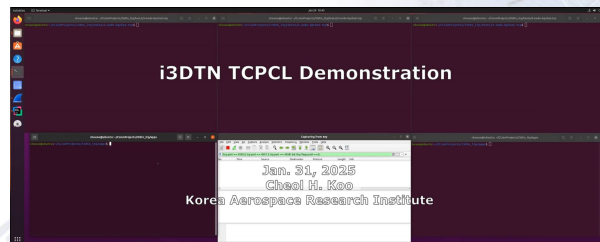
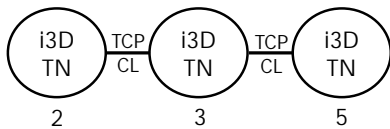
2.

초소형위성 임무 발굴 아이디어

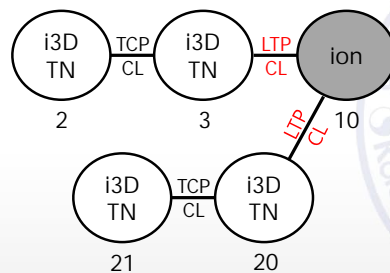
1. 결합허용네트워크(DTN) 개발 현황

3

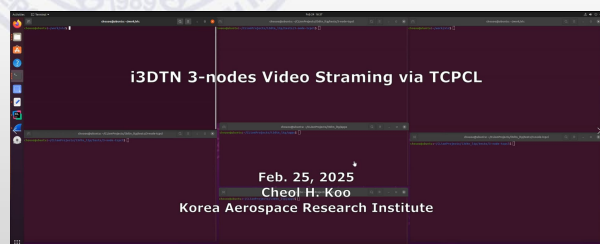
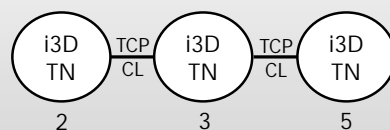
Demo



4분 37초



3분 24초

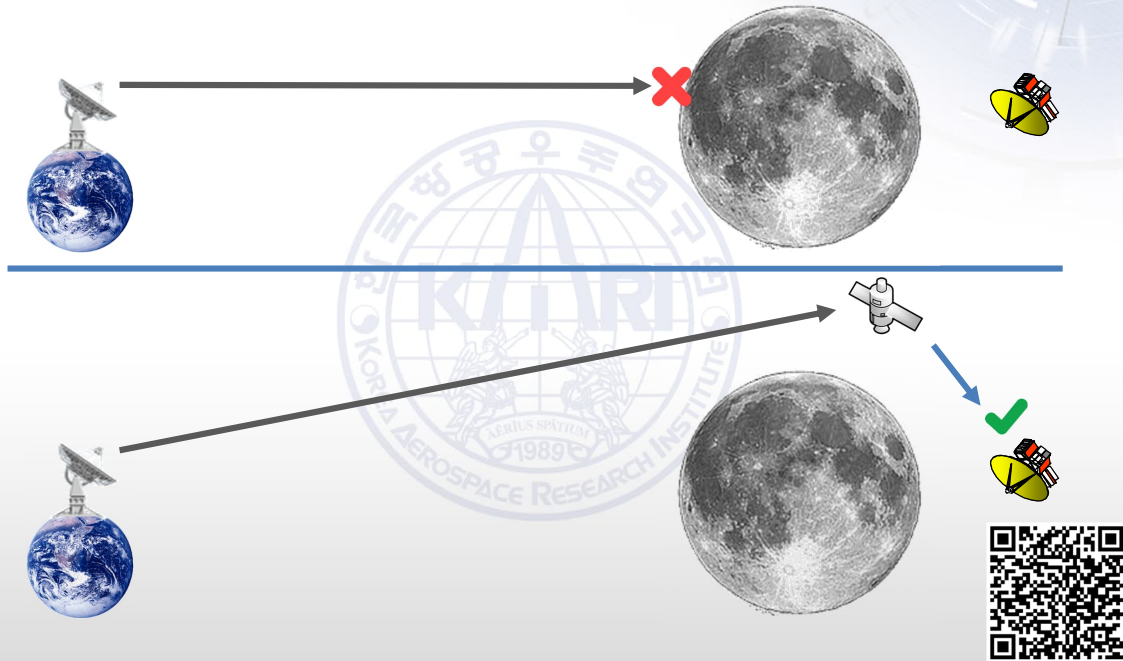


1분 23초

4

DTN의 기능

DTN 기술의 핵심 = 자동화



DTN 소개의 글: TTA 저널 216호 (2024년 12월호) - 심우주통신 ; 심우주 탐사선과 통신을 위한 프로토콜(구철희 KARI)
<https://www.tta.or.kr/tta/publicationHosuView.do?key=80&rep=1&searchKindNum=1&searchHosu=216>

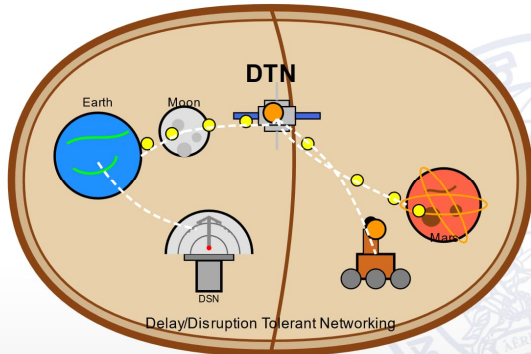
5

DTN in a nutshell

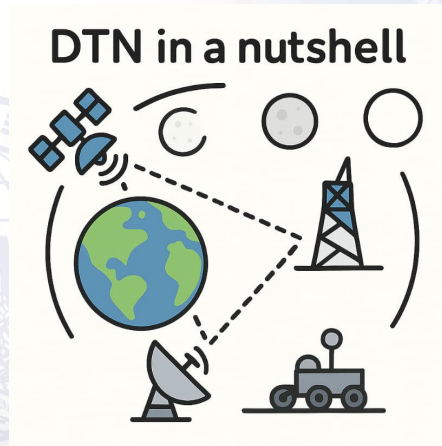
- DTN (Delay-/Disruption-Tolerant Networking)은 네트워크 연결이 불안정하거나 일시적으로 단절되는 환경에서도 데이터를 안전하게 전달할 수 있도록 설계된 통신 방식
- 주요 개념
 - Store-and-Forward: 데이터를 수신 후 저장하고, 다음 노드와 연결 가능할 때 전달
 - Intermittent Connectivity: 항상 연결되어 있지 않고, 일시적으로만 연결됨
 - Bundle Protocol: 여러 전송 프로토콜 위에서 동작하는 데이터 패키지 전달 방식
 - Opportunistic Contact: 우연한 만남을 통해 데이터를 전달, Scheduled Contact: 예정된 약속을 통해 통신
 - Buffering: 장시간 데이터를 저장해 두는 기능이 중요
- 사용 사례
 - 위성 통신
 - 심우주 통신 (Deep Space)
 - 재난 지역 통신
 - 무인 항공기 네트워크 (UAV Swarm)
 - 농촌 및 오지 네트워크

6

DTN in a nutshell



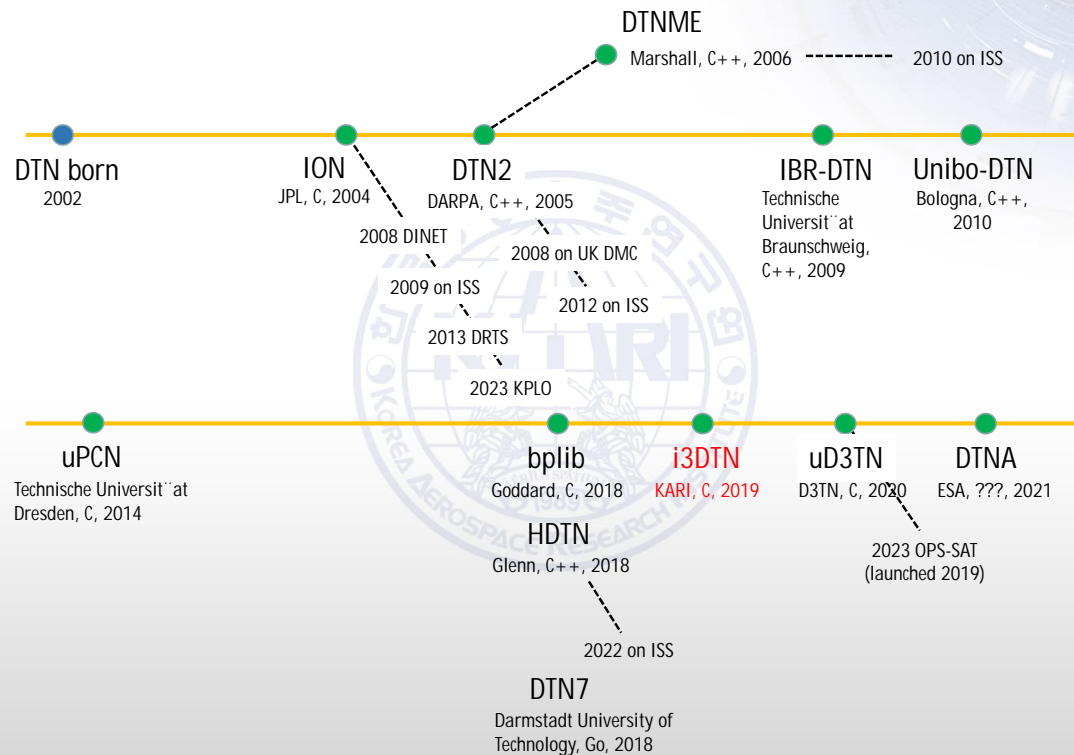
Claude.AI 생성



Copilot.AI 생성

7

세계 DTN 개발 현황 (개발 착수 시점)



8

항우연 DTN 개발 현황

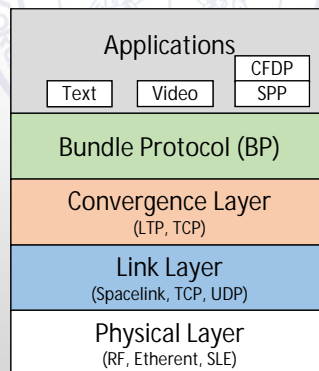
i3DTN : DTN supporting internationally interoperable, interoperable with overlay networks, and interoperable with multiple platforms



i3DTN

● i3DTN

- 2019년부터 개발 시작
 - C 언어/Linux
 - (포팅 중) FreeRTOS / RTEMS
- 2019 ~ 2022 LTP (Licklider Transmission Protocol, RFC-5326) CL (Convergence Layer)
 - 현재 CCSDS에서 표준 개정 중, 새로운 표준명: HPRP (High Performance Reliability Protocol)
- TCPCL v3/v4
 - RFC-7242(v3), RFC-9174(v4)
- 2021 ~ 현재 BP (Bundle Protocol version 7, RFC-9171), BPSec (RFC-9172, RFC-9173)
- 2013 ~ 2018 심우주파일전송프로토콜(CFDP, CCSDS-727.0-B-4)



9

위성/심우주탐사선에서 DTN 활용 가능 분야

- C&DH (Command and Data Handling)
 - Telecommand, Telemetry
 - Software patch upload
- Playback (data mule)
 - 탑재체 데이터 dump
- 통신 중계 서비스 (comm. & relay service)
 - Support communication relay service
 - 달 항법 신호 배포
- 기타 기술 데모
 - Text chat, voice chat
 - Video streaming

10

2. 초소형위성 임무 발굴 아이디어

11

Artemis 관련 큐브위성 프로젝트

아르테미스1 큐브위성 임무

임무명	발사 월	임무	성공여부
아르고 문(Argo Moon)	2022년 11월	달 궤도 진입 성공, 일부 임무 수행	PS
바이오센티넬 (BioSentinel)	"	태양 궤도에서 생물학적 실험 수행 완료	S
큐브위성 투 더 문 (CuSP)	"	태양입자 연구 임무 수행 중	S
루나 아이스큐브(Lunar IceCube)	"	달 표면 물과 휘발성 물질 탐지 임무 수행	S
루나 H-맵(LunaH-Map)	"	추진체 밸브 문제로 초기 궤도 진입 실패, 이후 대체 임무 수행	PS
LunIR	"	달 표면 스펙트럼 이미징 수행	S
근지구 소행성 스카우 트(NEAScout)	"	<u>통신 실패</u> 로 임무 수행 불가	F
OMOTENASHI	"	6U, <u>통신 실패</u> 로 달 착륙 시도 불가	F
EQUULEUS	"	지구-달 L2 포인트에 도달, 임무 수행 중	S
팀 마일스(Team Miles)	"	<u>통신 확립 실패</u>	F

S: Success, PS: Partial Success, F: Failure

12

Artemis 관련 큐브위성 프로젝트

기타 관련 큐브위성 임무

임무명	발사 월	임무	성공여부
CAPSTONE	2022년 6월	달 근지점 궤도(NRHO) 안정성 테스트 성공적 수행, 12U, 자체 추력기	S
루나 클라우드버스트 (LunarFlashlight)	2022년 12월	추진체계 문제로 달 궤도 진입 실패 6U, 자체 추력기	F
Lunar Trailblazer	2025년 2월	달 표면의 물 분포 지도 작성 NASA's SIMPLEx 프로그램 일환, 200kg 하이드라진 자체 추력기	F
LUMIO	2027년	개발 중, ESA, 12U, Earth-Moon L2 HALO orbit, 자체 추력기	-
K-RadCube (한국)	2026년 4월	아르테미스 2호에 탑재 예정 근지구 방사선 측정	-

NASA SIMPLEx (Small Innovative Missions for Planetary Exploration) 프로그램

- 저비용(약 5,500만 달러 미만)
- 180kg 이하 smallsat
- 높은 임무 위험도/혁신적인 기술 시험

13

Artemis 유산 (예상)

- Gateway
 - NRHO (Near-Rectilinear Halo Orbit)
 - 통신 중계 기능 제공 가능



Image credit: NASA

- LRS (Lunar Relay Satellite)
 - 4대 가량
 - ELFO (Elliptical Lunar Frozen Orbit)

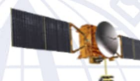


Image credit: NASA

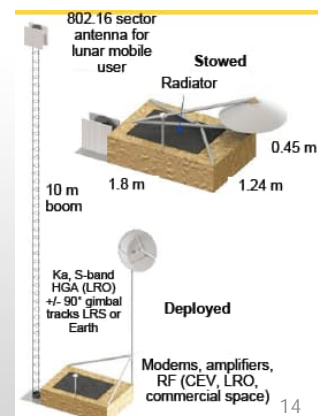
- Landers and Rovers on the Moon surface
 - LCT (Lunar Communication Tower)



출처: Toyota's Lunar Cruiser: from Earth to the moon and back

LCT Base
 - 80 Mbps 802.16e WLAN
 - 11.2 Mbps to Base
 - 11.2 Mbps to user
 - 2 Mbps to Rover
 - Cell Phone
 - 5.8 km range
 - 200 Mbps Ka to LRS/Earth
 - 25 Mbps S-Band to LRS/E
 - 192 kbps Safe Mode
 - TDRSS I/F (S-Band)
 - Navigation support

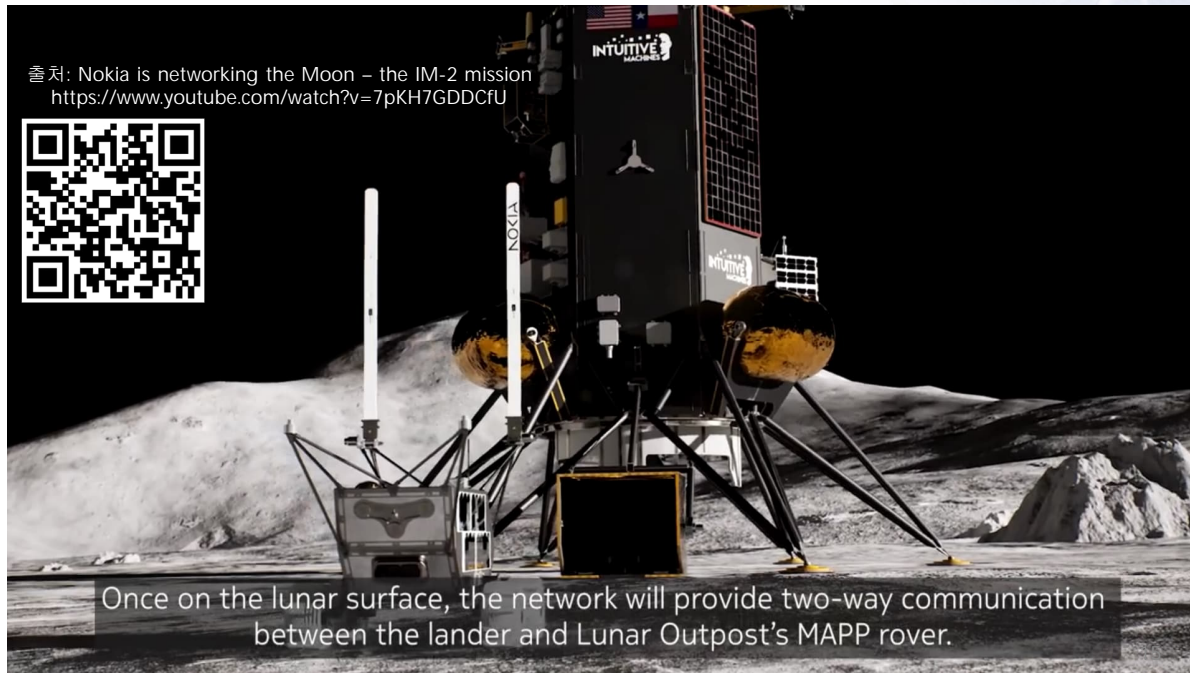
출처: NASA's Lunar Communications & Navigation Architecture, 2007



14

Artemis 유산 (예상)

- LTE/5G on the Moon



Cislunar 큐브위성 임무 제안 아이디어

DTN 기술 활용이 가능한

- 달궤도 큐브위성과 달표면 rover 사이 통신

- 달표면(near side, far side)의 lander, 로버와 공동 임무 수행
- rendezvous

- 지구-달 Lagrange 2 궤도

- 예) 중국 달 통신 중계선 – Queqiao
- (SZM) 과학 임무
예) NASA의 DAPPER(Dark Ages Polarimetry Pathfinder)
- NRHO (Near Rectilinear Halo Orbit) vs. DRO (Distant Retrograde Orbit)

- 통신 중계선

- EFLO (Elliptical Frozen Lunar Orbit)
- 통신 중계 실험
- Web server, mail server
- CDN (Content Delivery Network)
- 상용 DTN 통신 board

그림 출처: Greg Stanley, Comparing Orbits for the Lunar Gateway, 2019

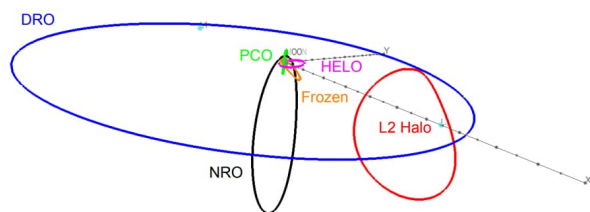


그림 출처: M. Murata et al., Lunar navigation satellite system; mission, system overview, and demonstration 2022

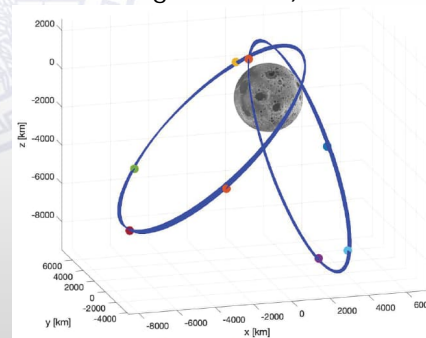


Fig. 3 LNSS satellite constellation using two ELFOs.

Cislunar 큐브위성 제약 사항

- Tracking의 어려움
 - TT&C 통신, ranging (no GPS!!) 등
 - (on-board) SWaP, 비용 등의 이슈 대응 필요
 - (지상) NASA DSN 같은 전지구적 심우주 안테나 시설 협조 필요
- 가변 통신 규격
 - (상대방의) 수신 안테나와 거리 일정하지 않아 속도/변조 방법 등 가변 설계 요구
 - Steering antenna phased array antenna, 또는 빠른 자세 전환 능력 요구
- 자체 추력기
 - CAPSTONE(12U), Lunar Flashlight(6U) 등이 자체 추력기 사용
 - 비용 상승, SWaP 제약 사항 고려
- 통신 릴레이 위성과 연계
 - 당장은 아니지만 2030년 초라면 기본 탑재 기능일수도 있음
- 지구 저궤도를 벗어나 방사선 보호 대책, 전력/열 관리 이슈 고려 필요

