

한국통신학회지 | 40권 10호. 2023년 10월 | ISSN 1226-4725

# INFORMATION AND COMMUNICATIONS MAGAZINE

Vol.40 No.10 | OCTOBER 2023

## 정보와 통신

우주 통신 기술의 미래를 엿보다  
차세대 다중접속기술

**KICS**   
한국통신학회

### 학회지 위원회

- 위원장(상임이사) 김대중(한국정보통신기술협회)  
신수용(금오공과대학교)
- 부위원장(집행이사) 이강찬(한국전자통신연구원)  
오구영(한국정보통신기술협회)  
기주희(정보통신기획평가원)  
김유두(한국폴리텍대학)  
노정훈(충북대학교)
- 부 편집장 (이사) 송유재(금오공과대학교)  
마수진(정보통신기획평가원)  
김정현(한국정보통신기술협회)  
이병주(인천대학교)
- 위 원 강승택(인천대학교)  
김기근(국방과학연구소)  
김기형(아주대학교)  
김동성(금오공과대학교)  
김석찬(부산대학교)  
김선우(한양대학교)  
김성륜(연세대학교)  
김용구(서울미디어대학원)  
김용환(KISTI)  
김재현(아주대학교)  
김재형(쥬우캐스트)  
김종원(광주과학기술원)  
박광로(한국전자통신연구원)  
박대영(인하대학교)  
박홍성(강원대학교)  
백용순(한국전자통신연구원)  
서호선(퀄리아[Qualia])  
석승준(경남대학교)  
송용수(한국철도기술연구원)  
송홍엽(연세대학교)  
신석주(조선대학교)  
신오순(송실대학교)  
신종원(GIST)  
안정근(경북대학교)  
오명훈(호남대)  
우상봉(티맵모빌리티)  
유명식(송실대학교)  
윤지욱(한국전자통신연구원)  
이명훈(국립순천대학교)  
이소연(한국전자통신연구원)  
이용태(한국전자통신연구원)  
이일우(한국전자통신연구원)  
이현중(NIA)  
이현우(한국전자통신연구원)  
임용곤(한국해양과학기술원)  
임태훈(고려대학교)  
장은영(한국전자통신연구원)  
정 송(한국과학기술원)  
최성곤(충북대학교)  
한홍식(경북대학교)  
허 준(고려대학교)  
홍필두(한국폴리텍대학)

### 한국통신학회지 (비매품)

2023년 9월 26일 인쇄  
2023년 9월 27일 발행  
등록번호: 라-6287  
발행인: 홍인기  
편집인: 김대중, 신수용  
편집장: 이강찬, 오구영, 기주희, 김유두, 노정훈  
인쇄인: 박명울  
발행처: 사단법인 한국통신학회(http://www.kics.or.kr)  
(06296) 서울특별시 강남구 논현로38길 32-3(도곡동)  
전화: 02)3453-5555 | FAX: 02)539-5588  
제작: 금영인쇄-선진출판  
전화: 02)2275-8561 | E-mail: sjin82@chol.com

### 2023년 학술 활동 계획

#### 학술대회/전시회 일정

#### 주제명 : 우주 통신 기술의 미래를 엿보다

..... 편집위원 : 노정훈(충북대)

머리말 ..... 노정훈 **02**

DVB-RCS2 표준 기반 위성 접속 및 핸드오버 기술 소개  
..... 장기원, 정태진, 최지환 **03**

광통신은 우주에서도 이어진다  
..... 백기욱, 윤효상 **10**

소형 위성 레이저 통신을 위한 CCSDS 표준 기술 동향  
..... 노정훈 **18**

#### 주제명 : 차세대 다중접속기술

..... 편집위원 : 이병주(인천대)

머리말 ..... 이병주 **24**

5G NR 기반 V2X에서의 단말 자율적인 자원할당을 위한 물리계층 단말 절차  
..... 장대건, 김가연, 최태준, 김태형 **25**

지능형 반사 표면을 통한 비직교 다중 접속 이기종 서비스 연구  
..... 나진엽, 강진규 **32**

차세대 통신 시스템을 위한 전송률-분할 다중 접속 기술 동향  
..... 이병주, 박정훈, 최진석, 이남윤, 신원재 **40**

차세대 무선 통신 기술(OAM)을 결합한 다중접속기술 연구 동향  
..... 이만희, 이혜영, 신수용 **47**

#### 2023년도 임원 명단 ..... **53**

#### 2023년도 월별주제 ..... **60**

# Shape the Future with Innovation and Intelligence

Samsung Research is the advanced R&D hub of Samsung's Device eXperience (DX) Division to prepare the future of Samsung Electronics.



## About Us

We lead the development of the future technologies with about 10,000 researchers and developers working in overseas R&D centers.

Under the vision of "Shape the Future with Innovation and Intelligence", Samsung Research is actively conducting research and development to identify new future growth areas and secure advanced technologies to create new value and improve people's lives.

## Vision & Mission



**Securing New Growth Engine**  
Identifying new business opportunities



**Increasing Competitive Edge**  
Creating new value for our business



**Innovating Advanced Core Technologies**  
Securing world leading AI competencies & technical leadership in core research areas

## Research Areas

### Intelligence

- Artificial Intelligence
- Data Intelligence

### Device Innovation

- Robotics
- Next Gen. Digital Appliances

### Communications & Media

- Next Gen. Communications
- Next Gen. Display & Media

### Platform

- Tizen
- SoC Architecture
- Security & Privacy
- Software Engineering

<https://research.samsung.com> | [@samsungresearch](https://twitter.com/samsungresearch)

**Samsung Research**

# IEEE Specialty Solution



**IEEE**



**RUTGERS**

Rutgers Business School  
Executive Education

## IEEE | Rutgers Online Mini-MBA for Engineers and Technologists

커리어향상을 위한 비즈니스 기술이 필요한  
엔지니어

**IEEE  
LEADING  
Technical Teams**

## IEEE Leading Technical Teams

리더십 기술을 향상시키고자 하는  
기술 관리자

**IEEE • IAPP** Data Privacy Engineering Collection

## IEEE | IAPP Data Privacy Engineering Collection

디지털 프라이버시를 잘 이해해야 하는  
제품 엔지니어링 팀

**IEEE  
ComSoc<sup>®</sup>**  
IEEE Communications Society

## IEEE Intensive Wireless Communications Course Series

무선 통신과 관련된 중요한 주제를  
숙지해야 하는 기술 전문가

IEEE Specialty Solution은 현장 실무자들에게 필요한 기술 정보와 지식을 전달합니다.  
보다 자세한 정보는 키티스산학연정보(주)로 문의 부탁드립니다.



**IEEE**

**Authorized  
Dealer**



**키티스 産學研情報(株)**

**KITIS Info. & Co., Ltd.**

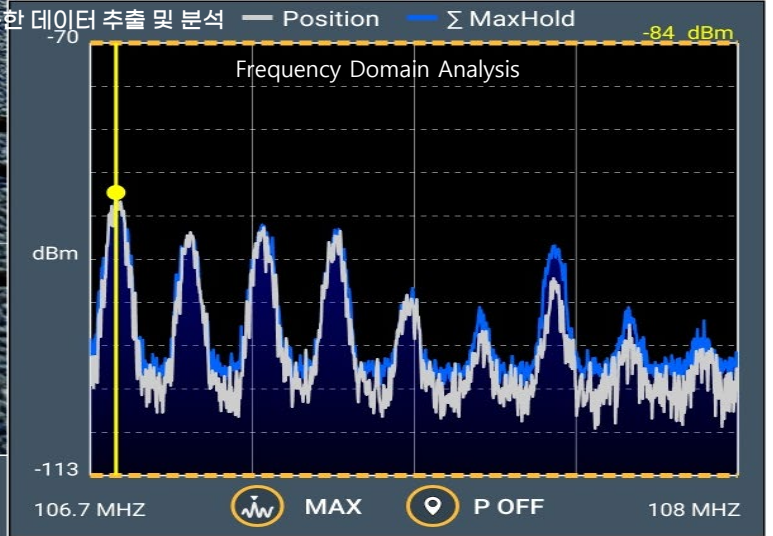
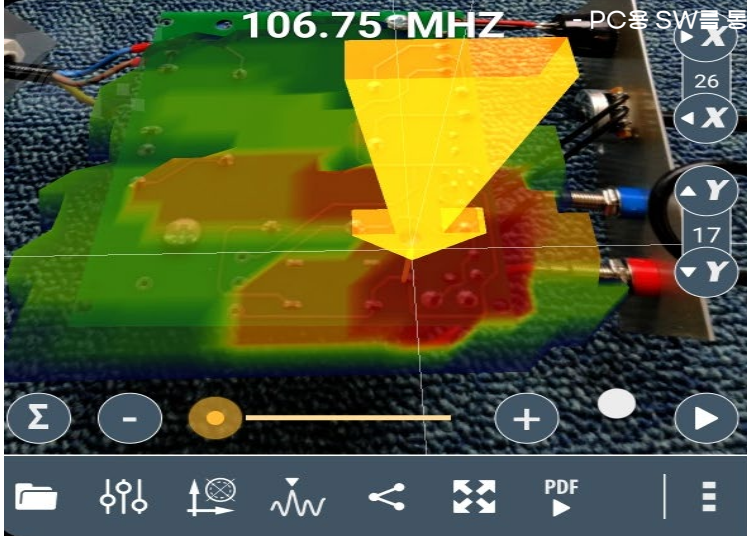
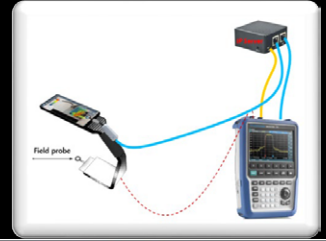
www.kitis.co.kr / T. 02 3474 5290

# SCANPHONE

## 증강현실 EMI/EMC 측정 솔루션!

### Scanphone 특징

- 증강현실 기술 적용으로 실시간 측정 실현
- 대형 구조물의 EMI / EMC 테스트 (ex. 실드 박스, TV, 차량, 안테나 etc..)
- 별도의 전원이 필요 없는 휴대용 장비
- 측정 현장에서 DUT와 필드를 중첩하여 분석
- 노이즈 소스원 분석, 안테나 최적화, 방사 패턴
- Scanphone + Spectrum = 주파수 성분 분석



### MCK

MCK (Material Characterization Kit) 고주파대역 Material의 유전율 측정 솔루션



### Overview

MCK는 전기전자, 화학분야에서 고체, 액체, 파우더, Multi-layer 등 다양한 형태의 Material의 유전특성을 정확하게 측정할 수 있는 제품입니다.



### Features

- 25GHz ~ 1.1THz
- Material의 유전율, Loss tangent 측정
- 유전율 측정 오차 범위 : ±1%
- Loss tangent 측정 오차 범위 : ±2%
- Plug & Play방식

### Advantage

- 쉽고 빠른 Cal과 측정
- THz 대역의 높은 주파수까지 지원
- Broadband 측정
- 높은 재현성 및 빠른 측정 시간
- Solid, Liquid, Powder, Coating, Muti layer 구조 Material 측정 가능

### Benefits

- 높은 주파수 대역 측정으로 5G, 6G 솔루션 지원
- Broadband 측정 및 분석
- 다양한 VNA 제품과의 호환성
- 다양한 Material 측정 가능

# “미래 기술 · 신산업 기술 정보의 보고” 해동일본기술정보센터, 최신 정보 한글요약 제공

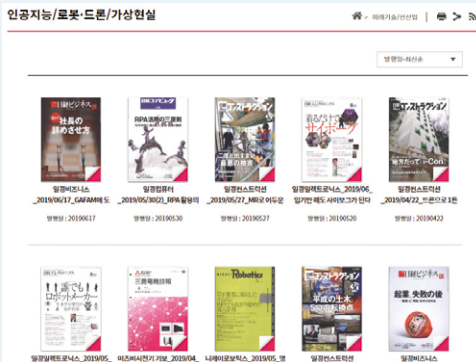


서울대학교 공과대학 해동일본기술정보센터는 대덕전자(故)김정식 회장의 열정과 지원에 의해 최신 일본 기술정보를 산업계와 학계에 널리 알리고자 2010년 3월에 설립하여 현재까지 운영해 오고 있습니다.

3천여권의 공학 및 신산업 관련 서적과 20여종의 Nikkei가 발행한 정기간행물과 40여개사의 기술보고서 등 4천여권의 도서를 통해 다양한 분야의 기술 정보를 제공하고 있습니다.

2016년부터는 소장 정보를 26개의 신산업 카테고리로 구분하여 미래기술과 신산업 관련한 정기간행물의 특집기사와 신문기사의 한글요약 제공과 함께, 주간브리핑 등을 통해 매주 새로운 정보를 메일과 SNS 등으로 배포하고 있습니다.

상세한 사항은 로그인 없이 모든 정보와 이용이 가능한 홈페이지를 참조바랍니다.



**해동일본기술정보센터**  
HAEDONG JAPAN TECHNOLOGY INFORMATION CENTER  
HJTIC <http://hjt看.ac.kr>  
08826 서울특별시 관악구 관악로 1,  
서울대학교 공과대학 35동  
전화 : 02-880-8279

<https://www.facebook.com/snuhjt看>  
<http://blog.naver.com/hjt看2010>  
카카오톡 오픈채팅@HJTIC 브리핑룸

주간브리핑의 무료 이메일 구독을 원하시면,  
'[hjt看@snu.ac.kr](mailto:hjt看@snu.ac.kr)'에 "구독"으로 신청.  
카카오톡으로 매일의 기사까지 받아 보시려면,  
'오픈채팅@HJTIC브리핑룸' 가입 (pw:2016)

# 2023년도 선거일정 공고

한국통신학회의 2024년도 회장단 선출을 위한 선거 일정 및 절차를 아래와 같이 공고하오니, 회원 여러분께서는 양지하여 주시기 바랍니다.

## (1) 2024년도 회장단 선출 절차 및 일정

- 선출직 부회장 후보등록: 2023년 10월 10일(화) ~ 13일(금)
- 2024년도 회장단 선출을 위한 평의원 회의 개최  
일시: 2023년 11월 3일(금), 18:00  
장소: 서울플라자호텔(소공동) 22층 다이아몬드 홀
- 선출 내역: 차기 회장 인준, 수석부회장 및 부회장 선출
- 표 자격: (현) 한국통신학회 평의원

## (2) 기타: 부득히하게 평의원 회의에 참석할 수 없는 경우에는 다음과 같이 사전 투표가 가능함

- 사전투표 기간: 2023년 10월 24일(화) ~ 11월 2일(목)
- 장소: 한국통신학회 회관 3층
- 사전투표 방법: 본인이 직접 방문하여 개인정보 확인 후 투표 실시함

기타 자세한 선거 관리 규정은 학회 홈페이지를 참조할 수 있습니다.

한국통신학회 선거관리 위원회



# 회비납부 안내

연회비 납부에 대한 안내를 드리오니,  
아직 연회비를 납부하지 않으신 회원께서는 납부하여 주시기 바랍니다.

## 1. 회원혜택

- 학회지 e-Book 무료구독
- online 학회지, 국내논문지, 학술대회 자료 검색 및 자료 다운로드
- 워크숍 등 행사 참여 시 등록비 할인
- 웹진, 뉴스레터 및 행사정보 메일 수신
- 동계/하계/추계학술대회에서 우수논문으로 선정 시, 상장 및 상금 수여
- 총회 참가권 및 발언권 (정회원, 종신회원에 한함)
- 정회원으로 3년 이상 활동 시, 평의원에 피선 자격 (평의원은 임원의 선거권을 가짐)
- IEEE 회비 할인

## 2. 연회비

- 정 회원: 60,000원 (입회비: 10,000원)
- 학생회원: 30,000원 (입회비: 10,000원)
- 종신회원: 600,000원

## 3. 회비 납부방법

- 신용카드, 계좌이체(우리은행 1005-600-543958 (사)한국통신학회), 지로(7502116) 등의 방법으로 회비를 납부할 수 있습니다.

회비납부 및 회원정보 관련하여 문의가 계신 회원님께서서는 학회 회원담당자에게 연락주시기 바라며,  
회원님의 회원정보(소속, 연락처 등)에 변경사항이 계실 경우 학회 홈페이지에 수정해주시기 바랍니다.  
문의처: 회원담당 (TEL: 02-3453-5555 / FAX: 02-539-5588 / Email: information@kics.or.kr)



# 한국통신학회지 『정보와 통신』 자유 주제 및 담당 편집위원 모집 안내

한국통신학회는 1984년에 학회지 <정보와 통신>을 창간한 이후 매월 IT분야의 최신기술 동향에 대한 특집주제를 마련하여 IT분야의 비전문가도 친숙하게 접할 수 있도록 구성하여 발간하고 있습니다.

한국통신학회에서는 회원 여러분께 다양하고 양질의 콘텐츠를 제공하고자 아래와 같이 학회지 **자유 주제 및 담당 편집위원**을 모집하고 있사오니 아래 일정을 참고하여 회원 여러분의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

주제를 제안하시고자 하시는 분은 아래 내용을 포함한 제안서를 보내주시면 학회지 운영 위원회의 심사를 거쳐 특집호 주제 선정 여부를 결정하여 안내 드리겠습니다.

## ※ 편집료 및 원고료 안내

편집료 및 원고료 : 20만원

※ 인센티브제도 도입 : 2주 이내 원고 제출 시 30만원 지급

## ※ 주제에 따른 저자 선정

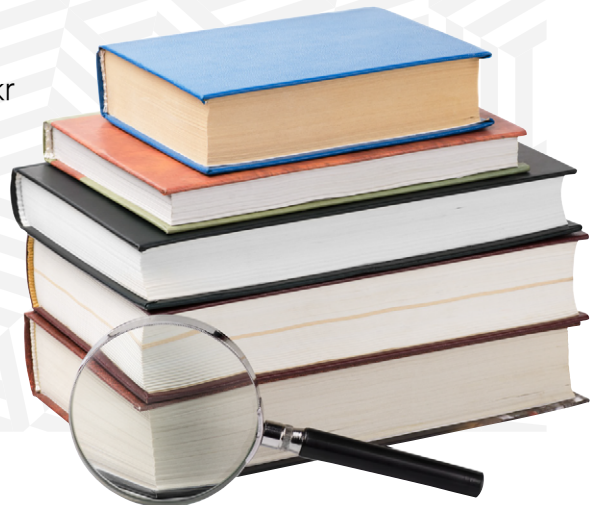
- 섭외 원고 편수: **5편 내외**(참고로 편집위원 본인이 작성한 원고를 포함할 수 있습니다.)
- 집필자(안) 포함 내용: 확정된 각 저자의 각 제목, 연락처(소속, 직책, 전화번호, 이메일) 등

## 제안서

- 주제명 :
- 초청 편집위원 이름, 소속, 직위 :
- 희망 게재 시기(일반적으로 발행월 10일까지 원고가 취합되어야함.)

## 문의처

한국통신학회 학회지담당  
TEL. 02-3453-5555(5) E-mail. kicszine@kics.or.kr



# 구현, 서베이 / 튜토리얼, 특집호

한국통신학회 회원 여러분!

안녕하십니까? 한국통신학회 국내논문지 편집위원회입니다.

한국통신학회에서는 논문의 활성화와 회원들에게 실질적으로 도움이 되는

학술 서비스를 위하여 아래의 **구현논문 및 서베이/튜토리얼 논문**을 상시 모집 중에 있습니다.

아래 논문 외에도 다양한 특별세션 논문도 모집 중에 있으니,

회원 여러분의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

## ✓ 구현논문

통신 및 융합분야 시스템에 대한 설계 및 구현에 관련된 논문을 모집합니다.

논문의 내용은 시스템의 환경, 하드웨어와 소프트웨어의 구조 및 기능 블록도, 사용자 인터페이스, 시스템의 동작 절차, 테스트 시나리오 등을 포함할 수 있습니다. 논문 구성에 있어 이론, 증명이 없어도 무방합니다.

### ※ 평가사항

- 단 구현을 통해 달성하고자 하는 목표와 결과, 결과의 분석, 또는 구현방법의 우수성 등을 포함하여 학술적 의의를 명확하게 포함하여 작성된 것이어야 함.
- 아래 내용 중 하나 이상의 조건을 포함하는 범위에서 논문을 작성하는 것을 권고함.
  - (1) 구현된 결과물의 동작 결과(하드웨어 또는 소프트웨어의 동작 사진 또는 결과물이 동작하는 GUI 캡처본 등)
  - (2) 구현된 결과물의 성능(하드웨어 또는 소프트웨어의 동작 성능, 이론/알고리즘 수준까지는 아니되 결과물의 성능(경향)을 확인할 수 있는 수준의 성능)

### ※ 투고방법

- 구분 : 일반, 긴급, 특급, 레터 중 선택
- 분야 : "Part D : System Implementation(구현논문)" 선택(외에는 기존 논문 투고방법과 동일함.)

## ✓ 서베이/튜토리얼

물리계층/상위계층/융합/구현(A/B/C/D)분야에서, 연구논문 뿐만 아니라 서베이/튜토리얼 논문도 적극 권장 및 모집합니다.

※ 투고방법 - coverletter란에 '서베이/튜토리얼' 입력(외에는 기존 논문 투고방법과 동일함.)

## ✓ 특별세션 논문모집

통신학회 홈페이지([www.kics.or.kr](http://www.kics.or.kr)) → 논문지 → 특별세션 논문모집

## 특집 주제 모집 안내

안녕하십니까? 한국통신학회입니다.

저희 학회에서는 논문지의 활성화와 회원들에게 실질적으로 도움이 되는 학술 서비스를 위하여 특집호 주제를 모집하고 있습니다. 특집호의 주제는 통신학회 논문지의 분야와 부합하며 현재 주요한 이슈가 되고 있고 최소 8편이상의 논문이 제출될 수 있는 주제로서, 제안자가 초청 편집장이 되어 해당 특집호의 초청 편집장 및 초청 편집장에 의해 구성된 초청 편집위원회에 의해 제출 논문에 대한 심사 위원 선정 등의 심사 과정이 진행이 됩니다.

특집호 주제를 제안하시고자 하시는 분은 아래 내용을 포함한 특집호 주제 제안서를 보내주시면 통신학회 국내 논문지 편집위원회의 심사를 거쳐 특집호 주제로 선정 여부가 결정이 됩니다.

### 아래

- 특집호 제목
- 특집호 주제 소개 및 모집 분야
- 초청 편집장 이름, 소속, 직위
- 초청 편집위원 (2-5명) 이름, 소속, 직위
- 희망 게재 시기 (일반적으로 게재월 5개월 전부터 특집호 주제 홍보가 시작되며 3개월 전까지 논문 접수가 마감) 됨.

문의처 한국통신학회 국내논문 담당자 / 02-3453-5555(5) / journal@kics.or.kr



# 2023년 학술 활동 계획

월	주관	구분	행사명	개최일	개최장소	담당 이사 및 담당 위원장	연락처
1월	한국통신학회	본회	머신러닝을 위한 수학 기초 강좌	1/30-2/1	온라인	한국통신학회 지능 기반	최선용 / 국민대학교
	부호및정보이론 연구회	연구회	부호이론 단기강좌	1/30-2/2	온라인	부호및정보이론 연구회	박대영 / 인하대학교
2월	한국통신학회	본회	2023년도 한국통신학회 동계종합학술발표회	2/8-10	강원 용평리조트	한국통신학회 동계	신오순 / 송실대학교 채찬병 / 연세대학교 최지웅 / 대구경북과학기술원
	한국통신학회	자부	2023 KICS-NA IT Workshop	2/10-11	LG Electronics Mobile Research, San Diego	한국통신학회 미주 자부	이병관 / UCSD
	통신네트워크 소사이어티	소사이어티	통신네트워크를 위한 Unity 기반 강화학습 알고리즘 구현 및 시뮬레이션	2/13-14	고려대학교	통신네트워크 소사이어티	신석주 / 조선대학교
	한국통신학회	위원회	ICAIC 2023 (The 5th International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication)	2/20-23	Ramada by Wyndham Bali Sunset Road Kuta, Bali	ICAIC 위원회	한연희 / 한국기술교육대학교 김동균 / 경북대학교
	이동통신 소사이어티	소사이어티	제28회 이동통신기술 워크숍	2월 중	온오프라인	이동통신 소사이어티	신오순 / 송실대학교
3월	한국통신학회	본회	ICT Convergence Korea 2023	3/15-16	The-K Hotel, Seoul	한국통신학회 ICT융합학술	최용훈 / 광운대학교
	한국통신학회	본회	Chat GPT와 AI 워크숍	3/23	온오프라인 (통신학회 지하 1층)	한국통신학회 대외총무	고영채 / 고려대학교
	민·군IT융합 소사이어티	소사이어티	국방·차안 메타버스 워크숍	3-24	온오프라인 (용산 LGU+)	민·군IT융합 소사이어티	김동성 / 금오공과대학교
4월	한국통신학회	본회	거대 언어 모델 개발을 위한 SW 인공지능 Lecture Note 단기강좌 시리즈	4/4-6	온/오프라인 (통신학회 지하)	한국통신학회 지능SW/융합	김상철 / 국민대학교
	한국통신학회 지부연합회	자부	제3회 산학연이 함께하는 ICT 융합기술 워크숍	4/6-7	홀리데이인 광주호텔	한국통신학회 지부장	한국통신학회 지부연합
	한국통신학회	위원회	JCCI 2023 (제33회 통신정보 합동학술대회)	4/26-28	여수 히든베이 호텔	JCCI 운영위원회	
	한국통신학회	본회	통신 수학 기초 및 응용 기술 튜토리얼	4월 중	미정	한국통신학회 5G/6G 이동통신	정방철 / 충남대학교
5월	한국통신학회	본회	2023 자율주행기술 워크숍	5/4	온라인	스마트 모빌리티	최준원 / 한양대학교
	한국통신학회	본회	확률기하 이론 기반 지상 및 위성 통신 네트워크 분석 워크숍	5/4	온/오프라인 (The K 호텔)	5G/6G 이동통신	정방철 / 충남대학교
	한국통신학회	본회	보안, 기초부터 응용까지 (시즌1)	5/31-6/2	온라인	한국통신학회 보안	박민호 / 송실대학교
	통신네트워크 소사이어티 이동통신 소사이어티	소사이어티	제16회 미래통신기술 워크숍(공동 주관)	5/11-12	온/오프라인 (한국통신학회 대회의실)	통신네트워크 소사이어티 이동통신 소사이어티	신석주 / 조선대학교 신오순 / 송실대학교
	통신망 운용관리 연구회	연구회	2023 통신망 운용관리 학술대회	5/18-19	온/오프라인 (제주대학교)	통신망 운용관리 연구회	주홍택 / 계명대학교
	마이크로파 및 전파 연구회	연구회	마이크로파 및 전파전파 2023년 춘계학술대회	5-26	한국과학기술회관 중회의실2	마이크로파 및 전파전파연구회	강승택 / 인천대학교
6월	한국통신학회	본회	2023년도 한국통신학회 하계종합학술발표회	6/21-24	제주 라마다프라자 호텔	한국통신학회 하계	김선우 / 한양대학교 이문식 / 한국전자통신연구원 김준수 / 한국공학대학교
	광통신 연구회	연구회	광전자 및 광통신 학술회의 2023	6월 중	오프라인	광통신 연구회	권용환 / 한국전자통신연구원
	농축수산IT융합 연구회	연구회	스마트 농업 현황 및 기술 교류회	6월 중	오프라인	농축수산IT융합 연구회	이영훈 / 순천대학교

# 2023년 학술 활동 계획

연월	주관	구분	행사명	개최일	개최장소	담당 이사 및 담당 위원장	연락처
7월	한국통신학회	위원회	ICUFN 2023 (The 14th International Conference on Ubiquitous and Future Networks)	7/4~7/7	Paris, France	ICUFN 운영위원회	박경준 / 대구경북과학기술원
	산업기술 연구회	연구회	2023년 하계 산업기술 워크숍 및 교수 연구회	7/4~7/6	오프라인 (대전 유성호텔)	산업기술 연구회	한기관 / ICT플러텍대학
	한국통신학회	본회	AI Frontiers Summit 2023	7/14	한국과학기술회관	한국통신학회 시학술	김중현 / 고려대학교
	한국통신학회	본회	ICT 융합 단기강좌: 바이오의료에서 로봇, 배터리, 에너지, 위성, 스마트시티까지	7/10-12	온라인	한국통신학회 융합	박경준 / 대구경북과학기술원
	한국통신학회	본회	B5G & 6G 핵심기술 단기강좌	7/19-21	온오프라인 (통신학회 지하1층)	5G/6G 이동통신	정방철 / 충남대학교
	부호 및 정보이론 연구회	연구회	2023년도 직장인과 대학원생을 위한 정보 및 학습이론 단기강좌	7/31~8/3	온라인	부호 및 정보이론 연구회	박대영 / 인하대학교
	농축수산IT융합 연구회	연구회	스마트 농업분야 협력기관 전문가 간담회	7월 중	오프라인	농축수산IT융합 연구회	이명훈 / 순천대학교
8월	부호 및 정보이론 연구회	연구회	부호 및 정보이론 연구회 워크숍	8/4	오프라인 (한국통신학회 대회의실)	부호 및 정보이론 연구회	박대영 / 인하대학교
	위성/무인기통신 연구회	연구회	6G 3차원 공간 네트워크 기술 워크숍	8/7	온오프라인 (한국통신학회 대회의실)	위성/무인기통신 연구회	김재현 / 아주대학교
	ESG융합포럼, 에너지 소사이어티	소사이어티	제2회 한국 에너지 학술대회	8/9-12	온오프라인 (제주 신라스테이)	ESG융합포럼, 에너지 소사이어티	장영민 / 국민대학교 이일우 / 한국전자통신연구원
	이동통신 소사이어티	소사이어티	2023년 이동 및 무선통신 단기강좌	8/16-18	온라인	이동통신 소사이어티	신오순 / 숭실대학교
	통신네트워크 소사이어티	소사이어티	제16회 통신네트워크 기초 및 핵심기술 단기강좌	8/21-22	온오프라인 (한국통신학회 대회의실)	통신네트워크 소사이어티	신석주 / 조선대학교
	지부연합	지부	ICMIC 2023 (International Conference on Maritime IT Convergence 2023)	8/23-25	제주 신라스테이	한국통신학회 지부연합	한국통신학회 지부연합
	한국통신학회	본회	인공지능 실전응용 SW Lecture Note 단기강좌	8/23-25	온라인	한국통신학회 지능SW/융합	김상철 / 국민대학교
	한국통신학회	본회	머신러닝을 위한 수학 기초 강좌	8/28-29	온라인	한국통신학회 지능 기반	최선웅 / 국민대학교
	통신신호 연구회	연구회	2023년 통신신호연구회 단기강좌	8/28-8/31	온오프라인 (한국통신학회 대회의실)	통신신호 연구회	송충영 / 연세대학교
	양자통신 연구회	연구회	제8회 양자통신 및 양자컴퓨터 기초 단기강좌	8/28-9/1	온라인	양자통신 연구회	허준 / 고려대학교
	한국통신학회	본회	6G- Integrated AI and Communication 네트워크 기술 전망 워크숍	8/30	온라인	한국통신학회 5G/6G 네트워크	박형근 / 이화여자대학교
9월	실내위치인식 및 공간정보 연구회	연구회	IPIN 실내위치인식 경진대회 Track 2	9월 중	온오프라인	실내위치인식 및 공간정보 연구회 위원장	이소연 / 한국전자통신연구원
	통신망 운용관리 연구회	연구회	APNOMS 2023 국제학술대회	9/06-08	온오프라인 (세종 컨벤션 센터)	통신망 운용관리 연구회	석승준 / 경남대학교
	한국통신학회	본회	Metaverse Congress 2023	9/14-15	온라인	한국통신학회 메타버스학술	남해운 / 한양대학교
	인공지능 소사이어티	소사이어티	제4회 한국 인공지능 학술대회	9/20-22	온오프라인 (제주 신라스테이)	인공지능 소사이어티	한동석 / 경북대학교
10월	한국통신학회	본회	ICTC 2023 (The 14th International Conference on ICT Convergence)	10/11-13	제주 롯데 호텔	한국통신학회 국제학술회의	*김광순 / 연세대학교 정태서 / 한국전자통신연구원
	한국통신학회	본회	사물인터넷 플랫폼 핵심 기술 및 표준 동향 세미나	10/19-20	미정	한국통신학회 IoT 플랫폼	박준구 / 경북대학교
	민·군IT융합 소사이어티	소사이어티	IWMI 2023(ICTC 2023 연계 워크숍)	10/11-13	온오프라인	민·군IT융합 소사이어티	김동성 / 금오공과대학교
	IoT응용 연구회	연구회	핵심 기술 워크숍 시리즈 #03 - 최적화와 AI, 이로부터 응용까지	10월 26일	오프라인	IoT응용 연구회	최성근 / 충북대학교
	민·군IT융합 소사이어티	소사이어티	2023 국방ICT융합 기술교류회	10월 중	오프라인	민·군IT융합 소사이어티	김동성 / 금오공과대학교
	마이크로파 및 전파 연구회	연구회	중저궤도 위성RF기술 워크숍	10월 중	하이브리드	마이크로파 및 전파 연구회	강승택 / 인천대학교
11월	한국통신학회	본회	2023년도 한국통신학회 추계종합학술발표회	11/22-25	경주 라한셀렉트 호텔	한국통신학회 추계	김상호 / 성균관대학교 김윤희 / 경북대학교 김명수 / 한국공학대학교
	한국통신학회	본회	보안, 기초부터 응용까지 한번에 끝내기(시즌2)	11월 중	미정	한국통신학회 보안	박민호 / 숭실대학교
	통신망 운용관리 연구회	연구회	KNOM 튜토리얼 2023	11월 중	하이브리드	통신망 운용관리 연구회	석승준 / 경남대학교
	농축수산IT융합 연구회	연구회	2023년 농산업 AI 핵심기술 국제 컨퍼런스	11월 중	오프라인	농축수산IT융합 연구회	이명훈 / 순천대학교
12월	한국통신학회	본회	해동상 시상식	12/1	더 플라자 호텔 다이아몬드홀	한국통신학회	
	산업기술 연구회	연구회	2023년 동계 산업기술 워크숍 및 교수 연구회	12월 중	오프라인	산업기술 연구회	한기관 / ICT플러텍대학

# 학술대회/전시회 일정

본 학술대회/전시회 일정란은 국내외에서 개최되는 각종 학술대회 및 전시회를 소개하고자 합니다.  
본 란에 게재를 희망하시는 분은 간략한 학술대회/전시회 정보를 아래의 연락처로 알려주시면, 학회지위원회에서 심의하여 다음호에 신도록 하겠습니다.

## [연락처]

한국통신학회 사무국 학회지 담당 (E-mail : kicszine@kics.or.kr)

2023년 10월	10-4~10-6	NoF 2023: International Conference on Network of the Future 2023	İzmir Turkey	<a href="https://nof.dnac.org/">https://nof.dnac.org/</a>
	10-12~10-27	IEEE WF-IoT 2023: IEEE World Forum on Internet of Things 2023	Aveiro Portugal	<a href="https://wfiot2023.iot.ieee.org/">https://wfiot2023.iot.ieee.org/</a>
	10-16~10-18	CSNet 2023: Cyber Security in Networking Conference 2023	Montréal QC Canada	<a href="https://csnet-conference.org/2023/">https://csnet-conference.org/2023/</a>
	10-18~10-20	CCCI 2023: International Conference on Communications, Computing, Cybersecurity, and Informatics 2023	Chongqing, China	<a href="http://atc.udg.edu/CCCI2023/">http://atc.udg.edu/CCCI2023/</a>
	10-23~10-26	ISNCC 2023: International Symposium on Networks, Computers and Communications 2023	Doha Qatar	<a href="https://www.isncc-conf.org/">https://www.isncc-conf.org/</a>
2023년 11월	11-2~11-3	WCSP 2023: International Conference on Wireless Communications and Signal Processing 2023	Hangzhou Zhejiang, China	<a href="http://www.ic-wcsp.org/2023/">http://www.ic-wcsp.org/2023/</a>
	11-6~11-8	IEEE NFV-SDN 2023: IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks 2023	Dresden Germany	<a href="https://nfvsdn2023.ieee-nfvsdn.org/">https://nfvsdn2023.ieee-nfvsdn.org/</a>
	11-19~11-22	WPMC 2023: International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications 2023	Tampa, FL United States	<a href="http://wpmc2023.com/">http://wpmc2023.com/</a>
2023년 12월	12-4~12-8	IEEE GLOBECOM 2023: IEEE Global Communications Conference 2023	Kuala Lumpur Malaysia	
	12-15~12-17	IEEE HEALTHCOM 2023: IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services 2023	Chongqing, China	<a href="https://healthcom2023.ieee-healthcom.org/?ga=2.238440192.168443970.1692754224-1485782912.1679977662">https://healthcom2023.ieee-healthcom.org/?ga=2.238440192.168443970.1692754224-1485782912.1679977662</a>
	12-17~12-20	IEEE ANTS 2023: IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems 2023	Jaipur Rajasthan India	<a href="https://ants2023.ieee-ants.org/">https://ants2023.ieee-ants.org/</a>
2024년 1월	1-3~1-7	COMSNETS 2024: International Conference on COMMunication Systems & NETworkS 2024	Bangalore Karnataka India	<a href="https://www.comsnets.org/">https://www.comsnets.org/</a>

## 우주 통신 기술의 미래를 엿보다



우주는 이제 더 이상 상상 속의 영역이 아닙니다. SpaceX, OneWeb, Amazon의 Kuiper와 같은 기업들이 우주로의 진출과 대규모 위성 네트워크 구축을 통해 현실로 새로운 우주 시대를 열고 있습니다. 이러한 우주 분야의 발전과 함께, 우주 통신에 대한 연구와 개발에 큰 관심이 집중되고 있습니다. 특히, 위성 통신은 전 세계 어디에서나 안정적인 인터넷 접속을 제공하는 핵심 인프라로 각광받고 있습니다. 우주 기업들은 계속해서 연구와 개발을 진행하며 위성 네트워크를 확장하고 발전시키고 있어, 더 넓은 지역과 사용자들에게 서비스를 확대할 수 있을 것으로 기대됩니다.

이번 학회지에서는 우주 통신 기술에 중점을 두고 세 가지 원고를 소개합니다. 첫 번째 원고 "DVB-RCS2 표준 기반 위성 접속 및 핸드오버 기술 소개"는 DVB-RCS2 표준을 기반으로 한 위성 통신의 초기 접속과 핸드오버 기술에 대한 종합적인 내용과 주요 연구 분야를 소개합니다. 두 번째 원고 "광통신은 우주에서도 이어진다"는 우주 광통신 기술, 위성의 레이저 조향 메커니즘, 그리고 레이저 통신 기술의 현황과 실제 시스템 적용 사례를 살펴보고 이 분야의 동향을 설명합니다. 세 번째 원고 "소형 위성 레이저 통신을 위한 CCSDS 표준 기술 동향"은 우주 광통신을 위한 Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) 표준의 구조와 현재 진행 상황을 살펴봅니다. 특히, 소형 위성을 대상으로 한 레이저 통신의 코딩 및 동기화 규격을 자세히 다룹니다.

바쁘신 가운데에서 우수한 원고를 투고해주신 저자 여러분께 진심으로 감사드리며, 이번 학회지를 통해 우주 통신 분야의 최신 동향을 공유하고 지식을 증진하는 데 도움이 되길 바랍니다.

## 약 력

**노 정 훈** 충북대학교 전자공학부 조교수

학력 : 고려대학교 전파통신공학과 학사, 박사

경력 : 국방과학연구소 선임연구원(14.2-21.2), 금오공과대학교 전자공학부 조교수(21.2-23.8)

현재 : 충북대학교 전자공학부 조교수

# DVB-RCS2 표준 기반 위성 접속 및 핸드오버 기술 소개

장기원, 정태진, 최지환  
한국과학기술원

## 요약

지상망을 보완하면서 언제 어디서나 다수의 사용자에게 다양한 통신 서비스를 제공할 수 있는 위성통신에 대한 연구개발 관심이 고조되고 있다. 본고에서는 기존 위성통신에 널리 쓰이고 있으며 향후 3GPP (3rd Generation Partnership Project) NTN (Non-Terrestrial Networks) 표준과의 공존이 예상되는 DVB-RCS2 (Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite, 2nd Generation) 표준을 기반으로 한 지상 단말의 위성 초기 접속과 핸드오버 기술을 알아본다.

## I. 서론

최근 뉴스페이스 시대의 도래와 3GPP (3rd Generation Partnership Project) NTN (Non-Terrestrial Networks, 비 지상망)의 5G 표준 포함에 힘입어 위성통신이 많은 관심을 받고 있다. 위성통신에서 통신 게이트웨이, 허브, 또는 피터로부터 사용자 단말기(user terminal)로의 연결을 순방향 연결(forward connection) 또는 순방향 링크(forward link)라고 한다. 반대로 사용자로부터의 연결은 역방향 연결(return connection) 또는 역방향 링크(return link)라고 한다. 위성을 통해 두 지점 간 통신이 이루어지려면 두 지점 모두 위성과의 순방향 및 역방향 링크가 연결되어야 하고, 필요에 따라서는 위성 또한 네트워크 관리 센터(Network Control Centre, NCC)와 연결되어야 할 것이다. 네트워크 관리 센터는 DVB (Digital Video Broadcasting) 표준에서 정의하고 사용하는 용어로, 뜻을 번역하자면 ‘위성 네트워크의 일부에서 내부 관리와 제어를 종료하는 중앙 집중식 독립체’라 할 수 있다. 위성 통신 시스템에 있어 순방향 및 역방향 링크는 업링크(uplink)와 다운링크(downlink), 그리고 가능한 경우 위성 간 링크(Inter-Satellite Link, ISL)를 포함한다[1].

유럽의 표준화 기구인 유럽전기통신표준협회(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)는

DVB-RCS2 (DVB - Return Channel via Satellite, 2nd Generation) 표준을 통해 지상 단말기가 위성 양방향 네트워크에 접속하고 그 접속을 유지하는데 필요한 절차와 제어 메시지에 대해 정의한다. 많은 기존의 통신위성 네트워크가 DVB-RCS2 표준을 따르고 있으며, 이는 향후 3GPP 표준 기반의 위성망이 상용화되더라도 적지 않은 기간 동안 계속 공존하며 활용될 것으로 예상된다. 또한 DVB-RCS2 표준 방식을 알아보는 것은 향후 지상망 기반을 갖고 있는 3GPP NTN 표준 개발에 좋은 가이드라인이 될 수 있을 것이다. 본고에서는 해당 표준 내용 중 위성통신망의 하위 계층을 다루는 ETSI EN 301 545-2[2]의 항목 9.1 ‘순방향 링크 접속(Connecting the Forward Link)’부터 9.2.2 ‘접속 절차를 위한 초기화(Initialize for Logon Procedure)’까지의 내용을 기반으로 지상 단말기가 통신을 진행하기 위한 위성 양방향 네트워크 접속 방식과 알고리즘을 정리하고 설명하고자 한다. 아울러 저궤도 위성망에서 중요한 기술로 평가되는 위성접속 핸드오버에 관해서도 설명한다.

## II. 위성 접속 방식

DVB-RCS2 표준에서는 여러 지상 단말기로부터 위성으로의 업링크 다중접속을 위해 MF-TDMA (Multi Frequency-Time Division Multiple Access)를 제안한다. MF-TDMA는 FDMA와 TDMA를 결합한 기술로써 무선 자원을 시간 측면과 주파수 측면에서 별도로 분할해 동적으로 운용하는 기법이며, FDMA와 TDMA에 비해 한정된 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다[3]. 다시 한번 설명하자면 MF-TDMA는 활용할 수 있는 주파수 자원을 나눈 뒤 각각에 대해 별개로 TDMA를 적용하는 다중접속 정책이다. 현재 OneWeb의 2세대 위성이 DVB 표준을 기반으로 한 물리 계층 air interface를 지원할 계획을 하고 있으며, 이 경우 MF-TDMA가 SCPC (Single Channel per Carrier)와 함께 다중접속 핵심기술로 사용될 예정이다. 따라서 이후 알고리즘 설명은 TDMA를 기반으로 한다.



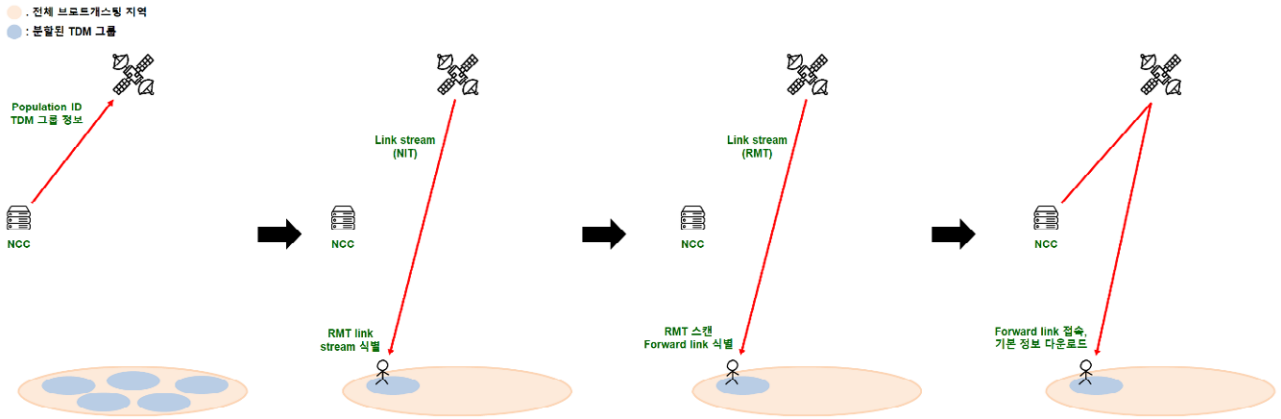


그림 1. 위성을 통해 지상 단말기가 순방향 링크에 접속하는 과정

우선 위성은 통신이 필요한 지역 전부를 브로드캐스팅을 통해 끊임없이 스캔해야 할 필요가 있다. 또한 NCC는 통신 서비스가 필요한 지상 단말기 전체를 식별할 수 있는 정보인 population ID와 그들의 TDM 정보, 즉 시분할 된 그룹의 정보를 변화가 있을 때마다 위성에 전송해 그 정보를 위성에 지속해서 업데이트를 해주어야 한다. 위성이 네트워크 정보 테이블(Network Information Table, NIT)과 단말 맵 테이블(RCST Map Table, RMT)을 갖고 있으면 해당 테이블 데이터를 활용해 지상 단말기의 순방향 링크 접속을 지원할 수 있다. NIT와 RCST (Return Channel over Satellite Terminal), RMT는 DVB 표준에서 정의하고 사용하는 용어로, NIT는 네트워크 전체에 대한 정보를 포함하고 RMT는 각 단말기가 특정한 순방향 링크에 접속하기 위한 정보를 포함하고 있다. RCST의 뜻을 해석해보면, 통신을 위해 위성에 접속하는 지상 단말기도 RCST의 일종으로 볼 수 있다.

위와 같은 상황에서 지상 단말기가 통신을 시작하려고 하는 경우, 먼저 전 지역을 브로드캐스팅하고 있는 위성 링크에 맞춰 자신의 채널을 조정해야 한다. TDMA를 기반으로 하는 경우 통신을 진행하는 타임 슬롯에 일정한 규칙이 있으므로 단말기가 해당 TDM의 규칙에 따른 조정이 필요할 것이다. 조정이 완료되면 단말기는 NCC 또는 위성으로부터 NIT 정보를 가져와야 한다. NIT는 전체 네트워크에 대한 정보를 갖고 있으므로 해당 테이블을 먼저 가져온 뒤, 이를 활용해 단말기 자신이 속한 TDM 그룹과 해당 TDM 그룹 단말기들의 정보를 갖고 있는 RMT를 전송할 링크를 식별할 수 있을 것이다. 초기 접속을 위해 위성은 통신이 필요한 전 지역을 끊임없이 스캔해야 할 것이고, 따라서 해당 작업은 상대적으로 넓은 빔을 활용해 광범위한 지역을 커버하는 브로드캐스팅용 스캐닝 빔을 만들기에 적당한 L 대역과 같은 낮은 대역의 주파수 자원을 통해 이루어져야 할 것을 제안한다. 또한 이러한 경우 휴대용(hand-held) 기기뿐만 아니라 VSAT

(Very Small Aperture Terminal) 또한 초기 접속을 위해 L 대역 등을 활용하는 채널이 필요할 것이다.

단말기가 RMT를 전송하는 링크를 식별하면 해당 RMT 전송 링크와 TDM에 맞춰 또다시 자신을 조정해야 한다. 해당 링크에 맞춰 조정, 연결 후 RMT 정보를 가져오면 본인의 population ID와 맞는 순방향 링크를 식별할 수 있을 것이다. 음성 송수신이 목적인 휴대용 기기라면 위성의 L 대역과 같은 낮은 주파수 대역을, 음성과 달리 고용량 데이터 송수신을 지원하는 VSAT 기기라면 위성의 Ka 대역과 같은 더 높은 주파수 대역을 주로 식별할 것이다. 만약 지상 단말기의 데이터 용량이 충분해 데이터 저장이 가능하다면 현재 접속하고 있는 위성 또는 차후 접속 가능성이 있는 위성의 ID나 NCC의 ID 등을 NIT로부터 추출, 저장해 이후 또 다른 접속이 발생할 때 해당 정보를 활용하는 방안도 생각해볼 수 있다.

지상 단말기가 L 대역 또는 Ka 대역과 같은 알맞은 주파수 대역의 순방향 링크를 식별하고 접속하면, 해당 순방향 링크를 제공하는 NCC와 위성, 만약 중계하는 게이트웨이가 있다면 해당 게이트웨이 또한 이 순방향 링크에 대한 인증이 완료되어야 한다. 또한 지상 단말기는 네트워크 시간에 대한 정보, 송수신 시 이용되는 데이터 프레임에 관한 정보, 위성의 위치 정보 등 데이터 통신을 진행하고 그 접속을 유지하는 데 필요한 기본 정보를 미리 다운로드해야 한다. <표 1>은 DVB 표준이 제안하는, 단말기에서 다운로드해야 하는 기본 정보를 표로 정리한 것이며, <그림 1>은 지상 단말기가 위성을 통해 순방향 링크에 접속하는 알고리즘을 도식화한 내용이다.

위 내용에서 알 수 있듯이 지상 단말기는 링크 접속을 위해 필요한 기본 정보를 다운로드해야 하며, 이 정보는 연결을 진행하는 위성 또는 NCC로부터 가져와야 할 것이다. 그러나 단말기가 위성을 통해 지상 NCC로부터 정보를 가져온다면 상대적으로

표 1. 단말기에서 다운로드해야 하는 기본 정보 (DVB-RCS2 표준으로부터 제안됨)

정보의 종류	포함 정보의 내용
NCR (Network Clock Reference)	네트워크 시간에 대한 정보 시간 동기화 시 필요
SCT (Superframe Composition Table)	송수신 시 이용되는 데이터 프레임에 관한 정보
FCT2 (Frame Configuration Table ver2)	송수신 시 이용되는 데이터 프레임에 관한 정보
BCT (Broadcast Configuration Table)	변조, 부호화 등 데이터 전송 방식에 대한 정보
SPT (Satellite Position Table)	위성의 위치 정보
TIM-B (Terminal Information Message Broadcast)	순방향 링크에 대한 정보
TBTP2 (Terminal Burst Time Plan Table ver2)	타임 슬롯 할당을 위한 정보

긴 전파 지연을 겪게 된다. 예를 들어 위성의 비행 궤도의 높이를 900km, 통신 전파 속도를  $3 \times 10^8$ m/s라고 가정하였을 때, 단말기가 위성을 통해 지상 NCC에 접근한 후 NCC가 필요한 데이터를 송신, 위성을 통해 단말기가 수신하는 경우 약  $\left(\frac{900 \times 10^3}{3 \times 10^8} + \frac{900 \times 10^3}{3 \times 10^8}\right) \times 2 = 12\text{ms}$ 의 전파 지연을 겪어야 함을 간단하게 계산할 수 있다. 이는 전파가 지상에서 위성을 거쳐 NCC까지의 접근하는 거리를 왕복해야 해서 발생하는 지연시간이며, 이러한 전파 지연을 줄일 방법으로는 NCC를 지상이 아니라 위성에 위치시켜 전파 거리를 줄이는 방법이 있다. 최근 위성의 온보드 처리 기능(On-Board Processing, OBP)을 확장한 온보드 컴퓨팅 또는 엣지 컴퓨팅(edge computing) 기능을 활용하여 코어 네트워크 기능을 위성에서 수행함으로써 지연시간과 지상 기지국에 대한 의존도를 줄이려는 시도가 연구되고 있다[4][5]. 지상이 아닌 위성에서도 NCC의 역할을 다할 수 있다면 위예시의 경우  $\left(\frac{900 \times 10^3}{3 \times 10^8} + \frac{\text{위성} \sim \text{NCC 거리}}{3 \times 10^8}\right) \times 2$ 와 같이 전파 지연이 계산될 것이고, 연결을 진행하는 위성과 NCC 역할을 하는 위성 사이의 거리가 900km보다 짧을 경우 그만큼 전파 지연을 줄일 수 있을 것이다.

하지만 위와 같은 상황에서 위성이 NCC의 역할을 다할 수 있는지 생각해볼 필요가 있다. 네트워크 환경은 언제나 동적으로 변해 필요할 때마다 업데이트를 할 수 있어야 하는데, 환경적으로 접근하기가 힘든 위성망은 NCC를 다루는 데 있어 지상망보다 더 큰 비용이 부담될 것이다. 또한 위성 탑재 OBP 기술이 불충분한 경우 위성은 NCC로서의 역할을 할 수 없을 것이다. 따라서 NCC를 위성에 위치시키는 방법 대신에 위성망에서 캐시 서버를 활용하는 방법을 제안할 수도 있다. 캐시 서버는 관리하고 있는 데이터의 복사본을 축적해서 이용자가 접속하고 있

표 2. NCC 위치별 시스템의 특징 및 장단점

	지상 NCC	위성 NCC	위성 캐시 서버
특징	위성망 네트워크를 관리하는 NCC를 지상망에서 관리	위성망 네트워크를 관리하는 NCC를 위성에 배치하고 활용	위성 탑재 OBP를 활용하여 위성에 캐시 서버 탑재
장점	위성망에 NCC를 배치하는 것보다 NCC를 관리하기가 용이	위성 간 전파 거리가 짧으면 전파 지연을 줄일 수 있음	캐시 서버에 알맞은 데이터를 저장하면 위성에 NCC를 배치하는 것과 동일한 효과
단점	긴 전파 거리로 인한 긴 전파 지연 발생	지상에 비해 NCC 관리가 힘들고, OBP 기술이 불충분하면 NCC를 위성에 배치할 수 없음	어떤 정보를 캐시 서버에 저장할지 판단 필요

는 서버에 신속하게 데이터를 제공하는 서버로[6], 단말기가 캐시 서버에 저장된 데이터에 접근하는 경우 NCC에 접근해 필요한 데이터를 가져오는 것과 같은 효과를 낼 수 있다. 캐시 서버를 활용하는 경우 어떤 정보를 캐시에 저장할지에 대해 고려해야 한다. 참조한 논문[7]에서는 MPC(Most popular content)와 UC(Uniform content) 캐싱(caching) 정책이라는 두 개의 대표적인 정책을 소개한다. MPC는 단말기들이 가장 많이 찾는 데이터를 모든 캐시 서버에 동일하게 저장하는 정책이며, UC는 캐시 서버마다 중복되는 데이터가 없도록 데이터를 저장하는 정책이다. 앞서 설명한 접속 알고리즘에 대해서는 MPC 정책과 비슷하게, 양방향 네트워크 접속에 필요한 NIT, RMT 등과 같은 기본 정보를 모든 위성 캐시 서버에 동일하게 저장하는 정책을 제안할 수 있을 것이다. <표 2>는 NCC의 위치별 시스템의 특징 및 장단점을 표로 정리한 내용이다.

DVB 표준에서는 위성이 캐리어 주파수 이동(carrier frequency shift)을 통해 수신한 신호를 전달하는 transparent 위성 네트워크를 정의한다. 또한 transparent 네트워크에 대해 위성이 트래픽을 전달할 때 피더나 게이트웨이를 통해 전달해야 하는 transparent star 위성 네트워크와, 피더나 게이트웨이를 통과하지 않고 트래픽을 전달할 수 있는 transparent mesh overlay 위성 네트워크를 정의한다. <그림 2>는 transparent star 위성 네트워크와 transparent mesh overlay 위성 네트워크를 DVB-RCS2 표준[8]에서 그림으로 표현한 것이다.

두 단말기가 하나의 동일한 위성에 연결할 수 있는 경우 앞서 설명한 접속 알고리즘에 따라 단말기가 위성 양방향 네트워크에 접속해 데이터를 송수신하며 통신을 진행하면 된다. 그러나 두 단말기의 거리가 멀어 동일한 위성에 연결할 수 없는 경우, 즉, 각 단말기가 각기 다른 위성에 연결해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 이때 단말기끼리 통신이 가능하게 하려면 다른 두 위성끼

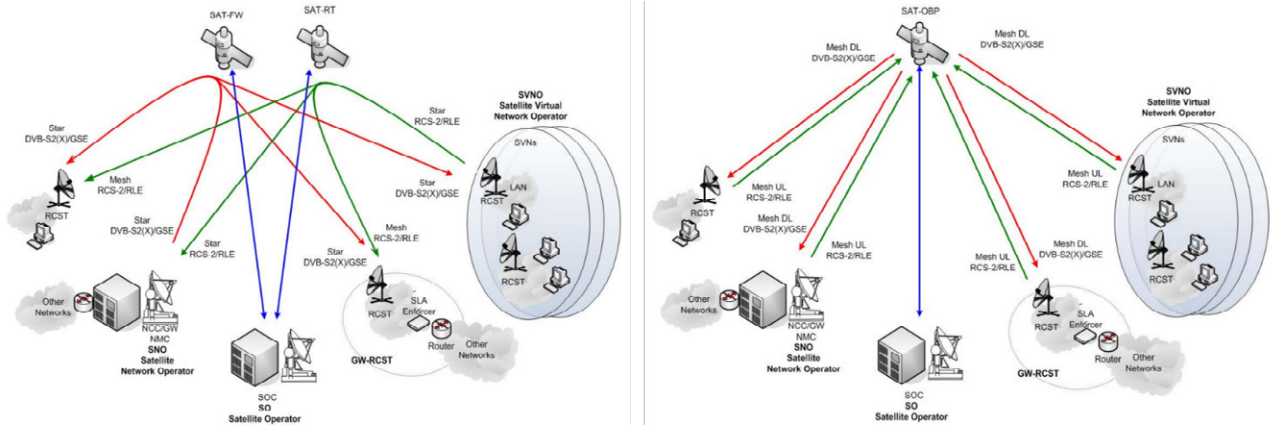


그림 2. Transparent star satellite network(왼쪽)와 regenerative satellite network implementing mesh topology(오른쪽)

리의 연결 또한 필요하다. 위성망이 transparent star 위성 네트워크를 따르는 경우 두 위성 간의 연결 사이에 피더 또는 게이트웨이의 존재가 필수적이다. 피더 또는 게이트웨이가 지상에 존재하면 그만큼 전파 지연이 발생하기 때문에, 이 경우 NCC와 마찬가지로 피더와 게이트웨이 또한 위성에서 그 역할을 다할 수 있다면 전파 지연 측면에서 큰 이점을 가져올 수 있을 것이다.

위성망이 transparent mesh overlay 위성 네트워크를 따르는 경우에는 transparent star 위성 네트워크와 달리 트래픽이 피더 또는 게이트웨이를 통과할 필요가 없다. 이 경우 위성이 더 이상 transparent가 아니라 ISL과 지상 링크 신호를 구별하고 변복조 처리를 할 수 있는 regenerative 기능을 갖추게 되면 ISL 기술을 활용해 위성끼리의 직접 통신을 가능하게 할 수 있다. ISL 기술은 S 대역이나 Ka 대역과 같이 전통적인 무선주파수 대역을 활용하는 RF(Radio Frequency) ISL과, 레이저나 적외선 대역을 이용해 통신하는 optical ISL이 있다. 그중 optical ISL의 경우 활용할 수 있는 대역폭이 넓고 통신 시 소모하는 전력이 낮아 효율적이라는 장점이 있지만 기존 RF 전자기파 대비 직진성이 강하기 때문에, 송신부와 수신부 간 LoS(Line-of-Sight) 구현을 위한 추적시스템인 PAT(Pointing, Acquisition, Tracking) 시스템에 대한 고려가 중점적으로 필요하다.

### III. 위성 핸드오버

이번 섹션에서는 양방향 네트워크 접속 알고리즘에 더해 핸드오버에 관해 논의하고자 한다. 단말기가 하나의 기지국 영역을 벗어나 다른 기지국 영역으로 이동하는 경우 접속이 더 원활한 네트워크로 접속을 변경해야 하며, 이를 핸드오프(handoff) 또는 핸드오버(handover)라고 한다. 핸드오버를 유발하는 데에

는 다양한 상황과 이유가 있으며, 그림3과 같이 단말기의 이동성 등에 의해 기존에 통신하던 기지국과 단말기 사이의 신호 세기가 일정 수치 아래로 떨어지거나, 원래 통신하던 기지국의 통신량이 과부하 되어 통신하는 기지국을 변경하는 경우가 대표적인 예시이다[9].

지상망을 이용할 때는 기지국이 움직이는 경우를 중점적으로 고려하지 않아 단말기의 기동성만을 고려하면 되지만, 위성망을 활용할 때는 기지국 역할을 하는 위성이 움직인다는 점을 고려해야 한다. 특히 저궤도위성은 700km 고도에서 약 7.5km/s의 매우 빠른 속도로 움직이고[10], 이에 따라 지상에서 하나의 위성에 대한 접속을 유지할 수 있는 시간이 5분까지 짧아지는 등 [11] 위성의 움직임을 고려해야 함을 확실히 알 수 있다. 다행히 위성은 정해진 궤도를 따라 움직이니, 그 움직임을 예측하고 핸드오버를 위해 활용할 수 있을 것이다.

DVB-RCS2 표준은 핸드오버 과정을 탐지(detection)/추천(recommendation), 결정(decision), 실행(execution)의 3가지 과정으로 설명한다. 또한 핸드오버의 탐지/추천 과정이 단말기에서 일어나는지 NCC에서 일어나는지에 따라 각각 분산식 접근법(distributed approach)과 중앙 집중식 접근법(centralized approach)으로 구분한다. 분산식 접근법은 지상 단말기에서 핸드오버가 필요함을 감지해 NCC에 관련 신호를 송신하면, NCC에서 해당 신호를 수신 후 적절한 핸드오버 결정을 응답해주는 방식이다. 반면 중앙 집중식 접근법은 지상 단말기의 핸드오버가 필요한 순간을 NCC에서 탐지한다. 지상 단말기가 핸드오버가 필요하다는 것을 NCC가 판단하면 NCC는 핸드오버 명령 메시지를 단말기에 송신하고, 단말기는 이후 실행될 핸드오버를 위해 해당 정보를 저장해야 한다. 핸드오버 명령 메시지가 전송되는 즉시 단말기는 핸드오버를 진행하며, 단말기가 핸드오버를 진행하는 동안 NCC는 해당 단말

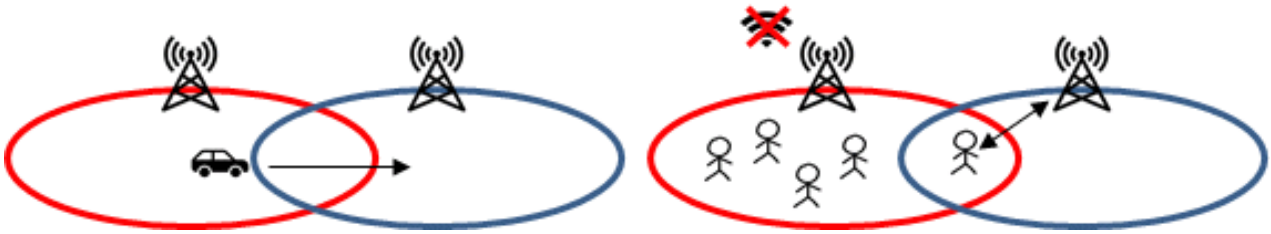


그림 3. 기존 기지국과의 통신 세기가 약해지는 경우 (왼쪽)와 기지국이 과부하 되는 경우 (오른쪽)

기에 정보나 신호를 전달해서는 안 되고 단말기 또한 핸드오버에 성공해 접속 환경을 변경하면 예전 링크로 정보 송신을 해서는 안 된다. 중앙 집중식 접근법을 활용하는 경우 단말기가 다양한 정보를 다운로드하거나 또는 다운로드한 정보를 다뤄야 하며 수신 신호 세기(Received Signal Strength Indicator, RSSI), 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR) 등의 측정 결과를 업로드해야 하므로 분산식 접근법에 비해 메시지 전달량이 늘어날 수 있다는 점을 고려해야 한다. 그럼에도 불구하고 사용자의 임의적인 핸드오버 결정으로 인한 부작용을 줄이고 효율적인 네트워크 트래픽 조절(load balancing)을 위해 4G, 5G 상용 지상망의 경우 중앙 집중식 접근법을 주로 사용하고 있다.

위 분류법에 더해, 단말기가 핸드오버 진행 중에 하나의 기지국에만 연결하는지 여러 기지국에 동시에 연결하는지에 따라 하드 핸드오버(hard handover) 및 소프트 핸드오버(soft handover)로 분류할 수 있고, 핸드오버를 진행할 때 핸드오버 대상이 다른 위성인지 다른 스포트 빔(spot beam)인지에 따라 inter-satellite 및 intra-satellite 핸드오버 (또는 inter-beam 핸드오버)로 분류할 수도 있다. <표 3>은 각각의 핸드오버를 표로 정리한 내용이다.

하드 핸드오버에서는 단말기가 오직 하나의 기지국과 연결된다. Break-before-make라고도 하며, 단말기는 기존의 접속을 종료한 후 핸드오버를 진행, 다른 기지국과 연결하기 때문에 단말기는 통신 서비스가 지원되지 않는 순간이 발생할 수 있다. 단말기가 2개 이상의 신호를 수신할 필요가 없어서 단말기 설계가 간단하다는 장점을 가지며, 단말기와 기지국이 일대일로 연결되기 때문에 기지국 활용에 있어서도 효율적이다. 그러나 핸드오버가 제대로 이뤄지지 않는 경우 통신이 끊어질 수 있다는 단점이 있으며, 접속하는 기지국이 빈번하게 바뀌는 핑퐁 현상(ping-pong phenomenon)이 발생하는 경우 성능 저하가 크게 발생할 수 있다.

소프트 핸드오버에서는 단말기가 2개 이상의 기지국과 연결되어 통신 서비스를 지원받는다. Make-before-break이라고도 하며, 여러 기지국과 연결된 링크 중 하나를 서서히 끊는 방

식으로 핸드오버를 진행한다. 실제로 CDMA 다중접속을 이용할 때 소프트 핸드오버를 함께 활용하거나 핑퐁 현상을 제거할 수 있는 등 통신 안정성을 향상할 수 있지만, 여러 기지국이 하나의 단말기와 연결하기 때문에 기지국 활용에 있어 비효율적이라 볼 수 있다. 참조한 논문[13]에서는 소프트 핸드오버와 유사하게 지상 단말기가 여러 기지국과 연결되지만, 오직 하나의 기지국이 데이터를 통신하는 신호 다양성 정책(signaling-diversity scheme)을 소개한다. 이 정책은 단말기와 연결된 모든 기지국이 동일한 데이터를 송수신하는 소프트 핸드오버보다 기지국 활용이 효율적인 것이며, 핸드오버 도중 통신이 끊어질 수 있고 핑퐁 현상을 해결하기 힘든 하드 핸드오버보다 통신 안정성이 높을 것이다. 따라서 앞에서 설명한 지상 단말기의 위성 양방향 네트워크 접속 알고리즘에 신호 다양성 정책을 반영하는 것을 제안할 수 있다. 단말기와 연결된 여러 위성 중 데이터를 통신하는 위성을 제외한 나머지 위성은 NIT, RMT와 같은 네트워크 접속을 위한 기본 정보만을 계속해 주고받으면 이후 핸드오버가 진행될 때 해당 정보를 활용해 하드 핸드오버보다 더 빠른 핸드오버를 진행할 수 있을 것이다. 또한 여러 위성 중 하나의 위성만 데이터 통신에 이용되기 때문에 일반적인 소프트 핸드오버에 비해 위성 자원의 활용 또한 효율적이라 할 수 있다.

Intra-satellite 및 Inter-satellite 핸드오버에 대해서도 하드 핸드오버보다 소프트 핸드오버를 사용하는 것을 주장할 수 있다. 다수의 고정 스포트 빔을 활용해 통신 지역을 커버하는 경우 스

표 3. 핸드오버의 분류법 및 각 핸드오버의 특징

분류	분산식 접근법	중앙 집중식 접근법
특징	단말기의 핸드오버 탐지/추천을 단말기에서 확인	단말기의 핸드오버 탐지/추천을 NCC에서 확인
분류	하드 핸드오버	소프트 핸드오버
특징	오직 하나의 기지국과 연결	두 개 이상의 기지국과 연결
분류	Intra-satellite(또는 inter-beam) 핸드오버	Inter-satellite 핸드오버
특징	같은 위성 내의 다른 스포트 빔으로 핸드오버	다른 위성으로 핸드오버

뜻 빔이 겹치는 지역이 발생하게 되며, 이 지역에 있는 지상 단말기는 비교적 핑퐁 현상을 겪기 쉬워진다. 또한 단말기가 빠른 속도로 스폿 빔 밖으로 이동하는 경우 빔이 겹치는 지역이 좁으면 intra-satellite 핸드오버가 완료되기 전에 단말기가 원래 통신을 지원하던 스폿 빔에서부터 벗어나게 될 수가 있다. 따라서 intra-satellite 핸드오버 정책으로는 소프트 핸드오버를 제안하되, 단말기가 언제나 스폿 빔이 겹치는 지역에 있는 것이 아니기 때문에 단말기가 항상 2개 이상의 빔과 연결하는 신호 다양성 정책은 활용할 수 없을 것이다. Inter-satellite 핸드오버의 경우에는 단말기가 2개 이상의 위성과 접속 링크를 유지할 수 있을 것이기 때문에 일반적인 소프트 핸드오버보다는 신호 다양성 정책을 통해 핸드오버 성능에 이점을 가져오는 것이 좋을 것이다.

ISL을 활용하는 저궤도 군집위성망의 경우, inter-satellite 핸드오버로 인해 접속 위성이 바뀌게 되면 전체적인 라우팅 경로도 바뀌는 경우가 많은 것으로 판단된다. 핸드오버가 필요해지고 이를 진행하는 시간 동안 위성망 토폴로지가 바뀔 수 있기 때문이다. 접속 위성만 바뀌는 채로 라우팅 경로를 유지하면 새로운 접속 위성까지의 ISL 거리가 늘어나거나 ISL 용량이 충분하지 못할 수 있고, 또는 다른 궤도에 있는 위성과의 ISL을 지원해야 하는 문제가 발생한다[14]. 따라서 장거리 통신의 경우 핸드오버 결정은 라우팅 경로 결정 문제와 함께 고려해야 최적의 답을 도출할 수 있을 것이며, 이는 향후 중요한 연구 분야 중 하나라 할 수 있다.

## IV. 결론

본고에서는 DVB-RCS2 표준 기반 지상 단말의 위성 초기 접속과 핸드오버 기술을 알아보았다. 위성의 경우 위성-지상간 전파 지연 시간이 길기 때문에 초기 위성 접속 및 핸드오버에서의 실패율과 불필요한 절차를 최소화하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 저궤도 위성망의 경우 위성 토폴로지가 빠른 속도로 변화하기 때문에 사용자 중단간 경로를 안정적으로 확보하기 위해서는 초기 위성 접속 및 핸드오버가 상위 계층 알고리즘에 어떤 영향을 미치는지 제대로 파악하고 이에 맞추어 교차계층 최적화 기법을 적용하는 것이 필수적이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2023년 대한민국 과학기술 정보통신부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-

2021R1A2C1007729)

## 참고 문헌

- [1] Maral, Gerard, Michel Bousquet, and Zhili Sun. Satellite communications systems: systems, techniques and technology. John Wiley & Sons, 2020.
- [2] Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 2: Lower Layers for Satellite standard.
- [3] 최병곤, et al. "위성 MF-TDMA 시스템을 위한 효율적인 자원할당 기법." 한국위성정보통신학회논문지 10.4 (2015): 32-38.
- [4] Kim, Joonwoo, et al., "Space Mobile Networks: Satellite as Core and Access Networks for B5G." IEEE Communications Magazine 60.4 (2022): 58-64.
- [5] Kim, Taeyeoun, Jeongho Kwak, and Jihwan P. Choi. "Satellite Edge Computing Architecture and Network Slice Scheduling for IoT Support." IEEE Internet of Things Journal (2021).
- [6] 한국정보통신기술협회(TTA), 정보통신용어사전(<http://terms.tta.or.kr>), 2022.11.25.
- [7] An, Kang, et al. "On the performance of cache-enabled hybrid satellite-terrestrial relay networks." IEEE Wireless Communications Letters 8.5 (2019): 1506-1509.
- [8] ETSI TS 101 545-1: "Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 1: Overview and System Level specification"
- [9] Kurose, James, and Keith Ross. "Computer Networking: A Top Down Approach. 7: e upplagan." (2016).
- [10] 인공위성의 궤도와 속도. 한국항공우주연구원. [https://www.kari.re.kr/prog/stmaplace/view.do?stmaplace\\_gubun=3&stmaplace\\_no=28&mno=sub07\\_02\\_03#](https://www.kari.re.kr/prog/stmaplace/view.do?stmaplace_gubun=3&stmaplace_no=28&mno=sub07_02_03#)
- [11] Papapetrou, Evangelos, et al. "Satellite handover techniques for LEO networks." International Journal of Satellite Communications and Networking 22.2 (2004): 231-245.
- [12] Miao, Guowang, et al. Fundamentals of mobile data

networks. Cambridge University Press, 2016.

- [13] Park, Soohyun, and Joongheon Kim. "Trends in LEO satellite handover algorithms." 2021 Twelfth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN). IEEE, 2021.
- [14] Wood, Lloyd. "Satellite constellation networks." Internetworking and Computing over Satellite Networks. Springer, Boston, MA, 2003. 13-34.

약 력



장기원

2020년 한국과학기술원 공학사  
 2020년~2021년 LG전자 응축식Dryer개발Project 연구원  
 2023년 한국과학기술원 공학석사  
 관심분야: 위성/무선통신, 채널 코딩, FPGA



정태진

1996년 송실대학교 공학사  
 1994년 송실대학교 공학석사  
 2001년 송실대학교 공학박사  
 2001년~2005년 한국항공우주산업(주) 과장  
 2005년~현재 한국과학기술원 인공위성연구소 책임연구원  
 관심분야: 위성 임무 설계/분석, 위성 궤도 설계/분석



최지환

1998년 서울대학교 공학사  
 2000년 MIT EECS 공학석사  
 2006년 MIT EECS 공학박사  
 2006년~2012년 미국 Marvell Semiconductor Inc.,  
 Principal Systems Engineer  
 2013년~2021년 대구경북과학기술원 정보통신융합전공  
 조교수/부교수  
 2021년~현재 한국과학기술원 항공우주공학과 부교수  
 2019년~현재 IEEE Transactions on Aerospace and  
 Electronic Systems, Associate Editor  
 관심분야: 위성/무선통신, 머신러닝/딥러닝 응용

# 광통신은 우주에서도 이어진다

백기욱, 윤효상  
한국과학기술원

## 요약

광통신은 현재 인터넷 망을 구축하는 데 사용되는 초고속 통신 기술이다. 현재 전파 통신을 기반으로 하는 위성 통신의 통신 속도를 끌어올리기 위해서 우주 광통신, 레이저를 이용한 통신 기술이 연구되고 있다. 위성이 레이저 통신 링크를 구축하기 위해선 레이저를 수신 대상에게 정확히 보내는 작업이 선행되어야 하며, 이는 레이저 통신 기술의 중요한 문제이다. 본 고에서는 우주에서 위성 통신 기술에 적용하기 위해 연구되고 있는 우주 광통신 기술과 위성의 레이저 조향 메커니즘, 그리고 산업 분야의 동향을 통해 레이저 통신 기술의 현주소와 실제 시스템에 적용된 레이저 지향 제어에 대해 분석해본다.

## I. 서론

인공위성은 로봇 기술의 결정체다. 대중 매체나 영화 등의 창작물에서 그려지는 인공위성은 국경도 없이 우주를 마음대로 뛰어들며 목표물을 탐지하고 급기야는 물자 보급에 공격까지도 할 수 있는 유능한 부하이기 때문이다. 모두 공상일 뿐일까? 먼 미래에는 가능할 수도 있다고 본다. 다만 발전시켜야 할 기반 기술들이 너무나도 많다. 그 중 위성 통신 기술은 예의 행위들을 포함하여 모든 위성 서비스의 근간이 되는 핵심 기술이다. 지금 위성이 사용하는 전파 통신 기술은 반도체 산업의 발전에 따라 트랜시버의 성능이 좋아지긴 했지만 통신 속도를 높이기엔 물리적 한계가 존재한다. 이러한 위성 통신을 한 단계 도약시키기 위하여 도입한 것이 레이저 통신이라 불리는 위성 광통신 기술이다.

레이저 통신? 레이저는 우리에게서는 포인터는 물론이고 레이저 커터링, 레이저 의료기 등 실물에 관계된 용도로 주로 마주치기 때문에 통신이라는 말을 붙이는 것이 다소 어색하지만, 초고속 인터넷용 광통신망의 무선 버전이라고 생각하면 어렵지 않게 그 의미를 이해할 수 있다. 통신하는 두 터미널 사이에 놓인 긴 광섬유가 사라졌을 뿐이다. 트랜시버는 그대로 사용하는 등 통신

과 관련된 하드웨어 차이도 거의 없다. 다만 필요한 레이저의 광출력이 와트급으로 높은 편이어서 추가 증폭기나 추가 변조기가 적용된다[2]. 높은 이득을 위해 어븀 첨가 광증폭기(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)를 사용하게 되면서 해당 소자의 가용 파장 대역인 1550 nm 근적외선 대역이 우주 레이저 통신에 사용되는 표준 파장 대역이 되기도 했다[3]. 이 밖에 유의미한 차이점으로는 광섬유와 레이저 간의 채널 전환이 쉽지 않다는 점이 있다. 광을 송신할 때 다이오드에서 생성되어 광섬유를 거쳐 시준 렌즈를 통과해 광선으로 쏘지만, 광을 수신할 때 레이저를 시준 렌즈로 받아 광섬유로 입사시키는 것은 구조적으로 난도가 높아서 수신 시엔 광섬유를 사용하지 않고 감광다이오드에 직접 레이저를 쏘이는 방법이 선호된다.

우주 레이저 통신 기술은 아폴로 11호가 달로 향하던 1960년대부터 연구되던 기술이다[4]. 60년대는 미국에서 레이저 기술이 가장 빠르게 발전하며 각광받던 시기였고, 레이저를 우주에 올릴 수 있도록 거대하고 강력한 통신 탑재체를 제작하기 위한 기술 연구가 주로 이루어졌다. 천문학적인 자본이 필요하였으므로 미국의 정부, 군, 항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration) 등 기관이 주도하여 기술이 연구되다가 8, 90년대가 되어서 유럽과 일본 등의 국가, 미국의 JPL(Jet Propulsion Laboratory)과 MITLL(Massachusetts Institute of Technology Lincoln Laboratory) 등의 연구소, 맥도넬 더글라스(McDonnell Douglas) 등의 회사처럼 다양한 기



그림 1. 영화 '스파이더맨-파프룸홈'에 등장하는 Stark Industries의 다목적 위성[1]

업들이 참여하기 시작하였다[5].

이때부터 레이저 통신 기술의 최우선 목표는 경제성이 되었다고 할 수 있다. 빠른 통신 속도는 물론이고 더 적은 전력을 사용하도록, 더 작고 가볍게 만들어 위성 개발 비용을 낮추는 방식으로 나아간 것이다. 전파에 비해 광파는 수천 배 높은 주파수를 가진 전자파로써 통신 대역폭을 확보할 수 있고, 레이저는 거의 퍼지지 않는 직진성을 가지고 있어 작은 크기에도 높은 안테나 게인을 얻을 수 있다. 하지만 이러한 강점의 반면에는 신호 도달의 문제가 존재한다. 통신하는 시간 동안 레이저로 대상을 놓치지 않고 맞춰야 하기 때문이다. 레이저 통신기의 성능은 레이저 포인팅 정확도에 따라 결정된다고 말해도 과언이 아닐 정도로 레이저의 조향 문제는 난감한 분야이다.

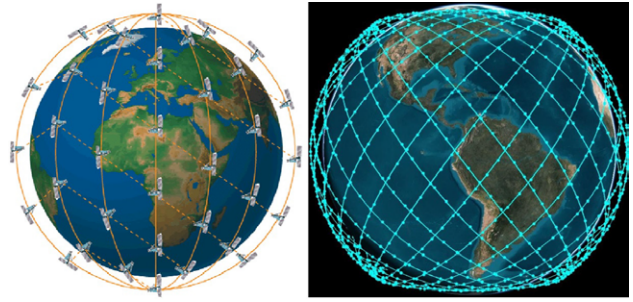
본 고에서는 위성에서의 레이저 통신 기술과, 기술적 큰 쏠지인 레이저의 방향을 제어하는 과정 (이하 '레이저 지향 제어'로 통일)에 대하여 다룰 것이며, 세계의 레이저 통신 기술 수준을 토대로 우리가 나아가야 할 방향을 보려 한다.

## II. 위성 레이저 통신의 특징

### 1. 진공채널

레이저라는 수단은 우주 통신 시스템에 적용하기 안성맞춤이다. 신호의 입장에서 신호가 전달되는 도중 굴절을 변화나 차단이 생기지 않는 것이 이상적이므로 아무것도 없는 자유공간 (free-space)이 펼쳐져 있는 우주는 매우 적합한 공간이다. 위성의 입장에서 먼 거리로 신호를 보내야 하므로 레이저로 신호를 최대한 좁은 범위에 집중시켜서 보내서 전력을 절약할 수 있다. 최근 급격하게 증가하고 있는 위성 네트워크 산업에서 레이저 통신 링크의 이야기가 빠지지 않고 등장하는 것도 그런 이유이다. <그림 2>는 Iridium과 Starlink 사업에서 위성 네트워크 망을 구축하기 위해 위성을 기지국처럼 운용하는 구상도이다. 그림으로는 잘 표현되지 않지만 배치된 위성과 위성 사이의 거리는 작게 잡아도 1,000 km 이상으로, 전파를 이용할 경우 빔폭을 1°로 생각한다면 수신 위성체 주위 직경 17 km의 영역에 산란될 것이지만, 빔폭이 0.01°인 레이저를 이용한다면 산란 영역은 170 m에 불과하다. 그러한 손실을 줄인 만큼 위성 소모 전력을 아낄 수 있게 된다.

한 편, 위성 네트워크가 아닌 지금까지의 위성 통신은 위성끼리 통신하며 정보를 교류하는 것보다는 대부분 위성과 지상국 간의 1:1 통신을 의미했고, 이러한 시스템은 계속해서 필요하다. 하지만 위성과 지상 간의 통신망을 레이저 통신을 구축하려 한



Global Optical Satcom Terminals Market Size, 2028 (USD Billion)

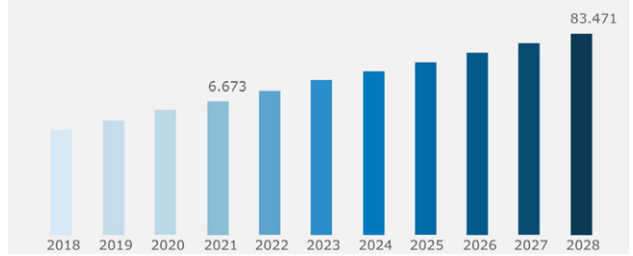


그림 2. (좌상) Iridium 통신 위성 Constellation[6], (우상) Starlink 통신 위성 Constellation[7] (하) 레이저 통신 네트워크 시장 전망[8]

다면 대기권이라는 큰 변수가 존재한다. 특히, 레이저로는 구름을 뚫고 통신할 수 없다는 치명적인 한계가 존재하여 레이저로는 위성-지상 통신을 안정적으로 구축하기 어렵다는 점은 아쉬운 점으로 남아있다.

### 2. 레이저 지향

위성은 디털 것 없는 우주 공간을 끊임없이 움직이는 물체이다. 그러다 보니 위성이 레이저로 신호를 보내기 위해선 그 대상을 찾는 단계부터 시작해야 한다. 우리말로는 빔 지향 획득 및 추적 과정이라 불리는 PAT (Pointing, Acquisition, and Tracking) 과정이다. PAT는 대상의 방향을 바라보는 Pointing 단계, 대상이 어디에 있는지 발견하는 Acquisition 단계, 통신이 이뤄지는 동안 레이저를 맞추는 Tracking 단계를 의미한다. 어느 한 단계라도 실패할 경우 통신이 성립하지 않기 때문에, PAT 과정은 통신기 운용 기간 전체를 통틀어 항상 성공해야만 한다. PAT가 어려운 이유는 통신 위성 사이의 거리가 멀고 비행 속도가 빠른 영향도 있지만 보다 직접적인 이유는 위성이 흔들리기 때문이다. 이를 설명하기 위해선 인공위성의 생태에 대해 짚고 넘어가야 한다. 위성은 어떠한 임무든 수행할 때 반드시 자세를 제어한다. 자세제어란 인공위성을 회전시켜서 원하는 방향으로 놓는 작업인데, 임무를 수행하려는 위성은 관심 있는 방향을 보아야 하므로 반드시 자세제어가 수행된다. 이때 당연히도, 센서가 측정하는 자세와 각속도 정보 등에 오차가 있다면 명령 자세를 완벽하게 달성할 수 없다. 정밀한 제어를 위해 일반적으로 칼만 필터 등 복잡한 제어 기법이 사용되지만 약간의 노이



즈가 항상 존재하며[9], 이 뿐 아니라, 섭동 (perturbation)이라고 불리는 우주 환경 상의 특수한 요인들로 인해 위성에 끊임없이 외력이 작용한다[10]. 이러한 요인들로 인한 자세 제어 오차는  $0.1^\circ$ 를 넘지 않는 육안으로는 느껴지지 않는 작은 오차지만, 이조차도 레이저가 빛나가기에 충분하다.

### III. 빔 지향 획득 및 추적

인공위성이 레이저 지향 제어하는 방식에는 규모 별로 나눌 수 있다. 규모가 큰 것부터 나열한다면 위성 자세제어로 지향하는 방법, 통신기를 2축 감벌 (gimbal)에 장착하여 감벌을 제어하는 방법, 그리고 위성 내부의 레이저 경로에 거울 (FSM: Fast Steering Mirror)을 두고, 거울을 움직여 반사각을 바꿔주는 광학 제어 방법이다. 이 방식들뿐 아니라 다른 구동방식을 채택한 경우도 더러 있지만 가장 일반적으로 연구되어왔던 예시들이다. 앞서 위성 자세제어는 레이저의 PAT를 완전히 수행할 수 없다는 소개가 있었다. 그래서 PAT 과정은 복수의 제어 방식을 도입해야만 하는데, 대개 자세제어+감벌제어 혹은 자세제어+광학제어의 2단계로 구성되며 각 단계를 거친 지향 단계 (Coarse Pointing), 정밀 지향 단계 (Fine Pointing)라 일컫는다. 거친 지향 단계에선 대상의 궤도 위치 정보를 이용해서 그 방향을 바라보는 것을 목적으로 하고, 정밀 지향 단계에선 대상 위성이 발산하는 비컨 (Beacon) 레이저를 직접 추적한다. 비컨 레이저는 신호 레이저와는 별개로 오직 정밀 지향을 돕기 위해 켜는 레이저이다. 설계에 따라 달라지지만, 비컨은 일반적으로 빔폭이 넓어서 자세제어의 흔들림이 있더라도 빛을 계속 포착할 수 있도록 만들어진다. 본 장에서는 상술한 레이저 통신기의 제어 방식에 입각해서 Pointing, Acquisition, Tracking 과정이 어떻게 이루어지는지 알아본다[11].

#### 1. Pointing 과정

PAT 3단계 과정 중 Pointing 과정은 대상의 궤도 위치 정보로 수행하는 거친 지향 과정과 대응한다. 통신하려는 두 인공위성은 각자의, 그리고 서로의 위치를 정확하게 알아야 할 것이다. 우선 인공위성은 지구를 공전하고 있으므로 자신의 위치를 범지구 위성항법시스템 (GNSS: Global Navigation Satellite System)을 이용하여 측정한다. 측정된 위치 데이터는 하루에 몇 번 가능한 지상국과의 교신 때 최신화되어, 지상국은 그 위치와 속도 정보를 바탕으로 궤도를 정의한다. 우주 비행물체의 궤도를 정의할 때 사용하는 개념은 두 줄 요소 집합 (TLE: Two-Line Element)이라고 하는 숫자 데이터이다. 어떤 위성의 TLE를 알

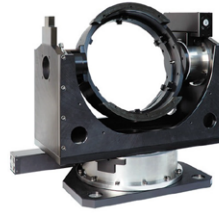


그림 3. 광학 구동 장치 모습. (좌) 고정밀 광학 감벌[12], (우) FSM[13]

고 있으면 시간에 따른 공전 운동의 역학을 계산할 수 있기 때문에, 통신 위성은 지상국과의 교신에서 다른 위성들의 TLE 데이터를 전달받아 보유한다. 이로써 통신 대상 위성의 위치를 계산할 수 있는 것이다.

#### 2. Acquisition 과정

Acquisition 과정은 정밀 지향 시스템이 대상 위성이 보내오는 비컨 신호를 찾는 과정이다. 앞선 Pointing 과정에 대한 설명에서, TLE로 정의된 궤도 정보로부터 시간에 대한 위성의 위치를 계산할 수 있다고 하였다. 하지만 위성의 비행에 영향을 미치는 요소는 너무 많아서 TLE 정보는 시간이 지날수록 점점 부정확해진다. 지상국 교신은 반드시 하루에 한 번은 한다고 가정했을 때도 위치 오차는 크기는 5 km까지 발생할 수 있다. 오차가 반드시 있으므로 pointing 초기에 대상이 보내주는 비컨을 바로 발견하거나 또한 대상 쪽으로 보내는 비컨이 잘 도달할 것이라 기대하기 어렵다. 그러므로 양쪽의 비컨을 잇기 위해 주위를 둘러보는 과정이 필요하다. 이 과정을 스캔이라 하는데, 스캔 방식에도 몇 가지 방식이 존재하지만 초기 포인팅 지점으로부터 나선형으로 돌아나가며 스캔하는 spiral scan 방식이 가장 안정적인 방식으로 알려져 있다. Acquisition은 흡사 사막에서 바늘을 찾는 행위에 비유할 수 있는데, 가능한 한 신속하게 성공시켜야 하므로 통신 성능 (전송량 혹은 대기시간 (latency) 등의 요소)에 직접적으로 연관된 중요한 연구 주제이다.

#### 3. Tracking 과정

비컨 레이저를 획득한 순간부터 통신기는 계속 그 빛을 향해 레이저를 쏜다. 통신 링크를 유지하는 단계인 것이다. 이전까지는 방향의 정보에 대한 불확실성을 제어하는 것이었지만 지금은 물리적인 흔들림을 제어하는 단계이다. 위성의 흔들림으로 생긴 레이저의 방향 오차는 흔히 azi / alt 방향 혹은 수직 / 수평 방향이라고 부르는 2차원 각도로 표현한다. Tracking을 수행하는 정밀 지향 단계의 구동 장치로는 앞서 언급한 감벌 혹은 FSM이 있으며, 두 장치는 형태만 다를 뿐 방식 자체는 azi / alt 방향각을

부여하는 동일한 원리를 갖고 있으므로 직관적으로 이해할 수 있다. Tracking 과정에서 가장 중요한 장치는 레이저 입사광의 방향을 측정하는 센서로, 사분면 광다이오드 (QPD: Quadrant PhotoDiode) 라고 불린다. QPD 센서는 광다이오드 4개를 좌표평면처럼 배치한 센서로, 각 다이오드의 출력 값을 받아 단순한 사칙연산으로 빛이 어느 방향으로 쏘이고 있는지 계산하여 입사광의 방향을 측정하는 센서이다. 같은 역할을 할 수 있는 다른 종류의 센서도 존재하지만 QPD가 크기가 작고 속도가 빨라 소형 레이저 통신기를 개발할 때 꼭 필요한 센서이다. QPD는 구조와 원리가 매우 단순해서 사용하기엔 쉽지만 오히려 사용 방식에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 레이저 통신기는 레이저의 방향이 대상을 향하게 하기 위해서 QPD와 FSM의 상호작용으로 오차를 줄이는 Tracking 제어를 하는 것이다. 광학 제어 시스템은 제어해야 하는 변수와 제어 할 수 있는 변수가  $azi / alt$ 로 같으며, 인공위성은 고속 계산을 수행하기 어려운 조건을 가지고 있으므로 제어기법은 복잡하지 않다는 특징이 있다.

## IV. 국외 연구 동향

레이저 통신 기술은 세계적으로는 본 고에서 설명하는 우주 레이저 통신뿐 아니라 수중, 철도, 항공 등의 분야에서도 연구되고 있는 기술이다[14]. 하지만 국내에선 한동안 주목받지 못하다가 2020년대에 들어서서 우주 분야에서의 레이저 통신 연구가 민·관·군의 모든 영역에서 연구되고 있다. 우리에게겐 신기술인 만큼 현재는 시행착오의 시기이며 아직까진 레이저 통신에 관련한 가

시적인 성과는 없다. 그래서 본 장에서는 레이저 통신 링크를 구축한 해외의 연구 동향을 통해 우주 레이저 통신 임무와 통신 탑재체에 대해 알아보며, 레이저 지향 시스템의 성능에 초점을 맞추어 우리가 달성해야 할 목표에 대해 짚어보도록 한다.

### 1. LLCD

NASA는 레이저 통신 기술 개발을 위한 다수의 연구 개발을 수행하고 있다[15]. 달 레이저 통신 시연 (LLCD: Lunar Laser Communication Demonstration) 프로젝트는 2013년에 수행된 지구에서 평균 38만 km 가량 떨어진 달 궤도의 궤도선 (LADEE: Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer)과 지구 간의 통신 링크 프로젝트이다. 달-지구 통신은 622 Mbps, 지구-달 통신은 20 Mbps로 성공적으로 시연되었다[16]. 임무에서 사용된 레이저 통신 탑재체 (LLST: Lunar Laser-comm Space Terminal)는 그림 4에 표현된 구조로 MITLL에서 제작하였고, 4인치 구경의 안테나를 사용하며 질량은 30 kg 가량으로 나타난다[17]. 통신기의 크기 대비 통신 속도는 지구와 달 사이의 거리를 감안할 때 매우 고무적인 수치이다. 레이저도 당연히 회절에 의한 산란으로 거리의 제곱에 반비례하여 세기가 줄어들기 때문이다. 상세한 설계 내용을 공개하지 않았지만, LLST는 자세제어, 김벌제어에 더하여 광학계 내부에 송/수신단 광섬유를 직접 움직이는 위치 안정화 제어기 (Stabilization Stage)를 사용하여 고주파 진동을 제거하였으며, 이로 인한 레이저 지향 오차는 0.5 arcsec ( $2.5 \mu\text{rad}$ )를 넘지 않는 것으로 분석되었다[18]. 더불어 지구의 광학 지상국이 매우 거대한 크기의 구경을 가지고 있어 고속 통신을 달성한 것으로 보인다. 레이저 통신 기술이 지구 궤도 상에서 상용화가 된 이후엔 심우주 통신 체계의 개발로 이어지게 될 것이므로, 행성 간 레이저 통신 기술에 대한 가능성을 보였으며 중요 시스템 제원을 밝혔다는 의미가 있다.

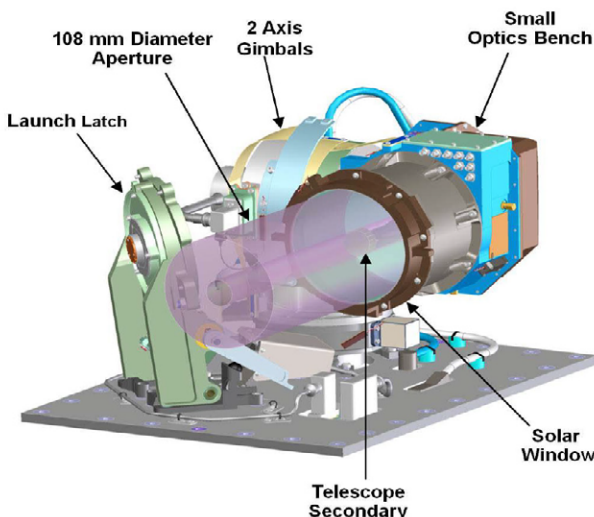


그림 4. LLCD 통신기의 구조를 나타낸 3D 입체 모델링[18]

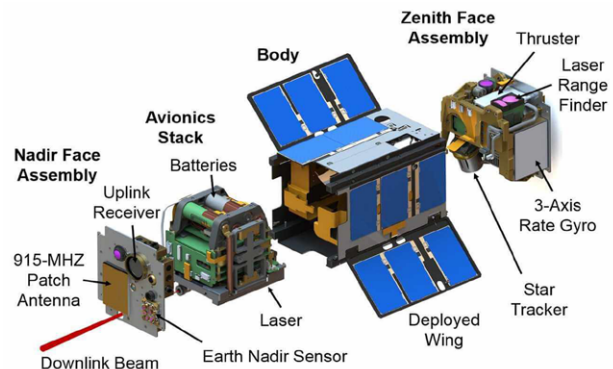


그림 5. OCSD 위성 전개도와 구성 부품도[20]

## 2. OCSD

광통신 및 센서 시연 (OCSD: Optical Communications and Sensor Demonstration) 임무는 2015년부터 3년간 NASA가 수행한 초소형 위성 레이저 통신 임무이다. 발사는 두 번에 걸쳐 이루어졌다. 첫 번째 임무에서는 개선 사항 도출을 목표로 별 추적기 (Star Tracker Sensor), 카메라, GPS (Global Positioning System) 등 자세제어 하위 시스템을 검증하였고 두 번째 임무에서 두 개의 큐브위성을 활용하여 위성-지상 간 레이저 통신을 시연했다[15]. 레이저의 광출력은 2~4 W로, 위성-지상 통신 링크 200 Mbps를 달성했다[19]. 특징적인 점은, 발사된 위성은 소형 경량 설계를 위해 레이저 통신 탑재체에 별다른 지향 제어 시스템이 구축되어 있지 않다는 것이다. 즉 레이저 빔 지향은 자세제어만으로 이루어졌다. 이 때문에 첫 번째 발사에서 자세제어 시스템이 검증될 필요가 있었던 것으로 보인다. 첫 번째 위성의 자세제어 실험 결과 분석에 따르면 0.01° 미만으로 오차가 유지되었으나 가장 최악의 경우 0.024°까지 벌어질 수 있었다고 하며, 그러므로 마진을 두어 송신 레이저의 빔폭을 0.06°로 설계하였다[20]. 지상에서 통신을 수행한 지상국은 40 cm 급 광학 구경을 가지고 있는 반사망원경으로, OCSD 임무는 지구 저궤도의 위성과의 지상 사이의 고속 통신 링크가 구축될 수 있는 가장 최소의 규모라 해도 과언이 아니다.

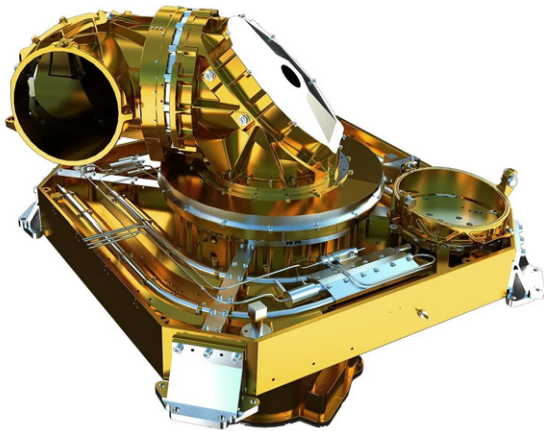


그림 6. NFIRE 위성에 탑재된 LCT의 실제 모습 사진[21]

## 3. NFIRE

NFIRE (Near Field InfraRed Experiment)는 미국 국방부에서 개발한 인공위성으로, 본 임무는 대공감시를 목적으로 하였으나 계획이 일부 수정되며 독일 TESAT社の 레이저 통신 장치 (LCT: Laser Communication Terminal)를 탑재하게 되었다. NFIRE 위성은 2008년 독일항공우주국 (DLR: Deutsches

Zentrum für Luft- und Raumfahrt)의 지구 관측 위성인 TerraSAR-X 위성과 함께 5.625 Gbps의 위성 간 레이저 링크를 시연하는 임무를 수행했다[22]. 링크의 최대 경로 길이는 4,900 km인 것으로 분석되었다. 탑재되었던 LCT는 데모 버전으로, 5 인치 광학 구경, 32 kg 중량, 광출력은 0.7 W의 설계치를 가지는 장치이며, 2023년 현재 TESAT社の LCT 135로 제품화된 통신 장치이다. 레이저 지향의 측면에서 NFIRE 임무는 위성 자세제어, 감별제어, 광학제어를 모두 수행하며, 비컨을 사용하지 않는 방식 (beacon-less design)으로 설계되었다. 비컨을 사용하지 않는다면 신호광만으로 빔 획득 과정을 수행하게 되는데, 전력 소모를 줄일 수 있지만 빔 획득이 더욱 어려워진다는 단점이 있다. NFIRE의 LCT는 통신 장치 크기에 비례하여 시야 (FOV: Field of View)가 넓은 덕에 beacon-less design이 가능했던 것으로 보인다. 지향 정확도의 측면에선 평균 29 arcsec (141  $\mu$ rad)를 달성하였는데, 구조물이 크고 복잡하기 때문에 연구진들은 센서 오정렬, 자세 제어 구동 모터 발생 지터, 연결부 노후화에 따른 마찰 등 모델링이 어려운 다양한 원인의 미소 진동 요소를 제거하는 것에 초점을 맞춰 지향 제어 체계를 구축했다는 점이 특기할 만한 요소이다[23].

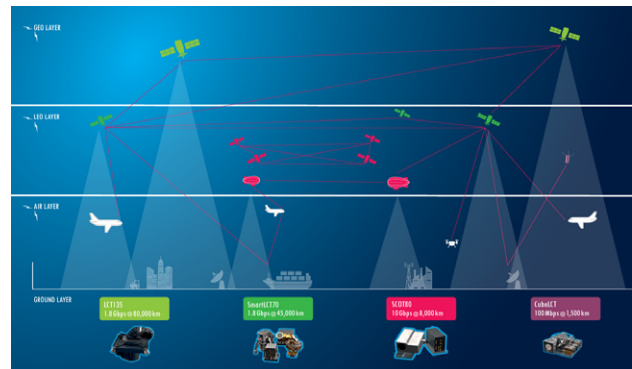


그림 7. TESAT 레이저 통신기 제품별 커버리지[24]

## 4. TESAT

앞선 NFIRE 임무에서 언급된 TESAT社は 기술 실증을 통해 우주 레이저 통신 장치 개발의 선두주자로 발돋움하였다. 레이저 통신과 관련된 주요 기업으로는 TESAT 뿐 아니라 Mynaric AG, Thales Alenia Space, Bridgecomm., MOSTCOM 등의 기업들이 존재하나 업계를 선도하고 있는 TESAT의 제품군을 통해 해외 산업계에서의 레이저 통신 기술을 조명해보도록 한다. 그림 7에서 볼 수 있듯, TESAT이 제공하고 있는 통신 시스템 [24]은 지구 궤도의 거의 모든 위성에 대한 레이저 링크를 설계할 수 있다. 지구를 공전하는 위성 궤도는 고도 2,000 km까지의

저궤도 (LEO: Low Earth Orbit), 고도 35,786 km의 지구 동기 궤도 (GEO: GEosynchronous Orbit), 그 사이의 중궤도 (MEO: Middle Earth Orbit)로 나뉘는데, 그러므로 단순하게 숫자만으로 계산한다면 지구 둘레에 있는 위성 사이 거리는 최대 70,000 km까지 벌어질 수 있고 각 위성 궤도마다 적합한 솔루션이 따로 존재할 것이다. Cube LCT는 360 g에 불과한 중량으로 100 Mbps의 통신 속도를 제공하여, 큐브위성 급 위성에 탑재될 수 있는 통신 장치이다. TOSIRIS는 소형 위성에 적합한 통신 장치로, 하드웨어 정보를 그다지 제공하고 있지 않지만 광학 안테나 앞 쪽에 김벌 프리즘을 두어 탑재 방향의 반구 전체를 통신 가능 영역 (FOR: Field of Regard)으로 만들었다. SCOT80는 위성 네트워크 구축을 목표 삼아 만들어진 것으로 보이는 위성 간 고속 통신 모듈로, 10 Gbps의 양방향 통신을 지원하는 것이 특징이다. 마지막으로 Smart LCT와 LCT 135는 고도 35,786 km의 지구 동기 궤도 위성을 위한 통신 장치로, 1.8 Gbps의 통신속도를 최대 80,000 km까지 지원하고 있다.

## 5. NICT & JAXA

일본의 우주 산업 개발은 우주항공연구개발기구(JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency)의 주도로 이루어지고 있으며 통신 분야는 정보통신연구기구 (NICT: National Institute of Information and Communications Technology)가 크게 기여하고 있다. JAXA에서 진행한 대표적인 임무로는 2005년 궤도 간 광학 통신 실증 위성 (OICETS: Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite)과 유럽 우주국 (ESA: European Space Agency)에서 개발한 고등 릴레이 기술 위성 (ARTEMIS: Advanced Relay Technology Mission Satellite) 간의 통신 링크 임무가 있었고[25], NICT는 1994년 공학 실증 위성 6호 (ETS-VI: Engineering Test Satellite VI)로 지상국과 레이저 통신 실험을 진행하였다[26]. NICT는 2010년대 이후 레이저 통신 장치 개발을 꾸준히 해오고 있다. 2014년 개발된 소형 광학 송수신 장치 (SOTA: Small Optical Transponder)는 10 Mbps의 통신 속도를 가지며, 6 kg의 질량과 저전력 설계로 LEO 위성과 지상 통신을 지원할 수 있게끔 개발되어 우주 광학 통신 연구 위성 (SOCRATES: Space Optical Communication Research Advanced Technology Satellite)으로 실증되었다[27]. 이후 2019년 첨단 레이저 기기 고속 통신 (HICALI: High-speed Communication with Advanced Laser Instrument) 장치를 개발하여 GEO 위성-지상의 10 Gbps 통신 링크를 형성함으로써 NICT는 고속 우주 레이저 통신에 성공하였다[28]. 통신 시스템에 대한 실증을 마친 NICT는 자국의 Tamron社와 협력하여 레이저 빔폭의 동적 제어 능력을

가진 레이저 통신 시스템에 관해 연구하고 있는 것으로 보인다. NICT가 주장한 빔폭 제어 장치의 설계 범위는 90 - 6,250  $\mu$ rad으로, 송신 레이저의 빔폭을 수백 배 단위로 자유롭게 조절할 수 있다면 Beacon-less 설계는 물론이고 Acquisition, Tracking 과정에서의 성공률을 크게 높일 수 있어 현재의 기술적 한계를 넘을 수 있을 것으로 기대된다[29].

## V. 결론

본 고에서는 위성 레이저 통신 기술의 가장 중요한 특징 중 하나인 레이저 조향 기술, PAT에 관하여 살펴보았다. 전파 통신의 빔 조향에 비해 레이저는 빔 폭이 수백분의 일 수준이므로 부가적인 제어 기법이 필요하며, 통신 거리가 극도로 멀기 때문에 서로의 위치를 알기 위한 각고의 노력을 기울여야 한다. 특히 Acquisition 과정에서는 시야를 직접 돌리며 대상 위성을 찾는 다소 황당한 과정도 포함되어 있지만, 그런 과정이 필요할 정도로 난해한 과정을 실현했다는 점이 인상적이라 할 수 있다.

레이저 통신기술은 세계적으로는 미국, 독일, 일본이 선도하고 있다. 미국은 NASA의 주도로 초소형 (OCSD), 초장거리 (LLCD) 임무들이 수행되며 레이저 통신기의 양 극단을 선보였다. 소개된 임무들 외에도 연구중인 임무 (ILLUMA-T, O2O 등)이 있지만 공개된 레이저 지향 제어와 성능에 집중하여 검토하기 위해 제외하였다. 독일은 항공우주국 (DLR)과 TESAT이 긴밀하게 연결되어 레이저 통신 기술을 빠르게 발전시키며 제품화까지 성공하였다. 일본은 국가 연구소 (NICT)에서 매우 이른 시기부터 레이저 통신 연구를 수행해와서 기술 성숙도가 높고 선진적인 기술을 연구 중이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2020년 한국연구재단 신진연구자지원사업 (2020R1C1C100512013)의 지원을 받아 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] <https://image-engine.com/case-studies/spider-man-far-from-home>
- [2] Hemmati, Hamid, ed. Near-earth laser

- communications. Vol. 1. CRC press, 2020.
- [3] Optical Communications Physical Layer. CCSDS blue book 141.0-B-1. 2019.
- [4] Lambert, Stephen G., and William Lee Casey. "Laser communications in space." (No Title) (1995).
- [5] Begley, David L. "Free-space laser communications: a historical perspective." The 15th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society. Vol. 2. IEEE, 2002.
- [6] de Jong, Kees, et al. "Precise GNSS positioning in Arctic regions." OTC Arctic Technology Conference. OTC, 2014.
- [7] Chaudhry, Aizaz U., and Halim Yanikomeroglu. "Laser intersatellite links in a starlink constellation: A classification and analysis." IEEE Vehicular Technology Magazine 16.2 (2021): 48-56.
- [8] <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/optical-satcom-terminals-market-101121>
- [9] Markley, F. Landis, and John L. Crassidis. Fundamentals of spacecraft attitude determination and control. Vol. 1286. New York, NY: Springer New York, 2014.
- [10] Fortescue, Peter, Graham Swinerd, and John Stark, eds. Spacecraft systems engineering. John Wiley & Sons, 2011.
- [11] Kaushal, Hemani, V. K. Jain, and Subrat Kar. Free space optical communication. New Delhi: Springer india, 2017.
- [12] <https://www.newport.com/s/motorized-gimbal-mounts>
- [13] <https://www.optotune.com/fast-steering-mirrors>
- [14] LINCOLN LAB, MASSACHUSETTS INST OF TECH LEXINGTON. "MIT Lincoln Laboratory: 2018." (2019).
- [15] 여찬일, 허영순, 박시웅, 김겨식, 강현서. "우주 광통신 기술 동향," 전자통신동향분석, 제38권 제2호, 2023, pp.85-95.
- [16] Robinson, Bryan S., et al. "Overview of the lunar laser communications demonstration." Free-Space Laser Communication Technologies XXIII. Vol. 7923. SPIE, 2011.
- [17] <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=2013-047A-04>
- [18] Burnside, Jamie W., et al. "Design of an inertially stabilized telescope for the LLC." Free-Space Laser Communication Technologies XXIII. Vol. 7923. SPIE, 2011.
- [19] <https://www.nasa.gov>
- [20] Rose, Todd S., et al. "Optical communications downlink from a 1.5 U CubeSat: OCS program." International Conference on Space Optics ICSO 2018. Vol. 11180. SPIE, 2019.
- [21] [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2015/06/Laser\\_communication\\_terminal](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2015/06/Laser_communication_terminal)
- [22] Fields, Renny, et al. "5.625 Gbps bidirectional laser communications measurements between the NFIRE satellite and an optical ground station." 2011 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS). IEEE, 2011.
- [23] Fields, Renny, et al. "NFIRE-to-TerraSAR-X laser communication results: satellite pointing, disturbances, and other attributes consistent with successful performance." Sensors and Systems for Space Applications III. Vol. 7330. SPIE, 2009.
- [24] <https://www.tesat.de/products>
- [25] Jono, Takashi, et al. "Demonstrations of ARTEMIS-OICETS inter-satellite laser communications." 24th AIAA International Communications Satellite Systems Conference. 2006.
- [26] Arimoto, Yoshinori, et al. "Preliminary result on laser communication experiment using Engineering Test Satellite-VI (ETS-VI)." Free-Space Laser Communication Technologies VII. Vol. 2381. SPIE, 1995.
- [27] Kolev, Dimitar R., et al. "Satellite laser communication activities in NICT." 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama). IEEE, 2018.
- [28] Kolev, Dimitar R., and Hiroyuki Tsuji. "High speed optical feeder link communication system onboard ETS-9 using a new screening process for space photonics." 2022 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC). IEEE, 2022.
- [29] Carrasco-Casado, Alberto, et al. "Prototype Development and Validation of a Beam-Divergence Control System for Free-Space Laser Communications." Frontiers in Physics 10 (2022): 878488.

## 약 력



백기욱

2019년 연세대학교 공학사  
2021년 한국과학기술원 공학석사  
2021년~현재 한국과학기술원 공학박사과정  
관심분야: 위성 레이저 통신, 정밀 지향 제어, 레이저 광학 보정



윤효상

2008년 KAIST 항공우주공학과 학사  
2010년 KAIST 항공우주공학과 석사  
2017년 MIT 항공우주공학과 박사  
2008년~2014년 (주)셋트렉아이 전임연구원  
2017년~2019년 Planet Labs Inc. GNC Engineer  
2019년~현재 KAIST 항공우주공학과 조교수  
관심분야: 우주광통신, 우주시스템, 큐브위성, 자세결정 및 제어, On-orbit calibration 등

# 소형 위성 레이저 통신을 위한 CCSDS 표준 기술 동향

노정훈  
충북대학교

## 요약

새로운 우주 시대를 맞아, 연구와 산업계에서 우주 관련 정보통신기술에 큰 관심이 집중되고 있다. 특히 자유 공간 광통신(FSO : Free Space Optical Communication)이라고도 불리는 레이저 기반 우주 통신 분야가 주목받고 있다. FSO 기술은 기존의 무선 주파수(RF : Radio Frequency) 통신과 비교하여 다양한 이점을 제공하며, 우주 환경에서 특히 빠른 데이터 전송 속도, 낮은 전력 소비, 우수한 보안성, 경량화된 하드웨어 등을 강점으로 내세우고 있다. 국제적으로, 다양한 우주 기관들은 Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS)를 통한 협력을 통해 우주 레이저 통신 표준을 수립하려고 노력하고 있다. 이러한 표준은 우주 통신 분야의 발전과 효율성을 높이는데 중요한 역할을 한다. 본고에서는 우주 광통신을 위한 CCSDS 표준의 구조와 현재 진행 상황에 대해 살펴본다. 특히, 소형 위성을 대상으로 한 FSO 통신의 코딩 및 동기화에 대한 규격을 구체적으로 살펴본다.

## I. 서론

현재 우주 분야는 SpaceX의 Starlink, Amazon의 Kuiper, OneWeb, 그리고 DAPA의 Blackjack 프로젝트와 같은 새로

운 우주 시대의 도래로 다양한 활기를 띠고 있다. 이러한 프로젝트들은 작은 규모의 위성들을 통한 신속한 개발과 발사의 가능성을 제시하고 있다. 작은 위성들은 비교적 쉬운 대량 생산도 가능하며 우주 분야에서의 기술 혁신을 뒷받침하고 있다. 우주 정보통신 기술(ICT: Information and Communication Technology)의 연구와 개발 역시 이러한 우주 분야의 진전과 더불어 큰 관심을 끌고 있다. 저궤도 위성 기술은 기존의 정지궤도 위성에 비해 높은 통신 속도와 낮은 지연 시간을 제공하여 향상된 통신 환경을 제공하고 있어 저궤도 위성을 통한 초고속 인터넷 서비스에 대한 관심이 뜨거워지고 있다. 이와 같은 기술 발전은 민간과 국방 분야 모두에서 활발한 연구와 협력을 통해 더욱 가속화될 것으로 기대된다.

특히, 우주 통신 분야에서 주목받는 분야 중 하나는 자유 공간 광통신(FSO : Free Space Optical Communication)이라고도 불리는 레이저를 활용한 광 링크 연구와 개발이다. 레이저 통신 기술은 우주선과 지구 기반 지상국 간의 효과적인 통신을 혁신적으로 변화시킬 수 있는 큰 잠재력을 지니고 있다. 기존의 무선 주파수(RF : Radio Frequency) 통신과는 다른 독보적인 장점을 제공하여 더 나은 통신 성능을 가능하게 하고 있다[1].

레이저를 이용한 광링크의 가장 두드러지는 장점 중 하나는 거의 무한한 대역폭을 활용하여 높은 데이터 전송 속도를 실현할 수 있다는 점이다. 이를 통해 우주 미션에서 필수적인 방대한 양의 정보 교환을 효율적으로 처리할 수 있으며, 통신의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 게다가 레이저를 활용한 광링크는 예너

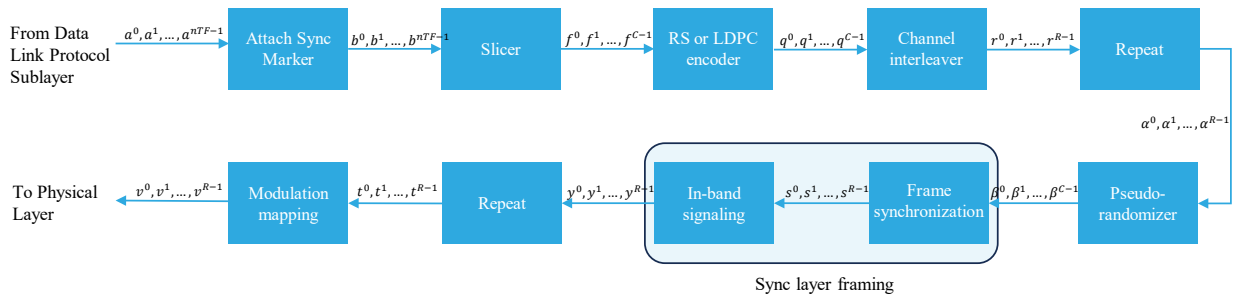


그림 1. Functional block diagram of transmitter

지 자원이 제한된 우주 미션에서도 낮은 전력 소비 기능을 제공하여 우주선의 수명을 연장하고 에너지 효율성을 높일 수 있다.

레이저를 이용한 광링크의 중요성으로 인해, 이 분야의 발전을 촉진하기 위해 전 세계의 국제 우주 기관들이 긴밀한 협력을 추진하고 있다. 이를 위한 중요한 조직 중 하나가 Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS)이다. CCSDS는 광링크를 비롯한 우주 통신에 관한 표준을 개발하고 발표하는 역할을 수행하고 있다. 이 조직은 정부와 산업계의 상호 운용성과 지원을 강화하며, 우주 통신 프로젝트의 비용과 개발 시간을 최소화하는데 주력하고 있다[1][2][3]. CCSDS의 표준은 회원 기관들의 합의를 거쳐 정해지며, 광통신 워킹 그룹은 2014년에 설립되어 다음과 같은 내용들을 개발하고 있다:

1. FSO에 가장 적합한 파장, 변조, 부호화, 인터리빙, 동기화 및 습득에 대한 표준[4][5]
2. 광 터미널 및 네트워크 운영 센터 간의 광 통신 링크 예측 및 운영을 위한 날씨 데이터의 정의, 교환 및 보관에 대한 표준.

본고에서는 우주 광통신을 위한 CCSDS 표준화 현황에 대해서 대략적으로 살펴본다. 특별히 소형 위성을 대상으로 한 레이저 통신의 코딩 및 동기화에 대한 규격을 구체적으로 알아본다.

## II. CCSDS Optical Communications (OPT) Working Group (WG)

FSO에서는 지구의 대기가 큰 영향을 미치기 때문에 이를 고려한 특별한 표준이 필요하다. 대기 영향이 RF 통신보다 더 심하기 때문에 기존의 RF 통신 표준과는 다른 표준이 필요하다. 이에 따라 광통신 워킹 그룹에서는 다양한 FSO응용 분야를 고려하여 표준을 개발하고 있는데, 정지궤도 위성 및 저궤도 위성간 통신, 저궤도 위성에서 지구로 직접 통신, 달에서 지구로 직접 통신, 그리고 심층 우주에서 지구로 직접 통신 등이 이에 속한다.

각 응용 분야는 RF 통신 시스템과 마찬가지로 서로 다른 광통신 시스템이 필요하다. 예를 들어, 심층 우주 시스템은 전력이 제한되어 있으므로 가능한 한 광자를 효율적으로 사용해야 한다. 이러한 경우에는 광대역 데이터 전송률 보다는 광 전송 효율성이 높은 것이 더 중요하다. 반면에 저궤도 위성 시스템은 상대적으로 통신거리가 짧기 때문에 전력효율면에서 더 유리하다. 따라서, 저궤도 위성의 경우 더 높은 데이터 전송률을 요구하는 경우가 많을 것으로 예상된다.

현재까지 CCSDS에서 발간된 표준문서는 <표 1>과 같다. 이 중 Blue Book은 표준화 작업이 완료되어 이후 ISO 표준이 될

표 1. Completed projects of CCSDS OPT-WG

Type	Contents
Blue book	Optical Communication Physical Layer [4]
Blue book	Optical Communications Coding and Synchronization [5]
Green book	Atmospheric Characterization for Optical Communication Systems
Orange book	Optical High Data Rate Communications - 1064nm
Orange book	Optical High Data Rate Communications - 1550nm

규격을 기술한 문서이며, Green Book은 관련 정보를 담은 보고서 형식의 문서이다. Orange Book은 표준규격 이외의 기술에 대한 실험결과를 담고 있다. 현재 나와있는 Blue Book은 Release 1으로 제한된 전력에서 높은 광전송 효율(High Photon Efficiency : HPE)을 필요로 하는 심 우주 통신을 위해 만들어진 규격이다. HPE는 2022년에 발사된 NASA의 Deep Space Optical Communications (DSOC) 시연에 사용되었다. HPE는 무엇보다도 전력 효율과, 광자 효율 등을 최우선 순위로 만들어진 시나리오이기 때문에 저궤도 위성, 소형, 큐브 위성에서는 적합하지 않다.

현재 워킹 그룹에서는 Optical On/Off Keying (O3K)가 추가된 Release 2를 준비중에 있다[2][3]. Low Earth Orbit (LEO) direct-to- Earth (DTE) 통신 환경에서는 성능, 광자 효율을 최대화하기보다 복잡성, 비용, 크기, 무게, 및 전력 효율이 우선될 것이다. 결국 O3K 기반의 광통신이 상대적으로 복잡도가 낮고 저가로 구현될 수 있을 것으로 기대되고있다. 이러한 O3K를 이용한 광링크는 가장 작은 큐브 위성 시스템부터 100 kg급 위성 과 그 이상의 더 큰 페이로드까지 다양한 응용 분야를 지원할 수 있을 것으로 예상된다. 본고에서는 Release 2 Draft의 대략적인 내용을 살펴본다.

## III. Optical Communications Coding and Synchronization for O3K

### 1. Transfer Frame Adaptation

전체 전송에 대한 다이어그램을 <그림 1>에 나타내었다. 코딩 및 동기화 계층은 데이터 링크 프로토콜 계층으로부터 고정 코드 비율과 고정 데이터 길이를 가진 CCSDS 전송 프레임들을 받아 코드화하고 변조 처리하여 0과 1의 이진 벡터를 물리 계층으로 전달한다. 여기서 0과 1은 슬롯 마다의 광 펄스의 유무를 나타내며 이 값이 물리계층에서 OOK 심볼로 매핑된다.



표 2. Information block

Code Type	Code Rate	Information block size in bits ( $k$ )
RS	223/255	1784
LDPC	01월 02일	15360
LDPC	09월 10일	27648

각 블록의 구체적인 기능을 살펴본다. 먼저, CCSDS TM Space Data Link Protocol, CCSDS Advance Orbiting System (AOS) Space Data Link Protocol, 또는 CCSDS Unified Space Data Link Protocol (USLP)로부터 고정 길이의 전송 프레임들  $a^0, a^1, \dots, a^{nTF}$ 가 생성된다.  $nTF$ 는 전송 프레임의 개수를 의미하며,  $i \in \{0, 1, \dots, nTF\}$  각각의  $a^i$ 는 고정된 길이의 비트 수를 갖는다. 각 전송 프레임에는 16진수로 표기된 32비트 Attached Sync Marker (ASM)인 0x1ACFFC1D가 맨 앞에 추가된다. ASM과 전송 프레임으로 이루어진 데이터 유닛  $b^i$ 는 Synchronization-Marked Transfer Frame (SMTF)이라고 한다.

이후 SMTF 시퀀스  $b = \{b^0, b^1, \dots, b^{nTF}\}$ 를 코드 비율  $r$ 에 따라 길이가  $k$ 인 정보 블록  $c^i$ 로 나눈다. <표 2>에 각각의 지원하는 코드 비율과 해당하는 정보 블록 크기  $k$ 를 나타내었다. 마지막 정보 블록의 크기가  $k$ 보다 작다면, 슬라이서는 그 블록의 크기가  $k$ 가 되도록 0을  $P$ 만큼 채운다. 슬라이싱 후 결과적으로 얻어지는 정보 블록  $c^i$ 의 전체 개수는  $C = (nTF + P)/k$ 와 같다.

## 2. Channel Coding

기존의 HPE 환경을 위한 규격에서 Convolutional Encoder를 사용했던 것에 비해 Release 2에서는 디코딩의 복잡도를 줄이기 위해 RS (Reed-Solomon Encoder)와 LDPC코드를 고려한다. 먼저, RS가 사용될 때는 코드블록은[6]의 4장에서 설명된 대로, 파라미터  $E = 16$  및  $Q = 0$ 을 사용하여 구현된다.

LDPC 코드가 사용될 때는 두가지 Quasi-cyclic (QC) LDPC

표 3. LDPC code parameters

Code Rate	$m_b$	$n_b$	$L$
01월 02일	140	260	128
09월 10일	36	252	128

코드가 사용된다. 코드 비율이 1/2일때는 Photograph-Based Raptor-Like (PBRL) LDPC 코드가 사용되며 코드 비율이 9/10일 경우에는 Accumulate-Repeat-Accumulate (ARA) LDPC 코드가 사용된다. 코드 비율  $r$ 에 따라 <표 2>와 같이  $k$  길이의 정보 블록이 입력되며, 코딩 후 길이가  $n = 30720$ 인 이진 데이터 코드워드가 출력된다. 코드 비율  $r$ 에 대한 정보는 Inband-signaling 프로토콜에 의해 전달되며 수신단에서 자체적으로 검출한다. 규격의 Release 2에서 제시된 LDPC 코드 구조는 우주 환경에서 사용할 수 있는 제한된 임베디드 시스템 환경에서 최대의 채널 코딩 성능을 통해 끌어낼 수 있는 구조로 알려져 있다[7].

QC-LDPC 코드는  $m_b L \times n_b L$  크기의 Parity Check Matrix (PCM)로 정의된다. PCM은  $m_b \times n_b$ 의 부분행렬의 배열로 작성될 수 있으며, 각각의 부분행렬은  $L \times L$ 의 순환 순열 행렬로 정의된다. 본고에서는 구체적인 PCM의 생성 방법은 다루지 않는다. 최종 인코딩된 LDPC 코드의 길이는  $n_b L$ 이다. 각  $m_b, n_b, L$ 의 크기는 <표 3>과 같다

최종적으로 인코딩된 코드는 앞부분부터  $P$ 개의 비트가 버려지는 Puncturing과정을 거치게 되어 총 길이가 30720으로 맞추어진다. 코드 비율이 1/2일때는  $P = 2560$ , 9/10일때는  $P = 1536$ 이다.

## 3. Channel Interleaver

일반적으로 광 전송 채널에서 지구 대기에 의해 발생하는 페이딩의 coherence time은 코드워드 길이에 비해 긴 것으로 알려져 있다. 이에 대응하기 위해, 채널 코딩 기법은 수백 밀리 초에 걸쳐 여러 코드워드를 인터리빙하여 시간적 다양성을 가져

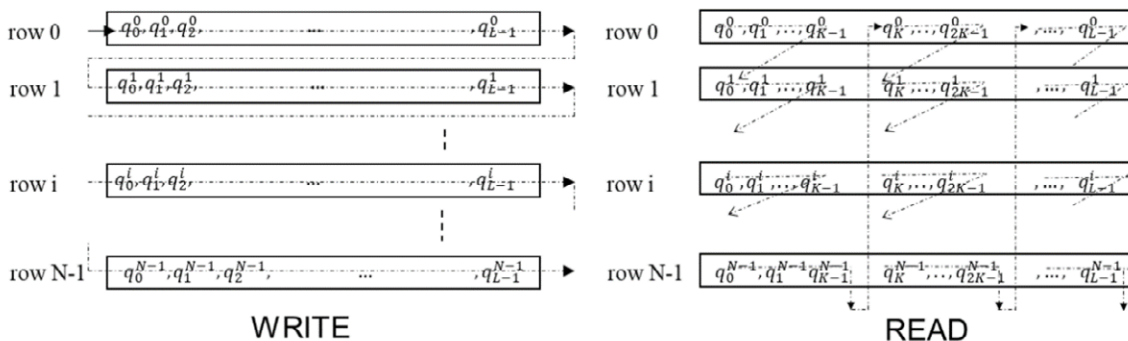


그림 2. Block channel interleaver

오는 채널 인터리버와 결합된다. 기존의 우주 통신에서는 주로 convolutional 인터리버가 자주 사용되었다. 이는 필요한 메모리와 대기 시간을 최소화하기 때문이다.

한편 광통신의 경우, 인터리버는 대략 10 Gbps에서 작동해야 하므로 실시간 제약이 매우 높다. 또한, 긴 인터리빙 시간 동안 소프트 디코딩에 사용되는 LLR을 저장하기 위해 칩이나 FPGA의 사용 가능한 내부 메모리보다 훨씬 큰 메모리가 필요하다. 결국 외부 메모리 사용이 불가피하며, 외부 메모리는 긴 액세스 시간이 제약이 된다. 또한, 인터리빙 기법은 가변 코딩 및 가변 데이터 전송률 방법과 호환되어야 한다. 이러한 이유로 인해 Release 2의 규격에서는 행/열 블록 인터리버가 제안되었다[7].

제안된 인터리빙은 <그림 2>와 같은 과정을 거치게 된다.  $L = 30720$ 비트로 구성된 각 코드워드  $q^i = q_0, q_1, \dots, q_{L-1}$ 는 인터리버에 행 별로 작성되며, 출력은 길이  $K$ 의 블록으로 열 별로 인터리버를 읽음으로써 얻어진다. 인터리버의 파라미터는 <표 4>와 같다.

표 4. Constraints on Block Interleaver Parameters

Code	$K$	$L$	$N$
RS	Multiple of 8; factor of $L$	$2040 \times 1$	At most $2^{23} - 1$
LDPC	{64,128,256,512,1024}	30720	At most $2^{18}$

각 파라미터는 송수신단의 하드웨어상의 메모리 크기, 액세스 시간, 인터리빙 시간 등의 제약조건에 따라 결정된다. 예를 들면  $K$ 값의 조절을 통해 외부 메모리 접근 시 Burst모드로 메모리에서 한번에 읽어오는 데이터 양과 연결될 수 있으며,  $N$ 은 제한된 메모리 용량과 인터리빙 시간을 적절히 절충하여 결정될 수 있다.

최종적으로 인터리빙된 데이터는  $R = C/N$ 개의 블록  $r^0, r^1, \dots, r^R$ 으로 재배열 된다. 각각의 블록  $r^i$ 는  $L \times N$ 개의 이진 데이터를 포함한다.

#### 4. Repeat & Pseudo-randomizer

RS 코딩이 사용될 경우에는 반복이 수행되지 않는다. LDPC 코딩이 사용될 경우에는 각 인터리빙된 블록의 이진 데이터는  $SF \in 1, 2, 3, 8, 16$  만큼 반복된다. 반복이 수행된 이후  $R$ 개의 데이터 블록  $\alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^R$ 이 생성된다. 각각의 블록은  $SF \times L \times N$ 개의 이진데이터의 길이를 갖는다. 인터리빙과 반복이 적용된 LDPC 코드블럭  $\alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^R$ 는 <표 3>과 같이 생성되는 Pseudo-randomized 시퀀스  $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{L-1}$ 와 자릿수별로 다음과 같이 모듈로-2 덧셈을 수행하여 난수화 된다.

$$\beta = \alpha \oplus \gamma$$

시퀀스  $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{L-1}$ 는 매번  $L$ 개의 이진 데이터가 지나갈 때 마다 리셋되고 초기화된다.

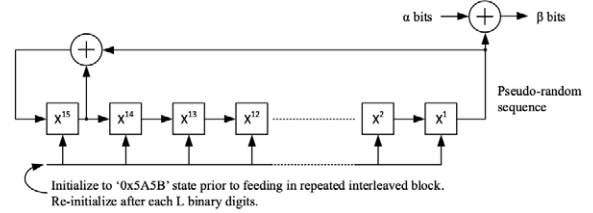


그림 3. Pseudo-Randomizer

#### 5. Sync Layer Framing (RS)

먼저  $2040 \times I \times N$  개의 이진 데이터로 구성된 각 RS 코드 프레임은 길이가  $2040 \times I \times N_L$ 개의 이진 데이터로 이루어진 하위 프레임인  $N_{SF}$ 개로 나뉜다. 여기서  $N$ 은  $N_L$ 의 배수이어야 한다. Sync Layer Frame Marker (SLFM)와 Secondary Synch Layer Frame Marker (SSLFM)은 <그림 4>의 상단 그림과 같이 Frame synchronization marker (FSM)과 Interleaver Frame Signaling (IFS) 필드로 구성된다. FSM은 기존의 Release 1에서 정의된 Attached Synchronization Marker (ASM)과 동일하며, 16진수 표기로 32비트인 1ACFFC1D 와 같다. IFS는 24비트로 이루어져 있고 이중 23비트는 카운터 값으로 하위 프레임 순서를 의미하며, 나머지 한 비트는 23비트에 대한 Parity check 비트이다. 코드 블록을 하위 프레임으로 나누지 않을 경우에는 SLFM만 고려된다.

LDPC 코드의 경우에는  $30720 \times N$  길이의 LDPC 코드 프레임이  $N_{SF}$ 개의 하위프레임으로 나누어진다. <그림 4>의 하단 그림과 같이 SLFM과 SSLFM의 구조가 RS 코드를 사용할 때와 다르다. FSM은 Appendix A에서 제시하는 Gold code 생성기로부터 만들어진 2048개의 비트(레지스터 A 초기값 : 6)가 사용되며, SLFM의 경우 두 개의 동일한 In-Band Signaling (IBS) 필드가 사용된다.

IBS는 동적으로 바뀌는 송신단의 신호 매개변수 값을 수신단에 알려주기 위함이다. 수신단에서는 IBS필드를 검출하여 신호 매개변수를 추출하고 전송되는 나머지 데이터를 올바르게 수신하기 위해 자체적으로 송신단의 설정과 맞추어 스스로를 설정하게 된다. 이를 위해 IBS에는 송신기의 설정을 식별하는 모드 ID가 포함되어 있다. 이러한 모드 ID에 따른 신호 매개변수의 예를 <표 5>에 나타내었으며, 각각의 모드 ID에 따라 정의되는 코딩 비율( $r$ ), 반복율( $SF$ ), 인터리버 블록 크기( $K$ ), 인터리버의 행 개수( $N$ ) 값이 정의된다.

IBS는 Appendix A에서 정의된 Gold 코드를 사용하여 생성되

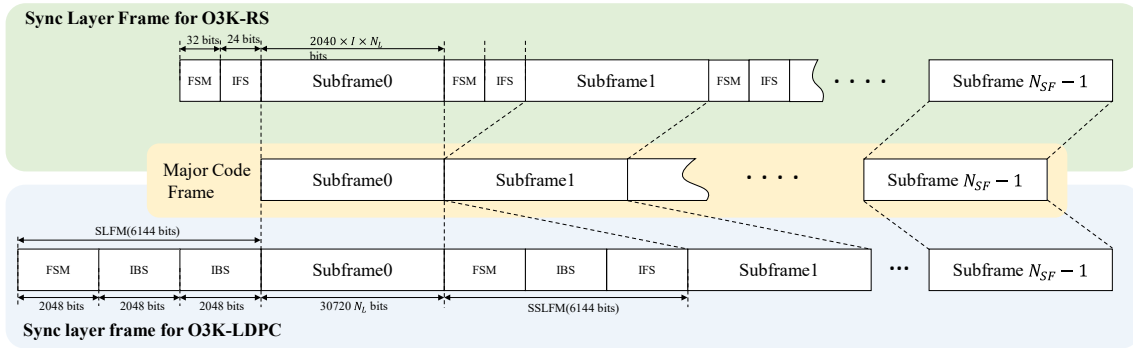


그림 4. Sync Layer Frame

는데 이때 <표 5>의 모드에 따라 서로 다른 레지스터 A의 초기값을 대입하여 서로 다른 2048개의 비트가 생성된다. 이렇게 생성된 시퀀스는 같은 세트내의 서로 다른 시퀀스와는 상관도가 작기 때문에 수신단에서는 2048개의 비트를 통해 어떤 모드로 송신되었는지를 쉽게 검출할 수 있다.

LDPC 코드의 경우 IFS에 Appendix A의 Gold code 생성기로부터 만들어진(레지스터 A의 초기값: 6) 2048개의 비트가 이용되며, 하위 프레임의 순서에 대한 카운터 정보를 담고 있지 않는다. 따라서 수신단에서는 SLFM의 두 개의 연속된 IBS필드를 통해 Sync Layer Frame의 시작을 검출해야 한다.

표 5. Example 1 of emitter configuration Mode Table for O3K optical communications using LDPC coding

Mode ID	Initial Condition Register A	Code Rate	Repeat factor	Channel interleaver block	Number of rows in the interleaver
0	8	01월 02일	16	128	8192
1	10	01월 02일	8	128	16384
2	12	01월 02일	4	128	16384
3	14	01월 02일	2	128	65536
4	16	01월 02일	1	128	65536
61	130	09월 10일	1	128	65536

## 6. Repeat & OOK Modulation Mapping

RS 코드블럭은 Sync Layer Framing을 거친 이후에 각 OOK 심볼이  $q_a$ 만큼 반복된다. 반복 횟수인  $q_a$ 는 수신단에 따로 전달되지 않기 때문에 수신단에서는 자체적으로 이를 검출하도록 구현되어야 한다. 하지만, 허용가능한  $q_a$ 값 중 일부만을 포함하는 Repeat Factor Lists로 송신단과 수신단이 공유하여, 모든 가능한  $q_a$ 를 다 비교할 필요는 없다. 규격에 제시된 Repeat Factor list는  $\mathbf{q}_a = \{q_{a0}, q_{a1}, \dots, q_{an}\}$ 과 같이 정의할 수 있다. 여기서  $n$ 은 13보다 작고  $q_{a,i} = 2^w$ 이며,  $w$ 의 범위는  $0 \leq w \leq (13 - \log_2(T \times 10 \times 10^9))$ 로 정의된다. LDPC 코

드의 경우  $q_a = 1$ 로 반복되지 않는다. 이후 코딩 된 이진 데이터는 특별한 변조과정을 거치지 않고 0이면 NRZ(Non-Return-to-Zero)-OOK 심볼 0으로, 1이면, NRZ-OOK 심볼 1로 바로 매핑되어 OOK (On-Off Keying) 변조가 수행된다.

## IV. 결론

본고에서는 소형 위성의 우주 광통신을 위한 코딩 및 동기화 CCSDS 규격에 대해 살펴보았다. 현재, 우주 분야에서는 새로운 시대의 개막과 함께 작은 위성을 활용한 우주 미션의 가능성이 크게 확장되고 있다. 더불어, 우주 레이저 통신 기술은 빠른 데이터 전송 속도, 낮은 전력 소비, 우수한 보안성 등을 제공하여 우주 통신 분야에 혁신을 가져오고 있다. 저궤도 위성과 레이저 기술의 결합은 우주 통신 분야의 밝은 미래를 예고하며, 우주 정보통신 기술은 민간과 국방 분야에서 큰 관심을 받고 있다. 이러한 맥락에서, CCSDS 표준의 지속적인 발전과 새로운 기술의 도입을 통해 우주 정보통신 분야는 미래의 발전을 향해 나아갈 것으로 기대된다.

### Appendix A. Generation of Gold Code

FSM, IBS, IFS의 생성에는 <그림 5>에서 제시된 Linear Feedback Shift Register로 이루어진 Gold code 생성기가 사

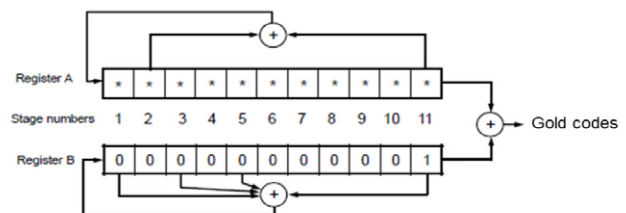


그림 5. Generation of Gold Codes

용된다. 이는[8]의 5.3절에서 제시된 Gold code 생성기의 I channel 부분과 동일한 구조를 취한다.

레지스터 B의 초기값은 모든 경우에 대해 [0000000001]이며 레지스터 A의 경우 어떤 필드 또는 모드에 따라 다른 값이 입력되어 서로 다른 시퀀스를 생성하게 된다. 예를 들면, FSM의 경우 레지스터 A의 초기값은[0000000010]이 되며, IFS의 경우 [00000000110]이 된다.

[7] G. Artaud et al, "Design and validation of a new coding and synchronization layer for space optical communications", Proc. International Conference on Space Optics (ICSO) 2022.

[8] Data Transmission and PN Ranging for 2 GHz CDMA Link via Data Relay Satellite. Issue 1. Recommendation for Space Data System Standards (Blue Book), CCSDS 414.1- B-1. Washington, D.C.: CCSDS, September 2011.

## Acknowledgement

이 논문은 2023년 대한민국 과학기술 정보통신부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021R1G1A1094358)

## 참고 문헌

- [1] J.H. Noh, "Overview and Performance Analysis of CCSDS Standard for Space Optical Communication," Journal of DQS, vol. 5, no. 2, 2023 Dec.
- [2] B. L. Edwards et al., "An Update on the CCSDS Optical Communications Working Group Interoperability Standards," 2019 IEEE International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS), Oct. 2019.
- [3] B. L. Edwards et al., "Latest Status of the CCSDS Optical Communications Working Group," 2022 IEEE International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS), 2022.
- [4] The Consultative Committee for Space Data Systems. "Optical Communications Physical Layer, Recommended Standard, Issue 2. CCSDS 141.0-P-1", CCSDS, Jul. 2020.
- [5] The Consultative Committee for Space Data Systems. "Optical Communications Coding and Synchronization, Recommended Standard, Issue 2. CCSDS 142.0-B-1", CCSDS, Jan. 2022.
- [6] TM Space Data Link Protocol. Issue 2. Recommendation for Space Data System Standards (Blue Book), CCSDS 132.0-B-2. Washington, D.C.: CCSDS, September 2015.

### 약 력



노 정 훈

2009년 고려대학교 공학사  
 2014년 고려대학교 공학박사  
 2014년~2021년 국방과학연구소 선임연구원  
 2021년~2023년 금오공과대학교 전자공학부 조교수  
 2023년~현재 충북대학교 전자공학부 조교수  
 관심분야: 우주ICT, 자유 공간 광통신

## 6G 초연결 비전을 이루기 위한 차세대 다중 접속 기술



앞으로 다가올 6G 시대에서는 엄청난 수의 기계, 차량, 센서 및 로봇과 같은 지능형 사물이 무선 네트워크에 연결되어 실시간으로 주변 환경을 감지, 처리, 행동 및 통신할 것으로 예상합니다. 6G 초연결 비전을 이루기 위해서는 여러 가지의 서비스 요구사항 및 하드웨어 기능을 가진 다양한 폼팩터를 가진 장치들을 지원해야 합니다. 그러나 주파수와 시간 자원이 직교 특성을 만족하도록 분할하는 기존의 다중 접속 기술들은 폭발적으로 증가하는 단말들을 동시에 지원하기 매우 어렵습니다. 이를 해결하기 위해서는 5G와 매우 구별되는 패러다임의 변화가 필요하며 다양한 잠재적 기술들이 고려되고 있습니다.

본 특집호에서는 차세대 다중 접속 기술과 관련된 4편의 원고를 다룹니다. 첫 번째 원고에서는 최근 표준화가 완료된 5G 차량·사물통신에서 효율적인 다중 접속을 위한 자원 할당 표준 기술을 분석합니다.

두 번째 원고에서는 5G 초고속과 초고신뢰·저지연의 이중 서비스가 동일한 네트워크에서 공존 시 무선 자원을 비직교적으로 할당하는 이중 비직교 다중 접속 기술을 살펴봅니다. 특히, 지능형 반사 표면을 적용하여 비직교 전송으로 인해 발생하는 서비스 간 간섭을 관리하는 방법을 알아봅니다.

세 번째 원고에서는 최근 높은 스펙트럼 효율성과 불안정한 채널 상태 정보에 대해 강인성을 제공하는 전송률-분할 다중 접속 기술을 살펴봅니다. 전송률-분할 다중 접속 기술과 기존의 다중 접속 기술들과의 비교 및 특징 분석을 나타내고 전송률-분할 다중 접속 기술의 응용 시나리오 및 주요 기술적 과제를 논의합니다.

마지막 원고에서는 차세대 무선 통신 기술로 대두되고 있는 궤도 각 운동량 기술을 살펴봅니다. 특히, 궤도 각 운동량의 특징을 살펴본 다음에 다양한 다중 접속 기술들과 결합하는 연구 동향 및 연구 방향성에 대해 살펴봅니다.

연구, 교육 등으로 바쁘신 와중에도 우수한 원고를 투고해 주신 저자 여러분의 노고에 깊이 감사드립니다. 본 특집호를 통해 차세대 다중 접속 기술 분야에 대한 이해를 증진하고 통신학회 회원분들께 유익한 정보가 되길 기원합니다.

## 약 력

**이 병 주** 인천대학교 정보통신공학과 조교수

학력 : 고려대학교 전파통신공학 학사, 고려대학교 전파통신공학 박사

경력 : 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 선임연구원, Purdue 대학교 박사후연구원, 삼성전자 삼성리서치 차세대통신연구센터 책임연구원, 금오공과대학교 전자공학부 조교수

현재 : 인천대학교 정보통신공학과 조교수

# 5G NR 기반 V2X에서의 단말 자율적인 자원할당을 위한 물리계층 단말 절차

장대건, 김가연, 최태준, 김태형  
순천향대학교

## 요약

V2X(Vehicle-to-Everything) 통신 기술은 미래 지능형 교통 시스템을 실현하기 위한 핵심 기술 중 하나로써, 현재 학계 및 산업계에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 최근 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 5G NR(New Radio) 기반의 V2X에 대한 표준화를 완료하였다. NR V2X에서는 기지국 범위 밖에서의 차량간 통신을 지원하기 위한 기술 중 하나로, 단말이 자율적으로 자원할당을 수행할 수 있는 자원할당 모드(mode) 2 기능을 지원한다. 본 고에서는 NR V2X에서 자원할당 모드 2로 동작하는 단말의 자원할당 절차에 대한 물리계층 표준 기술을 소개한다.

## I. 서론

차량과 모든 것의 통신을 의미하는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신 기술은 자율주행을 포함한 차세대 지능형 교통 시스템을 실현하기 위한 핵심 기술 중 하나로 최근 다방면으로 연구가 진행되고 있다[1][2]. V2X는 차량과 차량 간 통신인 V2V(Vehicle-to-Vehicle), 차량과 보행자의 통신인 V2P(Vehicle-to-Pedestrian), 차량과 인접 인프라 간 통신인 V2I(Vehicle-to-Infrastructure), 및 차량과 네트워크 간 통신인 V2N(Vehicle-to-Network)을 모두 포함한다[3]. V2X를 통해 차량들이 주변 차량 및 도로 인프라와의 소통이 가능해짐에 따라, 도로 교통 정보 및 기타 교통 서비스를 실시간으로 공유할 수 있고, 이를 통해 도로 내 돌발 상황에 신속하게 대처하는 것이 가능하다.

최근 3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 릴리즈 16에서 NR(New Radio)기반의 V2X 통신을 지원하기 위한 단말간 통신 규격에 해당하는 사이드링크(sidelink)에 대한 첫번째 표준화를 완료하였다[4][5]. 3GPP는 <그림 1>과 같이 V2X 핵심 응용 사례로 군집주행(platooning), 차세대 주행

(advanced driving), 원격 주행(remote driving), 및 확장된 센서(extended sensor)의 4가지를 정의하였다[6]. 각 서비스를 제공하기 위해서는 높은 데이터 전송률, 낮은 지연시간, 높은 신뢰도, 높은 접속 밀도 등 매우 도전적인 요구사항들을 만족해야 한다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위하여, 릴리즈 16 NR V2X에서는 유니캐스트(unicast) 및 그룹캐스트(groupcast) 통신, 높은 변조 차수 지원, HARQ(Hybrid Automatic Repeat and request) 기술, CSI(Channel State Information) 측정 및 보고 등 기존 LTE(Long Term Evolution) 기반의 V2X에서는 지원하지 않던 기술들에 대한 표준화를 대대적으로 진행하였다[7]. 릴리즈 17에서는 차량의 전력 소모 감소 및 통신 링크 신뢰도 향상을 위한 저전력 자원할당 기술 및 단말간 협력 기술에 대한 표준화가 이루어졌고[1][3], 현재는 5G-Advanced에 해당하는 릴리즈 18에서 데이터 전송률을 크게 증대시키기 위한 비면허 대역 및 mmWave대역을 활용한 V2X 통신을 지원하기 위한 진보된 사이드링크 기술에 대한 표준화가 진행 중에 있다[8].

NR V2X는 셀 커버리지 영역 밖에서 운행중인 차량들이 존재하는 환경에서, 단말이 자율적으로 통신 자원을 선택하여 신호를 전송할 수 있는 자원할당 모드(mode) 2 기능을 지원한다[9]. 모드 2를 통해 차량들은 기지국이 존재하지 않거나 기지국의 제어 불가능한 환경에서도 통신을 수행할 수 있다. 모드 2는 차량들이 매우 많은 복잡한 도심 환경 및 기지국을 통한 서비스 제공이 불가능한 교외 지역 등에서 끊임 없는 차량 간 연결성 보장을 위하여 필수적으로 요구되는 기술이다. 모드 2에서는 단말이 자율적으로 전송 자원을 선택함에 따라, 서로 다른 단말이 동일한 자원을 선택하여 신호 간 간섭이 발생할 수 있는 문제가 있다[1][9]. 이를 해결하기 위하여, 릴리즈 16 NR 사이드링크에서는 단말이 특정 자원에서의 간섭량을 미리 측정하고 이를 통해 간섭을 회피하여 전송을 수행하는, 자원 센싱(sensing) 및 선택(selection) 기술이 표준 기술로 채택되었다[6][9].

본 고에서는 3GPP 릴리즈 16 사이드링크 표준에 기반하여, 자원할당 모드 2로 동작하는 단말의 자원할당 절차에 대한 물리계층 규격을 소개한다. 이를 위하여, 먼저 NR V2X 물리계층 전송 구조를 파악하고, 구체적인 자원 센싱 절차 및 자원 선택 절차



그림 1. NR V2X 응용 사례[6]

에 대한 표준 기술을 분석한다. 이후, 부정확한 센싱 정보에 의한 간섭 문제를 해결하기 위한 자원 재평가 절차와 데이터 패킷의 우선 순위에 기반하여 간섭을 회피하는 pre-emption 절차를 소개한다.

## II. NR V2X 물리계층 전송 구조

본 장에서는 NR V2X 물리계층 전송 구조에 대하여 소개한다.

### 1. 자원 풀(Resource Pool)

〈그림 2〉와 같이, NR V2X에서는 특정 시간 및 주파수 자원으로 구성된 자원 풀이 단말간 사이드링크 전송 목적으로 사전에 설정될 수 있다[10]. 하나의 자원 풀은 주파수 축으로 연속적인 서브채널(sub-channel)들로 구성될 수 있고, 시간 축으로 불연속적인 슬롯(slot)들로 구성될 수 있다[10]. 여기서 서브채널과 슬롯은 각각 사이드링크 전송에 사용될 수 있는 최소한의 주파수 축 및 시간 축 자원 단위를 의미한다. 자원 풀은 10,240ms의 주기로 반복 적용될 수 있다.

하나의 서브채널은 복수 개의 연속적인 물리계층 자원블록(Physical Resource Block, PRB)으로 구성될 수 있으며, {10, 12, 15, 20, 25, 50, 75, 100}개의 PRB들 중에서 하나의 값으로 설정될 수 있다[11]. 또한, 1 PRB는 12개의 연속적인 부반송파(subcarrier)로 정의된다[12].

하나의 슬롯은 12개 또는 14개의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼(symbol) 들로 구성되고, 이는 CP(Cyclic Prefix) 길이에 따라 결정된다[12]. 또한 각 슬롯에 사이드링크 심볼의 시작 위치와 연속적인 심볼의 수는 각 자원 풀에서 사전 설정된다. 슬롯 내에 전송되는 연속적인 심볼의 개수는 사이드링크 전송에 사용되는 물리채널에 따라 7개에서 14개 심볼 사이로 결정된다[10].

LTE V2X는 15kHz 부반송파 간격의 단일 뉴머롤로지(numerology)를 지원했던 반면, NR V2X는 {15kHz, 30kHz,

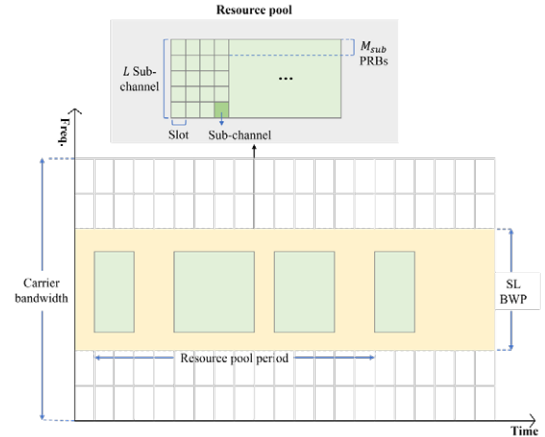


그림 2. NR V2X에서의 자원 풀 설정 예시

60kHz, 120kHz)의 다양한 부반송파 간격이 지원된다. 각 부반송파 간격에 따라 시간 축에서 슬롯의 길이가 {1ms, 0.5ms, 0.25ms, 0.125ms}등과 같이 유동적으로 조절될 수 있다[12].

### 2. 물리계층 채널 구조

NR V2X에서 사이드링크 전송을 위하여 하기의 물리계층 채널들이 정의되어 있다[12].

- S-SSB(Sidelink Synchronization Signal Block): 단말 간 동기화를 목적으로 전송되는 물리계층 신호로, PSS(Primary Synchronization Signal), SSS(Secondary SS), PSBCH(Physical Sidelink Broadcast Channel)로 구성된다.
- PSSCH(Physical Sidelink Shared Channel): 데이터 페이로드(payload)를 전달한다.
- PSCCH(Physical Sidelink Control Channel): PSSCH 스케줄링을 위한 제어 정보를 전달한다. NR V2X에서 사이드링크 제어 정보(Sidelink Control Information, SCI)는 1단계 SCI 포맷과 2단계 SCI 포맷으로 나뉘어져 전송될 수 있으며, 이 중에서 1단계 SCI포맷이 PSCCH로 전송된다.
- PSFCH(Physical Sidelink Feedback Channel): PSSCH 수신 성공 여부에 대한 ACK/NACK 정보를 전달한다.

상기 4가지 물리계층 채널 외에, PSCCH, PSSCH, PSBCH를 디코딩(decoding) 하기 위한 채널 추정에 사용되는 DMRS(Demodulation Reference Signal), 수신 단말에서 채널 상태를 측정 후, 송신 단말로 피드백하기 위해 사용되는 CSI-RS, 위상 잡음으로 인한 영향을 완화하기 위해 사용되는 신호인 PT-RS(Phase Tracking RS)가 사이드링크 전송에 이용된다[12].

### 3. PSCCH 및 PSSCH 전송 구조 및 스케줄링

〈그림 3〉은 PSCCH와 PSSCH 전송 예시를 보여준다.

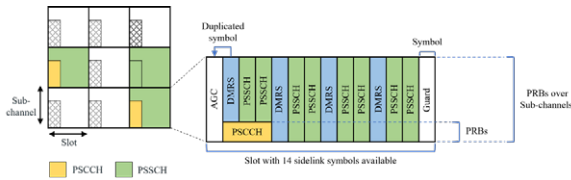


그림 3. NR V2X에서의 PSSCH에 대한 스케줄링

PSCCH는 시간 축으로 2개 또는 3개 OFDM 심볼에 매핑(mapping) 될 수 있고, 주파수 축으로 하나의 서브채널 내에서 복수개의 PRB에 매핑될 수 있다[12]. PSCCH는 해당 PSCCH와 연관된 PSSCH와 동일한 슬롯에서 전송된다. 주파수 축으로는, PSSCH가 스케줄링(scheduling)된 서브채널들 중에서 가장 낮은 인덱스(index)를 갖는 서브채널에 매핑되어 전송된다[13]. 따라서 단말은 자원 풀로 설정된 모든 슬롯 및 서브채널 내의 PSCCH 후보 자원들에 대한 블라인드(blind) 디코딩을 수행함으로써 PSCCH를 수신할 수 있다. PSCCH를 통해 전송되는 SCI 포맷 1-A은 하기의 정보들을 포함할 수 있다[14].

- 우선순위(priority)
- 주파수 자원할당 정보
- 시간 자원할당 정보
- 자원 점유 주기(Resource Reservation Period, RRP)
- DMRS 패턴
- 2단계 SCI 포맷 종류
- 베타(beta) 오프셋(offset)
- DMRS 포트 수
- MCS(Modulation and Coding Scheme)
- 추가적인 MCS 테이블 지시자
- PSFCH 오버헤드(overhead) 지시자

PSSCH는 시간 축으로 하나의 슬롯, 주파수 축으로 복수개의 서브채널에 매핑되어 전송된다. 시간 축으로는 사이드링크 심볼의 시작 위치에 해당하는 첫번째 심볼은 AGC(Adaptive Gain Control)을 위한 심볼로 사용되며, 마지막 심볼은 보호구간으로 사용되고, PSSCH는 이들을 제외한 나머지 심볼에 매핑되어 전송될 수 있다[10]. 주파수 축으로는 해당 PSSCH를 스케줄링하는 PSCCH가 전송된 서브채널을 시작으로, 상기 SCI 포맷 1-A로 지시된 주파수 자원할당 정보에 기반하여 연속적인  $L_{PSSCH}$ 의 서브채널들에 매핑될 수 있다[10].

〈그림 4〉는 NR V2X에서 지원하는 PSSCH에 대한 스케줄

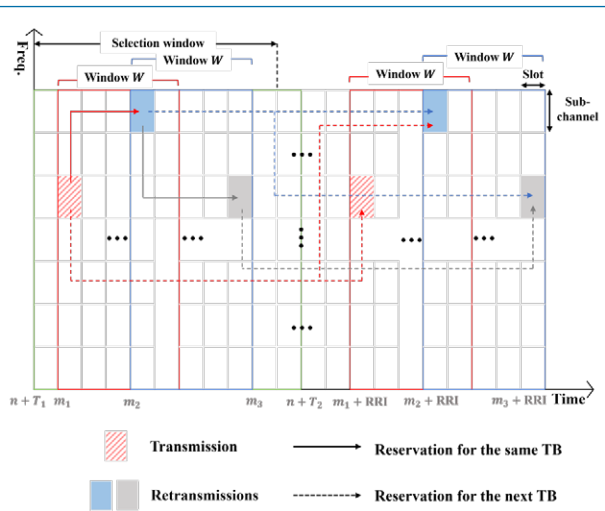


그림 4. NR V2X에서의 PSSCH에 대한 스케줄링

링 방식을 보여준다. NR V2X에서는 PSSCH 스케줄링 방식에 대하여, 비주기적 데이터 트래픽 전송을 위한 동적 스케줄링(dynamic scheduling) 방식과 주기적인 데이터 트래픽 전송을 위한 반영구적 스케줄링(semi-persistent scheduling) 방식을 모두 지원한다[10].

동적 스케줄링의 경우, 하나의 전송 블록(transport block)을 위해 새로운 자원이 선택되고, 1단계 SCI 포맷을 통해 PSSCH에 대한 스케줄링 정보가 동적으로 단말에게 알려진다. NR V2X에서는 전송 신뢰도를 높이고 지연시간을 낮추기 위하여, HARQ 피드백에 기반하지 않는 재전송을 지원한다. 동일한 전송 블록에 대하여, 최대 2번의 블라인드 재전송을 허용하며, 이를 위하여 초기 전송 포함하여 최대 3개의 자원이 미리 점유될 수 있다. 초기 전송 및 재전송을 포함한 스케줄링 정보가 모두 1단계 SCI 포맷을 통해 전달된다. 이 때, 1단계 SCI는 32개의 슬롯을 점유하는 윈도우 W의 첫 번째 슬롯에 전송되고, W 범위 내에서의 재전송을 위한 자원 예약 정보를 전달한다.

반영구적 스케줄링의 경우, 복수개의 서로 다른 전송블록 전송을 위하여, 복수개의 전송자원이 특정 주기(RRP)에 따라 미리 점유될 수 있다. 반영구적 스케줄링을 위하여 가능한 RRP값은 {0, [1~99], 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000}ms이고, 자원 풀에서 사전에 설정될 수 있다. 단말은 주기적인 데이터 트래픽에 대한 사이드링크 자원을 선택할 때, 상기 설정된 RRP 목록 중 전송할 트래픽 특성에 가장 적합한 RRP를 선택할 수 있다. 상기 선택된 RRP 값은 1단계 SCI 포맷을 통해 수신 단말에게 전달된다.



### III. NR V2X 자원할당 모드 2

본 장에서는 자원할당 모드 2에 대한 구체적인 물리계층 절차를 소개한다[10]. 먼저 자원할당 모드 2 동작을 위해 필요한 상위계층 설정 파라미터를 소개하고, 다음으로 자원 할당 절차를 설명한다.

#### 1. 파라미터 설정

자원할당 모드 2로 동작할 경우, 상위계층에 의하여 PSCCH 및 PSSCH를 전송을 위한 자원 선택을 단말에 요청할 수 있다. 모드 2 기반의 자원 할당 절차를 위하여, 하기의 파라미터들이 상위계층으로부터 제공될 수 있다.

- L1 우선순위 ( $p_{TX}$ )
- PDB(Packet Delay Budget)
- PSCCH/PSSCH 전송을 위해 사용되는 서브채널 개수 ( $L_{PSSCH}$ )
- 비주기적 스케줄링 시, RRP ( $RRP_{TX}$ )
- 재평가를 위한 슬롯 인덱스 집합
- Pre-emption을 위한 슬롯 인덱스 집합

슬롯  $n$ 에서 상기 자원할당 절차가 트리거(trigger)되었을 경우, 단말은 <그림 5>와 같이 센싱 윈도우(sensing window)와 선택 윈도우(selection window)를 정의할 수 있다. 단말은 센싱 윈도우에서 측정된 센싱 값에 기반하여, 선택 윈도우 내의 자원들 중에서 PSCCH 및 PSSCH 위한 전송 자원을 선택할 수 있다.

센싱 윈도우는  $[n - T_0, n - T_{proc,0}]$ 의 시간 범위를 가진다.  $T_0$ 는 부반송파 간격에 따라 100ms 또는 1100ms로 설정될 수 있다.  $T_{proc,0}$ 는 센싱 절차 완료에 요구되는 프로세싱 시간이며, 부반송파 간격에 따라 서로 다른 값으로 하기 <표 1>과 같이 정의된다.

표 1. 부반송파 간격에 따른  $T_{proc,0}$ [10]

부반송파 간격	$T_{proc,0}$ [슬롯]
15 kHz	1
30 kHz	1
60 kHz	2
120 kHz	4

선택 윈도우는  $[n + T_1, n + T_2]$ 의 범위를 갖는데,  $T_1$ 은 단말이 후보자원 식별 후 전송을 위해 사이드링크 자원을 선택하기 까지 필요한 처리 시간이며,  $0 \leq T_1 \leq T_{proc,1}$  범위 내에서 결정된다. 여기서  $T_{proc,0}$  값은 하기 <표 2>로 결정된다.

표 2. 부반송파 간격에 따른  $T_{proc,1}$ [10]

부반송파 간격	$T_{proc,1}$ [슬롯]
15 kHz	3
30 kHz	5
60 kHz	9
120 kHz	17

$T_2$ 는 단말의 구현에 따라  $T_{2min} \leq T_2 \leq PDB$ 의 범위 내에서 결정된다. PDB는 해당 전송 블록이 전송되어야 하는 제한 시간이고,  $T_{2min}$ 은 부반송파 간격에 따라  $\{1, 5, 10, 20\} \cdot 2^{\mu}(slots)ms$  로 구성된다.

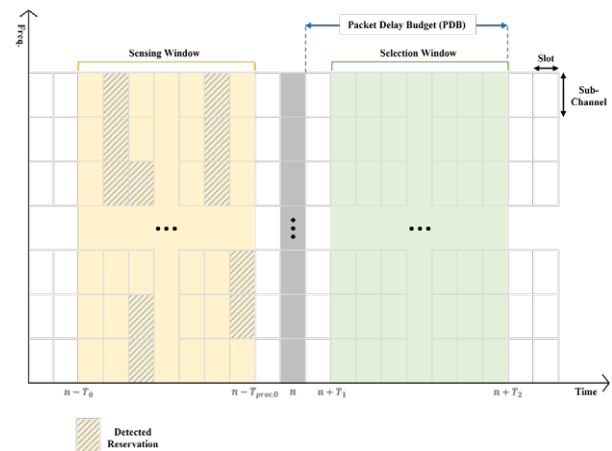


그림 5. 자원할당 모드 2에서의 센싱 윈도우와 선택 윈도우 예시

#### 2. 자원 센싱 및 선택 절차

단말은 먼저 센싱 윈도우 범위 내의 모든 자원들에 대하여 센싱을 수행한다. 이를 위해 단말은 센싱 윈도우 내의 PSCCH가 전송될 수 있는 모든 후보 자원에 대한 모니터링을 수행한다. 블라인드 디코딩을 통해 특정 PSCCH 후보 자원에서 PSCCH가 검출되면, 해당 SCI로부터 PSSCH에 대한 시간 및 주파수 영역에서의 할당 정보와, 향후 전송에 대한 예약 정보 등을 획득할 수 있다. 단말은 이를 활용하여 다른 단말의 전송 자원 점유 여부를 확인할 수 있다. 다른 단말이 자원을 점유하고 있을 경우, 해당 SCI 포맷을 운반한 PSCCH의 DMRS 또는 스케줄링된 PSSCH DMRS에 대하여 수신 전력인 RSRP(Reference Signal Received Power)를 측정할 수 있다. RSRP 측정을 위하여 PSCCH의 DMRS를 이용할 것인지 PSSCH의 DMRS를 사용할 것인지의 여부는 상위 계층 시그널링을 통해 사전에 설정될 수 있다. 측정된 RSRP 값은 추후 자원 선택 과정에서 RSRP 임계값

과의 비교를 통해 자원 배제 여부를 판별하는데 활용된다. 상기 센싱 단계를 통해 사이드링크 자원 선택 전에 동일한 자원에 대한 다른 단말의 간섭 여부를 예측하여 충돌을 예방할 수 있다.

단말은 센싱 윈도우 범위 내의 모든 자원들에 대해 센싱을 수행한다. 이때 1단계 SCI를 디코딩 하여 다른 단말에 의해 점유 또는 예약되어 사용하지 못하는 자원과 향후 전송블록을 위해 사용할 수 있는 후보자원을 구분한다. SCI를 디코딩함으로써 해당 PSCCH 또는 PSSCH의 RSRP를 측정할 수 있다. 이는 이후 소개할 자원 배제 및 선택 단계에서 활용된다.

단말은 센싱 절차를 수행함과 동시에 다른 단말로부터 1단계 SCI를 디코딩하여 다른 단말의 전송블록 및 SCI전송을 위해 예약된 SL자원을 인지한다. 또한 해당 SCI의 수신 전력인 RSRP를 측정한다.

단말은 상기 자원 센싱 결과에 기반하여, 자원 선택을 수행할 수 있다.

먼저 단말은 선택 윈도우 내에서 PSCCH 및 PSSCH 전송에 사용 가능한 전체 자원들의 후보를 식별한다. 후보 자원들은 슬롯과  $L_{PSSCH}$ 의 연속적인 서브채널로 정의된다.  $L_{PSSCH}$ 는  $1 \leq L_{PSSCH} \leq L_{PSSCH,max}$ 의 범위를 가지는데,  $L_{PSSCH,max}$ 는 각 슬롯 별 사용가능한 서브채널의 수이며, 혼잡 제어 프로세스에 의해 변동될 수 있다.

단말은 상기 식별된 전체 후보 자원 세트들 중에서, 하기의 과정에 따라 일부 자원을 배제한다.

- 먼저 센싱 윈도우 내에서 센싱을 수행하지 못한 슬롯과 관련된 자원을 후보 자원 세트에서 제외시킨다. 단말은 기본적으로 한 시점에 송신 또는 수신 중 하나의 동작만을 수행하는 반이중(half-duplex) 모드로 동작한다. 반이중 동작을 수행중인 단말은 양방향 통신이 불가능하기 때문에, 센싱 윈도우 내에서 사이드링크 송신을 수행한 슬롯에 대해서는 센싱을 수행할 수 없다. 단말이 센싱 윈도우의  $s_i$  슬롯에서 송신하고 있었다고 가정했을 때, 단말은  $s_i$  슬롯에서 다른 단말들이 예약한 자원들을 감지할 수 없고, 선택 윈도우에서  $s_i + q * RRP_k$ 에 해당하는 후보자원들을 제외한다.  $RRP_k$ 는 해당 자원 풀에 사전에 설정된 RRP 목록에 기반하여 허용된 모든 RRP 값에 해당한다.  $q$ 는  $1 \leq q \leq Q$ 의 정수 범위이며  $Q$ 는 각 RRP에 대한 단말로부터 추정된 주기적 전송 횟수이다. 송신 단말이 반영구적 스케줄링을 수행하고자 한다면, 선택 윈도우에서  $s_i + q * RRP_k$ 에 해당하는 슬롯과  $s_j + j * RRP_{Tx}$ 의  $s_j$  슬롯에 해당하는 모든 후보자원을 추가적으로 제거한다.  $s_j$ 는 단말이 선택 윈도우에서 전송하고자 하는 슬롯이며,  $1 \leq j \leq 10 * C - 1$ 이다. 여기서  $C$ 는 자원 재선택 카운터이다.

- 단말은 센싱 단계에서 측정된 RSRP를 사전에 설정된 임계값과 비교하여, 측정된 RSRP가 임계값보다 클 경우, 해당 간섭 신호가 발생하는 자원들을 후보자원에서 제외한다. RSRP임계값은 상위 계층에 의해 제공되며, 우선순위 값들의 조합에 따라 서로 다른 값으로 설정될 수 있다. 예를 들어,  $p_i$ 는 1단계 SCI를 통해 수신된 다른 단말의 전송블록 전송에 대한 우선순위이고,  $p_j$ 는 사이드링크 자원을 선택 중인 송신 단말의 우선순위일 경우, 모든  $(p_i, p_j)$  조합에 대하여 각각 서로 다른 RSRP 임계값이 설정될 수 있다. 송신 단말은 자신이 전송하고자 하는 트래픽의 L1 우선순위 값  $p_{Tx}$ 와 센싱 단계에서 1단계 SCI로부터 수신한 다른 단말의 우선순위 값  $p_i$ 에 기반하여 RSRP임계값 목록 중 적절한 값을 선택하여 비교할 수 있다. 단말은 다른 단말로부터 수신한 1단계 SCI에 기반하여 선택 윈도우에서 RSRP 임계값  $(p_i, p_j)$ 보다 큰 RSRP가 측정된 후보자원을 제외한다. 만약 센싱 윈도우의  $s_i$  슬롯에서 다른 단말의 1단계 SCI를 수신하고 자원 점유 주기 값이  $RRP_{Rx}$ 으로 확인되었고, 측정된 RSRP 값이 임계값보다 클 경우, 단말은 선택 윈도우 내에서  $s_i + q * RRP_{Rx}$  위치에서 겹치는 모든 후보자원을 제외한다. 만약 송신 단말이 반영구적 스케줄링을 수행하고자 한다면, 상기 다른 단말의 전송 자원과  $s_j + j * RRP_{Tx}$  슬롯에서 겹치는 모든 후보 자원을 추가적으로 제외한다.
- 상기 과정을 통해 후보자원을 제외한 후에 단말은 선택 윈도우에서 사용 가능한 후보 자원이 X%보다 많거나 같은지의 여부를 확인한다. 만약 선택 윈도우에 남아있는 후보 자원의 비율이 X%보다 낮다면 RSRP 임계값을 3dB 높이고, RSRP 값의 비교절차를 다시 수행할 수 있다. 즉, 너무 많은 자원이 배제되었다면, 임계값을 높여 배제되는 자원의 수를 줄임으로써 사이드링크 전송이 보다 효과적으로 이루어질 수 있도록 조절할 수 있다.  $X = \{20, 35, 50\}$ %의 값들 중 하나로 사전에 설정될 수 있다.

### 3. 재평가 절차

상기 기술한 자원 센싱 및 선택 과정을 살펴보면, 센싱을 수행하는 시점과 전송 자원을 선택하는 시점 사이에 특정 시간 간격 이상의 시간 갭(gap)이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 만약, 송신 단말이 센싱을 종료한 이후 시점에, 예상하지 못한 다른 단말의 전송이 이루어진다면, 송신 단말이 선택한 자원이 유효하다고 보장될 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, NR V2X에서는 상기 절차를 통해 전송 자원이 선택된 이후에도 지속적으로 센싱을 수행하여 선택된 자원의 유효성을 확인하는 재평가 절차를 도입하였다.

〈그림 6〉와 같이 단말이 초기에 선택한 전송 자원이 슬롯  $m$  일 경우, 적어도  $m - T_3$  슬롯 이전 시점에서부터 자원 센싱 동작을 지속적으로 수행한다. 여기서,  $T_3$ 는 자원 선택 절차를 수행하는데 필요한 최대 시간이다. 단말이 다시 자원 센싱 과정을 수행하는 슬롯을  $n'$ 이라고 할 경우, 단말은 새로운 선택 윈도우를  $[n' + T_1, n' + T_2]$ 의 범위로 다시 정의할 수 있다. 여기서  $T'_2$ 는  $T_{2min} \leq T'_2 \leq PDB - (n' - n)$ 로 정의될 수 있다. 단말은 슬롯  $m$ 에서 선택된 자원에 대하여 사용가능 여부를 다시 평가할 수 있고, 만약 적합하지 않다고 판단이 되었다면, 새로운 선택 윈도우 내의 후보 자원들 중에서 슬롯  $m$ 을 제외한 나머지 후보 자원들 중에서 전송 자원을 다시 선택할 수 있다. 재평가 절차는 동적 스케줄링 및 반영구적 스케줄링의 경우 모두 적용될 수 있다.

#### 4. Pre-emption 절차

자원할당 모드 2에서는 데이터 트래픽 우선순위에 따라 전송 순서의 차등을 두기 위하여 pre-emption 기능을 도입하였다. 이를 통해, 우선순위가 다른 트래픽이 존재할 때, 자원을 보다 효과적으로 관리할 수 있다. 각 우선순위에 따른 임계값이 자원 풀에 사전-구성되고, 단말이 특정 자원을 점유했지만, 우선순위가 높은 단말이 선점된 자원을 사용하고자 한다면 선점한 단말은 해당 자원을 포기한다. 즉, 전송 단말은 더 높은 우선순위를 갖는 다른 단말의 예상되는 전송과의 충돌을 피하기 위해 예약된 자원을 포기하여 우선순위가 높은 트래픽이 먼저 전송될 수 있도록 한다. Pre-emption은 동적 스케줄링 및 반영구적 스케줄링의 경우 모두 적용 가능하다.

단말은 자원 센싱 과정을 다시 수행하는 경우에만, 다른 단말이 자신의 예약된 자원에 대한 사용 여부를 인지할 수 있다. 따라서, pre-emption을 위한 자원 센싱 과정은 자원 선택 과정 이후에 수행된다. 예를 들어, 슬롯  $m$ 에서 송신 단말이 자원 초기 예약을 완료하였을 경우,  $m - T_3$  이후에 pre-emption을 위한 자원 센싱을 수행할 수 있다. Pre-emption을 위해 자원 센싱이 트리거 된 슬롯이  $n'$ 일 경우, 단말은  $[n' + T_1, n' + T_2]$ 의 범위를

가지는 선택 윈도우를 다시 정의한다. 송신 단말은 자원 센싱을 통해 자신이 예약한 자원을 사용하고자 하는 다른 단말의 우선순위에 대한 pre-emption조건을 확인한다. 다른 단말이 더 높은 우선순위를 가진다면 자원을 예약한 단말은 이를 포기하고 재정의된 선택 윈도우 내에서 사용할 수 있는 사이드링크 자원을 선택하기 위해 절차를 다시 수행한다.

## IV. 결론

본 고에서는 NR V2X에서의 자원할당 모드 2를 위한 물리계층 단말 절차에 대한 표준 기술을 소개하였다. 자원할당 모드 2로 동작하는 단말은 센싱 윈도우 내의 자원을 모니터링하여 다른 단말의 자원 점유 여부를 판단할 수 있고, 센싱 결과에 기반하여 선택 윈도우 내의 자원들 중에서 전송에 사용할 자원을 효과적으로 선택할 수 있다. 또한, 예기치 못한 자원 충돌과 데이터 트래픽 우선순위에 따른 전송 우선순위의 차등을 두기 위하여 재평가 및 pre-emption 절차를 추가로 수행할 수 있다. NR V2X는 자원할당 모드 2를 통해 기지국의 서비스가 불가능한 지역에서 차량간 통신을 효과적으로 지원함으로써, 5G 기반 자율주행 및 차세대 지능형 교통 시스템 실현에 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant through the Korea Government (MSIT) under Grant NRF-2022R1F1A1064106.

## 참고 문헌

- [1] T. Kim, Y. Kim, M. Jung and H. Son, "Intelligent Partial Sensing based Autonomous Resource Allocation for NR V2X," IEEE Internet of Things J., to appear.
- [2] S. Chen, J. Hu, Y. Shi, L. Zhao, and W. Li, "A vision of C-V2X: Technologies, field testing, and challenges with Chinese development," IEEE Internet Things J.,

그림 6. 자원할당 모드 2에서 재평가 및 pre-emption 절차

vol. 7, no. 5, pp. 3872-3881, May 2020.

[3] C. Shin, E. Farag, H. Ryu, M. Zhou and Y. Kim, "Vehicle-to-Everything (V2X) Evolution From 4G to 5G in 3GPP: Focusing on Resource Allocation Aspects," IEEE Access, vol. 11, pp. 18689-18703, 2023.

[4] S. A. Ashraf, R. Blasco, H. Do, G. Fodor, C. Zhang, and W. Sun, 1258 "Supporting vehicle-to-everything services by 5G new radio release-16 systems," IEEE Commun. Standards Mag., vol. 4, no. 1, pp. 26-32, 1260 Mar. 2020.

[5] M. Harounabadi, D. M. Soleymani, S. Bhadauria, M. Leyh, and E. Roth-Mandutz, "V2X in 3GPP standardization: NR sidelink in release16 and beyond," IEEE Commun. Standards Mag., vol. 5, no. 1, pp. 12-21, Mar. 2021.

[6] "NR; study on NR vehicle-to-everything (V2X), V16.0.0, release 16," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. 3GPP TR 38.885, Mar. 2019.

[7] M. 1262 H. C. Garcia et al., "A tutorial on 5G NR V2X communications," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 23, no. 3, pp. 1972-2026, 3rd Quart., 2021.

[8] "NR sidelink evolution," 3GPP, Sophia Antipolis, France, 3GPP document TSG RAN Meeting #94-e, 3GPP RP-213678, Dec. 2021.

[9] V. Todisco, S. Bartoletti, C. Campolo, A. Molinaro, A. O. Berthet, and A. Bazzi, "Performance analysis of sidelink 5G-V2X mode 2 through an open-source simulator," IEEE Access, vol. 9, pp. 145648-145661, 2021.

[10] NR: Physical Layer Procedure for Data, V17.2.0, Release 17, 3GPP Standard TS 38.214, Jun. 2022.

[11] NR: Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, V17.1.0, Release 17, 3GPP Standard TS 38.331, Jun. 2022.

[12] NR: Physical Channels and Modulation, V17.2.0, Release 17, 3GPP Standard TS 38.211, Jun. 2022.

[13] NR: Physical Layer Procedure for Control, V17.2.0, Release 17, 3GPP Standard TS 38.213, Jun. 2022.

[14] NR: Multiplexing and Channel Coding, V17.2.0, Release 17, 3GPP Standard TS 38.212, Jun. 2022.

약 력



장대건

2023년 순천향대학교 정보통신공학과 공학사  
2023년~현재 순천향대학교 ICT융합학과 석사과정  
관심분야: 5G 표준, V2X, AI-PHY



김가연

2023년 순천향대학교 정보통신공학과 공학사  
2023년~현재 순천향대학교 ICT융합학과 석사과정  
관심분야: 5G 표준, V2X, AI-PHY



최태준

2018년~현재 순천향대학교 정보통신공학과 학부생  
관심분야: 전력 제어, 자원할당, 네트워크 최적화



김태형

2010년 연세대학교 전기전자공학과 공학사  
2016년 연세대학교 전기전자공학과 공학박사  
2016년~2021년 삼성전자 Samsung Research  
책임연구원  
2021년 한국전자통신연구원 차량무선네트워크연구실  
선임연구원  
2021년~현재 순천향대학교 정보통신공학과 조교수  
관심분야: B5G, 6G, V2X, IoT, AI-PHY

# 지능형 반사 표면을 통한 비직교 다중 접속 이기종 서비스 연구

나진엽, 강진규  
삼성전자, 명지대학교

## 요약

5세대 (5G) 및 차세대 이동 통신 시스템의 주요 설계 목표 중 하나는 초고속 광대역 통신 (eMBB), 초고 신뢰·저지연 통신 (URLLC), 대규모 사물 통신 (mMTC) 등 요구 사항이 서로 다른 다양한 유형의 장치를 지원하는 것이다. 무선 인터페이스에서 서로 다른 서비스가 비직교 방식으로 공전하면 잠재적으로 더 높은 스펙트럼 효율을 얻을 수 있으나, 이종 장치 간의 상호 간섭이 발생해 상당한 성능 병목 현상이 일어난다. 이 문제를 해결하기 위해 기지국에서는 해당 간섭을 잡음으로 처리하거나 순차적 간섭 제거 방식 등 다양한 복잡성을 띠는 간섭 관리 전략이 구현될 수 있다. 본고에서는 eMBB와 URLLC 장 치간의 간섭을 관리하는데 지능형 반사 표면 (IRS)가 수행할 수 있는 역할에 대해 고려한다. 해당 연구의 주요 목표는 다양한 형태의 기기들 무선 자원을 비직교 방식으로 사용하며 공존하는 네트워크에서, URLLC의 엄격한 신뢰성 및 지연 시간 요구조건을 만족함과 동시에 eMBB의 달성 가능한 전송률을 최대화하는 것이다. 특히, 장치들의 전력 할당 및 IRS 위상 천이 행렬의 공동 설계에 대해 다루며, 기지국에서 사용하는 디코딩 전략과 IRS의 상향링크 간섭 관리 기능 사이의 상대적 이점에 대해 알아본다.

## I. 서론

5세대(5G) 무선통신은 초고속 데이터 서비스, 증강현실(AR), 자율주행, 초연결 통신 서비스 등 다양한 분야의 활용을 지원하는 것을 목표로 하고 있다[1]. 5G 및 차세대 무선 통신 시스템의 주요 목표 중 하나는 연결된 애플리케이션의 다양한 요구 사항을 충족하면서 서비스를 제공하는 것이다. 이러한 다양한 애플리케이션의 다양한 요구 사항을 충족하기 위해 5G에서는 eMBB(enhanced Mobile BroadBand), URLLC(Ultra-Reliable Low-Latency Communications), Massive Machine-Type Communications(mMTC)의 세 가지 장치 유

형 서비스가 분류된다[2][3].

eMBB는 기존 4G 광대역 서비스를 직접적으로 확장한 것으로 향상된 데이터 속도로 원활한 서비스 제공을 지원한다. 예를 들어 YouTube, OTT 서비스 등 고화질 비디오 스트리밍을 지원하는 것은 eMBB 사용 사례로 분류할 수 있다. eMBB의 주요 목표는 데이터 속도를 최대화하고 매우 높은 피크 데이터 속도와 셀 경계 사용자를 위한 중간 속도로 안정적인 연결을 지원하는 것이다. 한편, URLLC는 매우 낮은 지연 시간과 매우 높은 안정성을 주요 목표로 하는 서비스이다. eMBB와 달리 URLLC는 높은 최대 데이터 속도를 요구하지 않지만 전송 지연 및 안정적인 통신 측면에서 엄격하다. URLLC 사용 사례를 통해 자율 주행 및 원격 수술과 같이 매우 민감하고 중요한 애플리케이션이 보장된다. 마지막으로 mMTC는 각 장치가 산발적으로만 작동하고 지연에 민감하지 않은 작은 데이터 페이로드를 전송하는 수많은 사물 인터넷(IoT) 장치를 사용한다. 그러나 네트워크에 접속하는 객체의 수가 방대하기 때문에 연결 밀도가 중요하고, 주어진 무선 자원을 효율적으로 활용하는 것이 필요하다.

이러한 이종 서비스를 동일한 네트워크 구조 내에서 공존하면서 제공하기 위해서는 각 유형별로 무선 자원을 직교적으로 할당하는 것이 일반적인 전략일 수 있다[4]. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 eMBB와 mMTC에는 다중 시간 자원이 할당되는 반면, URLLC 트래픽은 짧은 시간 자원을 점유하고 엄격한 대기 시간 요구 사항으로 인해 다중 주파수 채널에 분산된다. 또한 URLLC 트래픽이 급증하지 않으면 URLLC 채널은 유휴 상태로 유지된다. 해당 무선 자원 할당 방식을 H-OMA(Heterogeneous Orthogonal Multiple Access)라고 하며, 동일한 유형의 서비스에서 생성된 신호의 직교적으로 할당하는 기술이다. 이에 반해, H-NOMA(Heterogeneous Non-Orthogonal Multiple Access)는 무선자원을 이종 서비스에 비직교적으로 할당하는 기술을 말한다[3]. 일반적으로 URLLC 및 mMTC 장치의 트래픽은 간헐적인 특성을 가지므로 eMBB는 해당 무선 자원을 활용하여 더 높은 데이터 전송률을 달성할 수 있다. 그러나, 비직교성에 따른 기기 간 상호 간섭을 고려하지 않을 경우, 각 유형의 서비스 품질(QoS)이 만족되지 않거나 성능이 크게 저하될 수 있다.

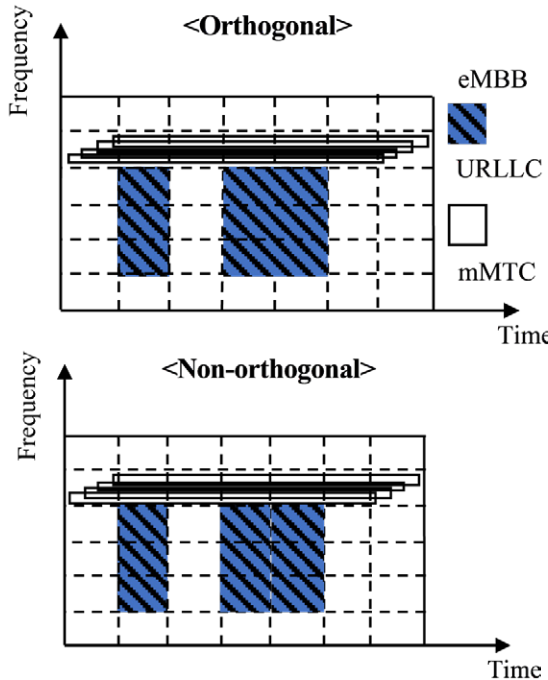


그림1. 이종 기기의 공존을 위한 무선 자원 할당 방식 (위) 이종 직교 다중 접속(H-OMA), (아래) 이종 비직교 다중 접속(H-NOMA)

따라서 H-NOMA 시스템의 핵심 문제는 “비직교 전송으로 인해 발생하는 서비스 간 간섭을 어떻게 관리할 것인가?”이며 이 문제를 해결하기 위해 지능형 반사 표면(IRS: Intelligent Reflecting Surfaces)을 적절한 솔루션으로 사용할 수 있다.

IRS는 메타표면으로 구성된 많은 수동소자들에 의해 입사된 신호를 반사시키는 역할을 하여 차세대 무선통신에 활용될 것으로 기대되는 기술 중 하나이다[5][6]. <그림 2>에 도시된 바와 같이, IRS를 포함하는 네트워크에서 사용자와 기지국(BS) 사이의 능동(active) 통신과 달리, 각 IRS 단위 셀의 산란 요소는 수신된 신호를 수동적(passive)으로 반영한다. 여기서 각 요소는 미리 적응된 위상 변이에 따라 신호를 반영하며, 위상 변이를 적절히 조절하여 수신 성능을 향상시키거나 간섭 제어를 용이하게 하는 장점이 있다[5]. 또한 별도의 RF(Radio Frequency) 체인을 사용하지 않고 입사된 신호를 반사하여 전송한다는 점에서 기존 계전기와 다르며, 전력 소모가 적어 친환경 통신 측면에서도 장점이 있다[7][8][9]. 이러한 맥락에서 우리는 다양한 유형의 장치 간의 간섭을 IRS가 제어하는 기법을 조사하였다.

본 고에서는 이종 서비스 유형의 장치, 특히 eMBB 및 URLLC 서비스의 비직교 공존을 특징으로 하는 IRS 지원 상향링크 통신 설정에 중점을 두었다. 여기서, IRS는 이종 기기들이 자원 블록을 비직교적으로 사용할 때 발생하는 상호 간섭을 관리하여 각 기기의 서비스 요구 사항을 충족시키면서 성능 향상에 도움을 주는 역할을 한다.

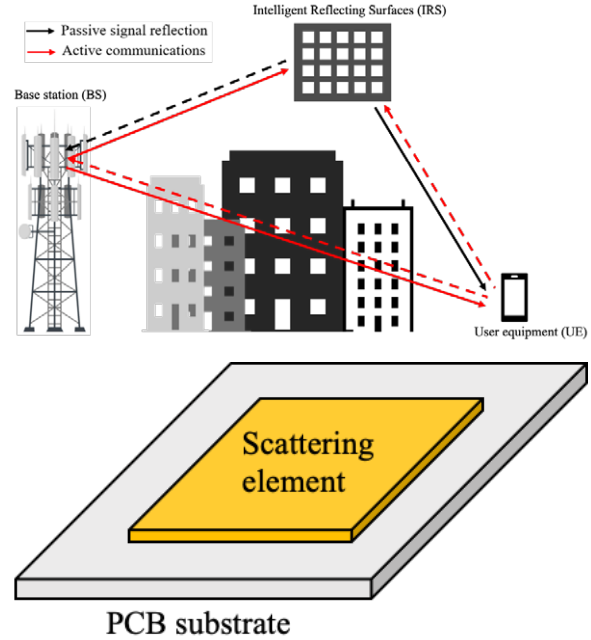


그림2. (위쪽) IRS를 포함한 단순 통신 모델 (아래쪽) IRS 단위 셀의 대략적인 구조[6]

- URLLC 장치 전송에 대한 신뢰성 요구 사항에 따라 eMBB 속도를 최대화하는 최적화 문제를 제안한다. URLLC 전송의 신뢰성 제약은 중단 확률 근사와 유한 블록 길이 이론을 기반으로 하는 두 가지 별개의 방식으로 정의된다.
- IRS 위상 적응에 의한 간섭 관리 효과를 수치 결과를 통해 검증한다. 더욱이, 디코딩 전략의 상대적 이점은 IRS의 향상된 간섭 관리 기능과 BS에서의 디코딩 전략의 간섭 제거 사이의 상호 작용에 달려 있다고 요약된다.

## II. eMBB와 URLLC공존을 위한 지능형 반사 표면 지원 상향링크 NOMA

본 장에서는 eMBB 전송률을 최대화하는 관점에서 상향링크 H-NOMA 시스템에서 IRS의 간섭 관리 능력을 살펴본다. 여기서, IRS는 이종 기기들이 자원블록을 비직교적으로 사용할 때 발생하는 상호 간섭을 관리하여, 각 기기의 서비스 요구사항을 충족시키면서 성능 향상에 도움을 주는 역할을 한다. 이때, BS에서 가능한 아래 세 가지 간섭 관리 전략을 고려하여 전력 할당 및 IRS 위상 매트릭스의 공동 설계를 조사한다. 1) TIN (Treating URLLC interference as noise): eMBB 트래픽을 디코딩할 때 URLLC 간섭을 잡음으로 처리, 2) puncturing [10]: eMBB 트래픽을 디코딩할 때 URLLC 전송의 영향을 받은 프레임 버리는

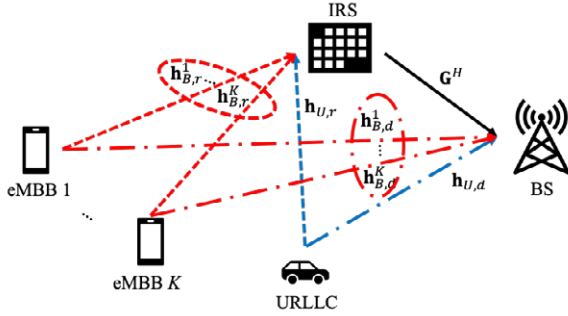


그림 3. 비직교 다중 액세스 무선 인터페이스를 지원하는 IRS 지원 상향링크 시스템의 네트워크 슬라이싱 모델

디코딩 기법, 3) SIC (Successive Interference Cancellation) eMBB 트래픽을 디코딩하기 전에 URLLC 패킷을 디코딩하고 무효화하는 디코딩 기법. 그리고, 다양한 환경에서 IRS나 디코딩 전략이 eMBB 전송 속도에 미치는 영향을 분석한다.

### 1. 시스템 모델

(그림 3)에 예시된 IRS 지원 상향링크 H-NOMA 시스템을 고려한다. 우리는  $K$ 개의 단일 안테나 eMBB 장치와 단일 URLLC 장치로 구성된 IRS 지원 시스템의 이중 유형 장치에 대한 네트워크 슬라이싱 모델을 고려한다. 모든 장치는 상향링크 무선 채널을 통해 다중 안테나의 장치가 장착된 BS와 통신한다. IRS는  $M$ 개의 반사 요소로 구성되며, 각 요소는 입사 신호의 위상을 독립적으로 조정한다. eMBB 장치 집합을  $K \triangleq \{1, 2, \dots, K\}$ 로 표시하고 신호를 전송하기 위해 eMBB 및 URLLC 장치는 인덱스  $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ 로 표시되는  $T$ 개의 미니 슬롯의 시간 슬롯을 활용한다. 전체 시간 슬롯이 주파수 영역 내에서 여러 자원 블록으로 나누어져 있다고 가정한다. 대기 시간 제약으로 인해 URLLC 전송 시간이 제한되므로 URLLC 장치의 각 트래픽은 단일 미니 슬롯 내에서 전송될 수 있는 반면 eMBB 장치는 완전한 시간-주파수 자원 평면을 사용하여 BS와 통신한다[3][11]. URLLC 장치의 전송은 활성화 확률  $q_U$ 를 사용하여 각 미니 슬롯에서 독립적으로 발생한다고 가정한다.

### 2. URLLC의 QoS 요구사항

URLLC 서비스의 경우 특정 애플리케이션에 따라 고정 속도  $R_{th}$ 로 전송한다고 가정한다. eMBB와 URLLC 트래픽이 모두 존재하는 경우, 획득된 URLLC 속도가 목표 고정 속도  $R_{th}$ 보다 낮을 때 URLLC 전송 중단이 발생한다. 따라서 URLLC 장치의 자동 중단 확률은 수학적 (1)과 같이 표현된다.

$$\Pr_{out}(R_{th}) = \Pr \left[ \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_U(\theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\theta)P_B^k + \sigma_n^2} \right) < R_{th} \right] \quad (1)$$

여기서, 행렬  $\theta \triangleq \text{diag}(\beta e^{j\phi_1}, \beta e^{j\phi_2}, \dots, \beta e^{j\phi_M})$ 은 IRS의 위상 편이 행렬을 나타낸다.  $\phi_i \in [0, 2\pi)$  및  $\beta \in [0, 1]$ 은 각각 위상 및 진폭 계수를 나타내고  $j$ 는 허수 단위이다. 또한,  $P_U$ 와  $P_B^k, \sigma_n^2$ 는 각각 URLLC 기기의 전송 전력,  $k$ 번째 eMBB기기의 전송 전력, 잡음 전력을 나타낸다.  $h_B^k(\theta), h_U(\theta)$ 는 각각  $k$ 번째 eMBB기기와 URLLC기기의 상향링크 통신을 위한 유효 채널 계수이고 그 크기는  $\tilde{g}_B^k(\theta) = |h_B^k(\theta)|^2$  및  $\tilde{g}_U(\theta) = |h_U(\theta)|^2$ 로 표시된다.

이때, URLLC 서비스의 경우 중단 확률이 매우 낮아야 하기 때문에 URLLC 전송은 항상 성공한다는 가정, 즉  $\Pr_{out}(R_{th}) = 0$ 이라는 가정 하에 문제를 처리한다. 이러한 가정은 3GPP NR 규격[12]에서 URLLC 트래픽은 높은 신뢰성의 서비스를 보장하기 위해 중단 확률을  $10^{-5}$  이하를 목표로 한다는 사실로 설명될 수 있다. 따라서 다음과 같은 조건이 충족되면 URLLC의 QoS가 만족할 수 있다.

$$R_{th} \leq \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_U(\theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\theta)P_B^k + \sigma_n^2} \right) \quad (2)$$

### 3. 최적화 문제 공식화

URLLC 서비스와 달리 eMBB 장치는 전송 속도를 조정할 수 있는 비디오와 같은 트래픽을 전달하는 것으로 가정된다. 따라서, 우리는 IRS 위상 편이 행렬  $\theta$ 를 조정하고 전송 전력  $\mathbf{P}_B = \{P_B^k\}_{k \in K}$  및  $P_U$ 를 할당하여 오류 확률 측면에서 URLLC 트래픽에 대한 QoS 요구 사항을 만족하면서 eMBB 전송 속도를 최대화하는 것에 관심이 있다. 결과적으로 최적화 문제는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} & \max_{\theta, \mathbf{P}_B, P_U} R'_B(\theta, \mathbf{P}_B, P_U) \\ & \text{s. t. } C1: R_{th} \leq \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_U(\theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\theta)P_B^k + \sigma_n^2} \right), \\ & C2: 0 \leq P_B^k \leq P_B^{max}, \quad 0 \leq P_U \leq P_U^{max}, \quad \forall k, \\ & C3: |\theta_m| \leq 1, \\ & \quad \forall m, \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $R'_B(\theta, \mathbf{P}_B, P_U)$ 는 eMBB기기들의 총 전송 속도이고  $\theta_m = \beta e^{j\phi_m}$ 은  $m$ 번째 IRS 요소의 위상 편이이다. 다음 장에서 살펴보겠지만 eMBB 속도는 BS에서 구현된 특정 디코딩 전략에 따라 달라진다.

### 4. 디코딩 기법에 따른 eMBB 전송 속도

본 장에서는 BS에서 대표적으로 구현 될 수 있는 세 가지 디코딩 전략에 따른 달성 가능한 eMBB 속도를 설명한다. 세 가지 디코딩 전략은 아래와 같습니다. 1) TIN: URLLC 간섭을 잡음으로

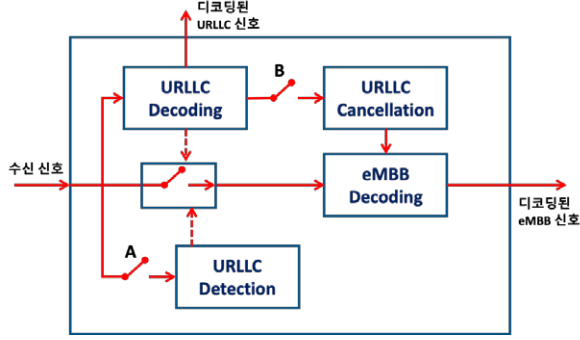


그림 4. NOMA에서 디코딩 기법에 따른 BS의 작동을 나타내는 블록 다이어그램

처리하는 기법, 2) Puncturing: URLLC 신호와 겹치는 eMBB 신호를 제거하는 기법, 3) SIC: URLLC 신호를 먼저 디코딩 한 후 수신신호에서 그 디코딩한 신호를 제거하여 eMBB 신호를 디코딩하는 기법으로 분류 할 수 있다. <그림 4>에서는 NOMA에서 각 디코딩 전략에 따른 BS의 작동 블록 다이어그램을 표현한다. 구체적으로, TIN 디코딩 기법에서는 박스형 스위치가 항상 닫혀 있으며 다른 두 디코딩 기법에서는 URLLC decoding 상자와 URLLC detection 상자에 의해 제어 된다. Puncturing 디코딩 기법의 경우 스위치 A가 닫혀 있고 SIC 디코딩 기법의 경우 스위치 B가 닫혀 있다.

### 1. Treating URLLC Interference as Noise (TIN)

먼저 BS가 URLLC 신호를 잡음으로 처리하여 eMBB 신호를 디코딩하는 경우를 연구한다. URLLC 활성화 확률은  $q_U$ 이므로 eMBB 비율  $R_B^{TIN}(\theta, \mathbf{P}_B, P_U)$  (bits/s/Hz) 충분히 긴 시간 슬롯 내, 즉 큰  $T$ 를 갖는 경우 다음과 같이 쓸 수 있다[11].

$$R_B^{TIN}(\theta, \mathbf{P}_B, P_U) = \sum_{k=1}^K R_{B,TIN}^k \quad (4)$$

여기서  $k$ 번째 eMBB기기의 전송속도  $R_{B,TIN}^k$ 는 아래와 같다.

$$R_{B,TIN}^k = q_U \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_B^k(\theta) P_B^k}{\sum_{j \neq k} \tilde{g}_B^j(\theta) P_B^j + \tilde{g}_U(\theta) P_U + \sigma_n^2} \right) + (1 - q_U) \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_B^k(\theta) P_B^k}{\sum_{j \neq k} \tilde{g}_B^j(\theta) P_B^j + \sigma_n^2} \right) \quad (5)$$

### 2. Puncturing

Puncturing을 사용하면 URLLC 장치가 미니 슬롯  $t$ 에서 신호를 전송하는 경우 기지국은 eMBB 신호를 디코딩할 때 미니 슬롯  $t$ 를 폐기하고 해당 eMBB에 대한 무선 자원을 "삭제"된 것으로 처리한다. 우리는 BS가 미니 슬롯에서 URLLC 장치가 활성화되었는지 여부를 감지할 수 있다고 가정하고 이 가정은 충분히

더 큰 전송 전력이 필요한 URLLC 트래픽의 높은 신뢰성으로 인해 시스템이 적절하게 설계된 경우 일반적으로 정당화될 수 있다. Puncturing 디코딩 기법 하에서 미니 슬롯  $t$ 에 해당하는 BS에서 eMBB전송 속도는 다음과 같이 제공된다[11].

$$R_B^{punc}(\theta, \mathbf{P}_B) = \sum_{k=1}^K R_{B,punc}^k(\theta, \mathbf{P}_B) \quad (6)$$

여기서  $k$ 번째 eMBB기기의 전송속도  $R_{B,punc}^k$ 는 아래와 같다.

$$R_{B,punc}^k(\theta, \mathbf{P}_B) = (1 - q_U) \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_B^k(\theta) P_B^k}{\sum_{j \neq k} \tilde{g}_B^j(\theta) P_B^j + \sigma_n^2} \right) \quad (7)$$

기지국이 Puncturing 기법을 사용하여 eMBB 신호를 디코딩 하면  $k$ 번째 eMBB 전송 속도가 URLLC 간섭 향이 없는 표현과 동일함을 알 수 있다.

### 3. Successive Interference Cancellation (SIC)

우리는 마지막으로 NOMA 시스템에서 일반적으로 고려되는 솔루션인 SIC 디코더를 사용할 때 eMBB 속도를 분석한다[13]. 구체적으로, URLLC 전송이 미니 슬롯  $t$ 에서 발생하면 제약 조건 수학적 (2)에 따라 BS는 이를 정확하게 디코딩하고 수신 신호에서 이를 뺄 수 있다 (<그림 4> 참조). 결과적으로, URLLC 트래픽 발생 여부에 관계없이 SIC 디코더에서 eMBB 전송속도를 공식화할 수 있다. 즉, SIC 디코더에서의 eMBB의 전송속도는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_B^{SIC}(\theta, \mathbf{P}_B) = \sum_{k=1}^K R_{B,SIC}^k(\theta, \mathbf{P}_B) \quad (8)$$

여기서  $k$ 번째 eMBB기기의 전송속도  $R_{B,SIC}^k$ 는 아래와 같다.

$$R_{B,SIC}^k = \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_B^k(\theta) P_B^k}{\sum_{j \neq k} \tilde{g}_B^j(\theta) P_B^j + \sigma_n^2} \right) \quad (9)$$

참고로 eMBB 속도 수학적 9는 URLLC 활성화 확률이 0인 경우 평치링 방식을 적용하는 특수한 경우로 간주할 수 있습니다.

### 4. 최적화 문제 해결 알고리즘

우리는 위에서 URLLC기기에 대한 QoS요구 사항을 만족하면서 디코딩 기법에 따라 다르게 계산되는 eMBB 속도를 최대화하는 최적화 문제를 제안하였다. 상기 최적화 문제를 해결하기 위하여 Block Coordinated Descent(BCD) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 IRS 위상을 고정하고 전송 전력을 최적화 하는 첫번째 하위 문제와 전송 전력을 고정하고 IRS 위상을 최적화하는 두번째 하위 문제로 나눈 후, 각 하위 문제를 연속 볼록 근사법을 사용하여 볼록 최적화 문제로 변환하여 문제를



해결한다(단, 구체적인 내용은 여기서 다루지 않는다.). TIN 및 puncturing, SIC 디코더의 최적화 문제는 알고리즘 1에 요약된 BCD 알고리즘을 적용하여 장치 전력 및 IRS 위상 행렬을 최적화할 수 있습니다.

**알고리즘 1: eMBB 전송속도 최대화를 위한 BCD 알고리즘**

- 1 IRS위상  $\theta(0)$  및 전송전력  $\mathbf{P}_B(0), P_U(0)$  값을 초기화.
- 2 상기 초기값을 기반으로  $R_B(0) = R_B(\theta(0), \mathbf{P}_B(0), P_U(0))$  계산
- 3 Repeat:  $i = i + 1,$
- 4 Step1. 전송 전력 최적화: (3) 최적화 문제에서 IRS 위상을  $\theta(i - 1)$ 로 고정후 볼록 최적화 문제로 변경하고 해결하여  $\mathbf{P}_B(i), P_U(i)$ 를 계산.
- 5 Step2. IRS 위상 최적화: (3) 최적화 문제에서 전송 전력을  $\mathbf{P}_B(i), P_U(i)$ 로 고정 후 볼록 최적화 문제로 변환하고 해결하여 IRS 위상  $\theta(i)$ 를 계산
- 6 IRS위상  $\theta(0)$  및 전송전력  $\mathbf{P}_B(0), P_U(0)$  값을 기반으로  $R_B(i) = R_B(\theta(i), \mathbf{P}_B(i), P_U(i))$  계산
- 7 until  $|R_B(i) - R_B(i - 1)| \leq \delta_{th} (\delta_{th}: \text{충분히 작은 양의 값})$

### III. 유한한 블록 길이 전송에서 eMBB와 URLLC공존을 위한 네트워크 슬라이싱

URLLC의 실제 사용 사례인 원격 수술 및 자율 주행과 같은 응용 프로그램은 안정성 및 대기 시간 요구 사항이 충족되지 않으면 치명적일 수 있다. 특히 URLLC 패킷은 낮은 대기 시간을 요구하기 때문에 짧은 시간 동안 전송된다. 결과적으로, 일반적인 Shannon의 접근 방식으로는 달성 가능한 비율을 얻을 수 없다. 이는 Shannon의 이론이 전송 중 블록 길이가 무한하다는 개념에 근거하고 있다는 사실 때문이다. 따라서 URLLC와 같이 유한한 블록 길이를 사용하는 장치의 성능을 평가할 때 [14][15]에서 조사된 다른 방법론이 필요할 수 있다.

본 장에서는 이를 통해 반영되는 URLLC의 QoS요구사항을 연구한다. 구체적으로, 긴 블록 길이 체제에서 Shannon의 이론을 적용하여 달성 가능한 속도를 얻을 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 Shannon의 공식은 짧은 미니 슬롯 내에서 데이터를 전송해야 하는 심각한 대기 시간 제한으로 인해 URLLC 장치의 통신 속도를 결정하는 데 직접 사용할 수 없다. 대신, 우리는 URLLC와 같은 짧은 패킷을 전송하는 장치의 달성 가능한 속도를 얻기 위해 유한 블록 길이 이론[14]에 기반한 전송 속도 근사를 사용해야한다. eMBB 및 URLLC 트래픽이 모두 있는 경우 달성 가능한 URLLC 속도(비트/s/Hz 단위)의 대략적인 하한을 다

음과 같이 표현할 수 있다[14][15].

$$R_U = \log_2(1 + SINR_U) - \frac{Q^{-1}(\epsilon_U)}{\sqrt{F}} \sqrt{\frac{SINR_U}{1 + SINR_U}}$$

$$= \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_U(\Theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\Theta)P_B^k + \sigma_n^2} \right) - \frac{Q^{-1}(\epsilon_U)}{\sqrt{F}} \sqrt{\frac{\tilde{g}_U(\Theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\Theta)P_B^k + \tilde{g}_U(\Theta)P_U + \sigma_n^2}}$$
(10)

여기서  $SINR_U$ 는 URLLC기기의 신호 대 간섭 잡음비(SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio)이다.  $F$ 는 URLLC기기의 블록 길이를 나타낸다.  $\epsilon_U$ 는 URLLC 전송에 대한 디코딩 오류 확률이다. 그리고  $Q(x) = \int_x^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ 는 표준 정규 분포의 누적 분포 함수이다. V2X, 자율주행차 등과 같은 특정 애플리케이션에 의해 결정된 대로 URLLC 서비스에 대해 고정 속도  $R_{th}$ 로 전송한다고 가정한다. 그런 다음 고려된 네트워크 슬라이싱 모델에서 URLLC 장치의 신뢰성 요구 사항은 다음과 같이 작성된다.

$$R_{th} \leq \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{g}_U(\Theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\Theta)P_B^k + \sigma_n^2} \right) - \frac{Q^{-1}(\epsilon_U)}{\sqrt{F}} \sqrt{\frac{\tilde{g}_U(\Theta)P_U}{\sum_{k=1}^K \tilde{g}_B^k(\Theta)P_B^k + \tilde{g}_U(\Theta)P_U + \sigma_n^2}}$$
(11)

### IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는  $K = 2$  eMBB 장치와 단일 URLLC 장치를 포함하는 상향링크 시스템을 고려한다. 시스템 배치를 위해  $N = 4$  개의 안테나를 장착한 x-y 좌표의 원점에 BS를 설정하고, IRS는 BS에서 +y축 방향으로 10m 떨어져 있다고 가정한다. 게다가, eMBB 장치는  $[300, 10]^T$  및  $[300, -10]^T$ 를 재설정하고 URLLC 장치는 BS에서 +x축 방향으로 각각 200m 떨어져 있다. URLLC 트래픽의 디코딩 오류 확률  $\epsilon_U$ 는 10<sup>-3</sup>으로 설정되었으며 URLLC 블록 길이  $F = 1200$ 심볼로 설정되었다. 상향링크의 경우 eMBB 장치의 최대 전송 전력은  $P_B^{max} = 6$  dBm으로 설정되고, URLLC 장치의 최대 전송 전력은  $P_B^{max} = 10$  dBm으로 설정됐다. 또한 잡음 전력은 -174dBm/Hz로 가정됐다. 본 장에서는 IRS를 통한 간섭 관리 능력이 주요 성능 지표로 분석되므로 IRS가 없는 경우와 무작위 위상 적응이 있는 IRS를 벤치마크로 사용한다.

먼저 <그림 5>에서 목표 URLLC 전송 속도 임계값  $R_{th}$ 에 대해 각 디코딩 방식에 따른 eMBB 합계 속도를 비교한다.

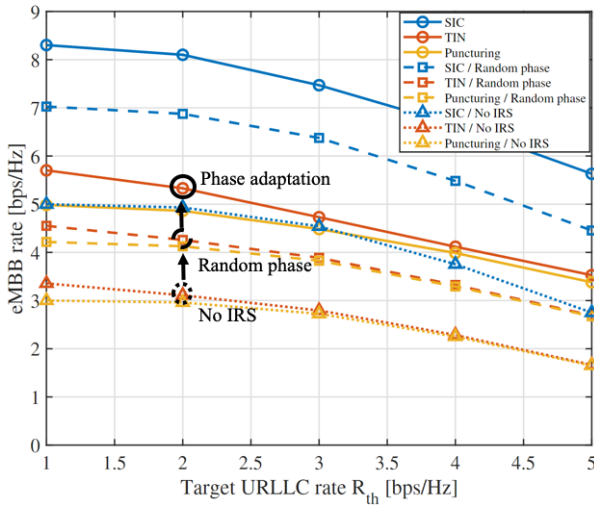


그림 5. 목표URLLC 전송 속도 임계값  $R_{th}$  대비 상향링크 eMBB 전송속도

$M = 8$ ,  $q_U = 0.4$  로 설정한다. URLLC 전송 속도 임계값  $R_{th}$  가 증가함에 따라 BS에서 eMBB 신호의 수신 전력  $\hat{g}_B^k(\theta)P_B^k$  가 감소하므로 eMBB 합계 속도는  $R_{th}$ 에 따라 감소하는 것으로 나타난다. 더욱이, IRS가 있는 시스템은 IRS가 없는 시스템(no IRS)에 비해 항상 상당한 성능 이득을 제공하며, 심지어 위상 편이 매트릭스가 eMBB 장치의 총 속도를 최대화하도록 최적화되지 않은 시스템(Random phase)에서도 성능 이득을 가져다 주는 것을 볼 수 있다. IRS의 존재 여부에 관계없이 SIC는 다른 디코딩 전략에 비해 상당한 eMBB 합계 속도 성능을 보여준다. SIC 디코더는 하드웨어 복잡성이 높다는 단점이 있지만 디코더의 구현 복잡성은 여기서 다루는 문제가 아니기 때문에 다른 디코더에 비해 버스티 URLLC 전송을 처리하는 데 가장 좋은 선택

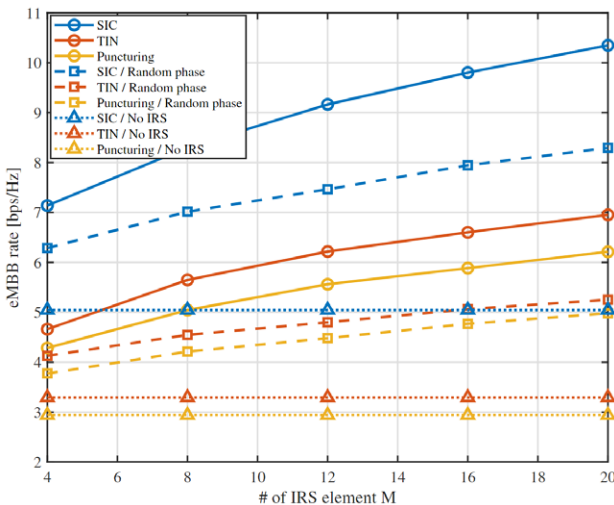


그림 6. IRS 요소 개수 M 대비 상향링크 eMBB 전송속도

이라고 볼 수 있다. 또한 IRS는 고려된 네트워크 슬라이싱 시스템의 상향링크 통신을 지원하므로 puncturing과 TIN 전략 간에는 약간의 성능 차이가 있다. 이는 puncturing 방식은 URLLC 전송을 포함하는 미니 슬롯에서는 eMBB 속도를 전혀 얻을 수 없는 반면, TIN 방식은 IRS의 간섭 관리 기능을 활용하면 해당 미니 슬롯에 대해 eMBB 속도 이득을 얻을 수 있기 때문이다.

〈그림 6〉에서는  $R_{th} = 1$  bps/Hz 및  $q_U = 0.4$ 인 경우에 IRS 요소 개수 M의 함수로 eMBB 합계 속도를 평가한다. IRS를 사용한 성능 향상은 IRS 요소 수가 증가함에 따라 디코딩 방법과 무관하게 증가하는 것으로 나타났다. 각 IRS 요소의 위상이 최적화되지 않은 경우(Random phase)에도 eMBB 전송 속도의 향상이 나타나며, 요소 M의 개수가 증가할수록 이득도 증가한다. 이는 M이 커지면 URLLC 전송이 존재하는 미니 슬롯에서 기지국 이 URLLC 간섭을 효율적으로 제어할 수 있어 해당 미니 슬롯을 통해 사용 가능한 eMBB 전송 속도가 최대화되면서 URLLC 제한을 충족할 수 있기 때문이다. 더욱이, IRS 요소 수가 적은 경우(여기서,  $M = 4$ ), 상호 간섭 관리 기능이 부족하기 때문에 IRS가 없는 네트워크의 SIC 디코더는 IRS가 있는 TIN 디코더보다 더 나은 성능을 나타낸다.

## V. 결론

무선통신 기술과 스마트폰 등 사용자 기기의 성능이 발전하면서 지원 가능한 애플리케이션이 다양해졌고, 이들 서비스에 대한 성능 지표와 QoS 요구사항도 이용 목적에 따라 세분화, 고도화되고 있다. 요구사항이 서로 다른 기기들이 제한된 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 이종 기기들이 비직교적으로 공존하는 시스템을 고려하는 것이 필수적일 것이다. 본 학회지에서는 IRS의 수동소자들과 이기종 기기들의 상호 간섭으로 인해 저하되는 시스템 성능을 관리하여 성능 향상을 얻을 수 있는 방법을 다루었다. 상향링크 환경에서는 엄격한 신뢰성 및 지연 기준을 갖는 URLLC 신호가 eMBB 신호보다 먼저 기지국에서 디코딩될 수 있다는 점에 착안하여 eMBB 속도 성능을 분석하는데 있어서 기지국에서 일반적으로 구현되는 세 가지 디코딩 전략을 고려하였다.

또한, II장에서는 URLLC기기의 QoS 요구조건 관련하여 URLLC의 목표 중단 확률이 매우 낮으므로 이를 근사화하여 도출한 SINR 제약 조건을 신뢰도 제약 조건으로 사용하였다. 추가적으로, III장에서는 URLLC 패킷이 짧은 블록 길이 내에서 전송되므로 유한 블록 길이 이론을 기반으로 설계된 URLLC 전송 속도를 신뢰성 제약에 반영하였다. 여기서 제안된 최적화 문제는

연속 볼록 근사법을 사용하여 볼록하게 수정되었으며, eMBB 속도를 최대화할 수 있는 전력 할당 및 IRS 위상 행렬을 얻기 위한 반복 BCD 알고리즘을 제안했습니다. 결과적으로, IRS를 사용하면 디코딩 전략에 관계없이 상당한 성능 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있다. SIC는 대부분의 환경에서 다른 경우에 비해 최고의 시스템 성능을 보여주지만, 실질적인 구현 복잡성 측면에서 단점이 있다. 향후 연구에서 각 디코더의 하드웨어 복잡성을 추가적으로 고려한다면, 본 논문을 통해 TIN과 같은 다른 디코더가 상대적인 장점을 보일 수 있는 환경에 대한 통찰력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고 문헌

- [1] Cisco, "Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2016-2021.," White Paper, Jun. 2017.
- [2] M. Series, "Minimum requirements related to technical performance for IMT- 2020 radio interface(s)," Report, M.2410-0, Nov. 2017.
- [3] P. Popovski, K. F. Trillingsgaard, O. Simeone, and G. Durisi, "5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view," *IEEE Access*, vol. 28, no. 6, pp. 55765-55779, Sep. 2018.
- [4] P. Popovski et al., "Ultra-reliable low-latency communication (URLLC): principles and building blocks," *IEEE Network*, vol. 32, no. 2, pp. 16-23, Mar. 2018.
- [5] M. Di. Renzo, A. Zappone, M. Debbah, M.-S. Alouini, C. Yuen, J. de Rosny, and S. Tretyakov, "Smart radio environments empowered by reconfigurable intelligent surfaces: how it works, state of research, and the road ahead," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, vol. 38, no. 11, pp. 2450-2525, Nov. 2020.
- [6] C. Liaskos, S. Nie, A. Tsioliariidou, A. Pitsillides, S. Ioannidis, and I. Akyildiz, "A new wireless communication paradigm through software-controlled metasurfaces," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 56, no. 9, pp. 162-169, Sep. 2018.
- [7] M. D. Renzo et al., "Reconfigurable intelligent surfaces vs. relaying: differences, similarities, and performance comparison," *IEEE Open Journal of the Commun. Society*, vol.1, pp. 798-802, Jun. 2020.
- [8] S. Gong, X. Lu, D. T. Hoang, D. Niyato, L. Shu, D. I. Kim, and Y. C. Liang, "Toward smart wireless communications via intelligent reflecting surfaces: a contemporary survey," *IEEE Commun. Survey & Tutorials*, vol. 22, no. 4, pp. 2283-2314, Jun. 2020.
- [9] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. Alouini, and R. Zhang, "Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753-116773, Aug. 2019.
- [10] A. Anand, G. de Veciana, and S. Shakkottai, "Joint scheduling of URLLC and eMBB traffic in 5G wireless networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol.28, no. 2, pp. 477-490, Apr. 2018.
- [11] R. Kassab, O. Simeone, P. Popovski, and T. Islam, "Non-orthogonal multiplexing of ultra-reliable and broadband services in fog-radio architectures," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 13035-13049, Jan. 2019.
- [12] UL Inter-UE Multiplexing Between eMBB and URLLC, document 3GPP TSG RAN WG1 95, Nov. 2018.
- [13] K. Higuchi, and A. Benjebbour, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) with successive interference cancellation for future radio access," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E98-B, no. 3, pp. 403-414, Mar. 2015.
- [14] Y. Polyanskiy, H. V. Poor, and S. Verdú, "Channel coding rate in the finite block-length regime," *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 56, no. 5, pp. 2307-2359, May 2010.
- [15] J. Scarlett, V. Y. F. Tan, and G. Durisi, "The dispersion of nearest-neighbor decoding for additive non-Gaussian channels," *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 63, no. 1, pp.81-92, Jan. 2017.

## 약 력



나 진 엽

2016년 한국과학기술원 공학사  
2018년 한국과학기술원 공학석사  
2023년 한국과학기술원 공학박사  
2023년~현재 삼성전자 네트워크사업부 Staff engineer  
관심분야: 무선통신, 차세대 이동통신, 5G NR 표준,  
통신시스템 구조 설계 등



강 진 규

2009년 KAIST 전자전공, 공학사  
2011년 한국과학기술원 공학석사  
2015년 한국과학기술원 공학박사  
2015년~2016년 한국과학기술원 박사후과정  
2016년~2017년 Harvard University, Postdoctoral Fellow  
2017년~2020년 삼성전자 삼성리서치 차세대통신연구센터  
책임연구원  
2020년~현재 명지대학교 정보통신공학과 조교수  
관심분야: 무선통신, 차세대 이동통신, 분산컴퓨팅, 비직각  
네트워크, 5G NR 표준 등

# 차세대 통신 시스템을 위한 전송률-분할 다중 접속 기술 동향

이병주, 박정훈\*, 최진석\*\*, 이남윤<sup>+</sup>, 신원재<sup>+</sup>  
 인천대학교, 연세대학교\*, 한국과학기술원\*\*, 고려대학교<sup>+</sup>

## 요약

전송률-분할 다중 접속(Rate-Splitting Multiple Access, RSMA)은 5G 이후의 차세대 통신 시스템에서 높은 처리량을 달성하기 위한 주요 후보 기술이다. 전송률-분할 다중 접속 기술은 기존 다중 접속 기술들과 다르게 개별 메시지를 모든 사용자가 디코딩할 수 있는 공통 부분과 의도된 사용자만 디코딩할 수 있는 개인 부분으로 분할한다. 여러 개별 사용자의 공통 부분은 공동으로 인코딩하여 공통 메시지를 구성하고 개인 부분은 단독으로 인코딩하여 개인 메시지를 구성한다. 각 사용자는 먼저 공통 메시지를 디코딩한 다음 순차적 간섭 제거(Successive Interference Cancellation, SIC)를 적용하여 개인 메시지를 디코딩한다. 전송률-분할 다중 접속 기술은 사용자 간 간섭을 효율적으로 완화하여 상당한 성능 이득을 제공한다. 본 고에서는 전송률-분할 다중 접속 기술과 기존 다중 접속 기술들의 특징을 요약 및 분석한다. 또한, 전송률-분할 다중 접속 기술 응용 시나리오 및 연구 이슈들에 관해 논한다.

## I. 서론

2030년경의 미래에는 엄청난 수의 사람, 기계 및 사물이 무선 네트워크에 연결되어 실시간으로 주변 환경을 감지, 처리, 행동 및 통신할 것으로 예상된다[1]. 2019년 상용화된 5G가 가져온 많은 기술 발전에도 불구하고 기계, 차량, 센서 및 로봇과 같은 지능형 사물이 데이터 속도 또는 전송 지연에 제한 없이 물리적 공간과 가상 공간 모두에서 초연결 네트워크를 구현하기 위해서는 여전히 패러다임의 변화가 필요하다.

차세대 무선 네트워크에서는 여러 가지의 서비스 요구사항 및 하드웨어 기능을 가진 다양한 폼팩터를 가진 디바이스들을 지원해야 하므로, 활성화 기술은 다양한 측면에서 5G와 매우 구별되어야 하며 많은 잠재적인 기술들이 고려되고 있다[2]. 이들 중에는 단일 무선 자원을 통해 서비스를 제공하는 전송률-분할

다중 접속 기술(Rate-Splitting Multiple Access, RSMA)이 있다[3]-[7]. 전송률-분할 다중 접속 기술의 핵심 특징은 개별 사용자의 메시지를 공통 부분과 개인 부분으로 나눈 후, 공통 부분을 공동으로 인코딩하여 공통 메시지를 구성하는 것이다. 이어서 각 사용자는 순차적 간섭 제거(Successive Interference Cancellation, SIC)을 적용하면 공통 메시지를 디코딩하고 제거한 다음 개인 메시지를 디코딩한다. 전송률-분할 다중 접속 기술에서 공통 메시지 비율이 적절하게 결정되면 스펙트럼 효율성 이득은 사용자 간 간섭을 완화하여 달성된다.

본 고에서는 먼저 기존 다중 접속 기술(Multiple Access, MA)들과 비교 및 특징 분석을 통해 전송률-분할 다중 접속 기술의 이론적 배경에 대해 논의한다. 그 후, 전송률-분할 다중 접속 기술 응용 시나리오 및 주요 기술적 과제에 대해 논한다.

## II. 이동통신 세대별 다중 접속 기술

본 절에서는 각 이동통신 세대의 다중 접속 기술을 살펴본다. 그 후 전송률-분할 다중 접속 기술과 기존 다중 접속 기술들을 비교 분석한다.

### 1. 이동통신 세대별 특징 및 다중 접속

〈그림 1〉과 같이 이동통신은 1980년대 1세대(1G) 통신이 도입된 이후 약 10년에 한 번씩, 새로운 세대의 통신 시스템이 도입되고 있다. 1G는 최초의 아날로그 통신으로 음성 통화만 가능하다. 또한, 지역별 독자 표준을 사용하여 국제 로밍 서비스에 제약이 있다. 예를 들어, 미국에서는 AMPS(Advanced Mobile Phone System) 표준을 사용하고 독일에서는 C-450 표준을 사용한다. 1G AMPS의 다중 접속 기술로는 주파수 분할 다중 접속 기술(Frequency Division Multiple Access, FDMA)을 사용한다. FDMA 방식은 사용할 수 있는 총 주파수 대역을 주파수 분할 방식으로 분할하여 사용자에게 채널을 할당하는 방법이다.

2세대(2G) 통신은 디지털 통신 방식으로 문자 메시지

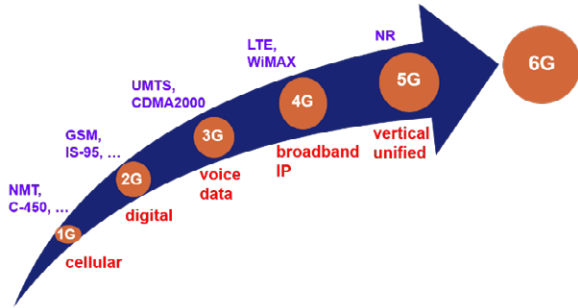


그림 1. 이동통신의 세대별 특징[7]

와 이메일 등의 데이터 전송이 가능하다. 여러 유럽 국가가 GSM(Global System for Mobile Communications) 표준을 사용하여 1G에 비해 로밍 서비스가 더 활성화되었다. 2G GSM의 다중 접속 기술로는 시간 분할 다중 접속 기술(Time Division Multiple Access, TDMA)을 사용한다. TDMA 방식은 시간 분할 방식으로 주파수 대역을 분할하여 사용자에게 채널을 할당하는 방법이다.

3세대(3G) 통신은 인터넷과 영상통화가 가능해지는 멀티미디어 서비스 세대를 말한다. 무선 표준으로 UMTS(Universal Mobile Telecommunication System)를 사용하고 부호 분할 다중 접속 기술(Code Division Multiple Access, CDMA)에 기반한다. 3G 세대에서는 2007년경 최초의 저사양 스마트폰의 등장으로 사용자들의 편의성이 높아지고 이동통신 가입자가 많이 늘어났다.

4세대(4G) 통신은 동영상, 게임, SNS(Social Network Service) 등 진정한 모바일 인터넷 시대를 말한다. 무선 표준으로는 LTE(Long Term Evolution)가 4G를 주도하는 국제 표준이 되었다. LTE의 두 가지 핵심 기술은 직교 주파수 분할 다중 접속 기술(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)과 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 다중안테나 기술이다.

5세대(5G) 통신은 2019년 상용화되었으며 초고속 데이터 통신(enhanced Mobile Broadband, eMBB), 대규모 사물인터넷 통신(massive Machine-Type Communication, mMTC), 초고신뢰 저지연 통신(Ultra-Reliable and Low Latency Communication, URLLC)의 세 가지 주요 사용 시나리오를 가지고 있다. 5G는 이전 세대와 다르게 28GHz 등의 밀리미터파(Millimeter Wave, mmWave) 대역을 신규 주파수로 활용하고 네트워크 슬라이싱(Network Slicing) 기술을 통해 어떠한 서비스에도 맞춤형 네트워크를 제공할 수 있다. 다중 접속 기술로는 여전히 OFDMA를 사용하고 4G에서는 하향링크에만 OFDMA를 활용했던 반면, 5G에서는 OFDMA를 상향링크와 하향링크에 모두 활용한다.

앞서 설명한 다중 접속 기술들은 주파수와 시간 자원이 직교 특성을 만족하도록 분할하는 직교 다중 접속 기술(Orthogonal Multiple Access, OMA)에 해당한다. 하지만, 이러한 OMA 방식은 폭발적으로 증가하는 다양한 품팩터 단말들을 동시에 지원하기 매우 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 여러 사용자가 동일한 시간과 주파수를 공유할 수 있도록 해야 한다.

## 2. 공간 분할 다중 접속 기술

무선 통신 시스템에서 높은 스펙트럼 효율을 달성하기 위해서는 다중 접속 기술을 통해 여러 사용자를 서비스해야 한다. MIMO 시스템에서는 풍부한 공간 자유도(Degrees-of-Freedom, DoF)를 활용하는 공간 분할 다중 접속 기술(Spatial Division Multiple Access, SDMA)이 MIMO의 핵심 다중 접속 기술이다. 정보 이론적 관점에서 볼 때, SDMA는 간섭을 잡음으로 간주하는 간섭 관리 전략을 취한다고 볼 수 있다. SDMA는 사용자 간 간섭이 약할 때 최적에 가까운 스펙트럼 효율 성능을 제공한다. 하지만 실제 무선 통신 시스템에서는 채널 피드백 오류 등으로 인해 하향링크에서 완벽한 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 보장할 수 없다. 따라서 실제 시스템에서 SDMA 방식은 최적과 거리가 멀다.

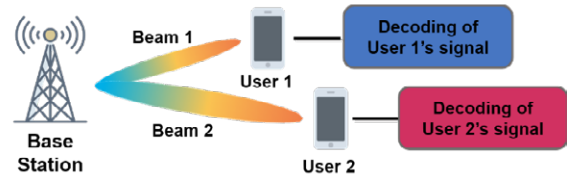


그림 2. 공간 분할 다중 접속 기술 개념도

## 3. 비직교 다중 접속 기술

SDMA보다 적극적인 간섭 관리 전략으로는 공동 디코딩 유형의 비직교 다중 접속 기술(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)이 있다. NOMA는 기존의 OMA 기술에 비해 서비스되는 사용자의 수를 확장하고 스펙트럼 효율을 높일 수 있다[8]-

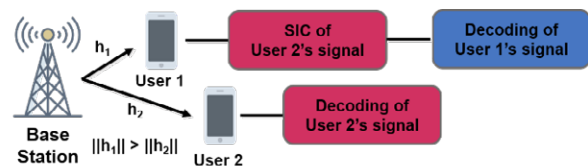


그림 3. 비직교 다중 접속 기술 개념도

[9]. NOMA는 전력, 코드, 또는 다른 도메인에서 실현될 수 있다. 코드 도메인 NOMA는 전체 자원을 공유하기 위해 사용자-특정 확산 시퀀스를 사용하는 반면, 전력 도메인 NOMA는 전력 할당을 통해 다중화하기 위해 사용자들 사이의 채널 이득 차이를 활용한다. MIMO 시스템에서 각 사용자의 스펙트럼 효율은 채널 및 빔포밍 벡터 등의 의해 결정되기 때문에 최적의 SIC 순서를 얻기 어렵고 NOMA의 성능을 심각하게 저하할 수 있다. 때문에 따라, SDMA보다 성능이 더 열화될 수 있다.

#### 4. 전송률-분할 다중 접속 기술

최근 들어, SDMA와 NOMA의 간섭을 잡음으로 간주하는 방식과 공동 디코딩하는 방식을 모두 고려하는 전송률-분할 다중 접속 방식이 활발히 연구되고 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술의 핵심 아이디어는 각 사용자의 메시지를 공통 부분과 개인 부분으로 분할하는 것이다. 여러 사용자의 공통 부분은 결합한 후에 공유 코드북을 사용하여 공통 메시지로 인코딩된다. 각 사용자의 개인 부분은 SDMA 방식과 같이 해당 사용자에게 알려진 개인 코드북을 사용하여 개인 메시지로 인코딩된다. 각 사용자의 수신단에서는 먼저 공통 메시지를 디코딩하고 SIC를 통해 제거한 다음 개인 메시지를 디코딩한다. 공통 메시지 비율이 적절하게 결정되면 사용자 간 간섭을 완화하여 스펙트럼 효율성 이득을 달성할 수 있다.

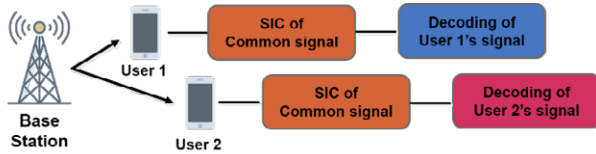


그림 4. 전송률 분할 다중 접속 기술 개념도

#### 5. 전송률-분할 다중 접속 기술과 기존 다중 접속 기술들의 비교

전송률-분할 다중 접속 기술의 공통 메시지와 개인 메시지의 비율 및 전력을 조정함으로써 전송률-분할 다중 접속 기술은 SDMA, NOMA, OMA, 그리고 멀티캐스팅(Multicasting) 기법을 특수 사례로 포함할 수 있다.

전송률-분할 다중 접속 기술과 기존 다중 접속 기술들과의 차이를 살펴보기 위해 <그림 5>와 같이 두 사용자의 메시지 구성 사례를 통해 살펴본다. 앞서 살펴본 것처럼, 전송률-분할 다중 접속 기술은 각 사용자의 메시지를 공통 부분과 개인 부분으로 나눈다. 사용자 1의 메시지를  $M_1$ 이라 하면 전송률-분할 다중 접속 기술에서는  $M_1$ 은 공통 부분  $M_{c,1}$ 과 개인 부분  $M_{p,1}$ 로 나뉘게 된다. 이와 유사하게, 사용자 2의 메시지  $M_2$ 는 공통 부분  $M_{c,2}$ 과 개인 부분  $M_{p,2}$ 로 나뉘게 된다. 그리고  $M_{c,1}$ 과  $M_{c,2}$ 는 공동으로 결합되어 공통 메시지  $M_c$ 가 된다.  $M_{p,1}$ ,  $M_{p,2}$ 는 각 사용자의 개인 메시지이다.

SDMA의 경우는 전송률-분할 다중 접속 기술에서 공통 메시지 비율이 0일 때이다. 즉, 사용자 1의  $M_1$ 은 온전히  $M_{p,1}$ 이 되고 사용자 2의 메시지  $M_2$ 는 온전히  $M_{p,2}$ 가 된다.

NOMA의 경우에는 공통 메시지가 특정 사용자의 공통 부분으로만 구성되고 해당 사용자가 개인 메시지를 가지고 있지 않은 경우이다. 예를 들어, 사용자 1의 채널 이득이 사용자 2의 채널 이득보다 큰 경우,  $M_1$ 은 온전히  $M_{p,1}$ 이 되고  $M_2$ 는 온전히  $M_c$ 가 된다. NOMA는 사용자 측면에서 SIC를 사용한다는 점에서 전송률-분할 다중 접속 기술과 유사하다. NOMA에서는 사용자 1이 사용자 2의 메시지를 완전히 디코딩한다. 이러한 공동 디코딩 전략에서는 메시지의 정보율이 해당 메시지의 디코딩이 허용되는 사용자의 스펙트럼 효율성 중 최소 값으로 결정된다. 다중안테나 시스템을 고려할 경우 최적의 SIC 순서를 식별하기 어렵다. 반면에, 전송률-분할 다중 접속 기술은 공통 메시지를 디코딩하고 개인 메시지를 디코딩하기 때문에 SIC 순서가 두 단계로 단순화된다.

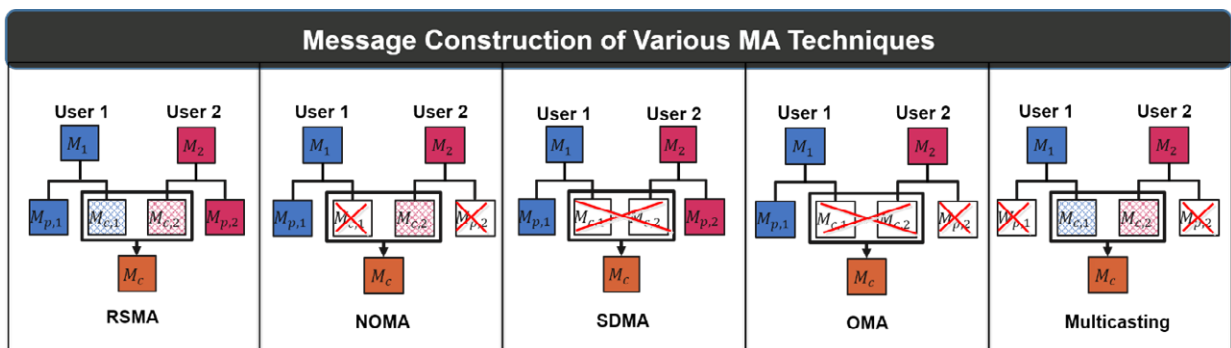


그림 5. 다양한 다중 접속 기술들의 메시지 구성 개념도[4]

또한, OMA와 Multicasting도 전송률-분할 다중 접속 기술의 특수 사례로 볼 수 있다. 우선, OMA는 한 사용자가 단일 무선 자원을 사용하기 때문에 사용자 1의 메시지  $M_1$ 만 온전히  $M_{p,1}$ 이 된다고 볼 수 있다. 이 경우, 사용자 2의 메시지  $M_2$ 는 사용되지 않는다. 다른 무선 자원에서는 사용자 2의 메시지  $M_2$ 만 온전히  $M_{p,2}$ 가 되고 사용자 1의 메시지  $M_1$ 는 사용되지 않는다.

Multicasting의 경우에는 사용자 1의 메시지  $M_1$ 과 사용자 2의 메시지  $M_2$ 가 모두 공통 부분인  $M_{c,1}$ 과  $M_{c,2}$ 가 된다.  $M_{c,1}$ 과  $M_{c,2}$ 는 결합되어  $M_c$ 가 된다. 멀티캐스팅은 모든 사용자가 디코딩하려는 공통 메시지를 사용한다는 점에서 전송률-분할 다중 접속 기술과 유사하다. Multicasting과 전송률-분할 다중 접속 기술의 차이점은 공통 메시지의 구성에 있다. 일반적으로 Multicasting의 공통 메시지는 비디오 스트리밍과 같이 서비스 수요에 의해 만들어진다. 반면에 전송률-분할 다중 접속 기술에서 공통 메시지를 구성하는 것은 간섭 완화를 목표로 하는 것이다.

다음은 전송률-분할 다중 접속 기술이 기존 다중 접속 기술들 대비 불완전한 채널 상태 정보에 대한 견고성을 보이는 것을 살펴본다. 채널상태정보가 완전한 경우에는 SDMA 기법과 같이 선형 프리코딩을 적용하면 사용자 간 간섭을 효과적으로 관리할 수 있다. 이러한 SDMA 기법은 간섭을 잡음으로 간주하는 전략을 사용하기 때문에 불완전한 채널 상태 정보에서 심각한 성능 열화가 생길 수 있다. SDMA는 간섭 양이 매우 약할 때 준최적의 성능을 얻을 수 있다. NOMA는 하나의 간섭 링크의 채널이 매우 강할 때 준최적의 성능을 얻을 수 있다. 앞서 언급한 것처럼, 전송률-분할 다중 접속 기술에서 공통 메시지의 비율 및 전력을 조정함으로써, 전송률-분할 다중 접속 기술은 SDMA 및 NOMA와 같이 메시지를 구성할 수 있다. 따라서, 전송률-분할 다중 접속 기술은 기존의 SDMA 또는 NOMA보다 불완전한 채널 상태 및 간섭 채널에서 상당한 이득을 얻을 수 있다.

### III. 전송률-분할 다중 접속 응용 시나리오

본 절에서는 전송률-분할 다중 접속 기술 응용 시나리오들에 대해 살펴본다. 특히, 비지상 네트워크 시스템에서의 전송률-분할 다중 접속 기술 응용에 대해 자세히 살펴본다.

#### 1. 대규모 사물 통신

전송률-분할 다중 접속 기술은 강력한 간섭 관리 프레임워크로서 다양한 시나리오에 적용될 수 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술은 초연결 통신에서 네트워크에 연결되는 대규모 기계로 인해 생기는 많은 간섭을 완화할 수 있을 것으로 기대된다. 대규모

사물 통신(mMTC) 시스템에서는 대규모의 사물들이 작은 패킷을 산발적으로 전송하기 때문에 전송률-분할 다중 접속 기술과 같은 비직교 전송이 효과를 볼 수 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하면 간섭을 부분적으로 디코딩하고 간섭을 잡음으로 부분적으로 처리할 수 있는 능력 덕분에 SIC를 사용하여 간섭을 효율적으로 감소시키고 공간 자원이 충분하지 않은 상황에서도 높은 스펙트럼 효율을 달성할 수 있다.

#### 2. 셀이 없는 대규모 다중입출력 시스템

전송률-분할 다중 접속 기술은 앞서 언급한 것처럼 SIC 계층의 수가 사용자의 수에 따라 증가하지 않기 때문에 셀이 없는 대규모 MIMO(Cell-less massive MIMO) 시스템으로 확장하기 용이하다. 5G 및 6G 통신 시스템에서는 밀리미터파 대역과 테라헤르츠 대역을 활용하여 고정밀 빔포밍을 통해 다수의 사용자들 동시에 지원하고자 한다. 고정밀 빔포밍을 위해서는 CSI 획득이 중요한데, 차량, 드론, 위성과 같이 빠른 이동성 또는 긴 전파 지연이 있는 환경에서는 정확한 CSI 추정이 어렵다. 불완전한 CSI는 사용자 간 간섭을 유도하기 때문에 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하게 되면 SIC를 사용하여 부정확한 CSI로 인한 사용자 간 간섭을 완화할 수 있다. 이는 공통 메시지의 존재를 통해 불완전한 CSI에 대처할 수 있는 견고성을 제공한다.

#### 3. 비직교 유니캐스트/멀티캐스트 전송

전송률-분할 다중 접속 기술은 공통 메시지 및 개인 메시지와 같이 두 개의 다른 유형의 메시지를 구성하여 인코한다. 전송률-분할 다중 접속 기술의 인코딩 프레임워크는 에지 노드와 클라우드 서버에 각각 적용되는 분할 컴퓨팅에 적용될 수 있다. 이 경우, 에지 노드와 클라우드 서버에서 각각 디코딩하여 컴퓨팅의 결과값을 사용자에게 전송할 수 있다. 이와 유사하게, 비직교 유니캐스트/멀티캐스트 전송에서는 유니캐스트 및 멀티캐스트 메시지가 공동으로 전송되며, 여기서 전송률-분할 다중 접속 기술의 유연한 인코딩 프레임워크가 적용될 수 있다.

#### 4. 비지상 네트워크

최근 들어, 비지상 네트워크(Non-Terrestrial Network, NTN)는 기존의 지상 기지국이 존재하지 않는 영역까지 위성, 드론과 같은 비지상 터미널을 활용해 커버리지 확장할 수 있다는 장점으로 학계와 산업계에서 많은 관심을 받고 있다[10][11]. 비지상 터미널은 비행 고도에 따라 위성, HAPS(High-Altitude Platform Station), UAV(Unmanned Aerial Vehicle)로 구분될 수 있고 위성은 궤도 고도에 따라 정지궤도(Geostationary Orbit, GEO) 위성, 중궤도(Medium Earth Orbit, MEO) 위성,



저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성으로 더 세분된다.

위성의 다양한 고도 수준에 대해 지구 표면의 왕복 지연(Round Trip Delay, RTD) 및 단일 위성에 대한 커버리지를 살펴보면, 위성이 지구 표면에 가까운 궤도에서 회전할 때 더 빠른 응답 시간을 보장할 수 있다. 하지만, 지상과 근접하기 때문에 위성의 커버리지 영역은 감소한다. 예를 들어, 각 GEO 위성은 약 35%의 지구 면적을 커버할 수 있지만 RTD는 0.5초를 초과한다. 이 경우, 지구 전역 커버리지를 제공하기 위해 GEO 위성은 3개만 필요하지만, RTD가 2G 통신의 수준으로 고속 통신 서비스를 제공하는 것은 불가능하다. 반면에, LEO 위성은 550km 고도에서 RTD가 0.1초 미만으로 4G 통신 수준 서비스를 제공할 수 있지만 이 경우의 커버리지는 0.2%에 불과하다. 따라서 군집 LEO 위성을 활용하여 수십 밀리초의 지연 시간을 보장하고 지구 전역을 커버하는 것이 좋은 옵션이 될 수 있다.

LEO 군집 위성을 활용하게 되는 경우 기존의 GEO 위성 및 지상 기지국 간 많은 상호 간섭이 발생할 수 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술은 불완전한 CSI를 갖는 실제 시스템에서 다양한 사용자의 QoS(Quality of Service)를 만족시키는 효과적인 수단이 될 수 있다. NTN 시나리오에서는 지상 기지국과 관련하여 비지상 터미널의 상대적인 고속 이동으로 인한 채널 환경의 급격한 변화가 있어 완전한 CSI를 얻기가 매우 어렵다. 불완전한 채널상태정보가 있는 다중 빔 위성 시스템에서 전송률-분할 다중 접속 기술은 SDMA보다 공정을 측면에서 우수한 것으로 나타났다. NTN 시나리오에서 전송률-분할 다중 접속 기술의 효과를 더욱 향상하기 위해서 IRS(Intelligent Reflecting Surface)를 결합할 수 있다. 밀리미터파 및 테라헤르츠와 같은 고주파수 빔은 차단에 취약하기 때문에 IRS가 밀집된 도심 지역에서 링크 장애 경험을 해결하는 데 도움을 줄 수 있다. 또한, 비전 기반 무선 통신(Vision-aided Wireless Communications)에서 활용하는 정보를 결합할 수 있다[12]. 카메라에 의해 수집된 RGB 정보 및

LiDAR 정보와 같은 데이터를 활용하여 차단 위치, 비지상 터미널의 이동 패턴을 식별할 수 있다.

## IV. 전송률-분할 다중 접속 주요 기술 과제

본 절에서는 전송률-분할 다중 접속 기술의 주요 기술 과제들에 대해 살펴본다. 특히, 앞 절에서 언급한 전송률-분할 다중 접속 기술 응용 시나리오 외에도 다양한 적용 가능한 시나리오에서 주요 기술 과제에 대해 살펴본다.

### 1. 주파수 공존 네트워크에서의 간섭 관리

차세대 통신 시스템에서 위성 통신은 지구 전역 커버리지 달성한다는 점에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 운용되는 LEO의 수가 급격히 늘어남에 따라 LEO 시스템과 GEO 시스템의 주파수 공존은 스펙트럼의 회소성을 완화하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 서로 다른 시스템의 주파수 공존은 상당한 상호 간섭을 일으킬 수 있다. GEO 위성과 LEO 사용자 간 신호와 LEO 위성과 GEO 사용자 간 신호가 상호 간섭에 해당하는 데, LEO 위성에서 GEO 사용자로의 거리가 상대적으로 훨씬 작기 때문에 GEO 사용자에게 심각한 성능 열화를 일으킬 수 있다[13]. 따라서, 국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)은 GEO 사용자의 성능을 보장하기 위해 LEO 시스템을 규제한다. 즉, 간섭이 심한 구간에서는 LEO 위성이 서비스 제공을 금지하는 배타적 구역을 활용한다. 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하여 LEO 시스템과 GEO 시스템 간 상호 간섭 관리가 가능하면 모든 영역에서 GEO 사용자와 LEO 사용자에게 서비스를 제공할 것으로 기대된다. 향후 과제로는 상호 간섭을 관리하기 위한 전송률-분할 다중 접속 기술의 메시지 구성 및 전력 할당 최적화 등이 포함될 수 있다.

### 2. 레이더와 통신 기능 간 간섭 관리

차세대 통신 시스템에서 통합 감지 및 통신(Integrated Sensing and Communication, ISAC)은 정확하고 강력한 감지 능력과 고품질 무선 연결을 모두 달성할 수 있는 후보 기술로 많은 관심을 얻고 있다[14]. ISAC에서는 무선 통신과 원격 감지의 기능을 단일 시스템으로 결합하기 때문에 통신 사용자 간, 레이더와 통신 기능 간의 간섭을 더 잘 관리할 필요가 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하게 되면 공통 메시지를 통신 사용자 간 간섭 관리뿐만 아니라 환경을 더 잘 감지하고 레이더 감지를 수행하는 데 사용될 수 있다. 차량 통신 및 위성 통신 네트워크에 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하는 ISAC 시스템을 통

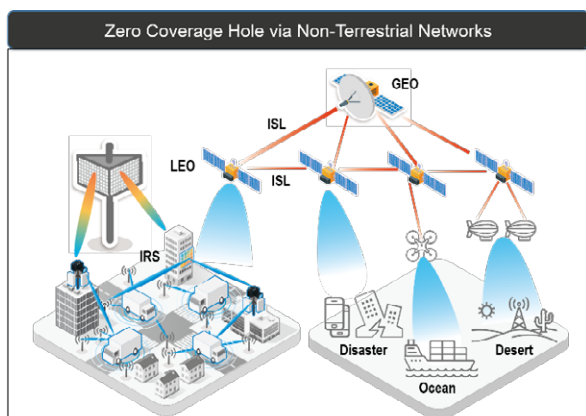


그림 6. 지구 전역 커버리지 달성을 위한 비지상 네트워크

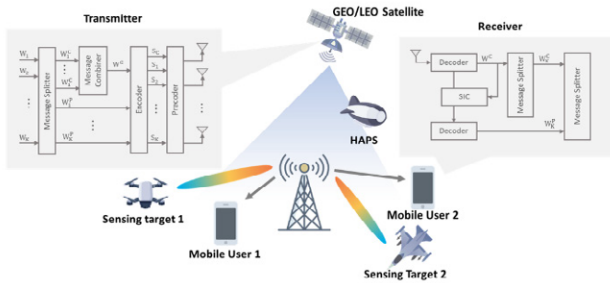


그림 7. 통합 감지 및 통신 시스템에서의 RSMA 적용

합하는 것은 향후 주요 기술 과제가 될 것으로 예측된다.

### 3. 커버리지 확장

밀리미터파 및 테라헤르츠 대역을 활용하는 경우 극도로 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있다는 장점이 있지만 통신 거리를 심각하게 제한하는 심각한 전파 손실 및 약한 회절 특성 등의 문제점도 가지고 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술을 협력 통신 전략에 활용하면 밀리미터파 및 테라헤르츠 통신의 커버리지 문제에 대한 해결책이 될 수도 있다. 특히, IRS와 결합하게 되면 입사 신호를 원하는 방향으로 반사할 수 있고, 송신단과 수신단 사이의 무선 채널을 재구성할 수 있다[15]. 이 경우 정확한 재구성된 무선 채널 정보를 추정하는 것이 중요하다. 불완전한 CSI에 견고한 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하여 간섭 완화를 효과적으로 수행하게 되면 IRS를 통해 공통 메시지의 전력을 향상하고 스펙트럼 효율 향상 및 커버리지 확장을 할 수 있다. 향후 주요 과제들로는 셀이 없는 대규모 다중입출력 시스템 및 ISAC 시스템과 결합 등이 포함될 수 있다.

### 4. 네트워크 확장성

셀이 없는 대규모 다중입출력 시스템에서는 중앙 처리 장치에 연결되는 방대한 수의 분산 액세스 포인트로 다수의 사용자에게 공동으로 서비스를 제공한다. 이상적인 셀이 없는 다중입출력 시스템의 경우 더 가까운 액세스 포인트가 사용자를 지원하기 때문에 더 높은 커버리지 확률을 제공할 수 있다. 하지만, 넓은 지역을 커버하기 위해 액세스 포인트와 사용자의 수가 극도로 많아지게 되는 경우, 채널 추정, 전력 할당, 프리코딩 및 디코딩을 위한 높은 계산 복잡도와 프론트홀 오버헤드로 인해 실제 네트워크를 확장하기 매우 어렵다. 전송률-분할 다중 접속 기술을 적용하는 경우 셀이 없는 대규모 다중입출력 시스템의 파일럿 오염으로 인한 간섭을 효과적으로 완화할 수 있다. 향후 주요 과제로는 전송률-분할 다중 접속 기술 기반 셀이 없는 대규모 다중입출력 시스템을 대규모 사물 통신과 결합하여 프리코딩 및 전력 할당을 최적화하는 것 등이 포함될 수 있다.

## V. 결론

본 고에서는 차세대 다중 접속 후보 기술로 많은 관심을 받는 전송률-분할 다중 접속 기술 동향을 살펴보았다. 먼저 이동통신 세대별 다중 접속 기술들을 알아보고 전송률-분할 다중 접속 기술과 기존 다중 접속 기술들을 비교 분석하였다. 이후 전송률-분할 다중 접속 기술의 응용 시나리오 및 주요 기술 과제에 관해 설명하였다. 다중 접속 기술은 간섭 관리와 관련이 있으므로 다양한 응용 시나리오에서의 전송률-분할 접속 기술의 적용은 필수적이라고 기대된다.

## Acknowledgement

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-002524), 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-RS-2023-00259061)

## 참고 문헌

- [1] Samsung Research, "6G white paper: The next hyper-connected experience for all," Jul. 2020. Available: <https://research.samsung.com/>
- [2] Docomo, White paper 5G evolution and 6G (Version 4.0)," Jan. 2022. Available: [https://www.docomo.ne.jp/english/corporate/technology/white paper 6g/](https://www.docomo.ne.jp/english/corporate/technology/white%20paper%206g/)
- [3] Y. Mao, O. Dizdar, B. Clerckx, R. Schober, P. Popovski, and H. V. Poor, "Rate-Splitting Multiple Access: Fundamentals, Survey, and Future Research Trends," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 24, no. 4, pp.2073-2126, 2022.
- [4] J. Park, B. Lee, J. Choi, H. Lee, N. Lee, S. Park, K. Lee, J. Choi, S. Chae, S. Jeon, K. Kwak, B. Clerckx, and W. Shin, "Rate-Splitting Multiple Access for 6G Networks: Ten Promising Scenarios and Applications," accepted to *IEEE Netw. Mag.*, Jul. 2023.
- [5] B. Lee and W. Shin, "Max-Min Fairness Precoder Design for Rate-Splitting Multiple Access: Impact of

Imperfect Channel Knowledge,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 72, no. 1, pp. 1355-1359, Jan. 2023.

[6] H. Cui, L. Zhu, Z. Xiao, B. Clerckx, and R. Zhang. “Energy-efficient RSMA for Multigroup Multicast and Multibeam Satellite Communications,” IEEE Wirel. Commun. Lett., vol. 12, no. 5, pp. 838-842, May 2023.

[7] 이병주, 정정수, 이효진, 한진규, 이주호, “6G 이동통신 비전과 주요 기술,” 전자공학회지, vol. 47, no. 5, pp. 14-22, 2020.

[8] W. Shin, M. Vaezi, B. Lee, D. J. Love, J. Lee, and H. V. Poor, “Non-Orthogonal Multiple Access in Multi-Cell Networks: Theory, Performance, and Practical Challenges,” IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 10, pp. 176-183, Oct. 2017.

[9] W. Shin, M. Vaezi, B. Lee, D. J. Love, J. Lee, and H. V. Poor, “Coordinated Beamforming for Multi-Cell MIMO-NOMA,” IEEE Commun. Lett., vol. 21, no. 1, pp. 84-87, Jan. 2017.

[10] H. Lee, B. Lee, H. Yang, J. Kim, S. Kim, W. Shin, B. Shim, and H. Vincent Poor, “Towards 6G Hyper-Connectivity: Vision, Challenges, and Key Enabling Technologies,” IEEE/KICS J. Commun. Netw., vol. 25, no. 3, pp. 344-354, Jun. 2023.

[11] H. Guo, J. Li, J. Liu, N. Tian, and N. Kato, “A Survey on Space-Air-Ground-Sea Integrated Network Security in 6G,” IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 24, no. 1, pp. 53-87, Firstquarter 2022.

[12] W. Xu, F. Gao, X. Tao, J. Zhang, and A. Alkhateeb, “Computer Vision Aided mmWave Beam Alignment in V2X Communications,” IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 22, no. 4, pp. 2699-2714, Apr. 2023.

[13] H. Wang, C. Wang, J. Yuan, Y. Zhao, R. Ding, and W. Wang, “Coexistence Downlink Interference Analysis between LEO System and GEO System in Ka Band,” in Proc. IEEE/CIC Int. Conf. Commun. China (ICCC), 2018, pp. 465-469.

[14] L. Yin, Y. Mao, O. Dizdar, and B. Clerckx, “Rate-Splitting Multiple Access for 6G-Part II: Interplay with Integrated Sensing and Communications,” IEEE Commun. Lett., pp. 2237-2241, 2022.

[15] H. Li, Y. Mao, O. Dizdar, and B. Clerckx, “Rate-Splitting Multiple Access for 6G-Part III: Interplay with Reconfigurable Intelligent Surfaces,” IEEE Commun. Lett., vol. 26, no. 10, pp. 2242-2246, 2022.

약 력



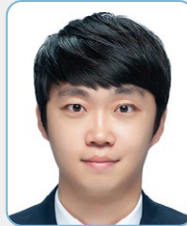
이 병 주

2008년 고려대학교 전파통신공학 학사  
 2014년 고려대학교 전파통신공학 박사  
 2014년~2015년 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 선임연구원  
 2015년~2017년 Purdue 대학교 박사후연구원  
 2017년~2020년 삼성전자 삼성리서치 차세대통신연구센터 책임연구원  
 2020년~2022년 금오공과대학교 전자공학부 조교수  
 2022년~현재 인천대학교 정보통신공학과 조교수  
 관심분야: 차세대 이동통신 시스템, 신호처리



박 정 훈

2006년~2010년 연세대학교 전기전자공학과 학사  
 2010년~2012년 연세대학교 전기전자공학과 석사  
 2013년~2017년 The University of Texas at Austin 전기컴퓨터공학부 박사  
 2017년~2019년 Qualcomm (San Diego) Senior Engineer  
 2019년~2023년 경북대학교 전자공학부 조교수  
 2023년~현재 연세대학교 전기전자공학과 조교수  
 관심분야: 무선통신, 머신러닝, 다중안테나 시스템



최 진 석

2014년 B.S. 연세대학교  
 2019년 Ph.D. at The University of Texas at Austin  
 2019년~2020년 Qualcomm Senior Engineer  
 2020년~2023년 울산과학기술원(UNIST) 조교수  
 2023년~현재 한국과학기술원(KAIST) 조교수  
 관심분야: 멀티안테나 통신, 위성통신, 레이더-통신 시스템, 머신러닝



이 남 윤

2006년 고려대학교 전파통신공학 학사  
 2008년 한국과학기술원 전자공학 석사  
 2014년 The University of Texas at Austin 박사  
 2008년~2011년 삼성전자 종합기술원 연구원/선임연구원  
 2014년~2015년 NOKIA Research Center, Berkeley, USA 선임연구원  
 2015년~2016년 Intel Labs, Santa Clara, USA Research Scientist  
 2016년~2022년 포항공과대학교 전자전기공학과 조교수/부교수  
 2022년~현재 고려대학교 전기전자공학부 부교수  
 관심분야: 차세대 MIMO 송/수신기, 기계학습 기반 통신 네트워크 설계



신 원 재

2005년 한국과학기술원 전자공학 학사  
 2007년 한국과학기술원 전자공학 석사  
 2007년~2014년 삼성전자 종합기술원/삼성전자DMC연구소 책임연구원  
 2014년~2017년 서울대학교 전기정보공학부 공학박사  
 2017년~2018년 Princeton 대학교 박사후연구원  
 2018년~2021년 부산대학교 전자공학과 조교수  
 2021년~2023년 아주대학교 전자공학과 조/부교수  
 2023년~현재 고려대학교 전기전자공학부 부교수  
 관심분야: 차세대 이동통신 시스템, 머신 러닝 및 빅데이터 신호처리

# 차세대 무선 통신 기술(OAM)을 결합한 다중접속기술 연구 동향

이만희, 이해영, 신수용  
금오공과대학교

## 요약

5G와 6G에서 모두 강조하고 있는 초연결, 초성능의 요구사항을 달성하기 위한 다양한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이를 달성하기 위한 후보 기술로 대량 다중 안테나, 홀로그래픽 무선 통신, 재구성 가능한 지능형 서피스, 다중접속기술 등이 있다. 이중 하나인 기존의 주파수 대역을 그대로 활용할 수 있고 차세대 주파수 대역으로 알려진 테라헤르츠 (THz) 대역에서도 적용 가능한 차세대 통신 기술 (OAM)도 관심을 받고 있다. OAM의 성능을 극대화하기 위하여 다중접속기술과 결합하는 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 본 고에서는 OAM을 결합한 다중접속기술 연구 동향에 대해서 알아본다.

## I. 서론

5G에서는 주요 3대 서비스로 초연결, 초고속, 초신뢰-저지연을 지정하고 달성하고자 하였다. 6G는 이러한 요구사항을 극대화시키고 확장하여 초성능, 초대역, 초공간, 초정밀, 초지능, 초현실로 지정하였다[6][7]. 이를 달성하기 위해 다양한 기술들이 제안되고 있는데 대표적으로 대량 다중 안테나, 홀로그래픽 무선 통신, 재구성 가능한 지능형 서피스, 다중접속기술 등이 있다[8]. 이 중 다중접속기술은 초연결성과 초성능 모두를 달성할 수 있는 기술로 예상된다. 이미 4G에서 사용되었던 직교 주파수 분할 다중 접속 (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)이 사용되었고 이후에 비직교 다중 접속 (NOMA, Non-Orthogonal Multiple Access)가 3GPP (3rd Generation Partnership Project)의 study로 제시되었다. 6G에서 무선 자원을 보다 효율적으로 사용하고 관리할 위하여 비율 분할 다중 접속 (RSMA, Rate-Splitting Multiple Access)이 제안되었다[9][10][11].

차세대 무선 통신 기술 (OAM, Orbital Angular Momentum)은 광통신에서 쓰이던 통신 방법으로 레이저 신호를 공간 광 변

조기를 사용하여 helical phase를 가지도록 사용하였다[2]. 빛 또한 전파의 범주에 포함되기 때문에 OAM의 전파통신으로 가능성을 실험적으로 확인하였다[1]. OAM이 차세대 무선 통신 기술로써 제안되고 있는 이유는 이론적으로 무한개의 OAM mode를 중첩하여 사용할 수 있기 때문이다. <그림 1>에서처럼 OAM 신호의 helical phase에 따라 빔의 형상이 바뀌는 것(OAM mode)을 확인할 수 있고 이를 중첩하여 송수신이 가능하다. OAM mode간의 직교성이 증명되었으나, 다양한 문제가 존재한다. <그림 2>에서처럼 divergence로 인한 수신 성능 감소 혹은 송수신 거리의 제약이 발생할 수 있으며, misalignment 상황에서 OAM mode의 직교성이 깨질 수 있다. 이러한 문제들만 해결한

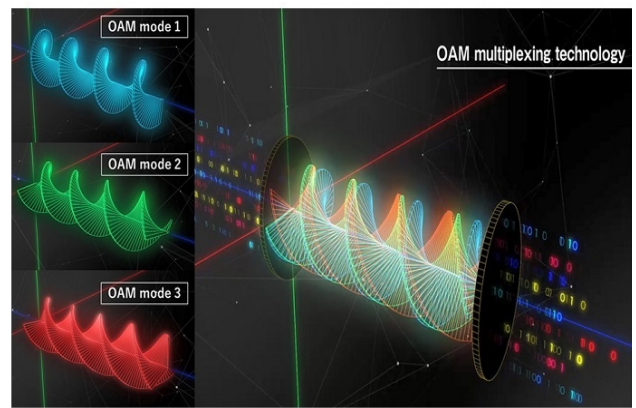


그림 1. 다중 OAM mode 전송[11]

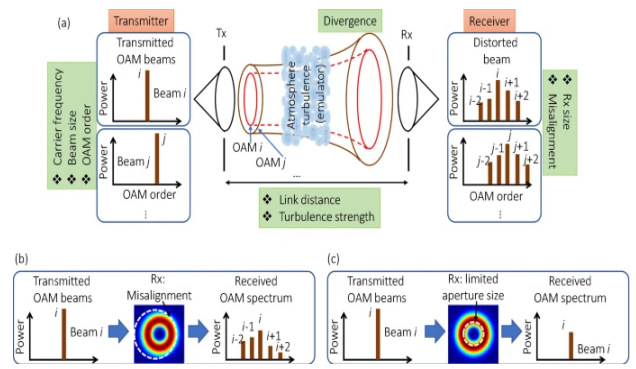


그림 2. OAM 주요 문제점[12]

다면 OAM은 기존의 다양한 다중접속기술과 접목기 가능한 연구 분야로 고려되고 있다.

본 고에서는 이러한 차세대 무선 통신 기술의 등장으로 인한 다양한 다중접속기술을 결합하는 연구의 동향을 살펴본다.

## II. 다중접속기술 동향

6G에서는 대량의 접속량 과 저전력 장비를 모두 고려해야 하기 때문에 무선 다중접속기술에 대한 재해석이 필요하다. 이러한 해석을 이해하기 위하여 각 다중접속기술의 특징과 장단점을 본 장에서 정리한다.

### 1. 직교 주파수 분할 다중 접속

OFDMA는 주파수 자원을 활용하는 다중접속기술으로 주파수 대역을 여러 개의 하위 채널 주파수로 나누어 각 채널을 다른 사용자 혹은 장비에 할당하는 방식이다. 기존의 주파수 분할 다중 접속 (FDMA, Frequency Division Multiple Access)과 달리 하위 채널 주파수 간의 직교성을 이용하여 주파수 효율을 최대화한다. 이를 통해 사용 대역폭 대비 많은 사용자와 데이터 전송이 가능하다. 또한, 무선 채널에서 각 하위 채널 주파수가 서로 독립적으로 신호를 전송하기 때문에 주파수 선택적 페이딩 채널에 강인한 특성을 가진다. 그러나 하위 채널 주파수의 합성으로 신호를 생성하기 때문에 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 복잡한 신호 처리 기술이 필요하기 때문에 수신기의 복잡도가 증대할 수 있다. 뿐만 아니라 각 하위 채널 주파수에서 다수의 symbol을 사용하기 때문에 ISI (Inter-Symbol Interference)가 발생할 수 있으며, 채널 간 동기화가 필요하다.

### 2. 비직교 다중 접속

NOMA는 전력 자원을 활용하는 다중접속기술으로 같은 주파수 대역을 공유하는 다중 사용자 간의 전력 신호를 차등하게 할당하는 방식이다. 기존의 OMA (Orthogonal Multiple Access)와 달리 같은 주파수 대역을 공유하여 동시에 데이터 전송을 함으로써 높은 주파수 효율을 달성할 수 있다. 다중 사용자 간의 신호를 중첩하여 전송하는 방식을 사용하기 때문에 수신기에서 순차적 간섭 제거 (SIC, Successive Interference Cancellation)를 적용하여 간섭이 되는 신호를 제거가 필요하다. 다중 사용자 간에 자원을 유연하게 할당함으로써 최적의 성능을 유도할 수 있고, 선행 연구들을 통해 SIC를 사용하지 않는 방식도 가능하다. 그러나 각 사용자의 신호에 다른 전력 할당하고 부호화 기술을 통해서 사용자를 구분하기 때문에 복잡한 수신 신호 처리 방식과 알고리즘이 필요할 수 있다. 사용자들의 특징(거리, 채널상황)을 고려하여 자원 할당 및 페어링을 구성하기 때문에 사용자들 간 신호 분리가 어려운 경우, 심각한 성능 저하가 발생할 수 있다.

### 3. 비율 분할 다중 접속

RSMA는 다중 자원을 활용하는 다중접속기술으로 사용자 메시지를 분할하는 방식이다. RSMA는 불완전한 CSIT (Channel State Information Transmitter side)에 대한 DoF (Degree-of-Freedom) 최적 효율을 유도한다. 사용자 간의 최대-최소 속도를 각각 최대화하는 프리코딩과 전송 전력을 최소화함으로써 사용자 간의 공정성을 향상시킬 수 있다. 각 사용자의 요구사항에 따라 동적으로 자원을 할당하기 때문에 우선 순위를 설정하여 최적화를 진행한다. 그러나 동적 자원 할당 알고리즘은 복잡한 시스템 설계를 필요로 한다. 사용자 간 자원 공유를 위해 상호작용 관리가 필요한데, 특정 환경에서 어려움이 있을 수 있다. 또한,

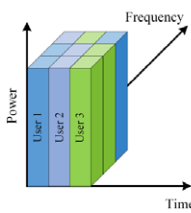
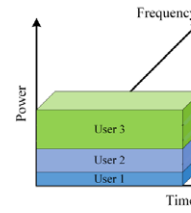
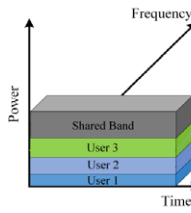
	OFDMA	NOMA	RSMA
	 <p>OFDMA (4G)</p>	 <p>NOMA (5G)</p>	 <p>RSMA (6G)</p>
통신자원	주파수	전력	자원 할당 비율
주파수 효율	높음 (분할된 하위 주파수를 통한 동시 전송)	높음 (주어진 대역폭을 모든 사용자가 공유)	높음 (자원 할당 최적화에 따라 달라짐)
사용자 분배 방식	동일한 주파수 자원 분배	채널 환경에 따라 다른 전력 분배	사용자의 채널 조건, 요구사항에 따라 다른 자원 분배
복잡도	낮음	다소 복잡	복잡

그림 3. 다양한 다중접속기술 정리[13]

기지국에서의 사용자의 정보 대한 주기적인 업데이트가 필요하기 때문에 전력 손실이 발생한다. 다른 다중접속기술에 비해 사용자 밀도가 높고 다양한 채널 조건이 있는 환경에서는 자원 할당 알고리즘의 최적화 유도가 힘들고 성능이 제한될 수 있다.

### III. 다중접속기술을 결합한 OAM 연구

차세대 무선 통신 기술로 대두되고 있는 OAM은 2장에서 설명한 다양한 다중접속기술과 결합 연구가 진행되고 있다. 본 장에서는 각 다중접속기술과의 결합 연구 동향을 시스템모델, 사용자 자원, 해당 연구들의 장단점을 정리한다.

#### 1. OFDMA-OAM

OFDMA-OAM은 공간 영역에서 높은 DoF를 가지는 OAM과 주파수 영역에서 OFDMA를 결합하여 두 기술의 DoF를 향상시킨다. <그림 4>에서는 UCA 안테나를 사용하는 2차원 FFT 기반

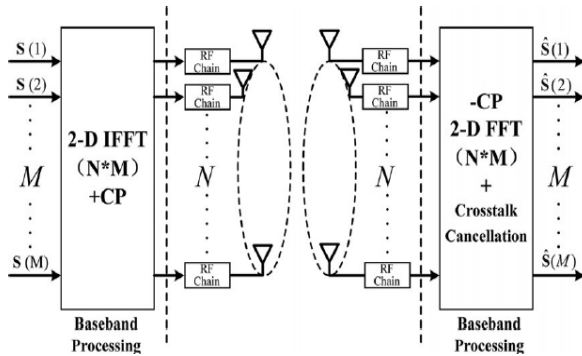


그림 4. OFDM 기반 멀티모드 OAM 송수신기[3]

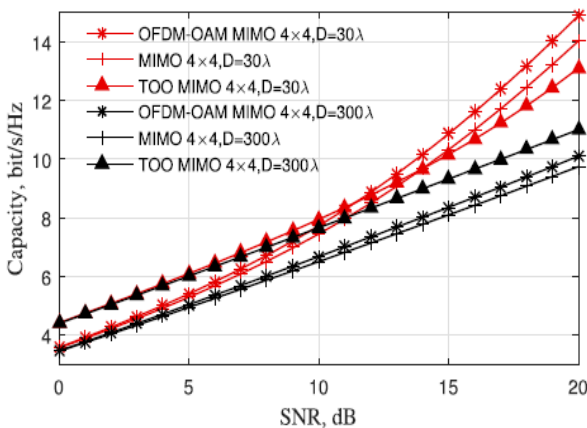


그림 5. 통신용량 비교 (OFDM-OAM vs MIMO)[4]

OAM-OFDM 송수신 구조를 보여준다. 채널 형태를 고려한 디자인으로 사각행렬의 크기에 자유롭게 적용할 수 있다.

일반적으로 OAM과 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)는 다중 안테나를 사용하는 특성 때문에 OAM을 MIMO의 서브셋으로 보는 시각이 있다. 그러나 이 두 기술은 신호 생성의 방식이나 형태가 차이가 있기 때문에 다른 기술이라고 보는 것이 합당하다. OFDM과 OAM을 결합하는 연구의 최종목표는 통신 용량 증대에 있기 때문에 <그림 5>에서 성능 분석을 MIMO와 비교한다.

#### 2. NOMA-OAM

NOMA-OAM은 전력 영역에서 다중 사용자와 결합하고 공간 영역에서 높은 DoF를 가지는 OAM을 결합하여 전체적인 통신 용량을 향상시킨다. <그림 6>에서처럼 모든 사용자가 OAM을

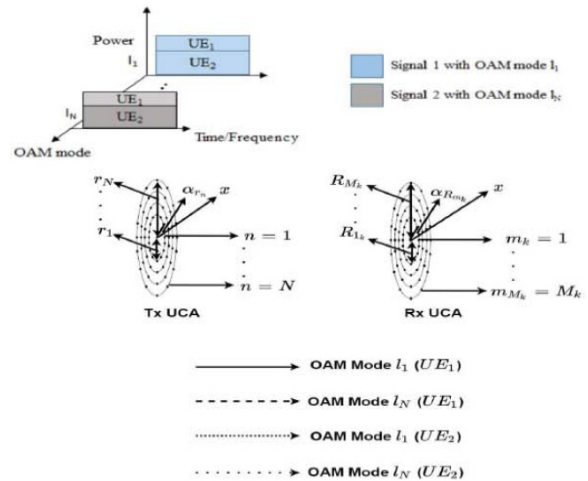


그림 6. NOMA-OAM 시스템 모델[5]

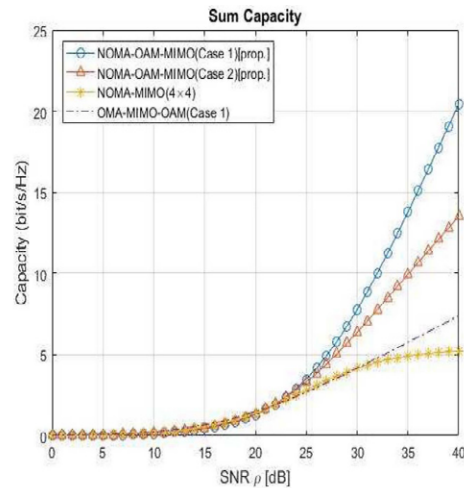


그림 7. 통신용량 비교 (OMA-OAM vs NOMA-OAM)[5]

사용할 수 있는 상황에서 OAM mode별 NOMA를 적용한다. 일반적으로 OAM mode가 낮을수록 성능의 극대화가 이루어진다. OAM mode별 자원할당에 따라 최적화 방법이 중요하고 이에 따라 성능차이가 크게 발생한다.

OAM에서 부족할 수 있는 사용자 연결성을 NOMA를 통해서 확보하는 것이 해당 연구의 필요성이다. 이러한 사용자 연결성을 통해 추가적인 통신 용량 확보가 가능함을 <그림 7>에서 확인할 수 있다. NOMA-OAM이 NOMA-MIMO나 OMA-OAM에

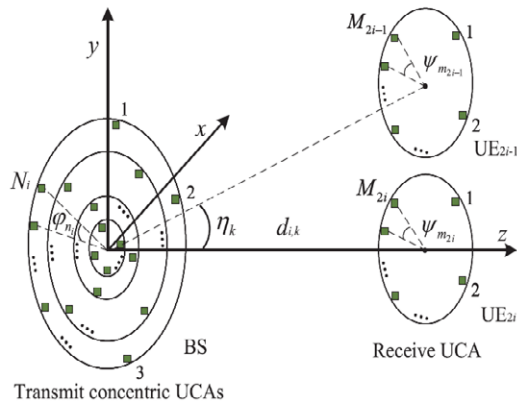


그림 8. RSMA-OAM 시스템 모델[14]

비해 향상된 통신용량을 확보하는 것을 확인할 수 있다.

### 3. RSMA-OAM

RSMA-OAM은 다중 사용자의 우선순위를 기준으로 사용자의 메시지의 비율 분할을 통해 이를 할당하고 공간 영역에서 높은 DoF를 가지는 OAM을 결합한다. RSMA의 특징에 따라 사용자 그룹별 다른 OAM mode를 할당하는 방식을 사용한다. 그러나 사용자 그룹, OAM mode, 자원 할당의 영역을 최적화하는 방향에 따라 사용자 연결성, 통신 용량, 처리량과 같은 성능 향상 영역일 달라질 수 있다. <그림 7>처럼 지구에서 동심원을 가지는 UCA를 사용하고 사용자는 개별의 UCA를 사용한다.

<그림 8>에서처럼 NOMA와 비교하여 모든 사용자가 선형적으로 향상된 통신 용량을 확보하는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 <그림 9>에서는 RSMA의 특성에 따라 사용자 그룹을 증가시킬수록 이득이 발생하는 것을 보여준다

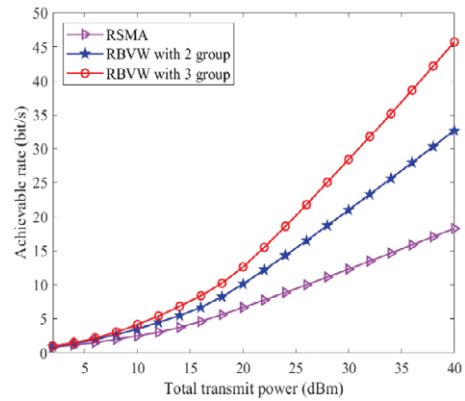


그림 10. 그룹 증가에 따른 통신 용량 비교[14]

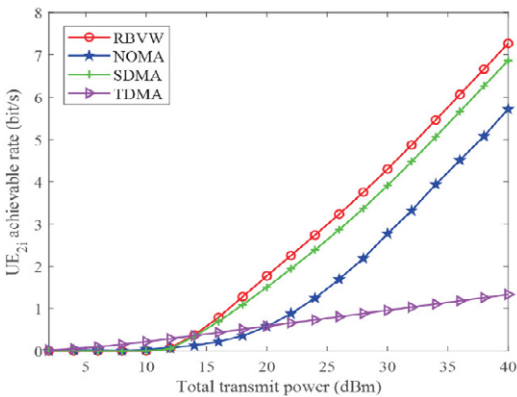
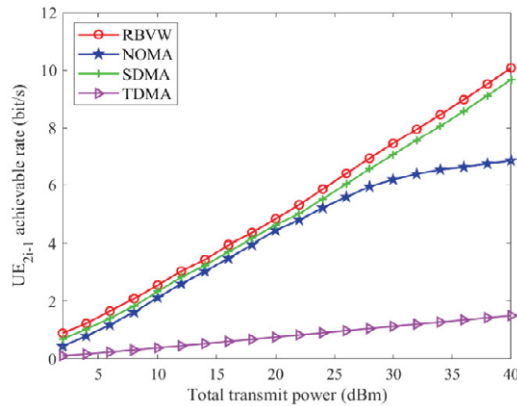


그림 9. 사용자별 통신 용량 비교[14]

## IV. 결론

다중접속기술은 현대의 통신 시스템에서 중요한 역할을 하고 있고 세대를 거듭하면서 발전하고 있다. 대역폭 효율성, 사용자 연결성, 유연성 등의 목표를 달성하기 위해 다양한 통신 기술과의 결합을 필요로 한다. 이에 따라 결합 뿐만 아니라 각 다중접속 기술의 시스템을 기반으로 통신 자원의 최적화 문제가 이를 활용하는 핵심이 된다. 다중접속기술 결합 연구 동향을 통해 다양한 연구 방향성을 살펴보고 이를 활용하고자 한다.

## Acknowledgement

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2022R111A1A01066178)

## 참고 문헌

- [1] Thidé, Bo, et al. "Utilization of photon orbital angular momentum in the low-frequency radio domain." *Physical review letters* 99.8 (2007): 087701. (9pt)
- [2] Wang, Jian, et al. "Orbital angular momentum and beyond in free-space optical communications." *Nanophotonics* 11.4 (2021): 645-680.
- [3] Chen, Rui, et al. "A 2-D FFT-based transceiver architecture for OAM-OFDM systems with UCA antennas." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 67.6 (2018): 5481-5485.
- [4] Hu, Tao, et al. "OFDM-OAM modulation for future wireless communications." *IEEE Access* 7 (2019): 59114-59125.
- [5] Al Amin, Ahmed, and Soo Young Shin. "Channel capacity analysis of non-orthogonal multiple access with OAM-MIMO system." *IEEE Wireless Communications Letters* 9.9 (2020): 1481-1485.
- [6] Mathur, Harshita, and T. Deepa. "A survey on advanced multiple access techniques for 5G and beyond wireless communications." *Wireless Personal Communications* 118 (2021): 1775-1792.
- [7] Tataria, Harsh, et al. "6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities." *Proceedings of the IEEE* 109.7 (2021): 1166-1199.
- [8] Chafii, Marwa, et al. "Twelve scientific challenges for 6G: Rethinking the foundations of communications theory." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* (2023).
- [9] Shah, AFM Shahan, et al. "Survey and performance evaluation of multiple access schemes for next-generation wireless communication systems." *IEEE Access* 9 (2021): 113428-113442.
- [10] Mao, Yijie, et al. "Rate-splitting multiple access: Fundamentals, survey, and future research trends."

*IEEE Communications Surveys & Tutorials* (2022).

- [11] Doohwan, Lee, et al. "Experimental Evaluation of High-capacity Wireless Transmission Using Orbital Angular Momentum Multiplexing Technology." *NTT Technical Review* 20.3 (2022): 36-45.
- [12] Zhao, Zhe, et al. "Modal coupling and crosstalk due to turbulence and divergence on free space THz links using multiple orbital angular momentum beams." *Scientific Reports* 11.1 (2021): 2110.
- [13] Melhem, Sadeq Bani. "Design and Analysis of Non-Orthogonal Multiple Access Techniques for Terahertz Networks." (2022).
- [14] Chen, Ruirui, et al. "Performance analysis of rate splitting multiple access based vortex wave communications." *IEEE Wireless Communications Letters* 11.8 (2022): 1570-1574.

## 약 력



이만희

2016년 금오공과대학교 공학사  
2018년 금오공과대학교 공학석사  
2017년~2019년 (주)이엠텍 솔루션팀 주임  
2019년~2020년 (주)코렌스글로벌 모터사업부 선임연구원  
2021년~현재 금오공과대학교 IT융복합공학과 박사과정  
관심분야: Future Radio Access, MIMO, DSP, and etc.



이혜영

2016년 금오공과대학교 공학사  
2018년 금오공과대학교 공학석사  
2022년 금오공과대학교 공학박사  
2023년~현재 금오공과대학교 박사후연구원  
관심분야: Wireless Communication, Future Radio Access, Signal Processing, and etc.



신수용

1999년 서울대학교 공학사  
2001년 서울대학교 공학석사  
2006년 서울대학교 공학박사  
2006년~2007년 University of Washington 박사후연구원  
2007년~2010년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원  
2010년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수  
관심분야: B5G/6G, Wireless Communication/Network, DSP, UxV, and etc.





# 2023년도 임원 명단

• 회 장 : 홍인기 (경희대학교)

• 수석부회장 : 정성호 (한국외국어대학교)

## • 부회장

한동석 (학술사업:경북대학교)  
조성래 (학술정보:중앙대학교)  
정연호 (지부:부경대학교)  
황인태 (회원:전남대학교)  
이예훈 (기금/회관운영:서울과학기술대학교)  
장경희 (융합:인하대학교)  
송홍엽 (통신신호:연세대학교)  
김정곤 (AI/메타버스:한국공학대학교)  
김병훈 (산업계:LG전자)  
박형일 (산업계:LG유플러스)

김재현 (학술연구:아주대학교)  
정연만 (지부:강릉원주대학교)  
이우용 (지부:한국전자통신연구원)  
김선용 (소사이어티/연구회:건국대학교)  
김기형 (블록체인융합:아주대학교)  
김동성 (민/군 IT융합:금오공과대학교)  
이상미 (여성:우송대학교)  
전경훈 (산업계:삼성전자)  
하성호 (산업계:SK텔레콤)  
이규복 (연구계:한국전자기술연구원)

## • 감 사

허 준 (감사:고려대학교)

이인규 (감사:고려대학교)

## • 상임이사

황승훈 (기획:동국대학교)  
심병효 (대내총무:서울대학교)  
김석찬 (재무/후원:부산대학교)  
김동균 (국제협력 1:경북대학교)  
이경한 (6G RI:서울대학교)  
신석주 (홍보 웹진/행사:조선대학교)  
남해운 (메타버스학술사업:한양대학교)  
최선웅 (지능 기반:국민대학교)  
박준구 (IoT 플랫폼:경북대학교)  
박경준 (융합:대구경북과학기술원)  
신오순 (동계 TPC:송실대학교)  
최지웅 (동계 SPC:대구경북과학기술원)  
이문식 (하계 Workshop:한국전자통신연구원)  
김상호 (추계 TPC:성균관대학교)  
김평수 (추계 SPC:한국공학대학교)  
정태식 (국제학술회의 SPC:한국전자통신연구원)  
최 완 (Digital ESG:서울대학교)  
이장원 (국제논문 ICT Express:연세대학교)  
김대중 (학회지 표준:한국정보통신기술협회)  
한연희 (정보 인프라:한국기술교육대학교)  
김중현 (AI 학술:고려대학교)  
김경배 (지부1:서원대학교)  
조주필 (지부3:군산대학교)  
이재민 (민/군 IT융합:금오공과대학교)  
최미정 (여성:강원대학교)

유희정 (50주년 기획:고려대학교)  
고영채 (대외총무:고려대학교)  
최용훈 (ICT융합학술사업:광운대학교)  
강승택 (국제협력 2:인천대학교(정보통신공학과))  
유철우 (홍보 홈페이지:명지대학교)  
정방철 (5G/6G이동통신:충남대학교)  
박형곤 (5G/6G네트워크:이화여자대학교)  
김상철 (지능 SW/융합:국민대학교)  
최준원 (스마트 모빌리티:한양대학교)  
박민호 (보안:송실대학교)  
채찬병 (동계 Workshop:연세대학교)  
김선우 (하계 TPC:한양대학교)  
김준수 (하계 SPC:한국공학대학교)  
김윤희 (추계 워크샵:경희대학교)  
김광순 (국제학술회의 TPC:연세대학교)  
김덕경 (교육:인하대학교)  
김효일 (국제논문 JCN:울산과학기술원)  
손인수 (국내논문:동국대학교)  
신수용 (학회지 연구:금오공과대학교)  
박현희 (정보 서비스:명지대학교)  
안정근 (산업기술:경북대학교)  
박준구 (지부2:경북대학교)  
임대운 (회원:동국대학교)  
오성준 (통신신호연구:고려대학교)

## • 집행이사

임민중 (소사이어티/연구회:동국대학교)  
고한열 (기획:경희대학교)  
임승찬 (50주년 기획:한경대학교)  
이 훈 (재무/후원:부경대학교)  
임승욱 (ICT융합학술사업:한국전자기술연구원)

장석호 (소사이어티/연구회:건국대학교)  
노 송 (50주년 기획:인천대학교)  
정해준 (대내총무:경희대학교)  
이용태 (ICT융합학술사업:한국전자통신연구원)  
최봉준 (ICT융합학술사업:송실대학교)

# 2023년도 임원 명단

- 안재영 (국제협력 1:한국전자통신연구원)
- 양현종 (6G RI:포항공과대학교)
- 김동호 (홍보 홈페이지:서울과학기술대학교)
- 황석승 (홍보 웹진/행사:조선대학교)
- 이호원 (5G/6G이동통신:한경대학교)
- 강동재 (메타버스학술사업:한국전자통신연구원)
- 문상준 (5G/6G네트워크:삼성 리서치)
- 김근영 (지능 기반:한국전자통신연구원)
- 석준희 (지능 SW/융합:고려대학교)
- 박종관 (IoT 플랫폼:SKT Core Network Lab)
- 조기춘 (스마트 모빌리티:건국대학교)
- 백정엽 (융합:중앙대학교)
- 최윤희 (보안:부산대학교)
- 이종호 (동계 TPC:송실대학교)
- 이제민 (동계 Workshop:성균관대학교)
- 곽정호 (동계 SPC:대구경북과학기술원)
- 배정숙 (하계 TPC:한국전자통신연구원)
- 이재호 (하계 Workshop:덕성여자대학교)
- 최계원 (추계 TPC:성균관대학교)
- 박소령 (추계 워크샵:가톨릭대학교)
- 김수민 (추계 SPC:한국공학대학교)
- 최준일 (국제학술회의 TPC:한국과학기술원)
- 강유화 (국제학술회의 SPC:한국전자통신연구원)
- 김수민 (교육:한국공학대학교)
- 최준일 (Digital ESG:한국과학기술원)
- 최재혁 (국제논문 JCN:가천대학교)
- 고정길 (국제논문 ICT Express:연세대학교)
- 양현종 (국내논문:포항공과대학교)
- 오구영 (학회지 표준:한국정보통신기술협회)
- 김유두 (학회지 연구:한국폴리텍대학)
- 윤주상 (정보 인프라:동인대학교)
- 박래혁 (정보 서비스:서울과학기술대학교)
- 이윤규 (AI 학술:홍익대학교)
- 이찬주 (산업기술:신한대학교)
- 양정모 (지부1:한국산학연합회)
- 김동완 (지부2:동아대학교)
- 이범식 (지부3:조선대학교)
- 김성환 (회원:울산대학교)
- 조선영 (여성:케이티)
- 황진경 (여성:케이티)
- 신호섭 (국제협력 2:군산대학교)
- 이호원 (6G RI:한경대학교)
- 조성현 (홍보 홈페이지:한양대학교)
- 이상웅 (홍보 웹진/행사:가천대학교)
- 이남윤 (5G/6G이동통신:고려대학교)
- 신명기 (5G/6G네트워크:한국전자통신연구원)
- 이상근 (지능 기반:고려대학교)
- 정재훈 (지능 SW/융합:성균관대학교)
- 최병호 (지능 SW/융합:KETI)
- 양현종 (IoT 플랫폼:포항공과대학교)
- 강창묵 (스마트 모빌리티:인천대학교)
- 노영태 (융합:한국에너지공과대학교)
- 박영훈 (보안:숙명여자대학교)
- 손일수 (동계 TPC:서울과학기술대학교)
- 신원용 (동계 SPC:연세대학교)
- 홍송남 (하계 TPC:한양대학교)
- 김지형 (하계 Workshop:한국전자통신연구원)
- 채승호 (하계 SPC:한국공학대학교)
- 김용준 (추계 TPC:포항공과대학교)
- 최민석 (추계 워크샵:경희대학교)
- 이상현 (국제학술회의 TPC:고려대학교)
- 고정길 (국제학술회의 SPC:연세대학교)
- 박대영 (교육:인하대학교)
- 최지환 (Digital ESG:카이스트)
- 윤지훈 (국제논문 JCN:서울과학기술대학교)
- 이종혁 (국제논문 ICT Express:세종대학교)
- 이종혁 (국내논문:세종대학교)
- 이강찬 (학회지 표준:한국전자통신연구원)
- 기주희 (학회지 표준:정보통신기획평가원)
- 노정훈 (학회지 연구:금오공과대학교)
- 노희준 (정보 인프라:고려대학교)
- 이경재 (AI 학술:한밭대학교)
- 고종하 (산업기술:안산대학교)
- 서광덕 (지부1:연세대학교)
- 이동명 (지부2:동명대학교)
- 김용선 (지부3:한국전자통신연구원)
- 박호성 (회원:전남대학교)
- 김동완 (민/군 IT융합:동아대학교)
- 임지영 (여성:성서대학교)

## • 이사

- 문상미 (소사이어티/연구회:나사렛대학교)
- 전요섭 (기획:포항공과대학교)
- 정민채 (기획:세종대학교)
- 이우희 (50주년 기획:고려대학교 세종)
- 이병주 (대내총무:인천대학교)
- 이남윤 (대외총무:고려대학교)
- 윤상석 (재무/후원:부경대학교)
- 평리메이 (국제협력 1:경북대학교)
- 유승목 (국제협력 1:한국전자통신연구원)
- 최진석 (6G RI:울산과학기술원)
- 김태운 (홍보 웹진/행사:부산대학교)
- 유준규 (5G/6G이동통신:한국전자통신연구원)
- 김찬기 (기획:조선대학교)
- 김태형 (기획:순천향대학교)
- 이준세 (50주년 기획:성신여자대학교)
- 신용구 (50주년 기획:한남대학교)
- 김수민 (대외총무:한국공학대학교)
- 박재현 (재무/후원:부경대학교)
- 송재영 (재무/후원:부산대학교)
- 김기일 (국제협력 1:충남대학교)
- 정지학 (국제협력 2:한국폴리텍대학)
- 한 준 (6G RI:연세대학교)
- 최우열 (홍보 웹진/행사:조선대학교)
- HuJin (5G/6G이동통신:한양대학교)

# 2023년도 임원 명단

- 김태훈 (5G/6G이동통신:한밭대학교)  
 이주현 (메타버스학술사업:한양대학교)  
 송지호 (메타버스학술사업:한양대학교 에리카)  
 이재욱 (5G/6G네트워크:한국전자통신연구원)  
 이수찬 (지능 기반:국민대학교)  
 이재구 (지능 SW/융합:국민대학교)  
 정성아 (IoT 플랫폼:경북대학교)  
 이병주 (IoT 플랫폼:인천대학교)  
 김용환 (스마트 모빌리티:스마트레이더시스템)  
 장성욱 (스마트 모빌리티:카카오모빌리티)  
 박지훈 (스마트 모빌리티:한국자동차연구원)  
 정하욱 (스마트 모빌리티:라이드플렉스)  
 서대원 (융합:대구경북과학기술원)  
 조효진 (보안:송실대학교)  
 조오현 (동계 TPC:충북대학교)  
 박상준 (동계 TPC:경기대학교)  
 고정길 (동계 Workshop:연세대학교)  
 정혜원 (동계 Workshop:한국과학기술원)  
 서대원 (동계 SPC:대구경북과학기술원)  
 전태수 (동계 SPC:금오공과대학교)  
 이남윤 (하계 TPC:고려대학교)  
 최진석 (하계 TPC:울산과학기술원)  
 김영희 (하계 TPC:한국지능정보사회진흥원)  
 노훈동 (하계 Workshop:한국전자통신연구원)  
 정민채 (하계 Workshop:세종대학교)  
 김호수 (하계 SPC:중앙대학교)  
 서효윤 (하계 SPC:광운대학교)  
 이병주 (추계 TPC:인천대학교)  
 곽희열 (추계 TPC:울산대학교)  
 김찬기 (추계 TPC:조선대학교)  
 김승연 (추계 워크샵:고려대학교 세종캠퍼스)  
 이용희 (추계 워크샵:한성대학교)  
 이 훈 (추계 SPC:부경대학교)  
 백호기 (국제학술회의 TPC:경북대학교)  
 박정훈 (국제학술회의 TPC:경북대학교)  
 이윤규 (국제학술회의 SPC:홍익대학교)  
 오상은 (국제학술회의 SPC:아주대학교)  
 한정훈 (국제학술회의 SPC:제주대학교)  
 이재욱 (국제학술회의 SPC:한국전자통신연구원)  
 방인규 (교육:한밭대학교)  
 박석환 (Digital ESG:전북대학교)  
 임영빈 (국제논문 JCN:울산과학기술원)  
 이현석 (국제논문 ICT Express:세종대학교)  
 백명선 (국내논문:한국전자통신연구원)  
 송유재 (학회지 연구:금오공과대학교)  
 김정현 (학회지 표준:한국정보통신기술협회)  
 홍용근 (정보 인프라:대전대학교)  
 김원태 (정보 인프라:한국기술교육대학교)  
 나웅수 (정보 서비스:공주대학교)  
 최민석 (정보 서비스:경희대학교)  
 장혜령 (AI 학술:동국대학교)  
 한종훈 (지부1:한국산학연합회)  
 최갑용 (지부1:소방청)  
 박요한 (지부2:영남대학교)
- 안재현 (5G/6G이동통신:엘지유플러스(주))  
 전태수 (메타버스학술사업:금오공과대학교)  
 김영진 (5G/6G네트워크:인하대학교)  
 이병한 (지능 기반:서울과학기술대학교)  
 신정규 (지능 SW/융합:래블업 주식회사)  
 김장호 (지능 SW/융합:국민대학교)  
 강진규 (IoT 플랫폼:명지대학교)  
 김태형 (IoT 플랫폼:순천향대학교)  
 강수원 (스마트 모빌리티:브이에스아이(주))  
 이성훈 (스마트 모빌리티:대구경북과학기술원)  
 윤상원 (스마트 모빌리티:한양대학교)  
 곽정호 (융합:대구경북과학기술원)  
 권동현 (보안:부산대학교)  
 송지호 (동계 TPC:한양대학교 에리카)  
 노 송 (동계 TPC:인천대학교)  
 박정훈 (동계 Workshop:경북대학교)  
 양현종 (동계 Workshop:포항공과대학교)  
 최창식 (동계 Workshop:홍익대학교)  
 최진석 (동계 SPC:울산과학기술원)  
 고갑석 (동계 SPC:강원대학교)  
 신원재 (하계 TPC:아주대학교)  
 박정훈 (하계 TPC:경북대학교)  
 김동완 (하계 Workshop:동아대학교)  
 정소이 (하계 Workshop:아주대학교)  
 강지현 (하계 Workshop:덕성여자대학교)  
 이정훈 (하계 SPC:한국외국어대학교)  
 나웅수 (하계 SPC:공주대학교)  
 채승호 (추계 TPC:한국공학대학교)  
 김재원 (추계 TPC:경상대학교)  
 고한열 (추계 워크샵:경희대학교)  
 윤상석 (추계 워크샵:부경대학교)  
 윤주상 (추계 SPC:동의대학교)  
 홍정하 (추계 SPC:한국전자통신연구원)  
 고한열 (국제학술회의 TPC:경희대학교)  
 한 준 (국제학술회의 TPC:연세대학교)  
 노희준 (국제학술회의 SPC:고려대학교)  
 백정엽 (국제학술회의 SPC:중앙대학교)  
 조종희 (국제학술회의 SPC:한국과학기술원)  
 정해준 (교육:경희대학교)  
 이정훈 (Digital ESG:한국외국어대학교)  
 이주현 (국제논문 JCN:한양대학교)  
 정민채 (국제논문 ICT Express:세종대학교)  
 이재호 (국내논문:덕성여자대학교)  
 장혜령 (국내논문:동국대학교)  
 마수진 (학회지 표준:정보통신기획평가원)  
 이병주 (학회지 연구:인천대학교)  
 경연웅 (정보 인프라:공주대학교)  
 김호수 (정보 인프라:중앙대학교)  
 박승현 (정보 서비스:한성대학교)  
 이 훈 (AI 학술:부경대학교)  
 최병상 (지부1:한국폴리텍대학)  
 박봉섭 (지부1:소방청)  
 박정훈 (지부2:경북대학교)  
 좌정우 (지부3:제주대학교)

## 2023년도 임원 명단

김용석 (지부3:건양대학교)  
김근영 (지부3:한국전자통신연구원)  
문상미 (회원:나사렛대학교)  
박규철 (민/군 IT융합:육군 군수 사령부)  
박성철 (민/군 IT융합:공군 제83정보통신정비창)  
정하영 (여성:(주)LG유플러스)

변재영 (지부3:조선대학교)  
문지환 (회원:한밭대학교)  
김기훈 (회원:한경대학교)  
이태영 (민/군 IT융합:함정기술연구소)  
조영철 (민/군 IT융합:파이오링크)  
배정숙 (여성:한국전자통신연구원)

### • 명예회장

진년강 (전 단국대학교)  
강창언 (전 연세대학교)  
김재균 (전 한국과학기술원)  
이진 (전 한국항공대학교)  
황금찬 (전 연세대학교)  
전계석 (전 경희대학교)  
임주환 (전 한국디지털케이블연구원)  
곽경섭 (인하대학교)  
윤대희 (연세대학교)  
김은수 (광운대학교)  
박진우 (고려대학교)  
조동호 (한국과학기술원)  
조용수 (중앙대학교)  
강충구 (고려대학교)  
박세웅 (서울대학교)  
신요안 (송실대학교)

심수보 (전 송실대학교)  
양승택 (전 정보통신부)  
박한규 (전 연세대학교)  
차균현 (전 고려대학교)  
홍의석 (전 광운대학교)  
강철희 (전 고려대학교)  
이상욱 (서울대학교)  
이병기 (서울대학교)  
최형진 (성균관대학교)  
홍대형 (서강대학교)  
이재용 (연세대학교)  
노종선 (서울대학교)  
조유제 (경북대학교)  
장영민 (국민대학교)  
김영한 (송실대학교)

### • 지부장

정연만 (강릉원주대학교:강원)  
박준구 (경북대학교:대구경북)  
이동명 (동명대학교:부산울산경남)  
김도현 (제주대학교:제주)  
최승학 (삼성전자:중국)  
Nguyen Tien Dzung (HUST:베트남)  
Ir. Chairul Hudaya (Universitas Indonesia:인도네시아)

전찬준 (조선대학교:광주전남)  
김용선 (ETRI:대전충남)  
조주필 (군산대학교:전북)  
조동욱 (충북도립대:충북)  
이병관 (Visiting Professor:미국)  
Abiyot Bayou Tehone (Ethiopian Ministry:에티오피아)

## 한국통신학회지 “정보와 통신” 투고 규정

1. 원고의 종류는 특집(기술해설, 기술소개), 특별기고, 회원 간의 통신, 그리고 기타 편집위원회가 인정하는 것으로 한다.
2. 원고의 내용은 공익적이고 본회 회원의 전문영역 활동에 유익한 것이어야 하며, IT 전공이 아닌 다른 분야의 비전문가들에게도 친숙하게 읽힐 수 있도록 작성해야 한다.
3. 모든 원고는 MS Word 또는 아래아 한글로 작성한다.
4. 원고는 제목, 저자(소속), 요약문, 본문, 참고문헌 순으로 작성한다.
5. 본문의 항목 번호는 I, 1., 1.1, 1.1.1, (1), 1), 가. 등과 같이 표기한다.
6. 그림·표는 본문의 적절한 곳에 위치하도록 선명하게 작성하고, 그림의 경우 하단에 그림 1로, 표의 경우 상단에 표 1로 표기한다.
7. 원고 내용과 관련있는 문헌에 대해서는 본문 중에 참고문헌 번호를 쓰고([ ]로 표기), 그 문헌을 참고문헌에 인용순서대로 기재하되 기재방법은 아래와 같은 순서로 작성한다.  
가. 학술지: 저자명, 제목, 학술지명, 권, 호, 쪽, 발행연도  
나. 단행본: 저자명, 도서명, 출판사명, 쪽, 발행연도
8. 게재가 확정된 원고는 학회가 제공하는 양식에 따라 약력, 사진 등을 제출하여야 한다.
9. 접수된 원고에 대한 게재 여부는 학회지 편집위원회에서 결정하며, 게재된 원고의 저자에게는 소정의 원고료를 지급한다.
10. 학회지에 게재된 원고는 “학회지우수원고상” 자격 대상이 될 수 있다.



## 과학기술인의 신조

우리 과학기술인은 과학기술의 창달과 진흥을 통하여 국가발전과 인류복지사회가 이룩될 수 있음을 확신하고 다음과 같이 다짐한다.

- 우리는 창조의 정신으로 진리를 탐구하고 기술을 혁신함으로써 국가발전에 적극 기여한다.
- 우리는 봉사하는 자세로 과학 기술 진흥의 풍토를 조성함으로써 온 국민의 과학적 정신을 진작한다.
- 우리는 높은 이상을 지향하여 자아를 확립하고 상호 협력함으로써 우리의 사회적 지위와 권익을 신장한다.
- 우리는 인간의 존엄성이 숭상되고 그 가치가 보장되는 복지 사회의 구현을 헌신한다.
- 우리는 과학기술을 선용함으로써 인류의 번영과 세계의 평화에 공헌한다.

## 회원주소 변경신청서

회원의 신상 및 주소 변경이 있을 경우, 홈페이지에 접속하여 수정하시기 바라며, 인터넷이 불가하실 경우에는 아래와 같이 작성하여 학회 사무국으로 팩스 또는 우편으로 보내 주시기 바랍니다.

홈페이지 : <http://www.kics.or.kr>

보내실 곳 : 06296

서울특별시 강남구 논현로38길 32-3(도곡동)

사단법인 한국통신학회 사무국 회원담당자 앞

성명	우편물 발송처	자택·직장
직장명·부서명·직위		
직장주소	우편번호	
	직장전화번호	
자택주소	우편번호	
	자택전화번호	
E-mail		
기타 참고사항		



## 2023년도 월별주제

월	주제명1	주제명2
1월	4차 산업혁명 시대의 기반 기술-클라우드 컴퓨팅	사람과 세상을 이어주는 네트워킹 기술 _지능형 네트워크
2월	사용자와의 원활한 상호작용을 위한 Front-End 구현 기술 동향	디지털 신산업 분야 인재양성
3월	데이터 유통에 필요한 법제도와 기술, 표준, 그리고 플랫폼	미래 사회에 대한 조망, AI(인공지능) 표준화 기술
4월	군 통신 체계	ICT Convergence Korea
5월	디지털전환(Digital Transformation)	사람과 함께 작업하며 도와주도록 진화하는 스마트 로봇 기술_ 스마트로봇
6월	초거대 생성 AI 시대의 도래	혁신으로 연결된 미래의 이동수단, 모빌리티
7월	산업융합 네트워크	국민안전과 미래를 준비하는 위성통신 및 전파 기술
8월	양자정보통신의 변화를 이끄는 기반! 양자 얽힘 네트워크!	해양IT
9월	차세대 보안	MPEG 뉴미디어
10월	우주 통신 기술의 미래를 엿보다	차세대 다중접속기술
11월	디지털콘텐츠	디지털플랫폼정부
12월	에너지 소사이어티	지능형 반사 표면

# 우리의 미래를 위한 나무심기- **U+ 희망트리가 힘이 되겠습니다**

잘 자란 희망트리 한 그루는 이산화탄소 2.5톤, 미세먼지 36g 감소의 효과가 있습니다  
미래세대에게 깨끗한 공기와 시원한 그늘을 선물하기 위한  
LG유플러스의 탄소저감 노력은 앞으로도 계속됩니다



 **LG U+**



## SK텔레콤의 AI 서비스가 새로운 생활을 만듭니다

우리 가족을 알아보고 지켜주는 집과  
당신의 목소리 하나로 시작되는 서비스

누군가에겐 자신을 먼저 챙겨주는 가족이자  
누군가에겐 다정한 친구이고 말벗

내 취향을 기억하고 추천해 주는 플랫폼부터  
필요로 하기 전에 알아서 돕는 기술까지

모든 순간 AI가 함께 하는  
새로운 생활이 시작됩니다.

더 나은 모두의 생활을 위해  
SK텔레콤은 당신 가까이에서 언제나 함께하겠습니다