



위성통신망 동향 관련 논문 요약

민현선, 이다은

Department of Intelligence Media Engineering
Hanbat National University

21 May 2024

Table of Contents

- 저궤도 위성통신망 기반 글로벌 무선통신 기술 동향
 - ✓ 저궤도 위성
 - ✓ 위성 IoT 서비스
 - ✓ 표준기술 동향

- 차세대 저궤도 위성통신망을 위한 채널 모델링 및 주요 기술 동향
 - ✓ 서론
 - ✓ Beyond 5G에서의 NTN 통신 시스템
 - ✓ 저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링
 - ✓ 연구 동향 및 새로운 연구 이슈
 - ✓ 결론



저궤도 위성통신망 기반 글로벌 무선통신 기술 동향

5G

6G

저궤도 위성

저궤도 위성

정지궤도 위성 대비 낮은 전송지연 특성을
이용하여 글로벌 ICT 서비스를 제공 하는 것이
가능한 위성

저궤도 글로벌 위성통신망 구축 계획은글로벌
기업들이 서비스 계획을 발표하고 FCC 주파수 사용
승인 요청, 위성체 제작 및 시험 운용 등 저궤도
소형위성기반 글로벌 위성통신 서비스 추진을 위한
노력을 진행 중에 있다. -> Onewb/Space x/Telesat

Oneweb

: Oneweb 탑재체는 I니 기능이 없고 위성이동에 따라 빔이 이동하는 구조를 가진다. 2021년까지 648개의 저궤도 위성 발사를 통해 1개 위성당 평균 2.17Gbps의 데이터 속도를 지원하고자 하였으나 현재는 **자금 조달에 실패하여 파산을 결정**하였다.

Space X

: 저궤도 위성을 사용한 고속의 개인서비스와 지상망의 광케이블을 대체할 수 있는 고속의 네트워크 구축 계획으로 2020 소형위성을 성공적으로 발사하였다.

또한 72개의 궤도면에 각각 22개의 Starlink 위성을 배치하여 총 1,584개의 위성으로 글로벌 인터넷 서비스를 제공 계획하며 로켓의 보조로켓 재활용으로 발사비용 절감, 소형 위성 및 단말 위상배열 안테나 절감 비용과 같은 저가화 개발을 통해 네트워크 구축비용 절감하여 **가격경쟁력 있는 글로벌 인터넷 제공 계획**이다.

위성 IoT 서비스

위성 IoT 서비스

지상 기술과 연동 및 보완 형태로 지상망이 가지는
로밍 절차 없이 전 세계 글로벌 커버리지와 이동성을
갖춘 단말로부터 데이터 수집을 통한 새로운 인프라
구축 및 서비스 창출이 가능한 서비스

Lacuna space

: Lorawan 프로토콜을 기반으로 초소형 위성을 통한 글로벌 IoT 서비스를 목표로 설립된 기업이며 21년까지 총 24개의 위성을 발사하여 **상용서비스를 목표로** 하고 있다.

Eutelsat ELO

: IoT 단말은 지상망과 위성망을 모두 접속할 수 있는 기능을 갖추게 되고 이동형 IoT 단말의 경우 육지에서는 지상망과 접속하다가 바다에서는 위성과 접속하는 형태의 개념이다. 현재 지상에서 사용되고 있는 **Sig-fox 전송방식의 경우 저궤도 위성과 호환되지 않으므로 이와 관련된 문제들이 새롭게 개발 OR 해결해야 할 과제로 파악**된다. 21년 최초 상용 서비스를 목표로 하고 있다.

Kepler

: 광대역/IoT 통신 기능을 가진 통신 탑재체를 발사하여 **글로벌 접속 서비스를 목표로** 한다. 위성 탑재체는 재구성이 가능한 SW 기반 통신 모듈이 구성되어 있어 통신 프로토콜에 변경이 가능하고 Ku 대역 기반 글로벌 backhaul 형태의 광대역 통신과 S 대역 기반 글로벌 IoT 서비스 등을 목표로 시험 중이다.

표준기술 동향

표준기술 동향

위성통신 표준 기술은 시장 측면에서는 현재, VSAT 단말 기반의 **DVB 표준**이 가장 큰 규모이다. 기존의 셀룰러 망 기반의 서비스를 벗어나 커버리지 확장을 위해 비지상망과의 연결을 위한 위성통신 표준 규격화가 진행 중이다.

DVD 표준

물리계층 기술

: 현재 전송 구격의 경우 **저궤도 위성 전송과 동일/인접채널 간섭 완화 및 유연성을 개선하는 형태로 개발**되었다. 가장 특징적인 구분은 저궤도 위성통신의 BH 주기가 주기적인지 비주기적인지에 따른 전송방식이다.

현재 장비 호환성을 검증하기 위한 테스트의 일환으로 물리계층 모뎀신호 V&V 캠페인이 진행되고 있다.

상위계층 기술

: **동일 및 인접채널 간섭 완화를 위한 table 작업이 진행** 중이다.


OBP(위성 구조) 기능은 현재, 유일한 저궤도 위성 범용 표준 기술인 DVB 표준 기술을 기반으로 구축될 가능성이 높다

3GPP 표준 : 5G 표준을 주도하고 있는 표준 NTN WI 기술

: 제어 평면에서는 서비스 연결 분야에 대한 개선이 필요하다.
RAN2의 경우에는 상향링크 스케줄링 개선 기술, DRX 기술,
스케줄링 요청 기술 등의 개선이 필요하다.

위성 IoT SI 기술

: 시스템 수준에서 LEO/GEO에 따른 **transparent 위성망 구성**
등을 가정하고 feasibility 시나리오 검토에 관한 내용을
기반으로 **링크 버짓을 계산**하고자 한다. 주요 SI 내용으로는
임의접속기술,도플러 주파수,시간 보정 기술 등이 있다.
기본적으로 IoT 단말이 GNSS 수신기를 탑재 하지만 배터리
문제등으로 GNSS와 IoT 운용을 동시에 지원하지 않은 것을
가정한다.



차세대 저궤도 위성통신망을 위한 채널 모델링 및 주요 기술 동향

5G

6G

서론

서론

- 5G가 주목받는 이유: 위성통신 기술을 통해 해양, 시골 등 인터넷 소외 지역에도 빠른 속도의 인터넷 서비스를 제공하여 정보 편차를 없앨 수 있다는 점에서 주목받음
- 6G를 사용하면 위성통신 기술이 더욱 고도화 되어 끊임 없는 초고속 인터넷 사용 가능
- 그러나 현재 위성통신은 **정지궤도 위성통신**을 사용하여 적은 수의 위성으로 전 지역을 커버하는 방법을 사용(왕복 지연 시간이 약 544ms)
- 통신 지연 시간을 LTE 수준인 약 4~25ms로 줄일 수 있는 **저궤도 위성통신** 시스템이 최근 주목 받음

서론

▪ 저궤도 위성통신

- ✓ 저궤도 위성은 지상에서 빠른 속도로 이동하며 좁은 영역을 커버
- ✓ 지구 전 지역을 커버하기 위해서는 많은 수의 위성이 필요
- ✓ 저궤도 위성 시스템 활성화 시 위성 간 충돌 문제와 주파수 간섭 문제 발생
 - 미국 연방통신위원회(FCC) 해결책: 궤도와 고도 조정, 주파수 분할과 빔 조절(빔포밍)

▪ 국제 표준화 단체(3GPP)는 기존의 셀룰러망 기반 서비스의 커버리지 확장을 위해 5G New Radio(NR) 기반 비지상 네트워크(Non-Terrestrial Network, NTN) 연구 시작

- ✓ **NTN**: 지상 기반 인프라 외에도 위성, 무인 항공 시스템(Unmanned Aircraft System, UAS), 성층권 통신 플랫폼(High Altitude Platform Station, HAPS) 등을 포함하여 통신 서비스를 제공하는 네트워크
- ✓ 열차, 선박, 항공기 등 고속으로 이동하는 플랫폼에서 막힘없이 사용할 수 있도록 설계

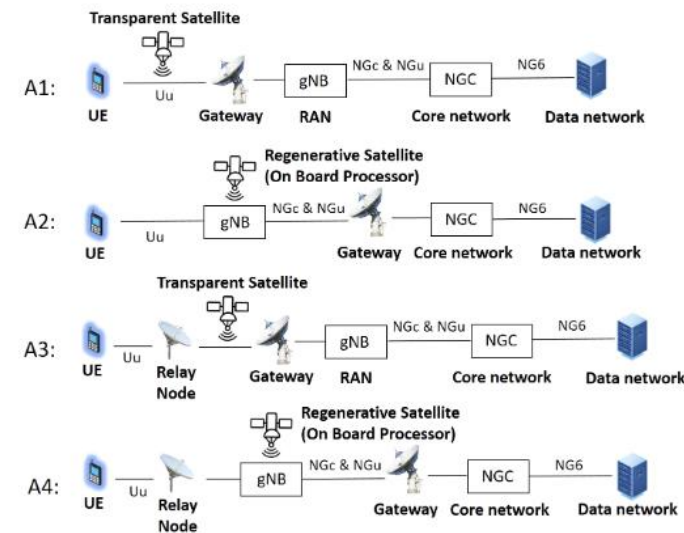
Beyond 5G에서의 NTN 통신 시스템

Beyond 5G에서의 NTN 통신 시스템

- 국제 표준화 단체 (**3GPP**)에서는 GEO 위성, Non-GEO 위성, 무인 항공 시스템(UAS), 성층권 통신 플랫폼(HAPS)의 배치 시나리오를 논의하며, NTN의 특징을 비교 분석
- NTN 배치 시나리오는 이동 플랫폼의 궤도 및 고도에 따라 나뉜다.
 - ✓ GEO 위성: 35,786km의 고도에 위치
 - ✓ Non-GEO 위성 MEO: 7,000~25,000km 의 고도에 위치
 - ✓ Non-GEO 위성 LEO: 300~1,500km의 고도에 위치
- 주파수 대역으로는 Ka 밴드와 S 밴드가 사용
- 빔 패턴은 고정 빔과 이동 빔으로 나뉨
- 위성의 기능에 따라 Transparent 위성과 Regenerative 위성으로 분류되며, 후자는 더 많은 신호 처리 기능을 수행

Beyond 5G에서의 NTN 통신 시스템

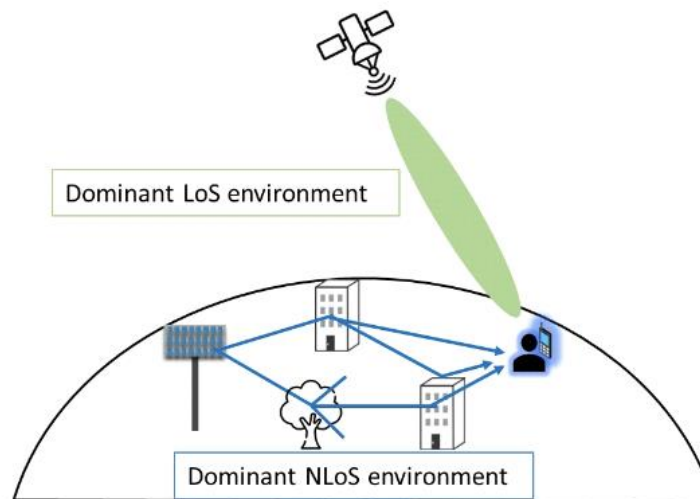
- 위성의 기능에 따라 신호처리 없이 단순 중계가 진행되는 **Transparent 위성**과 신호처리가 포함된 **Regenerative 위성**으로 분류됨
- A1 구조 (**Transparent 위성 - UE 서비스**)
 - ✓ gNB와 UE가 동시에 존재해야 함(해양 한가운데와 같은 일부 지역에서는 서비스 어려움)
- A2 구조 (**Regenerative 위성 - UE 서비스**)
 - ✓ gNB가 없어도 서비스 가능, 위성 간 링크(ISL) 지원
- A3 구조 (**Transparent 위성 - 릴레이 노드 서비스**)
 - ✓ 릴레이 노드가 위성 커버리지 내에 있어야 함.
- A4 구조 (**Regenerative 위성 - 릴레이 노드 서비스**)
 - ✓ 릴레이 노드 없이 서비스 가능, 위성 간 링크(ISL) 지원



저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 위성 링크와 지상 모델의 결합
- 위성 통신 채널 모델은 셀룰러 통신과 다르게 LoS(Line-of-Sight, 가시 거리) 성분이 주를 이루지만, 지상 근처에서는 NLoS(Non-Line-of-Sight, 비가시 거리) 성분도 나타남
- 지상파에서는 건물 등의 장애물로 인해 다양한 경로를 통해 전파가 이동하며, 이로 인해 **커버리지 손실 발생**(주로 건물로 인한 가림 현상)



저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 위성 링크와 지상 모델의 결합
- 도심 밀집 지역(Dense urban)에서는 LoS 확률이 낮고, 교외나 시골(Suburban and Rural) 지역에서는 높음
- LoS 확률의 기준 고도 각도는 10° 간격으로 $10^\circ \sim 90^\circ$ 범위 내에서 나타남
- 도플러 주파수(Doppler frequency)는 송신기와 수신기 사이에 상대적인 운동이 있을 때 발생하는 주파수 변화 현상
- 저궤도 위성은 빠른 이동 속도로 인해 큰 도플러 주파수를 가짐

Elevation angle	Dense urban	Urban	Suburban and Rural
10°	28.2%	24.6%	78.2%
20°	33.1%	38.6%	86.9%
30°	39.8%	49.3%	91.9%
40°	46.8%	61.3%	92.9%
50°	53.7%	72.6%	93.5%
60°	61.2%	80.5%	94.0%
70°	73.8%	91.9%	94.9%
80°	82.0%	96.8%	95.2%
90°	98.1%	99.2%	99.8%

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 경로 손실 모델

- 성과 지상 터미널 간의 신호 경로는 몇 가지 감쇄를 겪게 되며, 경로 손실(Path loss, PL)은 다음과 같이 나타낸다.

$$PL = PL_b + PL_e + PL_g + PL_s$$

- PL: 총 경로 손실, PL_b : 기본 경로 손실, PL_e : 건물 진입 손실, PL_g : 대기 가스로 인한 감쇄, PL_s : 이온권 또는 대기권 섬광으로 인한 감쇄 (단위: dB)
- 종합적으로 위성 통신 채널 모델은 기존 지상 모델에 위성 궤도, 경사도, 도플러 시프트, 대기, 섬광 등을 추가하여 완성

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- **도플러 시프트**
- 도플러 시프트는 송신기와 수신기 사이의 상대 속도로 인해 발생하는 주파수 변이 현상
- 이 현상은 비지상 플랫폼의 상대적 속도, 사용자 장비(UE)의 속도, 그리고 반송파 주파수에 따라 달라짐
- **정지궤도(GEO) 위성**의 경우, 지상에서 고정된 위치에 있어 주로 지상 터미널의 이동에 의해 **도플러 시프트가 발생**
- **저궤도(LEO) 위성**은 빠르게 이동하기 때문에 위성 자체의 이동과 지상 터미널의 이동 모두에 의해 **도플러 시프트가 발생**

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 도플러 시프트
- 표 6 : NTN 배치 시나리오들과 기존 셀룰러 시나리오에서의 도플러 시프트, 도플러 시프트 변동성, 전파 지연을 비교 분석
- 표 7: 위성의 고도와 주파수에 따른 도플러 시프트 값

표 6. GEO, LEO, HAPS에서의 도플러 관련 파라미터들 [5]
Table 6. Doppler related parameters for LEO, GEO, and HAPS [5]

	Max Doppler shift (kHz)	Max Doppler variation (Hz/s)	Max one-way propagation delay (ms)
D1	+/-18.51 kHz @ 20 GHz, +/-27.7 kHz @ 30 GHz (for plane)	Negligible	Transparent: 272.37 ms, Regenerative: 135.28 ms
D2	1.851 kHz @ 20 GHz (for plane)	Negligible	272.37 ms
D3	+/- 48 kHz	-544 Hz/s @ 2 GHz	14.204 ms
D4	+/- 480 kHz @ 20 GHz, +/- 720 kHz @ 30 GHz	-5.44 kHz/s @ 20 GHz (Downlink), -8.16 kHz/s @ 30 GHz (Uplink)	14.204 ms
D5	+/- 100 Hz @ 2 GHz	Negligible	1.526 ms
Cellular	+/- 925 Hz (UE on high speed train)	Negligible	0.03333 ms

표 7. 위성 고도와 주파수에 따른 도플러 시프트 [5]
Table 7. Summary of Doppler shift and shift variation for different altitude [5]

	Freq (GHz)	Max Doppler (kHz)	Relative Doppler (%)	Max Doppler shift variation (Hz/s)
LEO (600 km)	2	+/- 48	0.0024	-544Hz/s
	20	+/- 480	0.0024	-5.44kHz/s
	30	+/- 720	0.0024	-8.16kHz/s
LEO (1500 km)	2	+/- 40	0.002	-180Hz/s
	20	+/- 400	0.002	-1.8kHz/s
	30	+/- 600	0.002	-2.7kHz/s
MEO (10,000km)	2	+/- 15	0.00075	-6Hz/s
	20	+/- 150	0.00075	-60Hz/s
	30	+/- 225	0.00075	-90Hz/s

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 도플러 시프트
- 도플러 시프트는 지상 사용자 터미널이나 위성의 움직임에 의해 발생
- 지상 사용자와 위성 간의 고도각에 따라 달라짐
- 고도각이 90도에 가까울 때 도플러 시프트 값은 0에 가깝고, 고도각이 낮아질수록 도플러 시프트 값은 커짐
- 이를 보완하기 위해 위성의 위치와 궤도 정보를 활용해 수신단에서 주파수 오프셋(CFO)을 적용하거나 송신단에서 도플러 효과를 사전 보상

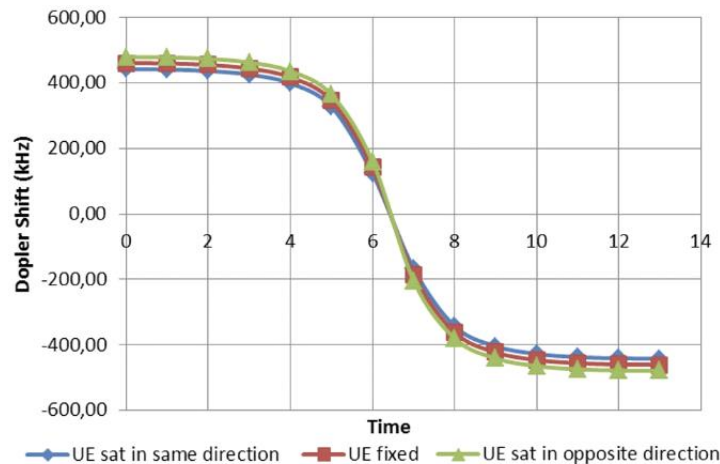


그림 6. 위성과의 상대 위치에 따른 도플러 시프트 [5]

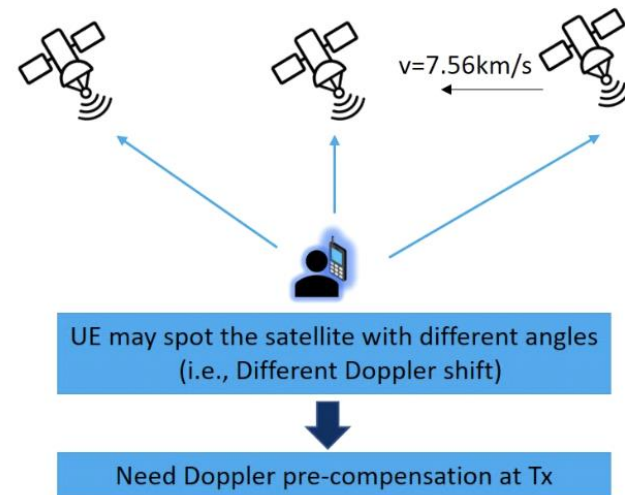


그림 7. 위성과의 상대 위치에 따라 달라지는 도플러 시프트 사전 보상

저궤도 위성통신망 기반 채널 모델링

- 안테나 이득
- 위성이 N_t 개의 안테나를 가지고 K 사용자들을 서비스 할 때
하향 링크 채널 H 은 다음과 같이 나타냄

$$H = B \circ Q$$

- B 행렬은 수신 안테나 이득, 자유공간 경로손실, 위성의 다중 빔
안테나 이득 요소들을 포함

연구 동향 및 새로운 연구 이슈

연구 동향 및 새로운 연구 이슈

■ 경로손실(Path Loss)

- ✓ 지구와 위성 사이의 거리에 따라 발생하는 신호의 감쇠 현상
- ✓ 주파수, 전파 환경 및 신호 이탈로 인한 효과로 결정
- ✓ 경로손실은 dB 단위로 측정되며, 높은 경로손실은 효율적인 통신을 위해 전송 파워 제어와 빔포밍 같은 기술 필요

■ 왕복 지연 시간(Round-Trip Time, RTT)

- ✓ 위성 통신 시스템에서 데이터가 전송되고 도착하기까지의 시간을 의미
- ✓ GEO 위성의 경우 RTT는 평균적으로 544ms이며, LEO 위성의 경우 4~25ms 정도로 짧음
- ✓ RTT는 네트워크 지연과 함께 통신 성능에 중요한 영향을 미치며, 빠른 이동성으로 인해 채널 상태 정보를 얻는 것이 어려울 수 있음

연구 동향 및 새로운 연구 이슈

- 셀 크기(Cell Size)
 - ✓ 위성의 고도와 고도각에 따라 변하는 셀의 크기를 의미
 - ✓ 고도가 높을수록 셀의 크기가 커지며, 이는 빔 폭과 관련이 있습니다. 이러한 정보는 주파수 재사용 팩터와 함께 고려되어야 함

- 간섭 관리(Interference Management)
 - ✓ 위성 통신 시스템에서는 다양한 위성 간의 간섭이 발생할 수 있음
 - ✓ 이를 관리하기 위해 3D 네트워크 간섭을 고려한 빔폭 및 위치 조정 기술 필요

연구 동향 및 새로운 연구 이슈

- 핸드 오버(Handover)
 - ✓ 단말의 빠른 이동성에 대응하기 위해 빈번한 핸드오버가 발생
 - ✓ 위성의 빠른 이동으로 인해 빔 가시성이 급격히 변하기 때문에, 효율적인 이동성 변경 기법 필요

- 시스템 설계(System Design)
 - ✓ 위성 통신 시스템의 설계는 주파수 대역, 안테나 배열 등 다양한 요소를 고려해야 함
 - ✓ 주파수 대역의 선택과 안테나 배열은 효율적인 통신을 위해 중요함

- 주파수 공존성(Frequency Coexistence)
 - ✓ 서로 다른 주파수 대역 간의 도플러 시프트 보상과 같은 기술을 사용하여 주파수 대역 간의 공존성을 유지해야 함

- 안테나 배열(Antenna Array)
 - ✓ 신호를 조작하기 위한 안테나 배열 기술은 위성 간 링크와 지상 단말 간의 LoS MIMO 이득을 최대화하기 위해 사용됩니다. 이를 통해 효율적인 통신이 가능

결론

결론

- 이 논문은 6G 시대의 통신 기술 중 하나로 저궤도 위성 통신 시스템을 다루고 있음
- 3GPP 기술 보고서를 기반으로, 저궤도 위성의 특징과 채널 모델링을 분석하며, 이동성과 도플러 시프트 등의 고려 사항을 강조함
- 미래에는 군집 저궤도 위성 운용을 위해 데이터 전달과 동기화 기술이 발전해야 할 것으로 기대됨
- 이러한 시스템은 사물인터넷과 차세대 통신 시스템에 중요한 역할을 할 것으로 예상됨

Any Questions?

