

ISSN1016-9288

제52권 3호

2025년 3월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.52. no.3

통합 센싱 및 통신(ISAC)

- 이동통신 사업자 관점의 6G ISAC
- 5G-Advanced 및 6G를 위한 ISAC의 활용과 도전 과제
- ISAC의 핵심 기술 및 도전 과제
- ISAC 기술 발전 현황
- 6G-ISAC에서의 센싱 및 측위



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

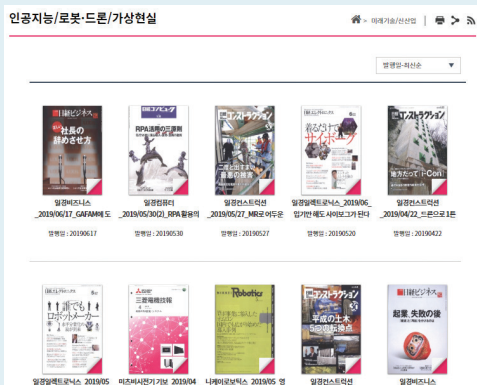


서울대학교 공과대학 해동일본기술정보센터는 대덕전자(故)김정식 회장의 열정과 지원에 의해 최신 일본 기술정보를 산업계와 학계에 널리 알리고자 2010년 3월에 설립하여 현재까지 운영해 오고 있습니다.

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.snu.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'에 '구독'으로 신청.
카카오톡으로 매일의 기사까지 받아 보시려면,
'오픈채팅@HJTIC브리핑룸' 가입 (pw:2016)

2025년도 하계종합 학술대회

2025년 6월 25일(수) ~ 27일(금) | 롯데호텔 제주 (중문)

논문모집 | 홈페이지(<http://conf.theieie.org>)

최우수/일반
논문

- 논문제출 : 2025년 5월 2일(금)
- 심사통보 : 2025년 5월 16일(금)
- 사전등록 : 2025년 6월 1일(일)

대 회 장

백광현 (중앙대학교)

담당부회장

김 훈 (인천대학교)

조직위원장

강명곤 (서울시립대학교)

TPC 위원장

김 현 (서울과학기술대학교)

 발표분야 (학회 6개 소사이어티 + New Emerging Area)

발표분야 (학회 6개 소사이어티)	연 구 회
통신 (Communication)	통신, 미래지능형네트워크, 마이크로파 및 전파전파, ITS, 군사전자, 무선PAN/BAN
반도체 (Semiconductor)	반도체소자 및 재료, SoC 설계, 광파 및 양자전자공학, PCB & Package, RF 집적회로, 정보보안시스템, 내방사선 반도체 설계 및 소자, ESD/EOS & Latchup, 인메모링 컴퓨팅, 이미지센서
컴퓨터 (Computer)	융합컴퓨팅, 멀티미디어, 인공지능 신경망 및 퍼지시스템, M2M/IoT, 휴먼ICT, 인공지능 및 보안, 증강휴먼, 시응용, 블록체인
인공지능 신호처리 (AI Signal Processing)	영상처리, 음향 및 음성신호처리, 영상이해, 바이오영상신호처리, 딥러닝, 로봇지능
시스템 및 제어 (System and Control)	의용전자 및 생체공학, 제어계측, 회로 및 시스템, 전력전자, 지능로봇, 국방정보 및 제어, 자동차전자, 의료영상시스템, 스마트팩토리, 스마트 미터링
산업전자 (Industry Electronics)	산업전자제어, 임베디드시스템, 유비쿼터스 센서네트워크, 디지털통신시스템
New Emerging Area	의료, 에너지, Software, 바이오메디컬 연구회, 기타



행사문의

학회 사무국

- 전 화 (02)553-0255 (내선 2번)
- 홈페이지 <http://conf.theieie.org>

• FAX (02)552-6093

• e-mail conf@theieie.org

ITC-CSCC 2025

The 40th International Technical Conference on Circuits/
Systems, Computers, and Communications 2025

July 7^{Mon} – 10^{Thu}, 2025

Chung-Ang University, Seoul, South Korea

40th Seoul

“Celebrating 40th Anniversary!”



TOPICS

The conference is open to researchers from all regions of the world. Participation from Asia Pacific region is particularly encouraged. Proposals for special sessions are welcome. Papers with original works in all aspects of Circuits/Systems, Computers and Communications are invited. Topics include, but not limited to, the followings:

Circuits & Systems

- Semiconductor Devices & Technology
- Computer Aided Design
- Power Electronics & Circuits
- Intelligent Transportation Systems & Technology
- Analog Circuits
- RF Circuits
- Linear / Nonlinear Systems
- Modern Control
- Medical Electronics & Circuits
- Neural Networks
- VLSI Design
- Verification & Testing
- Sensors & Related Circuits

Computers

- Artificial Neural Network
- Biocomputing
- Computer Systems & Applications
- Human-Computer Interaction
- Internet Technology & Applications
- Metaverse
- Multimedia Service & Technology
- Security
- Watermarking

Image/Signal Processing

- Artificial Intelligence
- Computer Vision
- Image Coding & Analysis
- Image Detection & Recognition
- Image Processing
- Motion Analysis
- Natural Language Processing
- Object Extraction & Technology

Communications

- Signal Processing
- Antenna & Wave Propagation
- Network Management & Design
- Optical Communications & Components
- Circuits & Components for Communications
- Radar / Remote Sensing
- IP Networks & QoS
- MIMO & Space-Time Codes
- Ubiquitous Networks
- Multimedia Communications
- UWB
- Mobile & Wireless Communications
- Visual Communications
- Future Internet Architectures

SUBMISSION OF PAPERS

Prospective authors are invited to submit original papers (1~6 pages) of either MS Word or PDF format written in English. Paper submission procedures are available at www.itc-csc2025.org.

Important Date

February	March 31, 2025	May 15, 2025	May 31, 2025	July 7-10, 2025
Full-Paper Submission Begin	Full-Paper Submission Deadline	Notification of Paper Acceptance	Camera-Ready Paper Submission Deadline	Conference Date

Contact Point

• E-mail : inter@theieie.org • Phone : +82-2-553-0255(Ext. 4) • www.itc-csc2025.org.

ICCE-Asia

2025

The 10th International
Conference on Consumer
Electronics (ICCE) Asia

10. 27^(Mon) - 10. 29^(Wed), 2025

Westin Josun Busan Hotel, South Korea

Presentation Guidelines

The conference will be held with face-to-face presentations of papers at the conference site at Busan, South Korea. Organized by the IEEE Consumer Technology Society and the Institute of Electronics and Information Engineers, ICCE-Asia 2025 which will be held in the Busan, South Korea is an event open to researchers and engineers from industry, research centres, and academia to exchange information and results related to consumer electronics (CE). The conference will feature outstanding keynote speakers, high quality tutorials, special sessions and peer-reviewed papers. It hopes to attract a global audience from industry and academia. It is a perfect opportunity to promote affiliated company/organization to an audience of world-class researchers in the CE industry.

TOPICS OF IEEE/IEIE ICCE-ASIA 2025

- Artificial Intelligence and Machine Learning for CE Applications (AIM)
- Robotics, Drones, Automation Technologies and Interfaces (RDA)
- Security and Privacy of CE Hardware and Software Systems (SPC)
- Energy Management of CE Hardware and Software Systems (EMC)
- Application-Specific CE for Smart Cities (SMC)
- RF, Wireless, and Network Technologies (WNT)
- Internet of Things and Internet of Everywhere (IoT)
- Entertainment, Gaming, and Virtual and Augmented Reality (EGV)
- AV Systems, Image and Video, and Cameras and Acquisition (AVS)
- Automotive CE Applications (CEA)
- CE Sensors and MEMS (CSM)
- Consumer Healthcare Systems (CHS)
- Enabling and HCI Technologies (HCI)
- Smartphone and Mobile Device Technologies (MDT)
- Semiconductor Devices for Consumer Electronics (SCE)
- Other Technologies Related with CE (MIS)

SPECIAL SESSIONS

Special session proposals are invited to IEEE/IEIE ICCE-Asia 2025, and inquiries regarding submission should be directed to the Special Session Chair.

BEST PAPER AWARDS

The authors of the best papers will be presented Gold, Silver, and Bronze awards. Selected top quality papers will be recommended to be published in the Journal of Semiconductor Technology and Science (JSTS) or a special issue of IEIE Transactions on Smart Processing and Computing.

PAPER SUBMISSION

Prospective authors can submit their papers by following the guidelines posted on the conference webpage (<http://www.icce-asia2025.org>).

Accepted papers will be submitted for inclusion into IEEE Xplore subject to meeting IEEE Xplore's scope and quality requirements.

AUTHOR'S SCHEDULE

- Full Paper Submission / Special Session Proposals: **August 22nd, 2025**
- Notification of Acceptance: **September 5th, 2025**
- Submission of Final ver. Paper: **September 19th, 2025**

CONTACT POINT

- Secretariat : inter@theieie.org
- <https://icce-asia2025.org/>



IICC 2025

지능정보 및 제어 학술대회

2025 Intelligence Information and Control Conference

2025. 4. 23(수) ~ 25(금)

전북대학교 국제컨벤션센터

대한전자공학회와 대한전기학회가 공동으로 주관하는 2025년도 지능정보 및 제어 학술대회 (IICC 2025)이 2025년 4월 23일(수)~25일(금)에 개최됩니다. 정보 및 제어 분야의 최신 연구 결과가 발표되는 본 학술회의는 정보 제어분야의 특별 강연과 초청논문을 포함한 논문발표 등 다양한 학술행사로 구성되며, 학계 및 산업계의 전문가들의 교류의 장이 될 것입니다. 정보 및 제어 분야의 현재를 진단하고 미래를 전망할 수 있는 IICC 2025에 여러분을 초대합니다.

대한전자공학회 시스템 및 제어 소사이어티 회장 이 덕 진
대한전기학회 정보 및 제어 부문회 회장 정 종 진

주요일정

- 논문제출마감 : 2025. 3. 21(금)
- 논문심사통보 : 2025. 3. 31(월)
- 사전등록마감 : 2025. 4. 11(금)
- 제출처 : <http://ics.theieie.org>

문의처

대한전자공학회 사무국 배지영 부장
전화 : 02-553-0255(내선 2번)
이메일 : conf@theieie.or.kr

논문발표분야

- Aerospace Control & Application
- AI Autonomous Manufacturing
- Artificial Intelligence
- Audio, Image, Video Signal Processing
- Automotive Electronics
- Biomedical Systems, Bio Infomax
- Communication and Signal Processing
- Control Systems
- Embedded System
- Human-Computer Interaction
- Industrial Artificial Intelligence
- Industrial Digital Transformation
- Intelligent Control
- Mechatronics
- Mobile Systems
- Navigation
- Pattern Recognition
- Power Electronics
- Robotics
- Security & Content Protection
- Smart Car
- Sensor and Measurement
- Ship Information Technology
- Telematics
- Ubiquitous Network



SAE MOBILUS™에서 세계 최고 Automotive Engineering 정보를 만나보세요.

SAE International은 국제 자동차 공학자 협회 (Society of Automotive Engineers)로 자동차, 비행기 및 기타 내연기관 관련 산업의 과학과 기술을 선도하는 학회입니다.

SAE MOBILUS™는 207,000건 이상의 특허 기록 문서, 기술 자료집, 그리고 eBooks과 간행물 자료를 제공합니다. SAE MOBILUS™은 기업의 산업 현장, 학교, 그리고 연구소의 사용자들이 필요한 자료를 이용하실 수 있도록 다양한 구독 옵션을 함께 제공합니다.

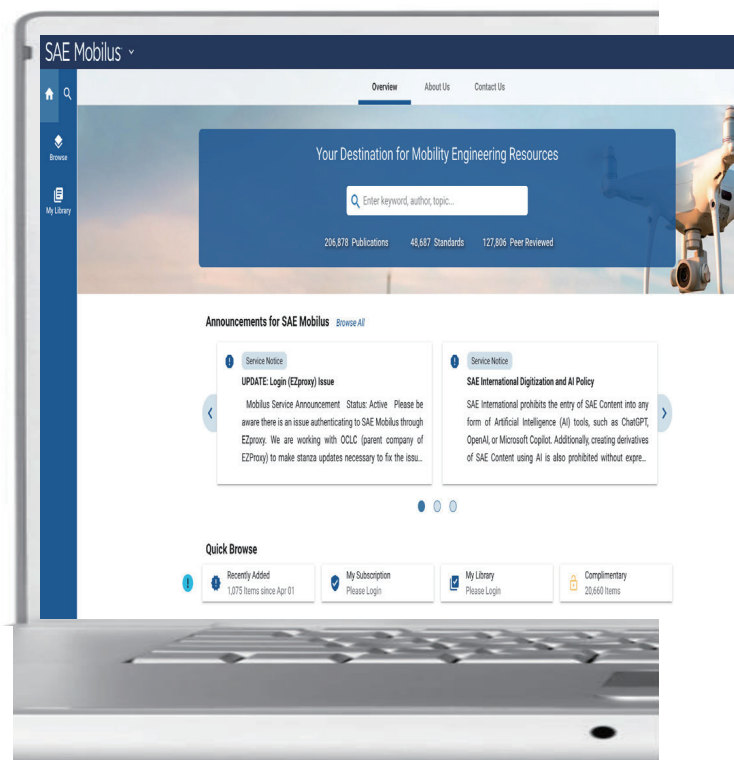
SAE MOBILUS™에서 다음과 같은 다양한 주제 분야에 대한 자료를 확인할 수 있습니다.

- Noise, Vibration, and Harshness (NVH)
- Parts and Components
- Vehicle and Performance
- Quality, Reliability, and Durability
- Maintenance and Aftermarket
- Design Engineering and Styling
- Chassis
- Bodies and Structures
- Safety
- Manufacturing
- Power and Propulsion
- Interiors, Cabins, and Cockpits
- Human Factors and Ergonomics
- Materials
- Fuels and Energy Sources
- Environment
- Electrical, Electronics, and Avionics
- Tests and Testing
- Management and Organization
- Transportation Systems

SAE MOBILOUS™에서 항공 우주 분야 R&D에 필요한 표준 및 규격 그리고 다양한 자료를 검색 및 이용할 수 있습니다.

- +9,300 SAE Ground Vehicle Standards (J-reports)
 - +15,500 SAE Aerospace Standards(AS,ARP, AIR, and 2D/3D Configurator Parts)
 - +18,200 SAE Aerospace Material Specification (AMS)
 - +3,600 SAE ITC Engine & Airframes Standard
 - SAE Historical Standards
 - Composite Materials Handbook(CMH-17)
- 복합 재료에서 최종 품목을 설계하고 제작하는 데 필요한 정보와 지침을 제공

<http://saemobilus.sae.org>



제12회 전국 대학생 IEEE 퀴즈대회

IEL을 구독하는 대학교 학부생이라면 누구나 도전하세요!

퀴즈기간

2025년 3월31일 - 4월20일

참가자격

2025년 기준 IEEE IEL을 구독하는 국내 대학의 학부생

*휴학생도 응시가능 (단, 수상자 선정 시 반드시 휴학증명서를 제출)

참가방법

www.ielquiz.com 접속하여 소속 대학, 학과, 이름 입력 후 응시

퀴즈형식

- 퀴즈는 온라인 정보 검색 기반 대회
- 학교 도서관 웹사이트에서 IEEE/IEL 전자저널 또는 IEEE Xplore (ieeexplore.ieee.org) 접속 후 문제를 검색 및 풀이

시상 내역 및 구분

IEEE상 (1명) - 상장 및 장학금 200만원 수여

KITIS상 (3명) - 상장 및 장학금 100만원 수여

우수상 (10명) - 상장 및 장학금 50만원 수여

결과발표

2025년 5월1일 (개별 안내 및 홈페이지 공지)

시상식

2025년 5월 29일 오후 2시 과학기술회관 (강남역 12번 출구에서 도보 10분 거리)

*IEEE 세미나와 함께 진행될 예정

문의

웹사이트: www.ielquiz.com / www.kitis.co.kr

전화: 02-3474-5290 / 이메일: kitisinfo@naver.com

인스타그램: [@kitis_info](https://www.instagram.com/kitis_info)



후원



IEEE

주최



키티스 産學研情報(株)

KITIS Info. & Co., Ltd.

CONTENTS

제52권 3호 (2025년 3월)



※ 학회지 3월호 표지 (vol 52, No 3)

회지편집위원회

- 위 원 장 황 원 준 (아주대학교 교수)
- 부위원장 선 우 경 (서울대학교 교수)
- 위 원 김 영 성 (인하대학교 교수)
- 이 철 (동국대학교 교수)
- 정 희 철 (경북대학교 교수)
- 최 욱 (인천대학교 교수)
- 한 동 윤 (네이버 리더)
- 허 용 석 (아주대학교 교수)

사무국 편집담당

이 안 순 부장
TEL : (02)553-0255(내선 6)
FAX : (02)562-4753

학회 홈페이지

<http://www.theieie.org>

학회소식

12 학회소식 / 편집부

특집 : 통합 센싱 및 통신(ISAC)

17 특집편집기 / 문상미

18 이동통신 사업자 관점의 6G ISAC / 이재현, 김동욱, 조규성, 류탁기

32 5G-Advanced 및 6G를 위한 ISAC의 활용과 도전 과제 / 신승석, 황인태

40 ISAC의 핵심 기술 및 도전 과제 / 김계윤, 전요셉

51 ISAC 기술 발전 현황 / 강준, 배수민, 최진석

61 6G-ISAC에서의 센싱 및 측위 / 양현호, 최은애, 조훈기, 김효원

회원광장

74 논문지 논문목차

정보교차로

76 국내외 학술행사 안내 / 편집부

94 특별회원사 및 후원사 명단

2025년도 임원 및 각 위원회 위원

회 수 석 부 회 장 고 문	장	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	김 종 옥 (고려대학교 교수) - 총괄 / ITC-CSCC	
	권 오 경 (한양대학교 석좌교수)	
	김 진 상 (경희대학교 총장)	
감 부 회 장	방 승 찬 (한국전자통신연구원 원장)	
	신 희 동 (한국전자기술연구원 원장)	
	오 상 록 (한국과학기술연구원 원장)	
	천 경 준 (씨젠 회장)	
소 사 이 어 티 회 장	이 재 훈 (유정시스템 대표이사)	
	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) - 지부 / 교육 총괄 / 표준화	
	권 호 열 (강원대학교 교수) - 대외협력 / 기술정책	
	김 훈 (인천대학교 교수) - 하계 / 추계 / 국문논문	
협 동 부 회 장	노 태 문 (한국전자통신연구원 연구전문위원) - 산학연	
	송 병 철 (인하대학교 교수) - ICBC / ITC-CSCC / ICCE-Asia / SPC	
	이 승 호 (한밭대학교 교수) - 학술대회	
	정 영 모 (한성대학교 교수) - 홍보 · 정보화 / 회지편집	
상 임 이 사	고 병 철 (계명대학교 교수) - 인공지능신호처리소사이어티	
	신 오 순 (숭실대학교 교수) - 통신소사이어티	
	이 덕 진 (전북대학교 교수) - 시스템및제어소사이어티	
	강 성 원 (한국전자통신연구원 부원장)	
산 업 체 이 사	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	
	노 승 원 (LG0노텍 CTO)	
	심 동 규 (광운대학교 교수)	
	오 윤 제 (정보통신기획평가원 PM)	
회 원	유 창 동 (KAIST 교수)	
	이 병 선 (김포대학교 교수)	
	이 서 규 (픽셀플러스 대표이사)	
	이 장 규 (텔레칩스 대표이사)	
회 원	전 선 익 (파이낸셜뉴스 부회장)	
	조 진 우 (한국전자기술연구원 부원장)	
	강 명 곤 (서울시립대학교 교수) - 하계 총괄 1	
	강 태 옥 (성균관대학교 교수) - 사업	
회 원	구 민 석 (서울시립대학교 교수) - 국제협력	
	김 윤 (서울시립대학교 교수) - 총무	
	김 현 (서울과학기술대학교 교수) - 하계 총괄 2	
	김 민 휘 (중앙대학교 교수) - 차세대 리더육성	
회 원	김 수 연 (동국대학교 교수) - 회원, 여성	
	김 용 신 (고려대학교 교수) - 홍보 · 정보화 총괄 / 신기술	
	김 원 준 (간국대학교 교수) - SPC	
	김 태 인 (인하대학교 교수) - 회원, 여성	
회 원	동 성 수 (웅진예술과학대학교 교수) - 교육	
	변 대 석 (삼성전자 마스터) - 추계 총괄 2	
	서 병 석 (상지대학교 교수) - 추계	
	손 교 민 (삼성전자 마스터) - 사업	
회 원	신 창 환 (고려대학교 교수) - 하계	
	유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원) - 사업 총괄	
	이 형 민 (고려대학교 교수) - 추계	
	임 홍 기 (인하대학교 교수) - ICCE-Asia	
회 원	전 세 영 (서울대학교 교수) - 기획 · 대외협력	
	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장) - 사업	
	조 성 현 (한양대학교 교수) - 추계 총괄 1	
	최 우 영 (서울대학교 교수) - JSTS	
회 원	추 민 성 (한양대학교 교수) - 차세대 리더육성	
	황 원 준 (고려대학교 교수) - 회지편집 총괄	
	고 용 남 (전, 하나마이크론 CTO)	
	김 현 수 (삼성전자 상무)	
회 원	우 정 호 (비전넥스트 대표이사)	
	이 도 훈 (국가보안기술연구소 연구위원)	
	김 기 남 (한국공학한림원 회장)	
	박 성 옥 (차세대지능형반도체사업단 이사장)	
회 원	선우명훈 (아주대학교 교수 / IEEE CASS 회장)	
	안 승 권 (연암공과대학교 총장)	
	전 영 현 (삼성전자 부회장)	
	최 창 식 (DB하이텍 부회장)	
회 원	전 병 우 (성균관대학교 교수)	
	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장) - 산학연	
	김 병 훈 (LG전자 부사장/CTO) - 산업체	
	노 원 우 (연세대학교 교수) - 신기술 / 차세대 리더육성	
회 원	류 수 정 (서울대학교 교수) - 회원 · 여성 총괄	
	이 강 윤 (성균관대학교 교수) - 사업 / 기술워크숍 / 대외협력	
	인 치 호 (세명대학교 교수) - 대외협력	
	황 인 철 (강원대학교 교수) - 소사이어티 네트워크 협력	
회 원	고 정 환 (인하공업전문대학 교수) - 산업전자소사이어티	
	이 덕 기 (연암공과대학교 교수) - 컴퓨터소사이어티	
	장 성 진 (와이씨 대표이사) - 반도체소사이어티	
	김 강 태 (삼성전자 부사장)	
회 원	김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)	
	배 순 민 (케이티 LAB장)	
	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 연구전문위원)	
	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아 대표이사)	
회 원	이 광 업 (경강대학교 교수)	
	이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)	
	이 용 옥 (한화시스템 부사장)	
	이 재 관 (한국자동차연구원 소장)	
회 원	정 준 (솔리드 대표이사)	
	최 병 호 (한국전자기술연구원 소장)	
	강 석 주 (서강대학교 교수) - 기획 · 대외협력 총괄 / ITC-CSCC	
	고 형 호 (충남대학교 교수) - 기획 · 대외협력	
회 원	권 혁 인 (중앙대학교 교수) - 총무	
	김 혁 (서울시립대학교 교수) - 교육	
	김 동 현 (연세대학교 교수) - 바이오메디컬연구회	
	김 성 우 (서울대학교 교수) - 신기술 / 홍보 · 정보화	
회 원	김 영 로 (명지전문대학 교수) - 사업	
	김 원 중 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 표준화	
	김 익 균 (한국전자통신연구원 부장) - 하계	
	김 학 구 (중앙대학교 교수) - 추계	
회 원	박 철 수 (광운대학교 교수) - SPC 총괄	
	변 영 재 (UNIST 교수) - 사업	
	선 우 경 (서울대학교 교수) - 회지편집	
	송 준 영 (인천대학교 교수) - 하계	
회 원	연 규 봉 (한국자동차연구원 수석연구원) - 하계	
	이 채 은 (한양대학교 교수) - 사업	
	이 후 진 (한성대학교 교수) - 논문편집	
	장 익 중 (경희대학교 교수) - 논문편집 총괄	
회 원	정 성 영 (고려대학교 교수) - 차세대 리더육성	
	조 성 재 (이화여자대학교 교수) - 신기술 총괄 / 홍보 · 정보화	
	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) - 논문편집	
	최 재 혁 (서울대학교 교수) - ICCE-Asia 총괄	
회 원	한 재 호 (고려대학교 교수) - 재무	
	김 동 현 (ICTK 대표이사)	
	오 의 열 (LG디스플레이 연구위원)	
	윤 영 권 (삼성전자 마스터)	
회 원	이 수 민 (한국전자연구소 대표이사)	

이 사

이 수 인 (텔레칩스 상무)
조 영 민 (SkyMirr CEO)
최 성 민 (해치텍 대표이사)
함 철 희 (삼성전자 마스터)
공 재 하 (고려대학교 교수) - 홍보 · 정보화
권 기 룡 (부경대학교 교수) - 산학연
김 동 순 (세종대학교 교수) - 하계
김 병 수 (한국전자기술연구원 센터장) - 하계 / ICCE-Asia
김 선 욱 (고려대학교 교수) - 교육
김 소 영 (성균관대학교 교수) - JSTS
김 재 욱 (한국과학기술연구원 선임연구원) - 하계
김 지 훈 (한양대학교 교수) - ICCE-Asia
류 현 석 (서울대학교 교수) - 교육
박 재 영 (광운대학교 교수) - 표준화
서 민 재 (서울시립대학교 교수) - 기획 / 차세대리더 / 하계 / ICCE-Asia
안 광 호 (한국전자기술연구원 본부장) - 대외협력
안 성 수 (명지전문대학 교수) - 회원
양 현 중 (서울대학교 교수) - ICCE-Asia
유 담 (서울대학교 교수) - 하계
윤 명 국 (이화여자대학교 교수) - 신기술
윤 종 윤 (파두 사장) - 교육
이 상 만 (고려대학교 교수) - 산학연
이 철 호 (서울대학교 교수) - 신기술
임 기 택 (한국산업기술기획평가원 PD) - 대외협력
정 해 준 (경희대학교 교수) - 국문논문
제 민 규 (KAIST 교수) - 사업
채 관 역 (삼성전자 마스터) - 대외협력
최 재 욱 (가천대학교 교수) - 국문논문
하 정 우 (네이버 센터장) - 신기술
한 동 윤 (네이버 리더) - 학회지
허 용 석 (아주대학교 교수) - 학회지
황 진 영 (한국항공대학교 교수) - 국제협력
권 경 하 (KAIST 교수) - 사업
김 가 인 (DGIST 교수) - ICCE-Asia / 차세대리더
김 기 현 (전북대학교 교수) - 전북지부
김 대 영 (순천향대학교 교수) - 호서지부
김 성 준 (동국대학교 교수) - 국제협력
김 영 성 (인하대학교 교수) - 학회지
김 형 진 (한양대학교 교수) - 하계 / ITC-CSCC
민 경 식 (국민대학교 교수) - 하계 / JSTS
박 익 준 (중부대학교 교수) - 회원/여성
박 해 림 (서울과학기술대학교 교수) - 회원/여성
배 준 호 (가천대학교 교수) - 표준화
송 익 현 (한양대학교 교수) - 국제협력
신 세 운 (UNIST 교수) - 사업
심 원 보 (서울과학기술대학교 교수) - 하계
유 동 훈 (디사이로 CRO) - 회원 · 여성
이 권 형 (LG전자 책임연구원) - 하계
이 상 현 (아주대학교 교수) - 홍보 · 정보화
이 재 규 (삼성전자 마스터) - 산학연
이 철 (동국대학교 교수) - 학회지
임 영 현 (경희대학교 교수) - 국문논문
정 소 이 (아주대학교 교수) - 하계
정 이 품 (연세대학교 교수) - 차세대 리더
진 경 환 (고려대학교 교수) - 기획
채 주 형 (광운대학교 교수) - ICCE-Asia / 차세대리더
함 범 섭 (연세대학교 교수) - 추계

정 민 수 (라운텍 CTO)
천 이 우 (넥스트칩 연구소장)
한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
홍 국 태 (LX세미콘 연구위원)
권 구 덕 (강원대학교 교수) - 기획
권 기 원 (성균관대학교 교수) - 표준화
김 민 규 (LG이노텍 상무) - 산학연
김 상 완 (서강대학교 교수) - 기획
김 성 동 (서울과학기술대학교 교수) - 표준화
김 유 철 (LG 시연연구원 부문장) - 신기술
김 중 헌 (고려대학교 교수) - 사업
류 은 석 (성균관대학교 교수) - 사업
박 동 욱 (서울시립대학교 교수) - 하계
배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 산학연
심 용 (중앙대학교 교수) - 국제협력
안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원) - 신기술
안 호 균 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 사업
오 윤 호 (고려대학교 교수) - 신기술
유 현 우 (성균관대학교 교수) - 홍보 · 정보화
윤 상 훈 (한국산업기술기획평가원 PD) - 산학연
이 구 순 (파이낸셜뉴스 이사) - 홍보 · 정보화
이 정 원 (서울대학교 교수) - 회원/여성
이 태 동 (국제대학교 교수) - 홍보 · 정보화
전 동 석 (서울대학교 교수) - 하계 / 국문논문
정 희 철 (경북대학교 교수) - 학회지
조 성 인 (동국대학교 교수) - 하계
최 광 성 (한국전자통신연구원 실장) - 대외협력
최 정 욱 (한양대학교 교수) - 국문논문
하 태 준 (광운대학교 교수) - 추계
한 태 희 (성균관대학교 교수) - 국문논문
허 재 두 (한국전자통신연구원 연구전문위원) - 사업
황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장) - 하계
권 중 원 (한국산업기술시험원 센터장) - 추계
김 건 우 (목포대학교 교수) - 광주·전남지부
김 다 완 (한국교통대학교 교수)
김 도 훈 (한국전자통신연구원 박사) - 표준화
김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 산학연
김 정 석 (가천대학교 교수) - 홍보 · 정보화
류 성 주 (서강대학교 교수) - 하계
박 관 서 (연세대학교 교수) - ICCE-Asia / 차세대리더 / 기획
박 정 환 (경희대학교 교수) - 국문논문
배 준 성 (강원대학교 교수) - 국제협력
백 지 선 (부산대학교 교수) - ICCE-Asia
송 철 (DGIST 교수) - 바이오메디컬연구회
신 재 영 (한국교통대학교 교수) - 교육
유 경 창 (삼성전자 수석연구원) - 회원
이 규 호 (연세대학교 교수) - 차세대 리더 / 하계
이 명 재 (연세대학교 교수) - 신기술
이 신 형 (서울시립대학교 교수) - 회원 · 여성
이 정 석 (인하공업전문대학 교수) - 학회지
임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원) - 사업
정 동 윤 (한국전자통신연구원 센터장) - 산학연
정 완 영 (KAIST 교수) - 홍보 · 정보화
정 한 율 (광운대학교 교수) - 신기술
차 철 욱 (한국전자기술연구원 센터장) - 표준화
최 욱 (인천대학교 교수) - 학회지
홍 성 완 (서강대학교 교수) - 하계 / 대외협력

협 동 이 사

지부장 명단

강 원 지 부
대구·경북지부
부산·경남·울산지부
제 주 지 부
호 서 지 부
미 국

강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
이 찬 수 (영남대학교 교수)
김 현 철 (울산대학교 교수)
고 석 준 (제주대학교 교수)
강 윤 희 (백석대학교 교수)
최 명 준 (텔레다인 박사)

광주·전남지부
대전·충남지부
전 북 지 부
충 북 지 부
일 본
러 시 아 지 부

최 수 일 (전남대학교 교수)
김 철 영 (충남대학교 교수)
이 지 훈 (전북대학교 교수)
조 문 규 (한국교통대학교 교수)
강 유 선 (Tokyo Polytechnic University 교수)
Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위원장	박성한 (한양대학교 명예교수)
부위원장	이진구 (동국대학교 명예교수)
위원	고성재 (고려대학교 교수)
	김도현 (국민대학교 명예교수)
	김재희 (연세대학교 명예교수)
	박규태 (연세대학교 명예교수)
	백준기 (중앙대학교 교수)
	이문기 (연세대학교 명예교수)
	이혁재 (서울대학교 교수)
	전홍태 (중앙대학교 명예교수)
	홍대식 (연세대학교 교수)

공준진 (웨이브피아 CSO)
김성대 (KAIST 명예교수)
나정웅 (KAIST 명예교수)
박진옥 (육군사관학교 명예교수)
서승우 (서울대학교 교수)
이상설 (한양대학교 명예교수)
임혜숙 (이화여자대학교 교수)
정정화 (한양대학교 명예교수)
홍승홍 (인하대학교 명예교수)

구용서 (단국대학교 석좌교수)
김수중 (경북대학교 명예교수)
문영식 (한림성심대학교 총장)
박항구 (소암시스템 회장)
성광모 (서울대학교 명예교수)
이재홍 (서울대학교 명예교수)
전국진 (서울대학교 명예교수)
천경준 (씨젠 회장)

기획위원회

위원장	강석주 (서강대학교 교수)
부위원장	전세영 (서울대학교 교수)
위원	권구덕 (강원대학교 교수)
	서민재 (서울시립대학교 교수)

고형호 (충남대학교 교수)
김상완 (서강대학교 교수)
진경환 (고려대학교 교수)

박관서 (연세대학교 교수)

학술연구위원회 - 하계

위원장	강명곤 (서울시립대학교 교수)
TPC위원장	김현 (서울과학기술대학교 교수)
위원	김동순 (세종대학교 교수)
	김형진 (한양대학교 교수)
	서경원 (서울과학기술대학교 교수)
	송준영 (인천대학교 교수)
	연규봉 (한국자동차연구원 수석연구원)
	이권형 (LG전자 책임연구원)
	정소이 (아주대학교 교수)
	홍성완 (서강대학교 교수)

김병수 (한국전자기술연구원 센터장)
민경식 (국민대학교 교수)
서민재 (서울시립대학교 교수)
신창환 (고려대학교 교수)
유담 (서울대학교 교수)
이승호 (한밭대학교 교수)
조성인 (동국대학교 교수)

김익균 (한국전자통신연구원 부장)
박동욱 (서울시립대학교 교수)
서승호 (고려대학교 교수)
심원보 (서울과학기술대학교 교수)
이규호 (연세대학교 교수)
인치호 (세명대학교 교수)
최승규 (경희대학교 교수)

학술연구위원회 - 추계

위원장	조성현 (한양대학교 교수)
TPC위원장	변대석 (삼성전자 마스터)
위원	강문식 (강릉원주대학교 교수)
	김중현 (고려대학교 교수)
	서병석 (상지대학교 교수)
	추민성 (한양대학교 교수)
	황인철 (강원대학교 교수)

구분태 (한국전자통신연구원 본부장)
김학구 (중앙대학교 교수)
이승호 (한밭대학교 교수)
하태준 (광운대학교 교수)

권종원 (한국산업기술시험원 센터장)
노태문 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
이형민 (고려대학교 교수)
함범섭 (연세대학교 교수)

논문편집위원회

위원장	장익준 (경희대학교 교수)
위원	박정환 (경희대학교 교수)
	전동석 (서울대학교 교수)
	최재용 (가천대학교 교수)

이후진 (한성대학교 교수)
정해준 (경희대학교 교수)
최정욱 (한양대학교 교수)

임영현 (경희대학교 교수)
최강선 (한국기술교육대학교 교수)
한태희 (성균관대학교 교수)

국제협력위원회

위원장	구민석 (서울시립대학교 교수)
위원	김성준 (동국대학교 교수)
	심용 (중앙대학교 교수)

배준성 (강원대학교 교수)
황진영 (한국항공대학교 교수)

송익현 (한양대학교 교수)

회원관리위원회

위원장	류수정 (서울대학교 교수)
위원	김수연 (동국대학교 교수)
	박혜림 (서울과학기술대학교 교수)
	유동훈 (디사일로 CRO)
	이정원 (서울대학교 교수)

김태인 (인하대학교 교수)
안성수 (명지전문대학 교수)
이신형 (서울시립대학교 교수)
임정연 (SK텔레콤 담당)

박익준 (중부대학교 교수)
유경창 (삼성전자 수석연구원)
이정아 (AURA CEO)

회지편집위원회

위원장	황원준 (고려대학교 교수)		
부위원장	선우경 (서울대학교 교수)		
위원	김영성 (인하대학교 교수)	이철 (동국대학교 교수)	정희철 (경북대학교 교수)
	최욱 (인천대학교 교수)	한동윤 (네이버 리더)	허용석 (아주대학교 교수)

사업위원회

위원장	유찬세 (한국전자기술연구원 수석연구원)		
위원	감익균 (한국전자통신연구원 본부장)	강태욱 (성균관대학교 교수)	권경하 (KAIST 교수)
	김영로 (명지전문대학 교수)	김중현 (고려대학교 교수)	류은석 (성균관대학교 교수)
	변영재 (UNIST 교수)	선우명훈 (아주대학교 교수)	손교민 (삼성전자 마스터)
	신세운 (UNIST 교수)	안호균 (한국전자통신연구원 책임연구원)	이채은 (한양대학교 교수)
	임매순 (한국과학기술연구원 책임연구원)	정일권 (한국전자통신연구원 본부장)	제민규 (KAIST 교수)
	허재두 (한국전자통신연구원 연구전문위원)		

교육연구위원회

위원장	강문식 (강릉원주대학교 교수)		
위원	김혁 (서울시립대학교 교수)	동성수 (용인예술과학대학교 교수)	류현석 (서울대학교 교수)
	박영우 (TEL 부사장)	박혜림 (서울과학기술대학교 교수)	변대석 (삼성전자 교수)
	변영재 (UNIST 교수)	신재영 (한국교통대학교 교수)	윤종윤 (Fadu 사장)
	이신형 (서울시립대학교 교수)	이영택 (ASML 전무)	이후진 (한성대학교 교수)
	정성엽 (고려대학교 교수)	정용규 (을지대학교 교수)	

홍보/정보화위원회

위원장	김용신 (고려대학교 교수)		
위원	궁재하 (고려대학교 교수)	김성우 (서울대학교 교수)	김정석 (가천대학교 교수)
	유현우 (성균관대학교 교수)	이상현 (아주대학교 교수)	

표준화위원회

위원장	김원종 (한국전자통신연구원 책임연구원)		
부위원장	연구봉 (한국자동차연구원 수석연구원)		
위원	김도훈 (한국전자통신연구원 박사)	권기원 (성균관대학교 교수)	김성동 (서울과학기술대학교 교수)
	박재영 (광운대학교 교수)	배준호 (가천대학교 교수)	차철웅 (한국전자기술연구원 센터장)

신기술위원회

위원장	노원우 (연세대학교 교수)		
부위원장	김용신 (고려대학교 교수)	조성재 (이화여자대학교 교수)	
위원	김성우 (서울대학교 교수)	이철호 (서울대학교 교수)	오윤호 (고려대학교 교수)
	윤명국 (이화여자대학교 교수)	이명재 (연세대학교 교수)	정한울 (광운대학교 교수)

선거관리위원회

위원장	전홍태 (중앙대학교 교수)		
위원	강명곤 (서울시립대학교 교수)	강석주 (서강대학교 교수)	권혁인 (중앙대학교 교수)
	김윤 (서울시립대학교 교수)	류수정 (서울대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)

포상위원회

위원장	공준진 (웨이브피아 CSO)		
위원	강석주 (서강대학교 교수)	강명곤 (서울시립대학교 교수)	김종욱 (고려대학교 교수)
	장익준 (경희대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)	
위원 및 간사겸임	권혁인 (중앙대학교 교수)		

인사위원회

위원장	백광현 (중앙대학교 교수)		
위원	김종욱 (고려대학교 교수)	강석주 (서강대학교 교수)	권혁인 (중앙대학교 교수)
	조성재 (이화여자대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)	

차세대 리더육성위원회

위원장	노원우 (연세대학교 교수)		
부위원장	김민휘 (중앙대학교 교수)	정성엽 (고려대학교 교수)	추민성 (한양대학교 교수)
위원	김가인 (DGIST 교수)	박관서 (연세대학교 교수)	서민재 (서울시립대학교 교수)
	이규호 (연세대학교 교수)	정이품 (연세대학교 교수)	채주형 (광운대학교 교수)

JSTS 편집위원회

위원장	최우영 (서울대학교 교수)		
위원	강명곤 (서울시립대학교 교수)	강인만 (경북대학교 교수)	권혁인 (중앙대학교 교수)
	김상범 (서울대학교 교수)	김상완 (서강대학교 교수)	김소영 (성균관대학교 교수)
	김윤 (서울시립대학교 교수)	김재준 (서울대학교 교수)	김지훈 (한양대학교 교수)
	남일구 (부산대학교 교수)	민경식 (국민대학교 교수)	박찬형 (광운대학교 교수)
	백광현 (중앙대학교 교수)	서문교 (성균관대학교 교수)	신민철 (KAIST 교수)
	오정우 (연세대학교 교수)	윤상원 (서울대학교 교수)	이가원 (충남대학교 교수)
	이강윤 (성균관대학교 교수)	이철호 (서울대학교 교수)	이형민 (고려대학교 교수)
	전동석 (서울대학교 교수)	정규원 (서울대학교 교수)	정재경 (한양대학교 교수)
	조성재 (이화여자대학교 교수)	조일환 (명지대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)
	최우석 (서울대학교 교수)	한재덕 (한양대학교 교수)	

SPC위원회

위원장	송병철 (인하대학교 교수)	박철수 (광운대학교 교수)	김원준 (건국대학교 교수)
자문위원	김선욱 (고려대학교 교수)	김창수 (고려대학교 교수)	백광현 (중앙대학교 교수)
	백준기 (중앙대학교 교수)	심동규 (광운대학교 교수)	이강윤 (성균관대학교 교수)
	이혁재 (서울대학교 교수)	임혜숙 (이화여자대학교 교수)	전병우 (성균관대학교 교수)
	조남익 (서울대학교 교수)	조민호 (고려대학교 교수)	
운영위원	공경보 (부산대학교 교수)	조성인 (동국대학교 교수)	홍승혁 (수원대학교 교수)
편집위원	강석주 (서강대학교 교수)	권건우 (홍익대학교 교수)	권순재 (가톨릭대학교 교수)
	권준석 (중앙대학교 교수)	김민준 (한국외국어대학교 교수)	김병서 (홍익대학교 교수)
	김영민 (홍익대학교 교수)	김영빈 (중앙대학교 교수)	김용태 (경북대학교 교수)
	김원중 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김재곤 (한국항공대학교 교수)	김진솔 (전남대학교 교수)
	김태석 (광운대학교 교수)	김태환 (한국항공대학교 교수)	김현 (서울과학기술대학교 교수)
	남일구 (부산대학교 교수)	민경식 (수원대학교 교수)	민문식 (경북대학교 교수)
	박은병 (성균관대학교 교수)	백성웅 (한양대학교 교수)	서영호 (광운대학교 교수)
	신영주 (고려대학교 교수)	신오순 (송실대학교 교수)	신지태 (성균관대학교 교수)
	엄찬호 (중앙대학교 교수)	오지형 (중앙대학교 교수)	오태현 (POSTECH 교수)
	오현우 (쓰리웨이스프리트 교수)	우성민 (한국기술교육대학교 교수)	유지현 (광운대학교 교수)
	이덕우 (계명대학교 교수)	이재훈 (고려대학교 교수)	이채은 (한양대학교 교수)
	이철 (동국대학교 교수)	이후진 (한성대학교 교수)	이훈 (UNIST 교수)
	임성훈 (DGIST 교수)	장민혜 (한국전기연구원 박사)	장승진 (한밭대학교 교수)
	장주웅 (광운대학교 교수)	장훈석 (한국전자기술연구원 선임연구원)	장희선 (평택대학교 교수)
	정승원 (고려대학교 교수)	조성현 (한양대학교 교수)	진훈 (안양대학교 교수)
	차은주 (숙명여자대학교 교수)	최상호 (광운대학교 교수)	황성운 (가천대학교 교수)
	황원준 (고려대학교 교수)	황인철 (강원대학교 교수)	

바이오-메디컬연구회

전문위원장	김동현 (연세대학교 교수)	박형원 (성균관대학교 교수)	변경민 (경희대학교 교수)
전문위원	김경환 (연세대학교 교수)	송철 (DGIST 교수)	송윤규 (서울대학교 교수)
	서정목 (연세대학교 교수)	전상범 (이화여자대학교 교수)	최종률 (대구경북첨단의료산업진흥재단 책임연구원)
	이정훈 (광운대학교 교수)		

Society 명단

통신사이버터

회 부 회 장	신기진 (숭실대학교 교수)	김재현 (아주대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
	김기원 (건국대학교 교수)	김진주 (ATNS 대표이사)	이성우 (단국대학교 교수)
	이원식 (인천대학교 교수)	이재준 (숭실대학교 교수)	이우 (중양대학교 교수)
간 협 동 부 회 장	최유진 (고려대학교 교수)	홍노익 (고려대학교 교수)	
	김민석 (숭실대학교 교수)	김민준 (광주과학기술원 교수)	
	이재호 (에이스테크놀로지 연구소장)	이찬수 (브로던 대표이사)	김영환 (숭실대학교 교수)
	조기훈 (탑스 대표이사)	김승현 (한국전자통신연구원 원장)	정현규 (한국전자통신연구원 부장)
	김정호 (에이스테크놀로지 박사)	김성훈 (한국전자통신연구원 박사)	
이 사	김정수 (연세대학교 교수)	김성환 (숭실대학교 교수)	김호진 (이화여자대학교 교수)
	김수인 (한국공항공대학교 교수)	신수환 (금오공과대학교 교수)	신진안 (숭실대학교 교수)
	김소영 (동국대학교 교수)	김지훈 (서울과학기술대학교 교수)	이예준 (서울과학기술대학교 교수)
	김민재 (한국항공대학교 교수)	김지훈 (숭실대학교 교수)	이호경 (홍익대학교 교수)
	김재홍 (홍익대학교 교수)	김지훈 (건국대학교 교수)	조재래 (중양대학교 교수)
	김정호 (한양대학교 교수)	김지훈 (대구경북과학기술원 교수)	최정신 (한양대학교 교수)
	김정호 (한양대학교 교수)	김지훈 (경희대학교 교수)	최정신 (한양대학교 교수)
	김정호 (한양대학교 교수)		
간 사 연 구 회 위 원 장	김정호 (한양대학교 교수)	정소이 (아주대학교 교수)	
	김정호 (한양대학교 교수)	윤상민 (국민대학교 교수) - 지능형네트워크	
	김정호 (한양대학교 교수)	이철기 (아주대학교 교수) - ITS	
	김정호 (한양대학교 교수)	허재두 (한국전자통신연구원 연구전문위원) - 무선 PAN/BAN	

반도체사이버터

회 자 문 위 원	정준호 (와이씨 대표이사)	권오경 (한양대학교 교수, 반소전임회장)	김영환 (POSTECH 교수)
	김진주 (웨이브피아 CSO, 본회명예회장)	김진주 (경희대학교 총장, 반소전임회장)	김진주 (청주대학교 교수)
	김진주 (연세대학교 교수)	김진주 (아주대학교 교수, 반소전임회장)	소경신 (Synopsis 사장)
	김진주 (POSTECH 교수)	김진주 (반소전임회장)	신철환 (한양대학교 교수, 반소전임회장)
	김진주 (반소전임회장)	김진주 (서강대학교 교수)	이정현 (KAIST 교수)
	김진주 (서강대학교 교수)	김진주 (반소전임회장)	전영환 (삼성전자 부회장, 반소전임회장)
	김진주 (경희대학교 교수)	김진주 (전북대학교 교수)	조영준 (한국외국어대학교 교수)
	김진주 (울산대학교 교수)	김진주 (이천대학교 교수, 반소전임회장)	최기영 (서울대학교 교수)
	김진주 (벨랑 대표)	김진주 (실리콘마이터스 회장)	
간 부 회 장	김진주 (성균관대학교 교수)	김진주 (서강대학교 교수)	박영우 (EXICON 사장)
	김진주 (LX세미론 연구소장)	김진주 (한양대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)
	김진주 (한국반도체산업협회 전무)	김진주 (인하대학교 교수)	
	김진주 (서울시립대학교 교수, 수석부회장)	김진주 (삼성전자 부사장)	김지훈 (한양대학교 교수)
	김진주 (서울시립대학교 교수)	김진주 (충남대학교 교수)	박종선 (고려대학교 교수)
	김진주 (서울과학기술대학교 교수)	김진주 (서울대학교 교수)	추민상 (한양대학교 교수)
	김진주 (삼성전자 부사장)	김진주 (삼성전자 마스터)	조성재 (이화여자대학교 교수)
	김진주 (한양대학교 교수)	김진주 (삼성전자 부사장)	
	김진주 (성균관대학교 교수)	김진주 (고려대학교 교수)	범진욱 (서강대학교 교수)
	김진주 (인하대학교 교수)	김진주 (UNIST 교수)	이병훈 (POSTECH 교수)
	김진주 (UNIST 교수)	김진주 (한양대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)
	김진주 (세명대학교 교수)	김진주 (전북대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)
	김진주 (연세대학교 교수)	김진주 (한양대학교 교수)	
	김진주 (삼성전자 마스터)	김진주 (성균관대학교 교수)	공정택 (성균관대학교 교수)
	김진주 (세종대학교 교수)	김진주 (성균관대학교 교수)	김시훈 (연세대학교 교수)
	김진주 (성균관대학교 교수)	김진주 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김종선 (홍익대학교 교수)
	김진주 (LX세미론 상무)	김진주 (중앙대학교 교수)	변대식 (삼성전자 마스터)
	김진주 (삼성전자 마스터)	김진주 (삼성전자 부사장)	변대식 (한국전자통신연구원 연구위원)
	김진주 (연세대학교 교수)	김진주 (웨이브피아 대표)	조태제 (DGIST 교수)
	김진주 (서울대학교 교수)	김진주 (한국전자기술연구원 본부장)	최영균 (고려대학교 교수)
	김진주 (경국대학교 교수)		
	김진주 (성균관대학교 교수)	이성수 (숭실대학교 교수)	김보은 (라온텍 사장)
	김진주 (넥스트칩 대표)	김진주 (CTK 사장)	손재철 (가천대학교 교수)
	김진주 (ADT 사장)	김진주 (실리콘웍스 전무)	오민욱 (삼성전자 부사장)
	김진주 (휴인스 사장)	김진주 (케이더스코리아 사장)	
	김진주 (온도레인 사장)	김진주 (텔레칩스 대표)	
	김진주 (연세대학교 교수)	김진주 (숭실대학교 교수)	
	김진주 (명지대학교 교수) - 반도체사 및 재료	김상인 (아주대학교 교수) - 광파 및 양자전자	
	김진주 (성균관대학교 교수) - SoC 설계	황인철 (강원대학교 교수) - RF 집적회로	
	김진주 (강원공업 본부장) - PCB&Package	김의균 (한국전자통신연구원 부장) - 정보보안시스템	
	김진주 (경희대학교 교수) - 내방사선 반도체 설계 및 소자	김한규 (EESOP 대표) - ESD/EOS & Latchup	
	김진주 (연세대학교 교수) - 인 메모리 컴퓨팅	송민규 (동국대학교 교수) - 이미지센서	
	김진주 (POSTECH 교수)	권재하 (고려대학교 교수)	권구덕 (강원대학교 교수)
	김진주 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김민준 (한국외국어대학교 교수)	김병수 (한국전자기술연구원 센터장)
	김진주 (동국대학교 교수)	김민준 (홍익대학교 교수)	김재욱 (한국과학기술연구원 그룹장)
	김진주 (한국항공대학교 교수)	김민준 (서강대학교 교수)	류시강 (한국항공대학교 교수)
	김진주 (연세대학교 교수)	김민준 (건국대학교 교수)	박인호 (인하대학교 교수)
	김진주 (성균관대학교 교수)	김민준 (문택 대표)	백지선 (부산대학교 교수)
	김진주 (서울시립대학교 교수)	김민준 (인하대학교 교수)	백지선 (연세대학교 교수)
	김진주 (성균관대학교 교수)	김민준 (충남대학교 교수)	이화영 (이화여자대학교 교수)
	김진주 (POSTECH 교수)	김민준 (중앙대학교 교수)	성규관 (성균관대학교 교수)
	김진주 (가천대학교 교수)	김민준 (고려대학교 교수)	한국외국어대학교 교수)
	김진주 (서울대학교 교수)	김민준 (삼성전자 상무)	인하대학교 교수)
	김진주 (단국대학교 교수)	김민준 (SK 사피온 CTO)	한양대학교 교수)
	김진주 (KAIST 교수)	김민준 (충남대학교 교수)	한양대학교 교수)
	김진주 (건국대학교 교수)	김민준 (서울대학교 교수)	한양대학교 교수)
	김진주 (성균관대학교 교수)	김민준 (충남대학교 교수)	한양대학교 교수)

컴퓨터소사이어티

[illegible]

인공지능 신호처리소사이어티

[illegible]

박상우 (명지대학교 교수)	박성훈 (KAIST 교수)	박현진 (성균관대학교 교수)
박정호 (광운대학교 교수)	배성호 (경희대학교 교수)	서영호 (광운대학교 교수)
서정호 (한국전자통신연구원 연구원)	서진근 (연세대학교 교수)	손영훈 (연세대학교 교수)
송진호 (연세대학교 교수)	신재섭 (픽스트리 대표이사)	신지태 (성균관대학교 교수)
신성환 (캐논메디칼시스템즈코리아 박사)	안현중 (UNIST 교수)	어영정 (연세대학교 교수)
신성환 (부산대학교 교수)	오세홍 (한국외국어대학교 교수)	오태진 (POSTECH 교수)
이인철 (인텔리빅스 대표이사)	유양모 (서강대학교 교수)	윤국진 (KAIST 교수)
이인철 (한국외국어대학교 교수)	이기승 (건국대학교 교수)	이상근 (중앙대학교 교수)
이인철 (연세대학교 교수)	이상정 (DGIST 교수)	이상훈 (연세대학교 교수)
이인철 (POSTECH 교수)	이연정 (경북대학교 교수)	이인진 (서울과학기술대학교 교수)
이인철 (한국항공대학교 교수)	이재성 (서울대학교 교수)	이준석 (연세대학교 교수)
이인철 (한국전자기술연구원 책임연구원)	이종하 (계명대학교 교수)	이재원 (계명대학교 교수)
이인철 (성균관대학교 교수)	이창우 (카톨릭대학교 교수)	임재열 (한국기술교육대학교 교수)
이인철 (제주대학교 교수)	임종우 (한양대학교 교수)	장세진 (한국전자기술연구원 센터장)
이인철 (제주하라대학교 교수)	장인수 (한국전자통신연구원 연구원)	장기원 (국가수리과학연구소 박사)
이인철 (광주과학기술원 교수)	정미라 (계명대학교 교수)	정원기 (고려대학교 교수)
이인철 (한밭대학교 교수)	정훈기 (한국교통대학교 교수)	정호열 (영남대학교 교수)
이인철 (HDXMILL 박사)	조승룡 (KAIST 교수)	조홍열 (네이버 연구원)
이인철 (제주대학교 교수)	최승호 (서울과학기술대학교 교수)	최유진 (연세대학교 교수)
이인철 (이화여자대학교 교수)	최주원 (한양대학교 교수)	최철현 (영남대학교 교수)
이인철 (세종대학교 교수)	홍성식 (아주대학교 교수)	최홍성 (전남대학교 교수)
이인철 (연세대학교 교수)	홍상주 (KAIST 교수)	최영배 (충북대학교 교수)
이인철 (고려대학교 교수) - 딥러닝		강제원 (이화여자대학교 교수) - 영상처리
이인철 (경북대학교 교수) - 음향 및 음성신호처리		이덕우 (계명대학교 교수) - 영상이해
이인철 (서울대학교 교수) - 바이오영상신호처리		김상우 (서울대학교 교수) - 로봇지능

시스템 및 제어사이터티

이덕진 (전북대학교 교수)	김희식 (서울시립대학교 교수)	박종국 (경희대학교 교수)
김도원 (연세대학교 교수)	오상록 (한국과학기술연구원 원장)	오승록 (단국대학교 교수)
김도원 (고려대학교 교수)	유정봉 (공주대학교 교수)	장길도 (전북대학교 교수)
김도원 (한국기술교육대학교 교수)	허경무 (단국대학교 교수)	
김도원 (한국산업기술시험원 센터장)		
김도원 (한국산업기술시험원 수석연구원)	김영철 (군산대학교 교수)	
김도원 (한국산업기술시험원 선임연구원)		
김도원 (한국산업기술시험원 수석연구원)	서영석 (영남대학교 교수)	이왕상 (경상대학교 교수)
김도원 (한국산업기술시험원 선임연구원)		
김도원 (B&P인스트루먼트 연구소장)	박덕우 (한국기계전기전자시험연구원 센터장)	최현택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
김도원 (소울아이티 전무)	문태주 (부일하우징 대표)	신대현 (대연씨앤아이 대표)
김도원 (현대전기 대표)		
김도원 (충북대학교 교수)	김수찬 (한경대학교 교수)	김종만 (전남도립대학교 교수)
김도원 (울지대학교 교수)	남기창 (동국대학교 교수)	류지형 (한국전자통신연구원 박사)
김도원 (강릉원주대학교 교수)	박명진 (경희대학교 교수)	박재병 (전북대학교 교수)
김도원 (UNIST 교수)	송철규 (전북대학교 교수)	여희수 (대전대학교 교수)
김도원 (한경대학교 교수)	이수열 (경희대학교 교수)	이윤규 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김도원 (전북대학교 교수)	이학성 (세종대학교 교수)	정재훈 (동국대학교 교수)
김도원 (한국과학기술정보연구원 연구원)	최우영 (전북대학교 교수)	한아 (한국산업기술시험원 선임연구원)
김도원 (한국산업기술시험원 센터장) - 인공지능 전환(AI)	남기창 (동국대학교 교수) - 의용전자 및 생체공학	
김도원 (한국자동차연구원 수석연구원) - 자동차전자	오창현 (고려대학교 교수) - 의료영상시스템	
김도원 (대구보건대학교 교수) - 국방정보및제어	이성준 (한양대학교 교수) - 회로 및 시스템	
김도원 (서울과학기술대학교 교수) - 스마트미터링	정재훈 (동국대학교 교수) - 지능로봇	
김도원 (POSTECH 교수) - 제어계측		

산업전자사이터티

고정환 (인하공업전문대학 교수)	원영진 (부천대학교 교수)	윤기방 (인천대학교 명예교수)
김대환 (한국정보기술 대표이사)	이원석 (동양미래대학교 명예교수)	조규남 (로봇신문사 대표이사)
이상희 (동서울대학교 교수)		
이성준 (대흥정보 고문)		
이성준 (용인예술과학대학교 교수)	김상범 (한국폴리텍대학 교수)	김영로 (명지전문대학 교수)
이성준 (인하공업전문대학 교수)	서병석 (성지대학교 교수)	서준원 (K-MV지능정보기술 대표이사)
이성준 (명지전문대학 교수)	윤종현 (조선이공대학교 교수)	이정석 (인하공업전문대학 교수)
이성준 (국제대학교 교수)	조도현 (인하공업전문대학 교수)	
이성준 (로보월드코리아 대표이사)	권오병 (진인프라 전무이사)	김세종 (SJ정보통신 이사)
이성준 (대흥정보 상무이사)	김정석 (오디에이테크놀로지 대표이사)	김철마 (엘티데이터 상무이사)
이성준 (청파이엔티 대표이사)	김현영 (진우에이티에스 전무이사)	서봉상 (명화지리정보 대표이사)
이성준 (글로벌텔레콤 대표이사)	상재용 (오픈크리스탈 대표이사)	송관식 (아이씨티웨이 상무이사)
이성준 (복두컴퍼니 대표이사)	송치웅 (웨이버스 대표이사)	유정철 (쌍용정보통신 상무이사)
이성준 (투비콤 대표이사)	장대현 (LG U+ 상무이사)	전한수 (세림TSG 전무이사)
이성준 (태지티에스 대표이사)	조한일 (하이제이컨설팅 대표이사)	최석우 (대보정보통신 상무이사)
이성준 (여주대학교 교수)	권오상 (경기과학기술대학교 교수)	권윤중 (세명대학교 교수)
이성준 (부천대학교 교수)	김남선 (서일대학교 교수)	김대수 (전주비전대학교 교수)
이성준 (강릉원주대학교 교수)	김진석 (충청대학교 교수)	김대원 (상지대학교 교수)
이성준 (조선이공대학교 교수)	김성호 (부천대학교 교수)	안대원 (동양미래대학교 교수)
이성준 (인하공업전문대학 교수)	우찬일 (서일대학교 교수)	원우재 (한국폴리텍대학 교수)
이성준 (김포대학교 교수)	이상철 (인천재능대학교 교수)	김서재 (대림대학교 교수)
이성준 (동서울대학교 교수)	이영구 (한림성심대학교 교수)	이주연 (전주비전대학교 교수)
이성준 (동양미래대학교 교수)	최의선 (한국폴리텍대학 교수)	
이성준 (이지테크 대표이사)	최의선 (한국정보기술 이사)	김은연 (인터그래픽 대표이사)
이성준 (LJC 책임연구원)	변영필 (진인프라 전무이사)	신동희 (엘티데이터 상무이사)
이성준 (시티랩스 이사)	오재근 (한국정보기술 상무이사)	이강태 (동해종합기술공사 상무이사)
이성준 (엔클라우드 상무이사)	이승민 (투시스템 대표이사)	이승태 (하나텍시스템 이사)
이성준 (쌍용정보통신 상무이사)	이지학 (송안시스템 대표이사)	임준철 (대진정보통신 차장)
이성준 (나비스코에이 부장)	한철 (우송정보기술 대표이사)	정민우 (한국정보기술 상무이사)
이성준 (롯데정보통신 선임)	한철 (동해종합기술공사 부사장)	
이성준 (인하공업전문대학 교수)	김영선 (대림대학교 교수)	

제25대 평의원 명단

강명곤 (서울시립대학교 교수)
강석판 (LG전자 상무)
강제원 (이화여자대학교 교수)
고성재 (고려대학교 명예교수)
고진환 (경상대학교 교수)
공배선 (성균관대학교 교수)
구민석 (서울시립대학교 교수)
궁재하 (고려대학교 교수)
권구덕 (강원대학교 교수)
권태수 (서울과학기술대학교 교수)
김강태 (삼성전자 부사장)
김기현 (전북대학교 교수)
김도훈 (한국전자통신연구원 박사)
김동현 (CTK 대표이사)
김민휘 (중앙대학교 교수)
김상태 (전남테크노파크 본부장)
김성태 (한국과학기술원 명예교수)
김수중 (경북대학교 명예교수)
김시호 (연세대학교 교수)
김영민 (홍익대학교 교수)
김영재 (해동과학문화재단 이사장)
김원종 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김은원 (대림대학교 교수)
김재현 (아주대학교 교수)
김종욱 (고려대학교 교수)
김진상 (경희대학교 교수)
김철우 (고려대학교 교수)
김한구 (EESOP 대표)
김현 (부천대학교 교수)
김형진 (한양대학교 교수)
나정웅 (한국과학기술원 명예교수)
남일구 (부산대학교 교수)
노정진 (한양대학교 교수)
류성주 (서강대학교 교수)
문상미 (나사렛대학교 교수)
민경식 (국민대학교 교수)
박규태 (연세대학교 명예교수)
박성정 (건국대학교 교수)
박영훈 (숙명여자대학교 교수)
박종일 (한양대학교 교수)
박철수 (광운대학교 교수)
배순민 (케이티 LAB장)
백광현 (중앙대학교 교수)
범진욱 (서강대학교 교수)
서민재 (서울시립대학교 교수)
서승우 (서울대학교 교수)
서지원 (연세대학교 교수)
성광모 (서울대학교 명예교수)
송민규 (동국대학교 교수)
송익현 (한양대학교 교수)
신세운 (포항공과대학교 교수)
신창환 (고려대학교 교수)
심용 (중앙대학교 교수)
안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안호균 (한국전자통신연구원 책임연구원)
연규봉 (한국자동차연구원 수석연구원)
오태현 (포항공과대학교 교수)

강문식 (강릉원주대학교 교수)
강성원 (한국전자통신연구원 부원장)
고병철 (계명대학교 교수)
고용남 (전 하나마이크론 CTO)
고형호 (충남대학교 교수)
공준진 (웨이브피아 CSO)
구본태 (한국전자통신연구원 본부장)
권건우 (홍익대학교 교수)
권기룡 (부경대학교 교수)
권혁인 (중앙대학교 교수)
김경기 (대구대학교 교수)
김도현 (제주대학교 교수)
김동규 (한양대학교 교수)
김동현 (연세대학교 교수)
김병서 (홍익대학교 교수)
김선용 (건국대학교 교수)
김성우 (서울대학교 교수)
김승천 (한성대학교 교수)
김영권 (후레대학교 명예총장)
김영민 (서울대학교 교수)
김영한 (UC San Diego/가우스랩스 대표이사)
김원준 (건국대학교 교수)
김익균 (한국전자통신연구원 부장)
김재희 (연세대학교 명예교수)
김중현 (고려대학교 교수)
김진영 (광운대학교 교수)
김태욱 (연세대학교 교수)
김혁 (서울시립대학교 교수)
김현수 (삼성전자 상무)
김형탁 (홍익대학교 교수)
남광희 (포항공과대학교 교수)
노승원 (LGI노텍 CTO)
노태문 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
류수정 (서울대학교 교수)
문영식 (한림성심대학교 총장)
민동보 (이화여자대학교 교수)
박성욱 (차세대지능형반도체사업단 이사장)
박성한 (한양대학교 명예교수)
박인규 (인하대학교 교수)
박준석 (인하대학교 교수)
박항구 (소암시스템 회장)
배준성 (강원대학교 교수)
백종덕 (연세대학교 교수)
변대석 (삼성전자 마스터)
서병석 (상지대학교 교수)
서정목 (연세대학교 교수)
서철현 (숭실대학교 교수)
손교민 (삼성전자 마스터)
송병철 (인하대학교 교수)
송준영 (인천대학교 교수)
신오순 (숭실대학교 교수)
신현철 (광운대학교 교수)
안광호 (한국전자기술연구원 본부장)
안성수 (명지전문대학 교수)
양준성 (연세대학교 교수)
오윤제 (정보통신기획평가원 PM)
우성민 (한국기술교육대학교 교수)

강석주 (서강대학교 교수)
강윤희 (백석대학교 교수)
고석준 (제주대학교 교수)
고정환 (인하공업전문대학 교수)
공규열 (한성대학교 교수)
곽진태 (고려대학교 교수)
구용서 (단국대학교 석좌교수)
권경하 (한국과학기술원 교수)
권종원 (한국산업기술시험원 센터장)
권호열 (강원대학교 교수)
김기연 (한국산업기술시험원 선임연구원)
김도현 (국민대학교 명예교수)
김동식 (인하공업전문대학 교수)
김명선 (한성대학교 교수)
김상범 (한국폴리텍대학 교수)
김선욱 (고려대학교 교수)
김소영 (성균관대학교 교수)
김승환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김영로 (명지전문대학 교수)
김영선 (대림대학교 교수)
김용신 (고려대학교 교수)
김윤 (서울시립대학교 교수)
김재준 (서울대학교 교수)
김종선 (홍익대학교 교수)
김지훈 (한양대학교 교수)
김철영 (충남대학교 교수)
김학구 (중앙대학교 교수)
김현 (서울과학기술대학교 교수)
김형준 (한국과학기술연구원 소장)
김훈 (인천대학교 교수)
남기창 (동국대학교 교수)
노원우 (연세대학교 교수)
동성수 (용인예술과학대학교 교수)
류은석 (성균관대학교 교수)
문용 (숭실대학교 교수)
박관서 (연세대학교 교수)
박성욱 (강릉원주대학교 교수)
박수현 (국민대학교 교수)
박종선 (고려대학교 교수)
박진욱 (육군사관학교 명예교수)
방승찬 (한국전자통신연구원 원장)
배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
백준기 (중앙대학교 교수)
변영재 (울산과학기술원 교수)
서봉상 (울포랜드 상무)
서종모 (서울대학교 교수)
선우경 (서울대학교 교수)
송문섭 (심텍 회장)
송상현 (중앙대학교 교수)
송진호 (연세대학교 교수)
신요안 (숭실대학교 교수)
심동규 (광운대학교 교수)
안병구 (홍익대학교 교수)
안현식 (동명대학교 교수)
엄낙웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
오윤호 (고려대학교 교수)
우윤택 (한국과학기술원 교수)

우 정 호 (비전넥스트 대표이사)
 유 성 철 (쌍용정보통신 상무)
 유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원)
 윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
 윤 영 권 (삼성전자 마스터)
 이 강 윤 (성균관대학교 교수)
 이 규 복 (한국전자기술연구원 석좌연구위원)
 이 동 규 (카카오모빌리티 부사장)
 이 상 만 (고려대학교 교수)
 이 서 규 (한국팹리스산업협회 회장)
 이수 인 (텔레칩스 상무)
 이 우 주 (중앙대학교 교수)
 이 장 규 (텔레칩스 대표이사)
 이 재 진 (송실대학교 교수)
 이 정 석 (인하공업전문대학 교수)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 찬 수 (영남대학교 교수)
 이 천 희 (전주대학교 교수)
 이 태 동 (국제대학교 교수)
 이 형 민 (고려대학교 교수)
 이 희 덕 (충남대학교 교수)
 임 성 훈 (대구경북과학기술원 교수)
 장 길 진 (경북대학교 교수)
 전 국 진 (서울대학교 명예교수)
 전 선 익 (파이낸셜뉴스 부회장)
 전 재 욱 (성균관대학교 교수)
 정 방 철 (충남대학교 교수)
 정 승 원 (고려대학교 교수)
 정 원 영 (강원공업 본부장)
 정 이 품 (연세대학교 교수)
 정 준 (솔리드 대표이사)
 조 남 익 (서울대학교 교수)
 조 성 재 (이화여자대학교 교수)
 주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)
 채 영 철 (연세대학교 교수)
 최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
 최 성 민 (해치텍 대표이사)
 최 영 돈 (삼성전자 마스터)
 최 우 영 (연세대학교 교수)
 최 재 혁 (서울대학교 교수)
 최 창 식 (DB하이텍 부회장)
 하 태 준 (광운대학교 교수)
 한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
 한 태 화 (연세대의료원 팀장)
 함 철 희 (삼성전자 마스터)
 홍 국 태 (X세미콘 연구위원)
 홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)
 황 성 윤 (가천대학교 교수)
 황 인 태 (전남대학교 교수)

원 제 형 (도쿄อิเล็ก트로닉코리아 대표이사)
 유 윤 섭 (한경대학교 교수)
 유 창 동 (한국과학기술원 교수)
 윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
 윤 종 용 (삼성전자 비상임고문)
 이 광 엽 (서경대학교 교수)
 이 덕 우 (계명대학교 교수)
 이 명 재 (한국과학기술연구원 책임연구원)
 이 상 설 (한양대학교 명예교수)
 이 성 준 (한양대학교 교수)
 이 승 호 (한밭대학교 교수)
 이 윤 구 (광운대학교 교수)
 이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
 이 재 훈 (서울대학교 명예교수)
 이 정 원 (서울대학교 교수)
 이 주 연 (전주비전대학교 교수)
 이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
 이 철 (동국대학교 교수)
 이 한 호 (인하대학교 교수)
 이 후 진 (한성대학교 교수)
 인 치 호 (세명대학교 교수)
 임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
 장 성 진 (와이씨 대표이사)
 전 동 석 (서울대학교 교수)
 전 세 영 (서울대학교 교수)
 전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)
 정 범 진 (서울과학기술대학교 교수)
 정 영 모 (한성대학교 교수)
 정 은 성 (홍익대학교 교수)
 정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
 정 해 준 (경희대학교 교수)
 조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
 조 성 현 (한양대학교 교수)
 진 훈 (안양대학교 교수)
 채 주 형 (광운대학교 교수)
 최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)
 최 수 일 (전남대학교 교수)
 최 용 수 (신한대학교 교수)
 최 욱 (인천대학교 교수)
 최 정 욱 (한양대학교 교수)
 최 천 원 (단국대학교 교수)
 한 동 국 (국민대학교 교수)
 한 재 호 (고려대학교 교수)
 한 태 회 (성균관대학교 교수)
 허 재 두 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
 홍 대 식 (연세대학교 교수)
 홍 인 기 (경희대학교 교수)
 황 원 준 (고려대학교 교수)
 황 진 영 (한국항공대학교 교수)

유 명 식 (송실대학교 교수)
 유 재 준 (울산과학기술원 교수)
 유 창 식 (삼성전자 부사장)
 윤 석 현 (단국대학교 교수)
 윤 종 윤 (파두 사장)
 이 규 대 (공주대학교 교수)
 이 덕 진 (전북대학교 교수)
 이 문 기 (연세대학교 명예교수)
 이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
 이수 민 (한국센서연구소 대표이사)
 이영택 (ASML 전무)
 이 인 규 (고려대학교 교수)
 이재 규 (삼성전자 마스터)
 이재 훈 (유정시스템 대표이사)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
 이재은 (한양대학교 교수)
 이충용 (연세대학교 교수)
 이 혁 재 (서울대학교 교수)
 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
 임 대 영 (한국산업기술시험원 박사)
 임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
 장 익 준 (경희대학교 교수)
 전 병 우 (성균관대학교 교수)
 전 영 현 (삼성전자 부회장)
 정 민 채 (세종대학교 교수)
 정 성 엽 (고려대학교 교수)
 정 완 영 (KAIST 교수)
 정 은 승 (삼성전자 고문)
 정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
 제 민 규 (한국과학기술원 교수)
 조 문 규 (한국교통대학교 교수)
 조 영 민 (SkyMirr CEO)
 채 관 엽 (삼성전자 마스터)
 천 경 준 (씨젠 회장)
 최 병 호 (한국전자기술연구원 연구소장)
 최 영 규 (인하대학교 교수)
 최 우 영 (서울대학교 교수)
 최 재 용 (가천대학교 교수)
 최 중 호 (서울시립대학교 교수)
 추 민 성 (한양대학교 교수)
 한 동 석 (경북대학교 교수)
 한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
 함 범 섭 (연세대학교 교수)
 허 준 (고려대학교 교수)
 홍 성 완 (서강대학교 교수)
 홍 철 호 (중앙대학교 교수)
 황 인 철 (강원대학교 교수)
 황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장)

사무국 직원 명단

송기원 국장 - 산학연관 협력, 신규 사업, 저문/서울IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 총회 등 사무국 총괄
 이안순 부장 - 학회지, 추계기술대회, 이사회/평의원회, 총무업무(선거, 공문, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wiset 등), 산업전자소사이버티
 배지영 부장 - 국제학술대회(ICCE-Asia), 하계종합학술대회, 신기술(총괄), 차세대리더육성, 시스템 및 제어소사이버티
 배기동 부장 - 사업행사(기술워크숍 등), 국문논문, 표준화, 용역업무, 인공지능신호처리소사이버티
 이소진 서기 - 국제학술대회(ITC-CSOC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간, 컴퓨터소사이버티
 김예빈 서기 - 정보화(홈페이지 관리 및 디지털 업무지원, 장비관리), 교육, 홍보, 신기술(담당), 차세대리더육성, 기타 지원업무, 반도체소사이버티
 박새롬 서기 - 본회/소사이버티/연구회 재무, 회원관리(개인회원 및 특별회원), 기획, 통신소사이버티

학회소식

제1차 전체이사회(온라인) 회의록

제1차 전체이사회가 2월 18일(화)~19일(수)까지 온라인으로 개최되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 다 음 -

1. 성원 보고

— 54명의 상임이사 중 47명이 참석하여 성원되었음.

2. 본 학회(각 위원회) 및 소사이어티 보고

— 본 회(각 위원회)/ 각 소사이어티별 사업 및 활동 계획·주요사항 서면보고

3. 심의사항

(아래 3건의 안건에 대해 참여 이사 전원 찬성으로 통과되었음)

- 신규 개인 회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.
- 2024년도 감사 보고에 대해 원안대로 승인함.
- 2024년도 결산 승인에 대해 원안대로 승인함.

4. 기타

특별회원 및 유관기관 방문

학회 회장단은 2월 17일부터 28일까지 현대모비스, 해동과학문화재단, DB글로벌칩, 뷰웍스, 빅텍, 스테코, LX세미콘, 해치텍, 한국과학기술연구원, 한국전자기술연구원, 실리콘마이터스(분당), SK텔레콤, 웨이브피아, 머플, LG전자, 하나마이크론 등을 방문하여 경영 및 기술 분야의 현안 과제를 논의하고 상호 협력방안을 모색하였다.



현대모비스 - 이규석 대표이사



해치텍 - 최성민 대표이사



해동과학문화재단 - 김영재 이사장



스테코 - 김기환 대표이사



하나마이크론 - 이동철 대표이사]



빅텍 - 임만규 대표이사



웨이브피아 - 이상훈 대표이사



뷰웍스 - 김후식 대표이사



실리콘마이터스 - 허 엄 회장



머플 - 안수남 대표이사



SK텔레콤 - 양승현 CTO/부사장



LX세미콘 - 이운태 대표이사



LG전자 - 김병훈 CTO/부사장



한국과학기술연구원 - 오상록 원장



한국전자기술연구원 - 신희동 원장



DB글로벌칩 - 박찬호 대표이사

2025년 영상처리연구회 겨울학교

인공지능신호처리소사이어티 영상처리연구회[위원장: 강제원 교수 (이화여자대학교)] 개최로 “2025년 영상처리연구회 겨울학교”는 2월 18일(화) 이화여자대학교 학관 251호에서 개최되었다. 이번 영상 이해연구회 겨울학교에서는 Large Multi-modal Model (LMM)과 로봇 AI라는 두 가지 핵심 주제를 중심으로 산학연 전문가들을 초청하여 심도 있는 논의와 발표가 진행되었다. 또한, 본 연구회 소속 연구자들의 최신 연구 성과를 공유하고, 해당 분야의 최신 동향, 미래 비전, 그리고 직면한 도전 과제들을 함께 논의하는 장이 되었다. 참석은 약 80여 명이었다.



2025년 영상처리연구회 겨울학교 강연 모습(02.18)

신규회원 가입현황

기간 : 2025년 1월 1일 - 1월 31일

〈정회원〉

구상모(광운대학교), 박정수(금오공과대학교), 김도엽(서울과학기술대학교), 황병찬(세종대학교), 김다원(한국교통대학교), 김용덕(한국전자통신연구원)

이상 6명

〈평생회원〉

박준석(인하대학교)

이상 1명

〈학생회원〉

신호경(경북대학교), 김지원(고려대학교), 김예진, 박창준, 김지현, 박승현, 이현우, 강현도, 박세림, 김민석(광운대학교), 장어진, 이호준, 서연우(대구경북과학기술원), 김운호, 김태우(아주대학교), 김영민, 장은혁, 최승우(연세대학교), 허준영(전남대학교), 김수한(중앙대학교), 김현욱(청강문화산업대학교), 정다현, 김선엽, 박준석, 김현중, 김윤주, 석종민, 배규리, 박경대(한양대학교)

이상 29명



학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2025년 2월 17일 ~ 3월 16일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제1차 교육위원회 회의	2.19 (17:00)	학회 회의실	- 상건례 및 사업계획 논의 등
제2차 ITC-CSCC 2025 조직위원 회의	2.21 (17:00)	온라인	- 프로그램 구성 및 행사 진행 논의 등
제1차 평의원회(온라인) 회의	2.25 - 27	온라인	- 2024년도 감사 보고 및 결산 승인 등
제2차 하계 조직위원 회의	3.7 (17:00)	온라인	- 프로그램 구성 및 행사 진행 논의 등

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
영상처리연구회	2025년 영상처리연구회 겨울학교	02.18	이화여자대학교
통신연구회	2025년도 단기 계속 교육 강좌	02.17 - 21	온라인

통합 센싱 및 통신(ISAC)



문 상 미 편집위원
(나사렛대학교)

최근 6G 기술 발전과 함께 통합 센싱 및 통신(ISAC, Integrated Sensing and Communication)이 주목받고 있다. ISAC은 하나의 시스템에서 통신과 센싱 기능을 동시에 수행하여 스펙트럼과 에너지 효율을 극대화하는 차세대 기술

로 평가된다. 스마트 시티, 자율주행, 공장 자동화 등 다양한 분야에서 ISAC의 활용이 증가하고 있으며, 이를 실현하기 위한 연구와 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 특집호는 ISAC 기술의 발전과 응용 가능성에 대한 산업계 및 학계 전문가들의 원고 5편을 포함하여, 6G의 새로운 서비스 모델과 요구사항을 분석하고, 핵심 기술 및 도전 과제를 다룬다. 이를 통해 ISAC의 최신 연구 동향과 실용적인 활용 가능성을 소개하고자 한다.

첫째, “이동통신 사업자 관점의 6G ISAC(이재현 외)”에서는 6G 주파수 전략과 표준화 동향을 중심으로, 이동통신 사업자 관점에서 ISAC 기술 발전과 응용 가능성을 분석하였다. 또한, AI와 결합된 ISAC이 다양한 산업에서 적용 가능한 서비스 모델을 소개하였다. 둘째, “5G-Advanced 및 6G를 위한 ISAC의 활용과 도전 과제(신승석 외)”는 차세대 이

동통신에서 ISAC의 다양한 활용 사례를 소개하고, 이를 지원하기 위한 네트워크 아키텍처를 소개하였다. 또한 ISAC이 직면한 도전 과제와 전망에 대하여 논의하였다. 셋째, “ISAC의 핵심 기술 및 도전 과제(김계운 외)”에서는 ISAC의 핵심 기술인 다중 안테나 빔포밍, 자가 간섭 제거 기술, 송신 웨이브폼 설계에 대하여 소개하였다. 또한, 센싱 커버리지 확장과 이중 센서 협동 기술 개발 등의 도전 과제에 대해 논의하였다. 넷째, “ISAC 기술 발전 현황(강준 외)”에서는 센싱과 통신 간의 트레이드오프 관계를 분석하였다. 또한, 센싱-통신 통합 파형의 다양한 설계 방식과, ISAC과 관련된 기술 및 표준화 동향을 살펴보았다. 끝으로, “6G-ISAC에서의 센싱 및 측위(양현호 외)”에서는 측위 및 센싱 관점에서 표준화 동향을 살펴보고, ISAC 구현을 위한 주요 기술을 분석하였다. 또한, 다양한 분야에서의 응용사례와 연구 방향 및 도전과제를 논의하였다.

바쁜 일정 중에 본 특집호를 위하여 원고를 보내주신 집필진 여러분께 감사드리며, 본 특집호가 통합 센싱 및 통신(ISAC) 전문가들의 교류와 협력을 위한 새로운 계기가 되어 우리나라 6G 이동통신 발전과 경쟁력 강화에 기여할 수 있기를 기원한다.

이동통신 사업자 관점의 6G ISAC



이재현
SK텔레콤



김동욱
SK텔레콤



조규성
SK텔레콤



류탁기
SK텔레콤

I. 서론

본 고에서는 이동통신 사업자의 관점에서 통합 센싱 및 통신(ISAC, Integrated Sensing and Communication) 기술의 발전과 응용 가능성을 논의하고자 한다. ISAC은 통신과 센싱 기능을 하나의 시스템으로 통합하여 동일한 자원을 활용함으로써 주파수대역과 에너지 사용의 효율성을 높이는 차세대 기술로 주목받고 있다. 특히, 6G 시대는 기존 통신 기술에 AI 도입을 통한 통신 및 센싱 성능 향상/최적화, 비용 효율화를 근간으로 할 것으로 기대되어, AI 기반 6G ISAC이 자율주행, 스마트 시티, 공장 자동화, 의료 등 다양한 산업 분야에서 활용될 것으로 기대된다.

현재 5G 기술은 고속 데이터 전송과 저지연 통신을 실현하며 이동통신 및 ICT 산업 전 분야에 새로운 가능성을 열어가고 있다. 6G로의 진화 과정에서 통신 기술은 단순한 데이터 전송을 넘어 AI 기술의 적극적 도입을 통해 환경 인지와 같은 센싱 기능을 포함하는 형태로 확장될 것이다. 한 예로, 5G는 빔포밍 및 추적 기술을 적용하여 통신 신호를 통해 주변 환경을 감지하고 분석할 가능성을 보여주었다면, 6G ISAC은 향후 AI 기반 데이터 분석을 통해 완전 자율주행 및 드론, 로봇 등 무인 이동체와 같은 신규 응용 분야에서 센싱 정밀성, 정확성 향상의 성능개선 및 활용이 기대된다.

이동통신 사업자들은 이러한 이동통신 세대 진화의 방향성에 발맞추어 ISAC 기술개발에 적극적으로 참여하고 있으며, 이는 국제 경쟁력을 확보하는 데 중요한 역할을 할 것이다. 특히, 한국은 세계 최초로 5G 상용화를 이룬 경험을 바탕으로 6G 시대의 핵심 기술인 ISAC 연구를 선도할 산업적 역량과 가능성을 갖고 있다. 본 고에서는 최근 6G 주파수, 국제 표준화 동향을 소개하고, 이동통신 사업자가 ISAC 기술을 통

해 예상하는 경제적 및 사회적 가치를 논의하고, 이를 실현하기 위한 접근 방안을 제시하고자 한다.

II. 6G 동향

2.1 6G 후보 주파수 동향

ISAC의 구체적인 논의를 시작하기에 앞서 차세대 통신 기술 도입의 마중물인 6G 주파수대역 논의의 진행 현황을 회고하여 ISAC의 도입 배경을 설명하고자 한다. 6G 이동통신을 위한 주파수대역은 국제전기통신연합 전파 통신 부문(ITU-R)과 세계 전파총회(WRC)를 중심으로 논의가 진행된다. 6G 기술 연구 초기에는 초고주파 대역(100GHz 이상)이 주요 연구 대상으로 주목받았으나, 최근 진행된 WRC-23에서는 대한민국이 제안한 중대역(4.4~4.8GHz, 7.125~8.4GHz, 14.8~15.35GHz 대역)이 6G 후보 주파수로 채택되었다.

100GHz 이상의 서브 테라헤르츠 대역을 포함한 초고주파 대역은 넓은 대역폭을 활용하여 제한된 환경(가시 경로 확보 및 근거리 송수신 환경)에서 초고속 데이터 전송과 대용량 통신을 가능하게 하지만, 다음과 같은 기술적, 경제적 어려움으로 인해 이동통신에서의 활용이 제한된다.

1) 짧은 전파 도달 거리와 높은 경로 손실

초고주파 대역은 파장이 짧아 직진성이 강하고 회절성이 약하다. 현재 이동통신 주파수 대비 장애물을 우회하지 못하여, 건물이나 벽과 같은 물체에 의해 신호가 쉽게 차단된다. 또한, 주파수가 높아질수록 경로 손실(path loss)이 급격히 증가하여 동일한 전력으로 데이터를 전송하더라도 신호가 도달할 수 있는 거리가 크게 줄어든다. 이는 기존 4G나 5G 중대역(3.5GHz) 대비 초고주파 대역의 커버리지가 현저히 좁음을 의미한다.

2) 기지국 및 인프라 구축 비용 증가

앞서 언급한 초고주파 대역의 높은 경로 손실로 인한 커버리지 홀(coverage hole)을 보완하기 위해서는 기지국, 중계기, 스몰셀(small cell) 등의 네트워크 장비를 촘촘히 배치해야 한다. 이러한 추가적인 인프라 구축은 막대한 비용을 수반하며, 특히 도시 지역처럼 빌딩이 밀집된 환경에서는 더 많은 장비가 필요해 경제성이 낮아진다.

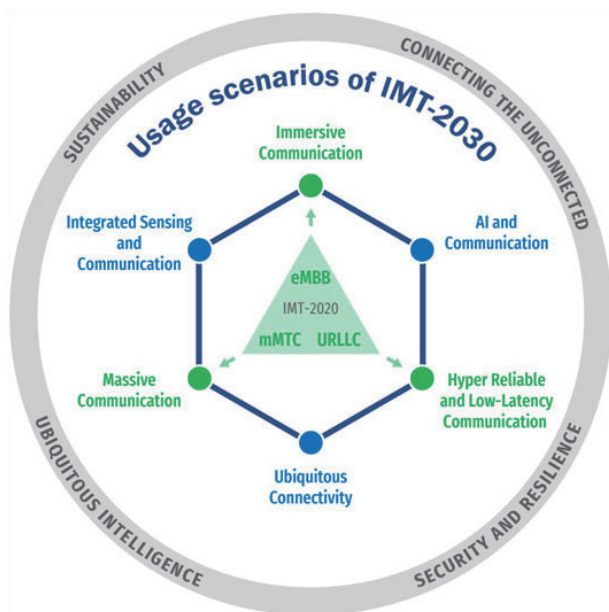
3) 투과성 부족

초고주파 대역은 장애물 투과성이 낮아 벽, 창문, 심지어 사람의 손과 같은 작은 물체에도 신호가 차단될 수 있다. 이러한 특성 때문에 실내의 연속적인 통신 서비스 제공이 어렵고, 지하실이나 밀폐된 공간에서는 신호가 거의 전달되지 않는다.

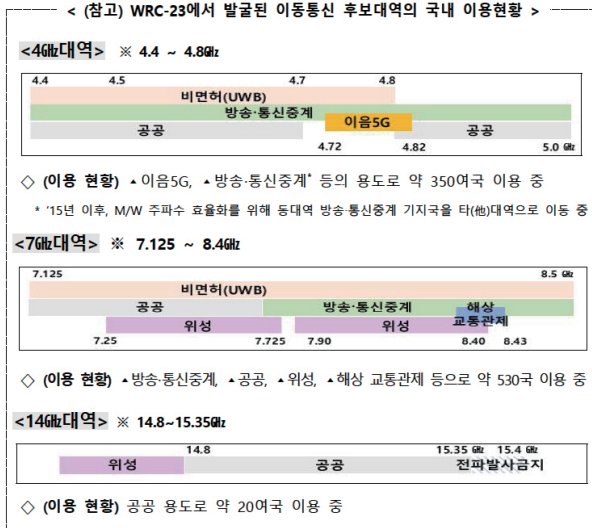
4) 기술적 난제와 비효율성

초고주파 대역에서는 빔포밍 기술을 통해 신호를 특정 방향으로 집중시켜 경로 손실을 보완하려 하지만, 이 과정에서 발생하는 복잡성과 비용이 여전히 문제로 남아 있다. 또한, 기존 단말기의 크기와 설계상의 제약으로 인해 초고주파 신호를 안정적으로 수신할 수 있는 다중 안테나 구현이 어렵다.

위와 같은 제한성으로 인해 초고주파 대역보다는 앞서 언급한 4.4~4.8GHz, 7.125~8.4GHz, 14.8~15.35GHz 대역이 현실적으로 이동통신 시스템에 활용하기에 적합하며, 7.125~8.4GHz가 대역이 특히 주목받고 있다. 해당 대역은 기존 5G에서 활용된 3.5GHz 대역보다 약 2.5배 넓은 대역폭을 제공하며, 전파 감쇠 특성이 밀리미터 대역 대비 우수해 다양한 환경에서 안정적인 통신이 가능하다. 또한, 이 대역은 다른 후보 대



〈그림 1〉 ITU-R 6G Framework 문서의 IMT-2030 Usage Scenario^[1]



(그림 2) 대한민국 스펙트럼 플랜(24~27) 내 WRC-23 발굴 이동통신 후보 대역의 국내 이용 현황

역보다 여러 기존 서비스(incumbent service)와의 공유와 호환성 연구가 필요한 시나리오가 더 많지만, 미주 지역이 제외된 4.4~4.8GHz 대역과는 달리, 미주, 아시아, 유럽 등 주요 지역에서 모두 6G 후보 주파수대역으로 지정되어 있어 활용 가능성 측면에서 글로벌 호환성이 높다고 볼 수 있다. 커버리지 측면에서는 더 낮은 주파수대역인 4.4~4.8GHz 대역이 7.125~8.4GHz 대비 더 나은 전파특성, 매질 투과 및 회절 특성을 갖으나, 큰 대역폭을 확보할 수 없다는 단점이 있다. 특히 국내의 경우, 현재 4.72~4.82GHz가 이음 5G에 할당되었는데, 이는 특정 구역(건물, 시설, 토지 등) 내에서 맞춤형 5G 네트워크를 구축할 수 있도록 설계된 5G 특화망을 말한다. 4.4~4.7GHz 대역은 또한 비면허 초광대역(UWB), 방송·통신 중계, 공공 용도 등으로도 할당되어 있어, 2024년 과기부 스펙트럼 플랜 발표에서 제시한 것처럼, 향후 ITU 국제 논의와 산업 동향 및 수요에 맞춰 대역 정비 및 공동 사용 등 이용 방안 마련이 선제적으로 필요하다.

앞서 중대역의 6G 후보 주파수대역의 가능성에 대한 논의를 담았지만, 최종적인 6G 후보 주파수 선정에는 앞으로 많은 난항이 예상된다. 먼저 6G의 초고속 데이터 전송과 정밀 센싱 요구사항을 만족시키기 위해서는 넓은 대역폭이 필요한데, 이미 많은 주파수대역이 기존 통신,

방송, 위성, 군사 용도로 사용되고 있어 신규 대역 확보가 어렵다. 특히 중대역의 경우, 기존 사용 주체와의 간섭 문제를 해결하기 위한 기술적 방안(예: 주파수 공유 기술)이 필요하다. 이는 전파 사용 기관 및 국가 간의 간섭, 공존 연구와 조율 과정을 요구한다. 또한 WRC-23에서 지정된 후보 주파수 대역이더라도 현재 각국의 주파수 사용 현황과 정책이 상이해 글로벌 조화를 이루기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 예를 들어, 일부 국가에서는 특정 대역이 군사 또는 위성 통신 용도로 이미 사용 중이어서 재할당이 불가피하다. 위와 같은 논의 기간을 거친 후 ITU-R은 2027년에 주파수를 확정하고 2030년까지 표준화를 완료할 계획이나, 지역, 기구, 국가 간 이해관계 조율이 지연될 경우 일정에 차질이 생길 수 있으며 국가별 조율이 원만히 이루어지더라도 새로운 주파수를 활용하려면 기지국 및 네트워크 장비를 새롭게 구축해야 하고, 이는 막대한 초기 투자 비용을 수반한다. 또한 6G 서비스 모델이 아직 구체화 되지 않아 초기 투자 대비 수익성을 높이기 위한 노력이 요구된다.

이러한 어려움에도 불구하고 2030년경 6G 상용화를 목표로 ITU-R은 2026년까지 성능 요구사항과 평가 방법을 구체화할 계획이다. 여기에는 최대 전송 속도, 지연 시간, 연결 밀도, 센싱 지표 등 총 15개 이상의 성능 지표가 포함된다. 이후, 2027~2029년 동안 3GPP와 같은 외부 표준화 기구로부터 제출된 후보 기술을 평가하여 최종 표준 기술을 선정한다. 이를 통해 ITU-R은 2029년까지 모든 평가 과정을 완료하고, 세부 무선 접속 기술 표준을 확정할 예정이며, 2030년까지 글로벌 통합 표준이 완성되며, 6G 상용화가 본격적으로 시작될 전망이다.

2.2 ISAC 기술 배경

앞서 언급한 신규 6G 후보 주파수의 물리적 특성을 토대로 ISAC은 6G의 신규 사용 시나리오(Usage Scenario)로 부상하고 있으며, 이는 특히 고주파 대역의 전파특성과 밀접한 연관이 있다. 기존 4G와 5G의 상용 주파수대역의 경우 경로 손실이 작고 전파의 반사 및 회절성이 높아 다중 경로(Multipath) 확보가 용이하여 무선통신에 유리한 특성을 갖지만, 주파수가 높아질수록 상

대적으로 직진성이 강하여 레이더와 같은 센싱 응용 기술 활용에 적합하다. 따라서 ISAC은 기존 이동통신 대역에서 사용하지 않았던 신규 주파수대역의 전파 자원을 통신과 센싱에 동시에 활용함으로써 무선 자원의 효율성을 한 차원 증대시키는데 그 가치가 있다고 할 수 있다. 앞서 언급한 것처럼 ITU-R에서는 2023년 발표한 IMT-2030(6G) Framework 권고서에 5G 사용 시나리오에서 확장한 Immersive communication (IC), Massive communication(MC), Hyper Reliable and Low-Latency Communication (HRLLC) 3가지 시나리오 외에 추가로 AI and communication, Ubiquitous connectivity, 그리고 ISAC이 6G의 신규 시나리오로 포함되었고, 이 중 ISAC 사용 시나리오를 다음과 같이 소개하고 있다.

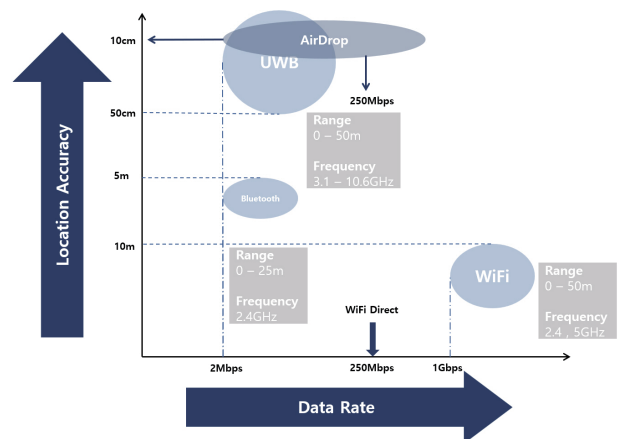
통합 센싱 및 통신(ISAC)

이 사용 시나리오는 센싱 기능이 필요한 새로운 애플리케이션과 서비스를 지원한다. IMT-2030을 활용하여 연결되지 않은 객체뿐만 아니라 연결된 장치와 그 움직임 및 주변 환경에 대한 공간 정보를 제공하는 광범위한 다차원 감지 기능을 제공한다.

대표적인 사용 사례로는 IMT-2030 기반 내비게이션 지원, 활동 감지 및 움직임 추적(예: 자세/제스처 인식, 낙상 감지, 차량/보행자 감지), 환경 모니터링(예: 강우/오염 감지), 그리고 AI, XR, 디지털 트윈 애플리케이션을 위한 주변 환경에 대한 감지 데이터/정보 제공이 포함된다.

통신 기능 지원과 함께, 이 사용 시나리오는 거리/속도/각도 추정, 객체 및 존재 감지, 위치 추적, 이미징, 매핑 등을 포함한 고정밀 위치 및 감지 관련 기능의 지원이 필요하다.

ISAC을 설명하기 전에 전파 센싱 기술의 용어 및 역사를 간략히 소개해 6G에서 ISAC 사용 시나리오의 도입 배경을 설명하고자 한다. 먼저 레이더(Radar)는 RAdio Detection And Ranging의 두음을 딴 줄임말로, 19세기 말 하인리히 헤르츠(Heinrich Hertz)의 전파 실험에서



〈그림 3〉 근거리 통신 기술 전송 속도 및 센싱 정확도 분류

그 이론적 기초가 마련되었으며, 20세기 초 크리스티안 휠스마이어가 물체 탐지에 전파 반사를 활용한 장치를 개발하면서 발전하기 시작했다. 본격적인 실용화는 제2차 세계대전 시기에 이루어졌으며, 영국은 레이더를 통해 독일 공군의 공습을 탐지하고 방어에 성공하며 군사 전략의 판도를 바꾸었다. 이후 레이더 기술은 민간 분야로 확장되어 항공관제, 기상 예보, 해양 탐사 등 다양한 응용 분야에서 중요한 역할을 하고 있다.

이동통신 시스템에서도 위와 유사한 측위(Positioning) 기술이 연구되었다. 대표적으로 GNSS(Global Navigation Satellite System), Wi-Fi 기반 핑거프린팅, 그리고 이동통신 기지국 신호를 활용한 OTDOA (Observed Time Difference of Arrival)와 같은 기술들이 있다. 〈그림 3〉은 현재 상용 근거리 기술들의 전송 속도 및 센싱 정확도를 분류한 것이다. ISM 대역 또는 UWB 대역을 이용하여 근거리 통신과 함께 위치기반 서비스(LBS, Location Based Service)를 제공했다. 셀룰러 네트워크 기반 이동통신도 마찬가지로 전파를 사용하기 때문에 이와 유사한 측위 기능을 수행할 수 있지만, 이동통신 인프라 기반의 센싱 기술 및 서비스는 다음과 같은 이유로 크게 활용되지는 못하였다.

- **정밀도 부족:** 이동통신 대역인 저주파 대역의 제한된 대역폭으로 인해 고해상도의 거리 및 위치 측정이 어려웠다.

- **하드웨어 분리:** 통신과 센싱이 별개의 하드웨어와 주파수대역을 사용하여 동시 운용이 어려웠다.
- **응용성 제한:** 기존 센싱 기술은 주로 군사 및 특정 산업 분야에 국한되어 일반적인 통신 인프라와 통합되지 못했다.

앞서 언급한 정밀성 부족, 하드웨어 분리, 응용성 제한 등의 한계성은 기존 통신 인프라의 진화와 킬러 서비스 발굴 등을 통해 6G ISAC으로 새로운 국면을 맞이하고 활성화될 것으로 기대되고 있다. 특히, 앞서 언급한 7.125~8.4GHz 대역을 포함한 신규 6G 후보 주파수대역은 다음과 같은 장점을 제공해 ISAC 기술 구현에 적합하다.

1) 광대역 기반 고속 데이터 전송 및 정밀 센싱

6G는 기존 5G보다 향상된 데이터 전송 속도를 목표로 하며, 이를 위해 넓은 대역폭이 필수적이다. ISAC 기술은 고주파 대역의 넓은 대역폭을 활용하여 기가비트(Gbps) 이상의 데이터 전송률을 가능하게 할 것으로 기대된다. 또한 센싱 해상도는 사용 주파수와 직접적으로 연관되며, 고주파 대역에서 파장이 짧아져 정밀도가 높아진다.

2) 하드웨어 및 스펙트럼 자원의 효율적 활용

6G ISAC은 통신과 센싱 기능을 하나의 하드웨어 플랫폼에서 수행함으로써 자원 효율성을 극대화할 수 있다. 기존에는 통신과 센싱이 별도의 하드웨어와 주파수를 사용했으나, ISAC은 동일한 무선 자원을 재사용하여 비용을 절감하고 네트워크 복잡성을 줄인다. 예를 들어, 동일한 기지국에서 통신 신호를 송출하면서 주변 환경(보행자 위치, 차량 속도 등)을 감지할 수 있다. 이는 기지국 밀도 증가 없이 새로운 서비스를 제공할 수 있게 한다.

3) 정확한 환경 인지와 새로운 서비스 모델 창출

6G는 단순 연결을 제공하는 것이 아닌 정확한 환경 인지를 통해 새로운 서비스 모델을 창출할 것으로 기대된다. 예를 들어, 도로 주변 상황(보행자 위치, 차량 속도 등)을 실시간으로 감지하고 이를 차량에 전달하는 서비스 모델을 가능하게 한다. IITP 연구에 따르면, ISAC 기반 기지국은 기상 측정 및 주변 환경 변화를 실시간으로

분석해 스마트 시티와 같은 응용 분야에서 활용될 수 있다. 이러한 응용은 기존 이동통신 네트워크가 제공하지 못했던 새로운 비즈니스 모델을 창출하며, 기업의 경쟁력을 강화한다. 6G는 초저지연 통신(1ms 이하)을 목표로 할 것으로 예상되며, 이는 자율주행 차량이나 산업 자동화와 같은 응용에서 필수적이다. ISAC 기술은 빔포밍 및 MIMO 기술과 연계해 신호 전송 지연을 최소화하며, 동시에 정밀한 위치 추적과 환경 인지를 수행할 수 있다.

비단 ISAC을 활용하기 위한 목적이 아니더라도 기존 할당된 서비스로 인한 무선 주파수의 포화로 인해, 6G에서 고주파 대역의 활용을 배제하기는 어려우며, 3G와 4G에 사용되고 있는 주파수가 재할당을 통해 6G 주파수로 활용될 수는 있지만 앞서 언급한 저주파 대역의 특성상 센싱에는 적용하기 어려운 문제들이 있어 ISAC 기술은 고주파, 광대역 주파수에서 중점 활용될 것으로 예상된다.

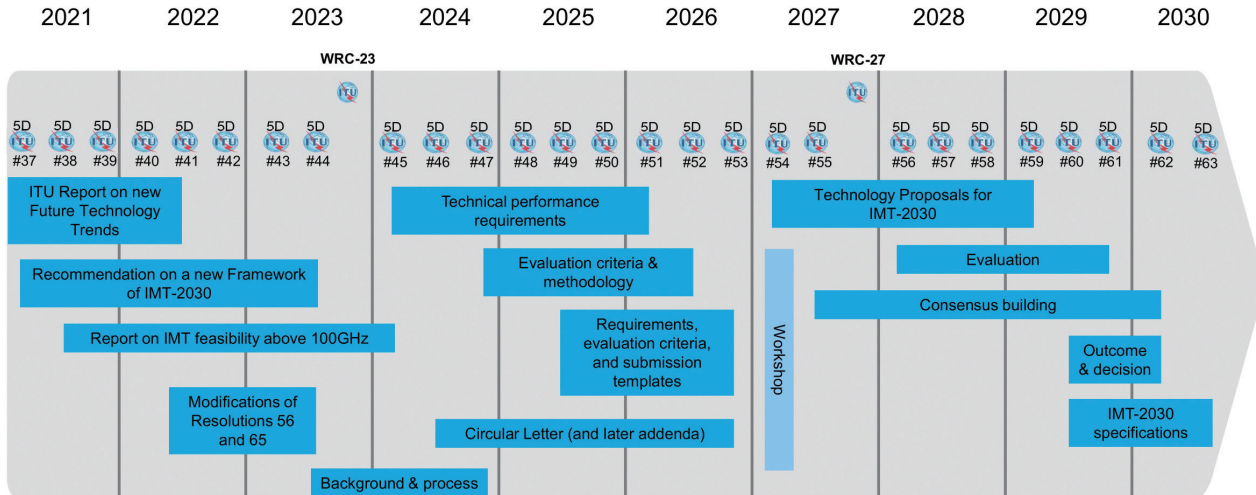
III. 6G ISAC 표준화 동향

3.1 국제전기통신연합 전파 통신 부문(ITU-R)

ITU-R은 국제전기통신연합의 전파 통신 부문으로, 글로벌 무선통신 표준화를 주도하는 역할을 맡고 있다. ITU-R 산하의 WP5D(Working Party 5D)는 IMT 시스템의 표준화를 담당하는 작업반으로, IMT-Advanced(4G)와 IMT-2020(5G)에 이어 IMT-2030(6G)의 표준화를 위한 핵심적인 역할을 수행하고 있다.

WP5D는 IMT-2030(6G)의 국제 표준화를 목표로 단계적인 업무를 진행하고 있다. 첫 번째 단계는 IMT-2030의 프레임워크를 정의하는 것으로, 6G가 제공할 새로운 서비스와 기술적 성능 목표를 설정한다. 이 과정에서 초연결성, 초저지연성, 초고속 데이터 전송 등 기존 5G 성능을 확장하는 한편, AI 기반 네트워크, 센싱 및 포지셔닝 기술, 지속가능성 등 새로운 요구사항을 포함했다. 이러한 요구사항을 담은 IMT-2030 Framework 권고서가 2023년에 완성되었다.

WP 5D timeline for IMT-2030



Note 1: Meeting 5D#59 will additionally organize a workshop involving the Proponents and registered IEGs to support the evaluation process
Note 2: While not expected to change, details may be adjusted if warranted. Content of deliverables to be defined by responsible WP 5D groups

〈그림 4〉 국제전기통신연합 전파 통신 부문(ITU-R) 이동통신 작업반(WP5D)의 IMT-2030(6G) 표준화 일정

두 번째 단계는 기술 성능 요구사항과 평가 방법론을 수립하는 것이다. WP5D는 IMT-2030의 핵심 성능 지표를 기존 5G 대비 향상된 수준으로 설정하며, 총 15개 이상의 항목에 걸쳐 커버리지, 보안성, 에너지 효율성 등 다양한 요소를 포함하고 있다. 이 작업은 2026년까지 완료될 예정이다.

마지막 단계는 후보 기술의 평가와 최종 승인을 포함한다. WP5D는 외부 표준화 기구 및 독립 평가 그룹과 협력하여 제출된 후보 기술을 심사하고, 이를 기반으로 IMT-2030 표준 기술을 선정한다. 이 과정은 2027년부터 시작되어 2029년까지 진행되며, 최종 표준은 2030년에 확정될 계획이다.

〈그림 1〉에서 보듯 ITU-R는 2023년 11월 승인한 IMT-2030(6G) Framework 권고서에서 ISAC을 6개의 6G Usage scenario 중 하나로 선정하였다. 이는 ISAC을 활용하여 연결되지 않은 객체와 연결된 장치, 그 움직임 및 주변 환경에 대한 공간 정보를 제공하는 광역 다차원 센싱을 제공할 것으로 기대하며, 주요 활용 사례로는 IMT-2030 기반 내비게이션 지원, 활동 감지 및 움직임 추적(예: 자세/제스처 인식, 낙상 감지, 차량/보행자 감지), 환경 모니터링(예: 강우/오염 감지), AI, XR 및 디지털 트윈 응용 프로그램을 위한 주변 센싱 데이터 및 정보 제공이 포함된다.

현재 WP5D는 IMT-2030 표준화를 위해 핵심 문서인 TPR(Technical Performance Requirements, 기술 성능 요구사항)과 EVM(Evaluation Methodology, 평가 방법론) 작성 작업을 하고 있다. 이 두 문서는 IMT-2030 표준화 과정에서 중요한 역할을 하며, 각각 6G 기술의 성능 목표를 정의하고, 후보 기술을 평가하기 위한 기준과 절차를 제공한다.

TPR 문서는 IMT-2030 시스템이 달성해야 할 기술적 성능 목표를 상세히 규정한다. 여기에는 데이터 전송 속도, 지연시간, 연결 밀도, 에너지 효율성, 커버리지와 같은 기존 5G 성능 지표의 확장뿐만 아니라, AI 기반 네트워크 성능, 정확한 위치 추적 및 센싱 능력 등 6G에서 새롭게 요구되는 성능 항목들이 포함된다. WP5D는 이러한 기술적 요구사항을 통해 6G가 기존 통신 기술 대비 성능 향상을 제공할 수 있도록 항목별 목표를 설정하고 있으며, TPR 문서는 2026년까지 완성될 예정이다.

EVM 문서는 IMT-2030 표준 후보 기술을 공정하고 체계적으로 평가하기 위한 방법론을 정의한다. 이 문서에는 평가 절차와 기준이 포함되며, WP5D는 이를 통해 제

출된 후보 기술이 TPR에서 제시한 성능 목표를 충족하는 지 검증한다. EVM은 평가 시뮬레이션 환경과 데이터 분석 방법 등을 상세히 규정하여 일관된 평가 결과를 도출할 수 있도록 설계된다. EVM 문서 역시 2026년까지 완료될 계획이다. TPR과 EVM 문서는 IMT-2030 표준화 과정에서 상호 보완적인 역할을 수행하며, WP5D는 이 두 문서를 기반으로 2027년부터 시작될 후보 기술 심사 및 최종 승인 절차를 준비하고 있다. 이를 통해 WP5D는 차세대 이동통신 시스템의 신뢰성과 성능을 보장하는 데 기여하고 있다.

3.2. 3GPP 표준화 동향

이동통신 사실표준화 기구인 3GPP에서는 ISAC의 가능성을 일찍부터 확인하고 이에 대한 표준화 절차를 수립하고 있다. 지난 2023년 3GPP RAN, SA, CT 102차 총회에서 ISAC 구축 시나리오(deployment scenario)와 FR3 Channel Model에 대한 연구과제(SI, Study Item)를 승인하고 작업반(WG, Working Group)에서 관련 표준화 논의를 활발히 진행 중이다.

먼저 ISAC 구축 시나리오는 무인항공기 센싱이 우선적으로 고려되고 있으며, 추가로 자동차, 실내/실외 인체, 무인 운반차(AGV), 도로/철도의 위험물 센싱 시나리오도 논의되고 있다. 이를 바탕으로 6G ISAC 표준을 수립하여 신규 비즈니스 모델을 창출할 계획이다. ISAC 채널 모델링은 기존 무선 채널과 다른 특성을 갖는 ISAC의 무선 채널 특성을 모델링하기 위함이다. 기존 무선 채널 모델의 목적은 송신기와 수신기 사이의 다중 경로로 인한 수신신

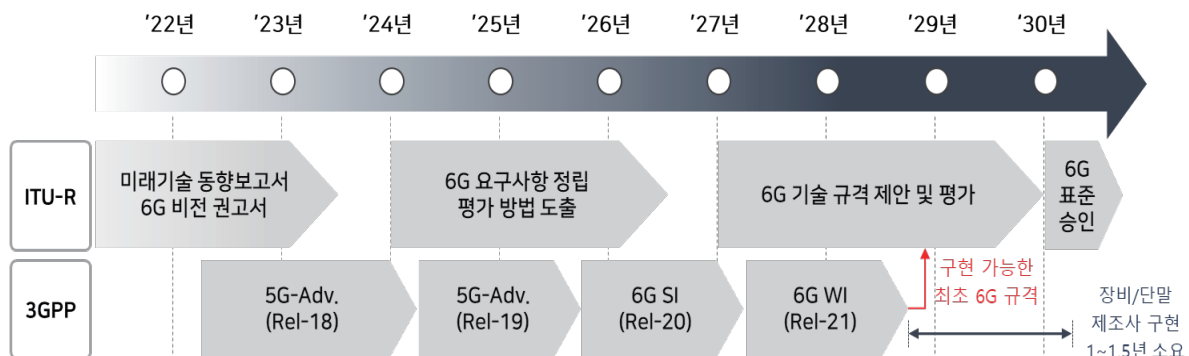
호의 감쇄 및 왜곡을 모델링하여 정확한 채널 추정과 보정 기술을 연구하기 위함이다. 반면 ISAC은 센싱 타겟과의 거리, 각도 등 타겟의 위치 추정과 함께 타겟의 개수, 종류, 이동 방향, 속도 등을 탐지하는 것을 포함한다. 즉 이전에는 정보의 전달만을 목적으로 하였다면, ISAC은 전파의 송수신을 통해 반사된 전파로 취득하는 센싱 타겟의 물리적 정보가 중요해지면서 ISAC 채널 모델의 필요성이 논의되고 있다.

〈표 1〉은 현재 RAN WG1에서 논의 중인 ISAC 구축 시나리오를 정리한 것으로 왼쪽부터 드론(UAV), 자율주행(Automotive), 인체탐지(Human), 무인 운반차(AGV), 위험 감지(Hazards) 시나리오이다^[2]. 통신 시나리오와 송수신기의 특성과 함께 통신에 없던 센싱 타겟과 환경 객체(Environment objects)에 대한 시나리오를 모델링하는 것이 새로운 특징이라고 할 수 있다. 이는 송수신기 사이의 전파 환경이 중요했던 기존 통신 시나리오에서는 센싱 타겟에 대한 모델링과 주변 환경에 대한 모델링을 담고 있지 않기 때문에 필요한 작업이며 2025년 6월까지 구축 시나리오의 각 항목을 구체화 하는 것이 목표다.

IV. 사업자 관점의 6G ISAC

4.1. 서비스 중심 6G 연구 방향성

이동통신 사업 측면에서 고주파 대역은 넓은 대역폭을 제공하는 장점이 있지만, 전파 손실이 커서 기존 통신 주파수 대비 커버리지 확보가 어렵고, 주변 환경에 민감하



〈그림 5〉 6G 표준화 타임라인



〈표 1〉 시스템 환경구성

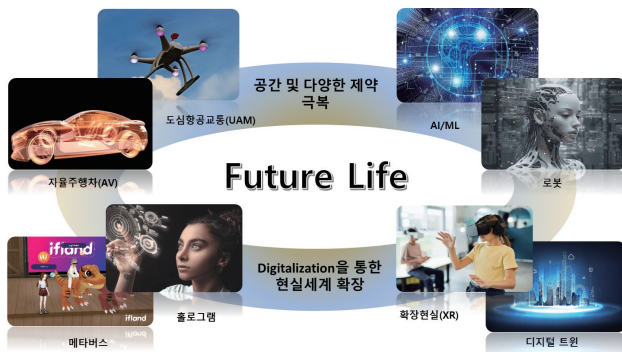
평가 파라미터		시나리오	ISAC-UAV	ISAC-Automotive	ISAC-Human Indoor Outdoor		ISAC-AGV	ISAC-Hazrds
적용가능한 통신 시나리오			UMi, UMa, RMa (TR38.901) UMi-AV, UMa-AV, RMa-AV	Highway, Urban Grid	Indoor office Indoor factory Indoor room	UMi, UMa, RMa (TR38.901)	InF (TR38.901)	Highway, Urban rid, HST
센싱 특성	송수신기 위치		송수신기 위치에 사용하는 통신 시나리오 적용 (추가 옵션) ISD: 250m	송수신기 위치에 사용하는 통신 시나리오 적용 (추가 옵션) ISD: 250m	송수신기 위치에 사용하는 통신 시나리오 적용		송수신기 위치에 사용하는 통신 시나리오 적용 RX/TX Mobility for UE Option 1: 0km/h Option 2: 3km/h Option 3: 0~3km/h 균일 분포	송수신기 위치에 사용하는 통신 시나리오 적용
	LOS/NLOS		LOS and NLOS	LOS and NLOS	LOS and NLOS	LOS and NLOS	LOS and NLOS	LOS and NLOS
	Outdoor/Indoor		Outdoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
	3D Mobility		수평속도: 0~180km/h 수직속도: 0, {20,40}km/h	기준 표준 참고 (TR37.885)	Option1: 0km/h Option2: 3km/h Option3: 0~10km/h 균일 분포		Option1: 0~30km/h 균일 분포 Option2: {3,10}km/h 고정값	수평 속도 최대 10km/h (인체, 동물)
	3D distribution		수직 분포 Option1: 1.5~300m Option2: 정지상태 고정값 {25,50,100,200,300}m	기준 표준 참고 (TR37.885)	수평 Convex hull 균일 분포	TBD	Option1: 수평 Convex hull 균일 분포 Option2: 수평 균일 분포	수평 균일 분포
	Orientation		수평 랜덤 분포	수평면 차선 방향	수평 랜덤 분포		수평면	수평 랜덤 분포
Physical characteristics (L x W x H)			Option1: 1.6m x 1.5m x 0.7m Option2: 0.3m x 0.4m x 0.2m	Type1/2 (passenger vehicle) Type3 (truck/bus) 기준 표준 참고 (TR37.885)	어린이: 0.2m x 0.3m x 1m 성인: 0.5m x 0.5m x 1.75m		Option1: 0.5m x 1.0m x 0.5m Option2: 1.5m x 3.0m x 1.5m FFS: 매질, 추가 사이즈 AGV 분포	어린이: 0.2m x 0.3m x 1m 성인: 0.5m x 0.5m x 1.75m 동물: 1.5m x 0.5m x 1m
센싱 타겟과 송수신기 사이 최소 3D 거리			기준표준 참고 (TR36.777)	기준 표준 참고 (TR 37.885)	기준 표준 참고 (TR 38.901, TR36.843, TR38.859)		기준 표준 참고 (TR38.901) 최소 TRP/UE 거리 활용	기준 표준 참고 (TR37.885, TR38.802, TR36.843, TR38.859)
센싱 타겟 간 최소 3D 거리			Option1: 센싱 타겟 크기 이상 Option2: 고정 값 (10m)	Option1: 센싱 타겟 크기 이상 Option2: 고정 값 (10m)	Option1: 센싱 타겟 크기 이상 Option2: 고정 값 (TBD)		Option1: 센싱 타겟 크기 이상 Option2: 고정 값 (TBD)	Option1: 센싱 타겟 크기 이상 Option2: 고정 값 (TBD)
Environment objects(EO)			FFS	EO Type2 for Urban Grid	FFS		FFS	EO Type2 for Urban Grid

다. 특히 콘크리트, 강화유리 등 건물 매질에 대한 투과 특성이 기존 대역 대비 현저하게 떨어져 이를 개선할 기술 확보가 필수적이다. 실내, 터널, 지하 등 실외 기지국 으로부터 커버리지 확보가 어려운 지역은 중계기를 설치 하여 음영지역의 커버리지를 확보한다. 새로운 6G 주파 수 도입 시에 고주파 특성으로 인한 음영지역이 확장될 가능성이 존재하고 이 경우 6G 신규 서비스를 제공받는 사용자는 통신 성능이 오히려 열화가 되는 것으로 체감될 수 있으므로 초기 주파수 선정부터 사용 시나리오, 기지국 및 중계기 배치, 네트워크 구성까지 면밀한 분석이 필요하다.

SK텔레콤은 2023년 사업자 최초로 발표한 6G 백서를 통해 시공간의 제약 완화를 통한 라이프 스타일의 혁신을 가져올 대표적인 서비스들로 자율주행, UAM, XR, 홀로그램, 디지털 트윈 등을 강조하였으며, 6G 통신 기술과 접목된 AI와 센싱 기술의 발전은 이들 서비스의 성공을 견인하는 근간이 될 것으로 밝힌 바 있다 <그림 6>^[3]. 각 서비스는 제반 연관 산업 영역과 여타 관련 기술의 발전이 수반될 때 실제 성공적인 기술혁신의 경험이 고객에

게 제공될 수 있을 것으로 예상된다. 위의 설명한 대표 서비스들을 간략히 소개하면 다음과 같다.

- 자율주행은 자율주행차가 이동하는 도중에 수집되는 대규모 센서 데이터의 처리와 분석, 경로 최적화 등 인공지능 기반의 자율주행 알고리즘과 초고속 대역폭과 낮은 지연시간의 6G 통신이 모두 갖춰질 때 Level 4 수준의 완전 자율주행이 가능해지고, 보다 안전한 드라이빙 경험과 주행 중 업무, 휴식, 인포테인먼트 등 탑승자에게 시간과 공간의 자유를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.
- XR은 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR)을 모두 포함하는 개념으로, 6G 시대에는 착용성과 사용 편의성이 강화된 폼팩터의 디바이스 기술을 바탕으로 초고속 대역폭과 낮은 지연시간으로 인해 고화질, 고해상도, 360도 동영상 및 초고화질 3D 이미 지 전송 등이 가능해져 현장 방문이나 실물을 직접 접촉하지 않으면서도 실제와 유사한 작업 환경의 제공이 가능해질 것이다.



〈그림 6〉 2030 유망 서비스 전망

- 홀로그램 및 디지털 트윈은 초고속 대역폭과 낮은 지연시간의 6G 기술을 바탕으로 고화질, 고해상도의 3D 홀로그램을 실시간으로 전송 및 처리하거나 물리적인 제품이나 프로세스를 센서 융합을 통해 실시간으로 디지털 환경으로 옮겨 직접 회의 장소 방문이나 실제 작업 환경 구축 및 실물 목업을 제작, 수정하는 등의 시공간적 비용을 최소화해 줄 것으로 예상된다.
- UAM은 도시 공간에서 차세대 교통수단으로 주목받고 있는 분야로, 자율주행에서 요구되는 센싱, 인공지능 및 6G의 초고속 대역폭과 낮은 지연시간 특성과 함께 도심 상공에서의 비행체 관제, 비행체 간 통신, 군집 비행 등에 필요한 통신망 연결을 위한 상공망, 위성 연계 통신 기술 등이 모두 접목될 때, 본격적으로 서비스 확산이 가능해져 탑승자의 시간적, 공간적 제약을 크게 완화시켜 줄 것으로 전망된다.

앞서 소개한 2030 유망 서비스의 도입을 위해 SK텔레콤은 6G 후보 주파수 및 주요 기술연구, Global 기술 주도권 확보, 국내외 생태계 강화 측면의 연구와 글로벌 협력체계를 구성하여 6G 연구를 주도하고 있으며 국내 유수의 대학들과 산학 협력을 통해 기술 가능성을 검증하고 있다.

앞서 언급한 6G ISAC의 신규 예상 시나리오가 도입되면 네트워크 인프라를 운영하는 이동통신 사업에서 새로운 수익 창출 기회를 제공할 뿐만 아니라, 서비스 품질을 개선하여 다양한 산업군과 이용자의 생산성 및 효율을 향상할 수 있다. 그러나 이를 실현하기 위해서는 현재의 고



〈그림 7〉 SK텔레콤 6G 연구개발 목표

주파 대역 활용의 어려움을 극복하고, 효율적인 네트워크 인프라 구축과 표준화 협력이 필수적이다. 앞서 언급한 것처럼 ITU에서는 국가 간 논의를 통해 6G 후보 주파수를 발표한 이후 IMT 외에 위성, 항공 등 기존 용도와의 간섭 및 공유 연구가 활발하게 진행되고 있다. 3GPP는 앞서 언급한 ISAC 연구과제와 함께 7~24GHz 주파수대역에서의 채널 측정 및 모델링, 기존 3GPP 채널 모델의 수정 필요성, 그리고 6G 시나리오에서의 ISAC 성능 평가에 초점을 맞추고 있다. 또한 Edge AI, 오픈랜 등 네트워크의 AI 적용 및 개방화/가상화 연구과제를 지속 추진하며 5G 네트워크를 AI에 기초한 6G 네트워크로의 진화를 위한 노력도 계속되고 있다. 이는 통신, 센싱, AI를 혁신적으로 결합한 새로운 애플리케이션의 기반을 마련할 것으로 예상되며, 현재 초기 탐색 단계에 있는 이 연구의 결과는 향후 6G 표준화에 상당한 영향을 미칠 것으로 전망된다.

SK텔레콤은 위에 소개한 백서 내용을 확장하여 2023년 게재한 IEEE 커뮤니케이션즈 매거진 논문에서 이동통신사 관점에서의 6G(Operator's Perspective on 6G: 6G Services, Vision, and Spectrum)'라는 제목으로, 6G 통신의 비전 수립에 중요한 요소로 고려되는 AI·센싱·주파수 등을 통신 서비스 제공 사업자 관점에서 종합적으로 설명했다^[4]. 논문에서 우선적으로 '5G 레슨 런드(Lesson Learned, 경험으로 배운 교훈)'를 강조하며 5G를 세계 최초로 상용화하고 서비스를 운영한 경험을 바탕

구분	On-Device AI	Telco Edge AI Infra	Hyperscale AI-DC
위치	단말	유무선 Infra (중계기 ~ 교환국사)	중앙 집중
구성	Low-end GPU/NPU/CPU	xPU (GPU, NPU, CPU 등)	High-end GPU
규모	Device 내장 ※ 전력/크기 제약 有	소규모 서버 Rack (수십 식) Telco 장비 Embedded	대규모 서버 Rack (수천 식 이상)
활용 용도	일부 추론	추론 + Fine tuning/sLLM + 통신서비스	대규모 학습, 추론
효과	Latency, Security, Agility, ...	유리	불리

〈그림 8〉 On-Device AI, Telco Edge AI, Hyperscale AI DC의 차이점

으로 6G 시대에 예상되는 서비스를 실현하기 위한 현실적인 요구조건을 학계에 제시했다. 차세대 이동통신을 고려할 때 이전 세대 대비 더 빨라지는 속도에 대한 막연한 기대감보다는 주파수의 특성을 잘 파악해 활용 분야를 모색해야 하고, 산업 각 분야에서 새로운 서비스가 뒷받침되어 생태계가 조성되어야 한다고 주장했다. 아울러 논문에서는 6G의 핵심 요소로 통신과 AI 융합의 중요성을 특히 강조했다. AI는 네트워크 최적화, 자원 관리, 사용자 경험 개선 등 6G의 성능을 극대화하는 역할뿐만 아니라 이동통신과 융합되어 다양한 분야의 혁신을 가져올 것으로 예상했다.

최근 산학 공동 연구에서는 6G 후보 주파수대역에서 건물 구조·사람의 위치가 통신에 미치는 영향을 상황별 실측 데이터로 확보했고, 6G 망 구조를 직관적이고 효율적으로 설계하는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 기반 시뮬레이터를 개발했다. 6G 시뮬레이터는 무선 통신 환경에서 기지국과 주변 셀(cell), 다중 사용자 등을 고려해 이동통신 시스템의 성능을 예측한다. 이동통신망에서의 데이터 업로드와 다운로드, 커버리지 등과 관련된 성능을 모의 테스트할 수 있다. 세부적으로는 6G 시대에 본격 활용될 것으로 예상되는 UAM·위성 통신과 상공망(Aerial Network), RIS(재구성 가능 지능형 표면, Reconfigurable Intelligent Surface), AI기반 기지국 성

능 향상 기술이 적용된 6G 망에 대한 성능을 예측했다.

4.2 Telco Edge AI 인프라 진화와 ISAC

2024년 SK텔레콤 6G 백서는 2023년 발간한 6G 백서의 연장선상에서 미래 네트워크에 대한 청사진을 제시하고 있다. 6G 구조 진화의 핵심을 클라우드·AI·그린 네이티브로 정의하고, ITU의 6G 프레임워크 권고서에서 강조한 유비쿼터스 인텔리전스 기반의 6G 시대의 텔코 에지 AI 인프라(Telco Edge AI Infra) 진화 방향성을 제시했다^[5].

텔코 에지 AI 인프라는 높은 보안성과 확장성을 제공하면서도 기존의 고비용 온디바이스 비전 AI(On-Device Vision AI) 장비를 대체할 수 있는 효과를 보였다. 에지 AI 기술을 활용한 로봇 솔루션은 로봇이 수집한 데이터를 중앙 서버로 전송하지 않고 에지 단에서 즉시 처리, 개인 정보 보호와 데이터 보안 강화에 적합하다. 또한 텔코 에지 AI 인프라를 활용하면 디바이스의 데이터가 중앙 서버로 전송되지 않기 때문에, 해킹이나 데이터 대량 유출의 위험을 낮춰 민감한 정보를 안전하게 보호할 수 있다. 또한 에지 AI 기술은 유지보수 비용 절감과 확장성 측면에서도 개별 로봇이 아닌 에지 서버만 업데이트하는 방식으로 효율성을 높일 수 있다^[6].

텔코 에지 AI 인프라 기반의 비즈니스 모델은 앞에서

언급되었듯이, 통신 인프라의 가치 재평가 및 고객 가치 창출가능한 인프라로의 진화를 위해서 필수적으로 발굴되어야 하는 요소이다. 텔코 에지 AI 인프라의 활용 가능성이 예상되는 비즈니스 모델들을 예시로 제시한다.

1) 자율주행

현재 차량 제조사는 차량에 탑재가 가능한 On-Device 기반 자율주행 플랫폼 개발에 집중하고 있다. 자율주행을 위해서는 낮은 지연속도와 높은 보안성을 포함한 V2X 통신이 필수인데 AI 서버를 활용한 대규모 상면 및 서버 제공, AI-RAN을 활용한 실시간 추론 전용의 컴퓨팅 자원을 제공하는 비즈니스 모델이 고려될 수 있다.

2) 물류/유통

물류/유통의 경우, 비교적 단순하고 정형화된 업무 특성으로 인해 AI 기술 도입이 용이하다고 볼 수 있다. 재고 관리/창고 설비에 대한 자동화, 물류 운송 경로의 최적화 등의 영역에 텔코 에지 AI 인프라를 활용함으로써 자동화 및 실시간 업무 처리에 대한 사업적 니즈를 충족시킬 수 있겠다.

3) 제조

제조업의 경우, 디지털 변환(DX)과 자동화/무인화 추세가 가속화되고 있는데, 공장 내 격리된 공간에서의 물류

운반, 설비 로봇, 공정 등에 빅데이터 분석/학습을 통한 효율화를 꾀할 수 있고 이러한 영역에 텔코 에지 AI 인프라를 활용함으로써 신규 비즈니스 모델을 발굴할 수 있다.

4) 보안

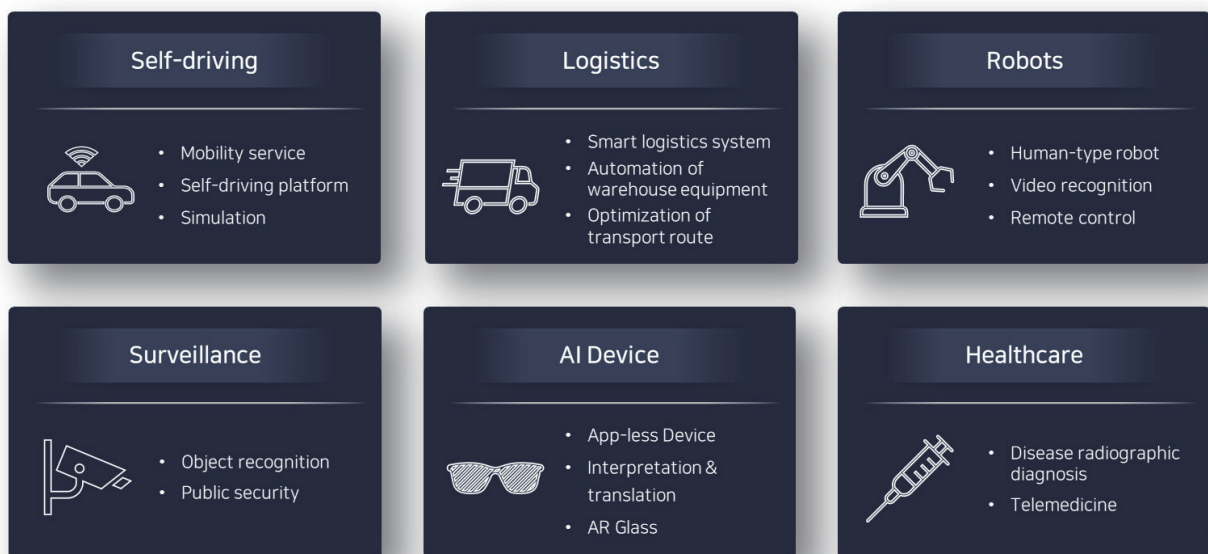
보안 영역의 경우, 영상 분석, 객체 탐지, 지능화 모니터링 등의 영역에서 AI를 활용함으로써 효율성 증대 및 저지연을 통한 실시간 대응이 가능해질 수 있고, 이를 지원하기 위해 텔코 에지 AI 인프라가 활용될 수 있겠다.

5) AI Device

최근 단말 기기 자체에서 인공지능 연산을 수행하는 On-Device AI 기술의 대두로 인해, 고객의 AI Device에 대한 기대감이 고조되고 있다. 다만 사용 사례나 현재 단말의 AI 성능 한계로 인해 AI Device에 대한 확산이 제한되고 있다. 따라서, 텔코 에지 AI 인프라를 활용한 AI Device의 AI 성능개선이나 지연시간 감소 혹은 AI 지원을 위한 최소의 기능만 탑재된 저가 Device에 대해 Telco Edge AI 인프라 활용 AI 서비스 제공 등의 비즈니스 모델이 고려될 수 있다.

6) 의료

의료 분야에도 AI 기반의 방대한 의료 데이터 분석 및 질병 진단/치료/예방 등, 다양한 영역에서 AI의 쓰임새가 기대되고 있다. 특히, 개인 의료 데이터에 대한 프라이



〈그림 9〉 AI의 비즈니스 모델 예시 자율주행, 물류/유통, 제조, 보안, AI Device, 의료 분야

버시 관점에서 높은 보안성을 요구할 수 있어, 텔코 에지 AI 인프라를 활용한 의료 관련 비즈니스 모델을 발굴하는 고민이 필요하다.

상기 비즈니스 모델 외에도 AI 인프라의 활용 가능성이 예상되는 신규 유망 비즈니스 모델을 발굴하는 노력이 중요하고, 이를 기반으로 통신 인프라의 AI Telco 인프라로의 진화를 촉진시킬 수 있을 것이다. SK텔레콤은 AI로의 성공적인 진화를 위한 가장 중요한 요인인 유망 비즈니스 모델 발굴을 가속화하기 위해 여러 가지 Use Case에 대한 PoC를 진행해 유의미한 결과 확보 가능성을 검증할 예정이다.

6G ISAC이 제공하는 센싱과 통신의 융합 기술을 통해 주변 환경을 실시간으로 모니터링한 데이터는, 위에서 예시로 든 6가지 분야에서 AI 활용을 통한 새로운 비즈니스 기회 창출의 촉매가 될 것으로 전망된다. 예를 들어, 자율주행 차량에서는 6G ISAC이 기존의 개별 차량 센서에 의존하는 구조적 한계를 극복하고, 복잡한 도시 환경이나 악천후에서도 네트워크와 센싱 데이터를 기초한 차량의 안전성과 교통혼잡 제어를 개선하는 데 이바지할 수 있다. 드론을 포함한 무인항공기의 활용이 증가할 경우 안전에 대한 요구사항은 더욱 중요해지면서 6G ISAC은 비행 경로 추적과 충돌 회피를 지원하는 필수 안전 시스템의 역할을 할 수 있다. 산업 자동화 영역에서는 무인 운반차가 공장, 물류 환경에서 더 안전하고 효율적으로 동작하는데 기여할 수 있다. 실내에서는 ISAC을 활용해 카메라 없이 주변 환경을 감지하여 CCTV, 카메라 대비 프라이버시 문제를 개선한 관제 시스템을 제공할 수 있다. 이를 통해 사업자들은 기존 서비스와 차별화된 경쟁력을 확보할 수 있으며, 아울러 6G ISAC에 AI를 접목한 고도화된 데이터 처리 및 분석 기술을 도입함으로써 더욱 정교한 서비스 제공이 가능하다.

아울러 산업 전 분야에서 AI가 보편화됨에 따라 ISAC의 중요성은 더욱더 강조될 것으로 예상된다. 올해 1월 개최한 세계 최대 ICT 전시인 CES 2025에서 NVIDIA의 젠슨 황 CEO는 기조연설에서 피지컬 AI(Physical AI)로의 진화 비전을 제시한 바 있다. 피지컬 AI는 물리적 세

계와 상호작용하며 학습, 추론, 계획, 행동이 가능한 인공지능 기술을 의미한다. 기존 텍스트 기반 생성형 AI와 달리, 피지컬 AI는 중력, 마찰, 관성 등 물리적 역학과 공간적 관계를 이해하고 이를 활용해 로봇, 자율주행차 등 물리적 실체를 가진 디바이스에 적용된다. 젠슨 황은 피지컬 AI의 핵심 응용 분야로 자율주행차와 휴머노이드 로봇을 언급하며, 이 기술이 수십억 대의 로봇과 자율주행 차량을 가능하게 할 것으로 전망했다. 엔비디아는 피지컬 AI 개발을 지원하는 새로운 플랫폼인 ‘코스모스’를 발표했는데, 이 플랫폼은 현실 세계의 데이터를 학습하고 시뮬레이션을 통해 로봇과 자율주행차가 실제 환경에서 작동할 수 있도록 돕는다. ISAC은 피지컬 AI가 단순한 데이터 처리와 예측을 넘어 물리적 세계의 원리를 이해하며, 이를 통해 더 정교한 판단과 행동이 가능하게 하는 교두보 역할을 할 것으로 기대된다.

V. 결론

본 고에서는 6G ISAC이 제공할 신규 서비스에 대한 비전을 제시하고, 표준화 동향 및 네트워크 진화 방향성을 고찰하였다. 6G ISAC 기술은 통신과 센싱의 융합을 통해 기존 통신 산업에 새로운 패러다임을 제공할 것이다. 특히 AI에 기초한 텔코 에지 AI 인프라로의 진화는 필수 불가결한 흐름으로, AI 네이티브 네트워크의 근간이 되는 통신/센싱 융합 데이터 확보가 더욱 중요해질 것이다. 이를 위해 기존의 네트워크는 가상화/개방화 기반으로 텔코 에지 AI 인프라로 진화하는 Generation Mix를 준비해야 하며, 학계와 산업계, 정부 등의 6G 관련 R&D와 글로벌 파트너십 체결 등의 다각도 노력이 필요하다.

참고 문헌

- [1] ITU-R, “IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” in Recommendation ITU-R M.2083-0, vol. M Series, Sep 2015.
- [2] RP-242804 “Status report for SI: Study on channel modelling for Integrated Sensing And Communication (ISAC) for NR”, 3GPP RAN #106, Dec. 2024.



- [3] SK Telecom, "5G Lessons Learned, 6G Key Requirements, 6G Network Evolution, and 6G Spectrum," SK Telecom 6G White Paper, Aug. 2023.
- [4] M. Na, J. Lee et al., "Operator's Perspective on 6G: 6G Services, Vision, and Spectrum," in IEEE Communications Magazine, vol. 62, no. 8, pp. 178–184, August 2024.
- [5] SK Telecom, "View on Future AI Telco Infra-structure," SK Telecom 6G White Paper, Oct. 2024.
- [6] H. Lee, K. Kim, G. Cho, G. Choi, S. Lee, M. Na, T. Yu, "The Evolution Path of Telco Infrastructure: From Open RAN to 6G AI-RAN (Telco Edge AI)," IEEE ICTC workshop, Oct. 2024.



김동욱

- 2002년 아주대학교 전산 학사
- 2004년 KAIST 전산 석사
- 2009년 KAIST 전산 박사
- 2009년 ~ 2017년 삼성전자 네트워크사업부 Air 시스템 랩
- 2017년 ~ 2024년 SK텔레콤 Infra 기술 6G개발팀

〈관심 분야〉

5G 셀룰러 통신, UAM 통신, 저궤도 이동통신, 5G & 6G 표준기술



이재현

- 2012년 2월 포항공과대학교 전기전자공학부 학사
- 2018년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2018년 4월 ~ 2023년 4월 삼성전자 6G연구팀
- 2023년 4월 ~ 현재 SK텔레콤 Infra 기술 6G개발팀

〈관심 분야〉

6G, AI, Sensing, Spectrum, MIMO, AI-RAN



조규성

- 1996년 2월 서강대학교 공학사
- 2005년 8월 한양대학교 경영학석사
- 1996년 1월 ~ 2005년 12월 SK텔레콤 Access Network Engineering
- 2006년 1월 ~ 현재 SK텔레콤 기술전략, Access/6G개발, 6G포럼 초공간개방형네트워크위원회 부위원장

〈관심 분야〉

6G, Spectrum, Open RAN, AI-RAN



류탁기

- 1999년 연세대학교 전자공학과 학사
- 2001년 연세대학교 전자공학과 석사
- 2006년 연세대학교 전자공학과 박사
- 2009년 ~ 2010년 Stanford Univ. 연구원 (STAR Lab.)
- 2022년 ~ 현재 SK텔레콤 Infra기술 부사장
- 2019년 ~ 현재 NGMN Alliance Board Director
- 2023년 ~ 현재 GSMA Technology Group 임원
- 2023년 ~ 현재 오픈랜인더스트리얼라이언스 대표의장
- 2022년 ~ 현재 6G포럼 집행위원회 위원 (부집행위원장)

〈관심 분야〉

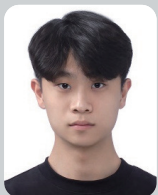
AI, 오픈랜, 5G & 6G 통신, 이동통신 네트워크

5G-Advanced 및 6G를 위한 ISAC의 활용과 도전 과제

I. 서론

미래의 5세대 이동통신 발전형(5G-Advanced) 및 6세대 이동통신(6G) 시스템에서는 기계 간 통신(MTC, Machine-Type Communication), 연결된 로봇 및 자율주행, 확장 현실(XR, Extended Reality)과 같은 새로운 지능형 애플리케이션과 서비스가 등장하고 있다^[1]. 전통적인 센싱 시스템과 통신 시스템은 서로 다른 기능을 가지며 별도로 운영된다. 전통적인 센싱은 레이더(Radar), 라이더(Lidar), 카메라(Camera) 등의 수동 센서 또는 센싱 장치를 활용하여 주변 물체나 환경을 모니터링하는 방식으로 수행된다. 반면, 기존 통신 시스템은 오직 통신 데이터 전송만을 고려한다. 현재 센싱과 통신이 분리된 설계 방식으로는 높은 데이터 전송률과 고정밀 센싱을 동시에 달성할 수 없으며, 이러한 신흥 서비스 및 애플리케이션의 요구 사항을 충족하기 어렵다^[2]. 또한 점점 희소해지는 주파수 자원으로 인해, 새로운 지능형 애플리케이션과 서비스의 주파수 요구 사항을 충족하기가 어렵다.

통합 센싱 및 통신(ISAC, Integrated Sensing and Communication) 시스템은 무선 통신과 레이더 센싱 기능을 동시에 제공하는 통합 시스템이다. ISAC은 주파수 이용 효율을 효과적으로 향상시키고, 레이더 시스템과 통신 시스템 간의 주파수 충돌 문제를 해결할 수 있다. 또한 ISAC는 장비의 크기와 에너지 소비를 줄이는 데 기여한다. 다시 한번 정리하자면 이동통신 시스템을 센싱 서비스에 활용하려는 동기는 비용 효율적이면서도 높은 정밀도를 갖춘 지능형 ISAC 시스템을 구축할 수 있기 때문이다. ISAC 시스템은 무선 신호 채널과 관련된 정보를 활용하며, 여기에는 채널 상태 정보(CSI, Channel State Information), 수신 신호 강도(RSS, Received Signal Strength), 도착각(AoA, Angle of Arrival), 도착 시간(ToA, Time of Arrival) 등이



신승석
전남대학교



황인태
전남대학교

포함된다^[4]. 이러한 정보를 활용하면 물리적 접촉 없이도 원격 물체나 환경에 대한 정보를 추출할 수 있으며, 광범위한 이동통신 시스템의 커버리지를 활용하여 추가적인 센서 배치 없이 지속적인 센싱 서비스를 고객에게 제공할 수 있다. 기존 무선 시스템을 활용함으로써 추가적인 구축 비용 없이 센싱 서비스를 제공할 수 있다는 장점과 높은 주파수 효율성 덕분에, ISAC 기술은 학계와 산업계에서 모두 높은 관심을 받고 있다^[5-8].

지역 표준화 그룹들도 ISAC 지원 및 표준화 연구를 진행하고 있다. 3GPP 외에도, IMT-2020 및 IMT-2030에서도 ISAC의 요구 사항, 핵심 기술 및 네트워크 아키텍처에 대한 연구를 수행하고 있다.

IMT-2020 및 IMT-2030 추진 그룹은 2021년부터 잠재적인 활용 사례 및 요구 사항, 네트워크 아키텍처 및 파형 설계를 위한 실행 가능한 솔루션을 연구하기 시작했으며, IMT-2020은 5G-Advanced 단계의 연구를, IMT-2030은 차세대 통신 기술 연구를 담당하고 있다. 이들은 활용 사례, 요구 사항, 네트워크 아키텍처, 핵심 기술 및 실험 결과를 포함한 기술 보고서를 발표하였다^[9-11].

위 사례들과 ITU-R 6G Framework 문서의 IMT-2030 Usage Scenario^[3]에서 볼 수 있듯이, ISAC 기술은 5G-A 및 6G 시대에서 높은 데이터 전송률과 고정밀 센싱 기능을 필요로 하는 다양한 지능형 애플리케이션에 적

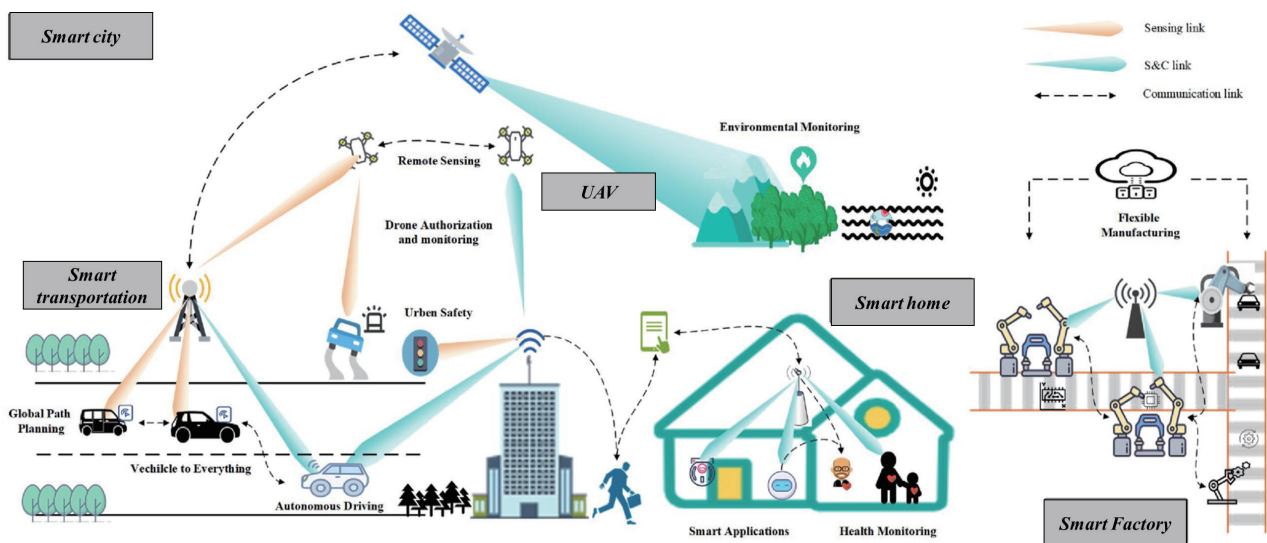
용될 것으로 예상된다. 밀리미터파(mmWave) 및 테라헤르츠(THz) 기술의 연구와 표준화 작업은 ISAC 기술이 이동통신 산업 전반에서 큰 관심을 받고 있음을 보여주며, 통신 사업자, 장비 제조업체 및 산업 파트너들이 ISAC 기술 개발을 적극적으로 추진하고 있음을 시사한다^[12].

II. ISAC의 활용

Rel-19 ISAC 연구 항목에 따르면^[14], 총 32개의 활용 사례가 있으며, 이는 <그림 1>과 같이 5가지 시나리오로 분류할 수 있다.

1) 스마트 교통 (Smart transportation)

스마트 교통 시나리오는 침입자 센싱, 센싱 지원을 통한 자동차 기동 및 내비게이션, 교차로 센싱, 주차 공간 탐색, 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 센싱, 사각지대 센싱 등을 포함한다. 기지국 및 도로변 장치(RSU: Road Site Units)는 ISAC 서비스의 송신기 및 수신기로 활용될 수 있다. 기지국 또는 RSU에서 무선 신호를 송수신하고 센싱 측정 데이터를 분석함으로써, 주변 차량, 침입자 또는 보행자에 대한 정보를 센싱하여 충돌을 방지할 수 있다.



<그림 1> ISAC 연구 시나리오^[13]

2) 스마트 시티 (Smart city)

스마트 시티 시나리오는 강수량 센싱, 홍수 센싱, 군중 센싱, 공공 안전을 위한 수색 및 구조 또는 체포 등의 기능을 포함한다. 기존 기지국을 ISAC에 활용하면 낮은 비용으로 넓은 서비스 지역을 제공할 수 있다. 기상 상태나 자연재해를 실시간 및 공간적으로 높은 해상도로 동적으로 센싱할 수 있으며, 결과는 운영자의 네트워크를 통해 관련 기관으로 전송되어 모니터링 목적으로 활용될 수 있다. 공공 안전 애플리케이션과 관련하여, 현재는 주로 카메라가 사용되지만, 이는 사각지대가 존재하며 악천후 시 센싱 성능이 저하될 수 있지만, ISAC은 수신된 무선 신호에서 주변 환경의 특징을 추출함으로써 이러한 단점을 극복할 수 있다.

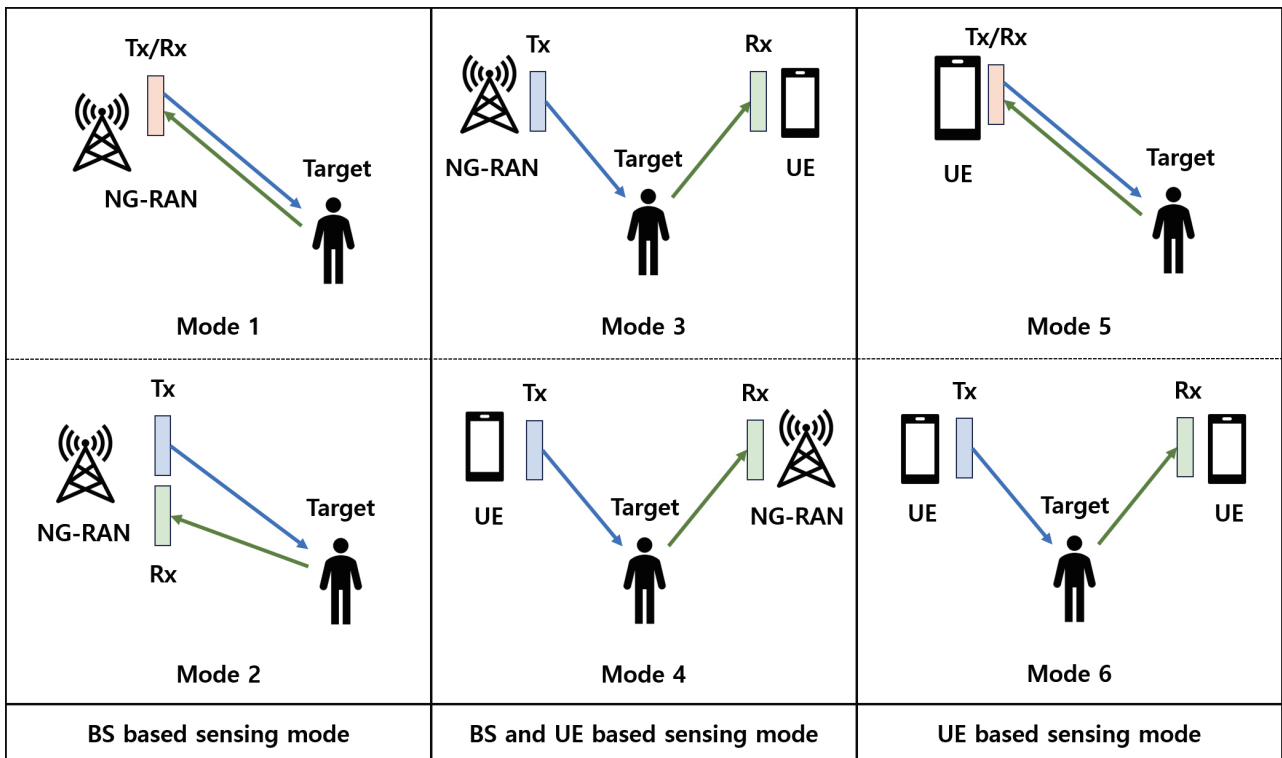
3) 스마트 홈 (Smart home)

스마트 홈 시나리오는 실내 및 주변 침입자 센싱, 수면 모니터링, 실내 건강 상태 모니터링, 끊임 없는 XR 스트리밍, 스포츠 모니터링, 위치 기반 실내 오디오 및 조명

몰입형 경험, 제스처 인식 등을 포함한다. 현재 스마트워치나 스마트 밴드는 건강 및 스포츠 모니터링을 위해 널리 사용되며, 착용자가 직접 착용해야 한다. 반면, 실내 소형 기지국 또는 사용자 장비(UE, User Equipment)는 사용자와의 직접적인 접촉 없이 건강 및 스포츠 모니터링을 수행할 수 있어 더욱 편리한 환경을 제공할 수 있다. XR의 발전과 함께, 비디오 및 게임에서 몰입형 경험에 대한 수요가 증가하고 있다. ISAC 서비스를 활용하여 실내 소형 기지국 또는 UE를 이용해 사용자의 위치 및 방향을 모니터링하면, 몰입형 게임이나 비디오 애플리케이션에서 더욱 향상된 사용자 경험을 제공할 수 있다.

4) 무인 항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)

UAV 관련 시나리오는 비행 경로 추적, 네트워크 기반 충돌 회피, UAV 침입 센싱을 포함한다. UAV의 발전으로 인해 상업용 드론이 점점 증가하고 있으며, 일부 경우에는 허가되지 않은 비행이 이루어지면서 공공 안전 및 개인 프라이버시에 위협을 줄 수 있다. ISAC 기술을 활용



〈그림 2〉 ISAC 시스템의 센싱 모드

하여 센싱 기능을 갖춘 기지국을 배치하면, 광범위한 공간에서 드론의 위치 추적, 센싱 및 모니터링을 수행할 수 있다. 또한, 기지국은 드론 간의 통신을 지원하고, 제어 센터와의 연결을 제공할 뿐만 아니라 비행 경로 계획 및 충돌 방지를 위한 센싱 기능도 제공할 수 있다.

5) 스마트 공장 (Smart factory)

스마트 공장 시나리오는 자동 유도 차량(AGV, Automated Guided Vehicles)의 센싱 및 추적, 공장 보안을 위한 침입 센싱, 자동화된 이동 로봇(AMR, Automated Mobile Robots) 간 충돌 방지 기능을 포함한다. 지능형 제조를 지원하는 자동화 로봇의 발전과 함께, 저지연 및 높은 정확도를 갖춘 통신 및 센싱 기능이 필요해지고 있다. 센싱 측정 데이터에서 추출된 정보는 스마트 공장의 운영을 더욱 효율적으로 만들 수 있다. 또한, 스마트 공장에서도 저지연 및 높은 정확도를 달성하기 위해 ISAC 서비스를 특정 방식으로 배포하는 것도 고려되고 있다. 예를 들어, 센싱 측정 데이터는 로컬에서 처리 및 계산될 수 있다.

위와 같은 활용사례 위해 ISAC 서비스의 표준화는 센싱 구성, 승인, 센싱 측정 데이터의 수집 및 처리, 처리된 센싱 측정 데이터의 노출, 보안 및 프라이버시 고려 사항, 그리고 과금 정보 수집에 중점을 둔다. 이러한 시나리오들 중에서, 센싱 대상에 따라 해당 시나리오들은 객체 센싱 및 추적(object detection and tracking), 환경 모니터링(environment monitoring), 그리고 동작 모니터링(motion monitoring)으로 추가적으로 분류될 수 있으며, 각각의 경우 서로 다른 핵심 성능 지표(KPIs, Key Performance Indicators)를 가진다^[14].

III. ISAC 시스템의 센싱 모드 및 네트워크 아키텍처

본 장에서는 ISAC 시스템의 센싱 모드를 소개하고 분석하며, 잠재적인 네트워크 아키텍처를 비교하여 장점과 단점을 논의한다. 센싱 모드에는 총 여섯 가지의 모드가 있으며, 이는 <그림 2>에 나타나 있다. 아래에서 각각의

모드에 대해 설명하고 분석한다.

1) 단일 기지국 센싱 (Monostatic base station sensing)

단일 기지국 센싱은 하나의 기지국만을 이용하여 센싱 서비스를 수행하는 방식으로, 기지국이 신호를 전송하고 반사된 신호를 수신하는 형태이다. 이 방식은 기존 레이더 센싱과 유사한 특징을 가지며, 기존 레이더 시스템보다 더 넓은 범위를 센싱할 수 있다. 그러나 동일한 기지국에서 센싱 신호를 송신하고 수신하는 과정에서 발생하는 간섭을 해결하는 것이 주요 과제이다. 이를 해결하는 한 가지 방법으로는 ISAC 송신기와 수신기의 안테나를 분리하여 사용하는 방식이 제안될 수 있다.

2) 이중 기지국 센싱 (Bistatic base station sensing)

이중 기지국 센싱은 두 개의 기지국 간 센싱 작업을 수행하는 방식으로, 한 기지국이 센싱을 위한 무선 신호를 송신하고 다른 기지국이 이를 수신하는 방식이다. 이 센싱 방식은 대규모 센싱 서비스, 특히 실외 환경에서 적합하다. 센싱 범위는 두 기지국 간의 거리만큼 확장될 수 있다. 또한, 기지국은 기존 레이더 센싱 시스템보다 강력한 송신 전력을 제공할 수 있어 장거리 센싱에 유리하다. 정확한 센싱 측정 데이터를 확보하기 위해서는 두 기지국 간의 장거리 센싱 과정에서 센싱 서비스의 동기화 및 센싱 측정 데이터의 정합성이 중요하다. 이에 대한 관리는 코어 네트워크가 담당하며, 두 기지국 간의 선택 및 협력을 조정하는 역할을 수행한다.

3) 이중 기지국-단말 센싱 (Bistatic base station-to-UE sensing)

이중 기지국-단말 센싱은 기지국이 센싱 송신기로, 사용자 장비(UE: User Equipment)가 센싱 수신기로 작동하는 방식이다. 이 방식에서는 하향링크(downlink) 무선 신호가 측정을 위해 사용되며, UE 또는 UE 주변의 정보가 이 신호로부터 추출된다. 하지만 UE의 전력 제한으로 인해, 센싱 범위는 단일 기지국 센싱 또는 이중 기지국 센싱보다 짧을 것이다.



4) 이중 단말-기지국 센싱 (Bistatic UE-to-base station sensing)

이중 단말-기지국 센싱은 UE가 센싱 송신기로, 기지국이 센싱 수신기로 작동하는 방식이다. 이 방식에서는 상향링크(uplink) 무선 신호가 측정을 위해 사용되며, UE 또는 UE 주변의 정보가 이 신호로부터 추출된다. 하지만 이 방식 역시 전력 제한으로 인해 센싱 범위가 짧다는 특징을 가진다.

5) 단일 단말 센싱 (Monostatic UE sensing)

단일 단말 센싱은 동일한 UE가 센싱 송신기 및 수신기로 작동하는 방식이다. UE의 전송 전력 및 크기 제한으로 인해, 이 방식은 고정밀 장거리 센싱 서비스를 제공할 수 없지만 실내 환경에서 활용될 수 있다. 또한, 동일한 장치가 송신기와 수신기로 작동하기 때문에, 크기 제한으로 인해 안테나를 완전히 분리하기 어려워 간섭 문제가 발생할 수 있다.

6) 이중 단말 센싱 (Bistatic UE sensing)

이중 단말 센싱은 하나의 UE가 센싱 송신기로, 또 다른 하나의 UE가 센싱 수신기로 작동하는 방식이다. 단일 단말 센싱과 유사하게, 이중 단말 센싱은 높은 정확도와 장거리 센싱 서비스를 제공할 수는 없지만, 실내 환경에서의 지역 센싱(local area sensing)에는 적합한 방식이다.

3GPP 표준화 관점에서 보면, 단일 단말 센싱과 이중 단말 센싱은 UE 구현에 더 많이 의존하며 표준화에 미치는 영향이 적다.

이러한 ISAC 서비스를 지원하기 위한 두 가지 잠재적인 네트워크 아키텍처가 논의되고 있다^[10]. 하나는 기존 위치 서비스(LCS, LoCation Service) 시스템을 기반으로 한 아키텍처이며, 다른 하나는 센싱 서비스를 지원하는 새로운 네트워크 기능을 포함하는 아키텍처이다. 이 두 가지 아키텍처에 대한 논의 및 분석은 다음과 같다.

(1) LCS 시스템 기반 아키텍처 (Architecture based on the LCS system)

LCS 아키텍처는 5G-Advanced 단계에서 충분히 연구

된 구조이다. ISAC과 LCS는 데이터 수집, 데이터 처리, 결과 노출과 같은 매우 유사한 서비스 흐름을 가지고 있다. 따라서, LCS 서비스를 위한 기존 아키텍처를 센싱 서비스 지원을 위해 재사용하는 것이 가능할 수 있다. 기존 인터페이스와 프로토콜을 최대한 재사용할 수 있음을 의미한다.

LCS 시스템의 기존 아키텍처에서, 위치 관리 기능(LMF, Location Management Function)은 무선 접속 네트워크(RAN, Radio Access Network) 또는 UE와 상호작용하여 UE의 위치 또는 속도를 계산하거나 검증하는 역할을 담당하는 네트워크 기능이다. 또한, 게이트웨이 모바일 위치 센터(GMLC, Gateway Mobile Location Center)는 접근 및 이동성 관리 기능(AMF, Access and Mobility Management Function) 또는 애플리케이션 기능(AF, Application Function)과 같은 다른 네트워크 기능과 상호작용하는 역할을 담당한다. LMF와 GMLC는 정책 제어, 개인정보 요청, 라우팅 정보 요청, 승인, 위치 보고 등을 위한 서비스 메시지를 전송하는 인터페이스를 가지고 있다^[15].

ISAC 서비스 아키텍처에서는, LMF가 센싱 측정 데이터를 처리할 수 있는 기능을 포함하게 된다. 해당 데이터는 RAN 또는 UE에서 수집되며, 제어 평면(control plane) 또는 사용자 평면(user plane)을 통해 전송될 수 있다. 또한, GMLC는 PLMN의 첫 번째 액세스 지점(gateway) 역할을 수행하며, 센싱 엔티티의 승인 및 구성, 센싱 결과 노출을 담당하게 된다.

LCS 시스템 기반 아키텍처에서는 센싱을 위한 네트워크 기능이 업그레이드되어야 한다. 또한, AMF, NEF, UDM 및 LMF 간의 인터페이스는 요청된 센싱 서비스, 센싱 구독 데이터, 센싱 서비스 요구 사항 또는 센싱 측정 데이터 및 센싱 결과를 전달할 수 있도록 지원해야 한다.

(2) 새로운 네트워크 기능을 포함한 아키텍처 (Architecture with new network function)

또 다른 가능성 있는 아키텍처는 센싱을 위한 모든 메시지를 처리하는 새로운 네트워크 기능인 센싱 기능(SF, Sensing Function)을 도입하는 것이다. SF는 5G 코어(5GC) 내에서 다른 네트워크 기능과 상호작용한다. 이

서비스를 지원하기 위해 SF와 다른 네트워크 기능 간의 새로운 인터페이스를 정의해야 한다. 이 경우, ISAC 서비스를 위한 모든 정보 및 메시지를 처리하는 하나의 네트워크 기능만 존재하며, 이는 5GC의 제어 평면(control plane)과 사용자 평면(user plane)과 상호작용해야 한다. 제어 평면에서는 센싱 서비스를 제어하는 메시지가 SF와 다른 제어 평면 네트워크 기능 간에 전송된다. 여기에는 정책 제어 신호(policy control signaling), 승인 신호(authorization signaling), 구성 신호(configuration signaling), 가입 정보 신호(subscription information signaling) 등이 포함된다. 또한, 센싱 측정 데이터(sensing measurement data)는 사용자 평면을 통해 전송된다.

LCS 시스템 기반 아키텍처는 기존 인터페이스와 프로토콜을 최대한 재사용할 수 있으며, 기존 시스템 아키텍처에 대한 변경이 적다는 장점이 있다. 그러나 향후 네트워크가 발전하면서 센싱 서비스의 요구 사항이 증가할 경우, 시스템 아키텍처를 다시 설계해야 할 수도 있어 복잡성이 증가할 수 있다. 반면, 두 번째 아키텍처는 많은 새로운 인터페이스 및 프로토콜 설계를 필요로 하며, 이는 복잡성을 초래할 수 있다. 그러나 더 높은 하위 호환성을 제공하며, 차세대 이동통신 시스템에서 보다 유연하게 적용될 수 있다.

IV. 도전 과제 및 전망

기존 이동통신 시스템에서 ISAC 서비스 지원과 네트워크 아키텍처 설계 연구는 많은 도전 과제에 직면해 있다. 본 장에서는 ISAC 지원을 위한 주요 도전 과제와 향후전망을 제시한다.

1. 도전 과제

1) 센싱 대상 식별 (Sensing target identity)

LCS와 달리, ISAC에서는 센싱 대상의 정체성이 알려져 있지 않으며, 반드시 사용자 장비(UE)일 필요도 없다. 센싱 대상을 식별하는 방법은 ISAC 서비스의 기본적인 문제 중 하나이다. 센싱 대상을 식별할 수 있다면, 센싱

측정 데이터는 특정 센싱 대상에 맞춰 최적화하여 획득될 수 있다.

2) 센싱 엔티티 간 동기화 및 협업 (Synchronization and collaboration between different sensing entities)

센싱 서비스를 수행하는 여러 센싱 엔티티가 존재하는 경우, 동기화 및 협업 방안을 고려해야 한다. 동기화가 이루어지지 않으면, 센싱 측정 데이터가 불일치하게 되어 올바른 센싱 결과를 도출할 수 없다. 또한, 여러 센싱 엔티티를 동시에 활용하면 센싱 서비스의 정확도를 향상시킬 수 있다. 이러한 경우, 동기화 및 협업이 필수적이다.

3) 서비스 연속성 (Service continuity)

센싱 대상은 센싱 서비스 중 여러 센싱 엔티티 사이를 이동할 수 있다. 센싱 서비스의 연속성이 보장되지 않으면 센싱 대상의 측정 데이터가 불연속적으로 기록되며, 일부 센싱 특징을 추출하는 것이 어려워질 수 있다.

4) 데이터 무결성 (Data integrity)

다양한 센싱 서비스 활용 사례에서는 센싱 측정 데이터가 개인 정보와 함께 수집될 수 있다. 따라서 데이터 무결성을 보장하여 센싱 대상 및 주변 환경의 개인정보가 보호될 수 있도록 해야 한다.

5) 보안 (Security)

센싱 서비스를 위한 신호는 스팸 또는 가짜 신호로부터 보호되어야 한다. 특정 상황에서는 누군가가 가짜 센싱 신호를 전송하여 타인의 개인정보를 얻으려 할 수도 있기 때문이다.

2. 향후전망

첫째, 5G-A Rel-19 연구 항목에서는 ISAC이 센싱 기능을 활용한 이동통신 사례에 중점을 두고 연구되고 있다^[14]. 실제로 ISAC은 두 가지 요소로 구성될 수 있으며, 또 다른 요소는 통신을 지원하는 센싱 기능이다. 향후 표준화에서는 통신을 지원하는 센싱 기능에 대한 활용 사례가 추가적으로 연구될 수 있으며, 이를 통해 이동통신 시스템의 사용자 경험을 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, ISAC 서비스는 5G 시스템에서 엄청난 양의 센싱 측정 데이터를 수집하게 될 것이다. 센싱 측정 데이터를 더욱 효율적으로 처리하기 위해, 컴퓨팅 파워 네트워크



크 기술이 연구될 수 있으며, 특정 네트워크 기능 내에서 보다 높은 컴퓨팅 성능을 활용하여 센싱 데이터를 처리할 가능성이 있다.

셋째, 일부 비즈니스 시나리오에서는 ISAC 서비스의 저지연 요구 사항을 충족하기 위해 분산 네트워크 아키텍처가 연구 및 도입될 수 있다. 분산 네트워크를 활용하면 센싱 측정 데이터의 처리가 네트워크 내부에서 이루어질 수 있어, 지연(latency)을 최소화하는 것이 가능해진다.

V. 결론

ISAC 서비스는 아직 초기 단계에 있으며, 2023년 6월 ITU 보고서에서 6G의 핵심 기능 중 하나로 선정되었다^[16]. 하위 호환성을 유지하기 위해 별도의 네트워크 기능 SF를 포함하는 네트워크 아키텍처 연구가 진행되어야 한다. ISAC 시스템의 센싱 모드와 관련하여, 사용자 장비 구현에 의존하는 모드는 우선순위가 낮아질 수 있다. 향후 연구에서는 ISAC을 활용한 통신 지원 사례, 센싱 및 통신과 컴퓨팅 파워 네트워크의 통합, 그리고 ISAC 기반의 분산 네트워크 아키텍처 설계 등에 대한 논의가 더욱 활발히 이루어져야 할 것이다. 이를 통해 5G-Advanced 및 6G 시대에서 ISAC이 다양한 산업과 서비스에서 실질적인 가치를 제공할 수 있도록 해야 한다.

Acknowledgement

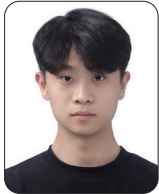
이 글은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2022-00156287)

참고 문헌

- [1] Z. Feng, Z. Fang, Z. Wei, X. Chen, Z. Quan, and D. Ji, "Joint radar and communication: A survey," *China Commun.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–27, Jan. 2020.
- [2] M. M. Sahin and H. Arslan, "Multi-functional coexistence of radarsensing and communication waveforms," in *Proc. IEEE 92nd Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, 2020, pp. 1–5.
- [3] ITU-R, "IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," in *Recommendation ITU-R M.2083-0*, vol. M Series, Sep 2015.
- [4] F. Liu, C. Masouros, A. P. Petropulu, H. Griffiths and L. Hanzo, "Joint Radar and Communication Design: Applications, State-of-the-Art, and the Road Ahead," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 68, no. 6, pp. 3834–3862, June 2020, doi: 10.1109/TCOMM.2020.2973976.
- [5] H. T. Hayvaci and B. Tavli, "Spectrum sharing in radar and wireless communication systems: A review," in *Proc. Int. Conf. Electromagn. Adv. Appl. (ICEAA)*, 2014, pp. 810–813.
- [6] A. R. Chiriyath, B. Paul, and D. W. Bliss, "Radar-communications convergence: Coexistence, cooperation, and co-design," *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, Mar. 2017.
- [7] F. Liu, C. Masouros, A. P. Petropulu, H. Griffiths, and L. Hanzo, "Joint radar and communication design: Applications, state-of-the-art, and the road ahead," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 68, no. 6, pp. 3834–3862, Jun. 2020.
- [8] J. A. Zhang et al., "An overview of signal processing techniques for joint communication and radar sensing," 2021, arXiv:2102.12780.
- [9] IMT2020 Promotion Group, "5G-Advanced Integrated Sensing and Communication Use Cases and Requirements," Jul. 2022.
- [10] IMT2020 Promotion Group, "5G-Advanced Integrated Sensing and Communication Network Architecture Research Report," Nov. 2022.
- [11] IMT2030 Promotion Group, "Integrated Sensing and Communication Research Report," Nov. 2022.
- [12] H. Griffiths et al., "Radar spectrum engineering and management: Technical and regulatory issues," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 85–102, Jan. 2015.
- [13] Y. Niu, Z. Wei, L. Wang, H. Wu and Z. Feng, "Interference Management for Integrated Sensing and Communication Systems: A Survey," in *IEEE Internet of Things Journal*, doi: 10.1109/JIOT.2024.3506162.
- [14] 3GPP TR 22.837v2.0.0, "Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication," Jun. 2023.

[15] 3GPP TS 23.273v18.2.0, "5G System (5GS) Location Services (LCS); Stage 2," Jun. 2023.

[16] ITU-R Recommendation M, "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond," Jun. 2023. 430 Full-HD Resolution", SOVC 2014. Acknowledgement



신승석

- 2023년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2025년 2월 전남대학교 지능전자컴퓨터공학과 석사
- 2025년 3월 ~ 현재 전남대학교 지능전자컴퓨터공학과 박사과정

〈관심 분야〉

6G, artificial intelligence, Multiple-Input Multiple-Output, Non-Terrestrial Network, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 및 Unmanned Aerial Vehicles.



황인태

- 1990년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
- 1992년 8월 연세대학교 전자공학과 석사
- 1999년 9월 ~ 2004년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사
- 1992년 8월 ~ 2006년 2월 LG전자 책임연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 & 지능전자컴퓨터공학과 교수

〈관심 분야〉

디지털통신, 무선통신시스템, 차세대이동통신: MIMO-OFDM, V2X, NR-MIMO, NTN, 및 artificial intelligence.

ISAC의 핵심 기술 및 도전 과제

I. ISAC의 핵심 개념

1. ISAC 배경

통합 센싱 및 통신(Integrated Sensing and Communication, ISAC)이란 센싱 시스템과 통신 시스템을 융합한 차세대 무선 네트워크의 새로운 디자인 패러다임이다. 1963년, 미사일 사거리 계측 레이더에서 펄스 코드 그룹을 전송하고 우주선 또는 미사일의 Beacon 수신기가 이를 해독하는 레이더 기반 단방향 통신이 최초로 고안되었다^[1]. 그러나, 이후 몇 가지 현실적 제약으로 인해 ISAC 기술은 한동안 큰 주목을 받지 못하였고, 이에 따라 ISAC 기술 수준 역시 정체되어 있었다. 당시 ISAC 기술은 장치와 시스템이 각각 통신 전용, 센싱 전용으로 독립적으로 설계되어 개발 한계가 명확했던 것도 기술 정체의 한가지 큰 요인이 되었다. 60년이 지난 현재, 무선 통신 및 관련 하드웨어의 발전에 힘입어 ISAC은 새로운 국면을 맞이하게 되며, 6G의 새로운 혁신 기술로써 많은 주목을 받게 된다.

ISAC 기술이 주목받을 수 있었던 첫 번째 배경으로 RF 하드웨어 기술 발전을 들 수 있다. 시스템 온 칩(System on Chip, SoC)으로 대표할 수 있는 회로 소형화 및 집적화 기술들을 통해 ISAC에 활용될 수 있는 경제적인 센서와 액추에이터 및 송수신 모듈을 설계할 수 있게 되었다. 실제로 다중입출력(Multiple Input Multiple Output, MIMO) 레이더 SoC는 실리콘 상에서 면적이 14mm²에 불과한 밀리미터웨이브 송수신기 12개를 사용하여 $\pm 1^\circ$ 의 각도 분해능과 0.099km/h의 도플러 분해능의 성능을 달성하였다^[2]. 또한, 통신 RF 시스템에서 사용되는 고속 및 고효율 ADC(Analog-to-Digital Converter) 및 DAC(Digital-to-Analog Converter)의 개발과 SerDes (Serializer-Deserializer) 기술의 꾸준한 발전^[3]은 100Gb/s에 달하는 초고속 데이터 송수신을 통



김 계 윤
포항공과대학교



전 요 섯
포항공과대학교

해 ISAC 시스템의 실시간 센서 데이터 수집과 액추에이터 정밀 제어가 가능하게 한다. 더불어 ISAC 시스템에서 여러 단말들이 넓은 지역에서 통신하기 위해서는 통신 범위를 확장하는 고출력 전력 증폭기(Power Amplifier, PA)와 신뢰성 높은 신호를 위한 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier, LNA) 기술이 중요하다. 이 또한 지속적으로 연구되어, 39GHz에서 22.1 dBm의 포화 출력 전력과 25.7%의 최대 전력 추가 효율을 달성한 PA와 2.44GHz에서 우수한 선형성과 Noise Figure 0.95dB, Power Gain 17dB를 달성한 LNA 등이 활발히 개발되고 있다^{[4],[5]}.

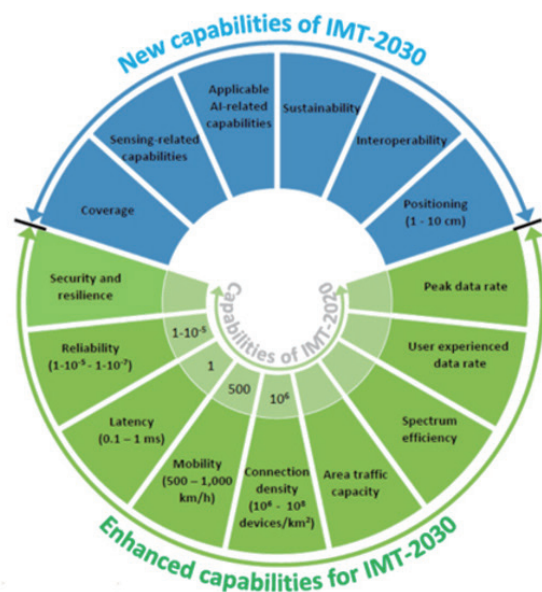
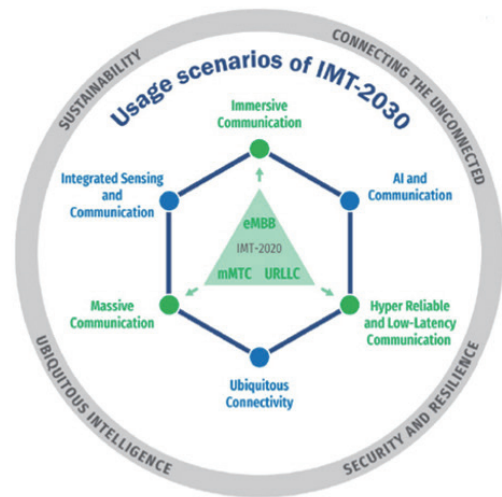
또 다른 배경은 통신 및 센싱 신호 프로세싱의 발전이다. ISAC 시스템에서는 동기화와 채널 추정 등의 기본적인 요소 기술들의 설계가 기존의 무선 통신 시스템보다 더욱 복잡해진다. 이를 해결하기 위해, ISAC 시스템에서 시간/주파수의 동기화와 채널 정보의 추출을 위한 다양한 알고리즘들이 개발되고 있다^[6]. 공간적 동기화를 위해서는 대규모 MIMO 시스템과 위상 배열 안테나 등의 빔포밍 기술을 활용해 신호의 경로 및 방향을 정확히 추적하는 연구가 진행되고 있다^[7,8]. 또한 다수의 단말에 대한 ISAC 시스템의 활용을 위해 밀리미터웨이브와 테라헤르츠 대역에서 고속 데이터 전송과 정밀 센싱을 진행하고, 다양한 다중접속 기술 등을 적용하여 통신과 센싱 성능간의 품질을 균형있게 유지하는 연구들이 활발하게 진행되고 있다^[9,10].

2. ISAC 필요성

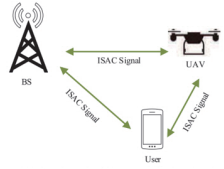
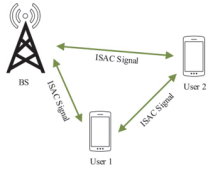
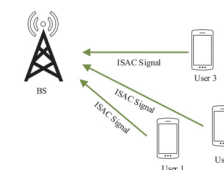
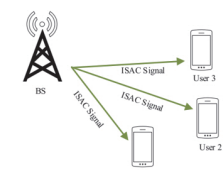
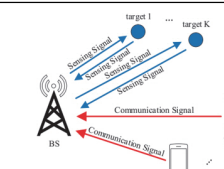
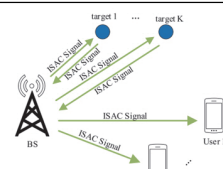
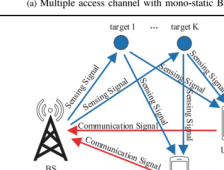
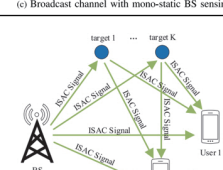
이러한 기술적 진보를 바탕으로, 6G 시대의 도래와 함께 통신과 센싱을 통합하여 상호보완적인 기능을 수행하는 ISAC 시스템은 필수불가결한 차세대 네트워크 패러다임으로 주목받기 시작했다.

IMT-2030, ITU 6G 비전 권고안에 따르면 5G의 목표였던 eMBB, mMTC, URLLC 서비스는 6G에서 그 기준이 상향되었고, 이와 함께 인공지능 결합 통신, 유비쿼터스 연결, 그리고 ISAC 서비스가 추가되었다 <그림 1>^[11]. 또한 6G의 성능 지표로 포지셔닝(Positioning), 커버리지(Coverage), 인공지능 지표, 지속가능성, 상호운용성,

그리고 센싱 지표가 추가되었다. 새롭게 추가된 지표 중 상당 수가 ISAC과 직간접적으로 관련된 지표임을 알 수 있다. 기존의 이동통신 기술이 데이터 전송의 속도와 용량을 중심으로 발전해왔다면, 6G는 지능형 연결과 모든 사물의 초연결을 실현하는 패러다임의 급격하고 획기적인 전환을 예고하고 있다. 앞으로 실현될 자율주행, 스마트 팩토리, 디지털 트윈 등의 산업 분야에서 요구되는 초저지연, 초고신뢰 통신이 가능하려면, 단순한 대역폭 확장만으로는 미래의 통신 요구를 충족하기 어렵다는 것이 자연스럽고 공통된 생각이다.



<그림 1> 6G 목표 시나리오와 6G 핵심성능지표 ^[11]

센싱 대상 송수신 여부	O Device- based ISAC	송수신 적극성	Cooperative Localization = Active 적극적 송수신	 (c) Relay channel with cooperative localization.	 (d) D2D channel with cooperative localization.
			Non-Cooperative Localization = Passive 신호 단순 반사	 (a) Multiple access channel with non-cooperative localization.	 (b) Broadcast channel with non-cooperative localization.
	X Device- Free ISAC	공간적 배치	Mono-Static 송수신기 같은 장소	 (a) Multiple access channel with mono-static BS sensing.	 (c) Broadcast channel with mono-static BS sensing.
			Bi-Static 송수신기 간격 존재	 (b) Multiple access channel with bi-static mobile sensing.	 (d) Broadcast channel with Bi-Static mobile sensing.

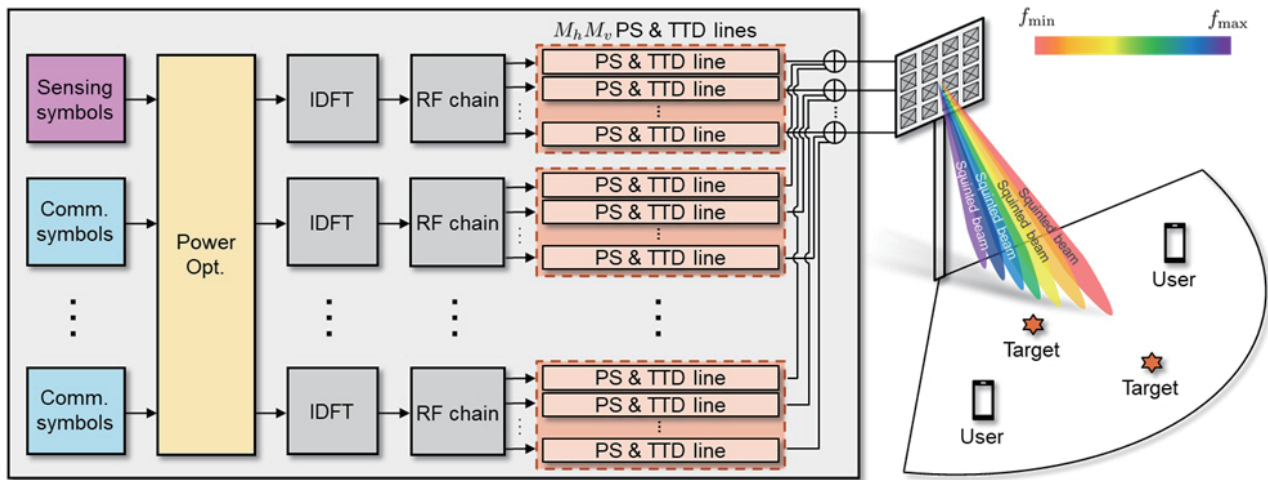
<그림 2> ISAC 시나리오 구분 ^[16]

ISAC은 6G가 마주한 미래의 통신 요구를 다수 해결할 수 있는 시스템이다. ISAC을 활용하면 기존에 레이더와 통신으로 나뉘어 독립적으로 운영되던 전파 자원을 공유하며 스펙트럼 효율을 극대화할 수 있다. 또한 센싱을 통한 통신으로 채널정보로 활용하여 통신 성능을 극대화하거나 통신을 통한 센싱으로 초정밀 센싱이 가능해진다. 게다가 하드웨어 및 네트워크 인프라를 레이더와 통신기기가 공유하여 비용이 절감되고 전력 효율이 향상된다. 그러나 단순히 분리되어 있던 것을 나누어 쓰면서 절약을 통해 얻는 효율만 존재하는 것이 아니다. 센싱과 통신의 시스템이 따로 수행하던 Task를 서로 공유하게 되면서 지능적 데이터 융합을 통해 Application 측면에서도 다양한 응용가능성이 존재한다. 예를 들어 자율주행차는 실시간 환경을 인식하고 동시에 통신하여 자율주행차간 간격을 유지하거나 더 넓은 범위의 환경 지도를 생성할 수 있다. 이외에도 IoT, 메타버스, 디지털 트윈과 같은 차세대

기술과 융합하여 초연결, 초지능 사회를 실현할 수 있다. 따라서 ISAC은 단순한 네트워크의 확장이 아니라 지능형 연결과 사물의 초연결을 통해 6G의 응용 산업을 실현하고 산업의 발전을 촉진하는 핵심 인프라이자 근본적인 혁신 자체이다.

3. ISAC 구분 및 시나리오

ISAC 시스템의 아키텍처는 통신과 센싱 아키텍처의 필수 요소를 바탕으로 하나의 통합된 시스템으로 구성되는 것이 일반적이다. 또한, 계층적 구조로 살펴볼 때, 통신과 센싱 모두 Hardware Layer - Communication Level / Sensing Layer - Application Layer 순으로 구성되기 때문에, Hardware - Signaling - Application의 계층으로 쉽게 통합할 수 있다^[12]. 또한, ISAC 기술은 기존에 운용하는 시스템이 존재하므로 점진적으로 통합하는 방식으로 단계적으로 접근해야 한다고^[13~15] 논문에서



〈그림 3〉 광대역 ISAC 시스템에서 빔편이 현상을 고려한 빔포밍 설계 예시

서 공통적으로 제안하고 있다.

ISAC 연구가 지속됨에 따라 어떤 환경에서, 누가 신호를 송수신하며, 어떻게 센싱이 이루어지는지에 대한 ISAC 시나리오를 정의하고 있다. 이는 각 시나리오별 서로 다른 기술적 요구사항을 반영하여 성능을 최적화하기 위함이다. ISAC 시나리오의 기준은 앞서 설명한 통합 단계 중 어느 단계에서의 통합에 주안점을 두고 있는지가 중요한 인자가 된다.

센싱 기능이 타겟 디바이스의 신호 송수신에 의존하는지 여부에 따라 Device-Based ISAC과 Device-Free ISAC으로 분류할 수 있다<그림 2>^[16]. Device-Based ISAC은 센싱 대상이 신호를 송수신할 수 있는 경우에 송수신 신호에 적극적으로 의존하여 포지셔닝 및 통신을 동시에 수행하는 경우이다. 이에 대해 센싱 대상이 신호를 적극적으로 송수신 하는지(Cooperative Localization), 단순히 신호 반사만 하는지(Non-Cooperative Localization) 한번 더 분류할 수 있다. 반면에 Device-Free ISAC은 센싱 대상이 신호를 송수신하지 않고 반사되거나 산란된 신호를 분석하여 대상의 위치 및 상태를 추정하는 방식으로 레이더 센싱 기반 통신을 주로 이야기한다. Device-Free ISAC은 송수신기의 공간적 배치에 따라 송수신기가 같은 곳에 있어 시스템이 단순하고 근거리 감지에 유리한 모노스테틱과 송수신기가 떨어져있어 넓은 지역을 커버할 수 있지만 시스템이 복잡한 바이스테

틱으로 분류할 수 있다.

또 다른 논문^[17]은 논문^[16]과 용어는 유사하나, 송신기, 수신기의 역할에 따라 8가지 시나리오로 분류하고, 모노스테틱, 바이스테틱, 능동형, 수동형의 센싱 방식 유형과 통신 방향에 따라 8가지 시나리오를 명명하였다.

II. ISAC 핵심 요소 기술

1. 다중 안테나 빔포밍 기술

현재 대부분의 무선 통신 시스템(예, 5G, Wi-Fi)은 다중 안테나 요소들로 구성된 다중 안테나 어레이를 활용하고 있다. 다중 안테나 어레이에서 각 안테나 요소별로 송신되는 신호의 위상 및 세기를 조절하면, 전체 어레이에서 송신되는 신호의 빔을 방향성을 조절할 수 있다. 이를 다중 안테나 빔포밍 기술이라고 부른다^[18]. ISAC 시스템에서 다중 안테나 빔포밍 기술을 활용하면, 센싱을 원하는 특정한 위치 또는 각도에 대해 송신 신호 세기를 집중시킬 수 있으며, 이를 통해 센싱에 필요한 충분한 반사 신호 세기를 확보할 수 있다. 또한, 특정한 위치 또는 각도에 대해 빔을 형성하면, 반사되는 RF 신호 역시 같은 위치 또는 각도에서 들어오게 되며, 이를 통해 원하지 않는 다른 위치에서 반사되는 수신 신호를 효과적으로 억제하는 것도 가능하다. 따라서, 다중 안테나 빔포밍 기술은 ISAC 시스템의 센싱 성능 향상을 위한 핵심적인 요소 기

술이라고 볼 수 있다.

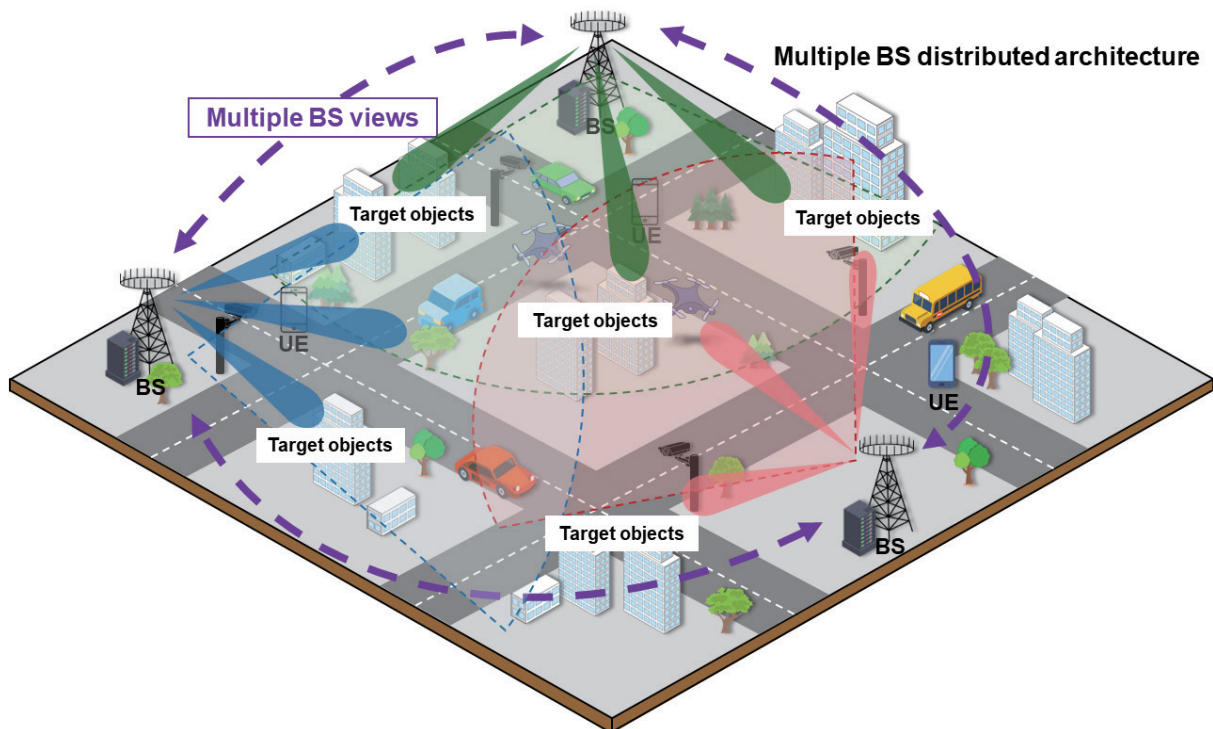
ISAC 시스템을 위한 다중 안테나 빔포밍 기술 연구는 다양한 관점에서 활발하게 진행되고 있다. 센싱 성능을 높이기 위한 빔포밍 기법에 대한 연구는 주로 원하는 위치 또는 각도에 대해 균일한 빔을 형성하며, 다른 위치 또는 각도로 형성되는 빔을 최대한 억제하는 방향으로 진행되고 있다. 통신 사용자와 센싱 타겟이 공존하는 환경에서, 통신 사용자의 통신 성능을 보장하며, 센싱 성능을 최대화 할 수 있는 빔포밍 연구도 존재한다. ISAC 시스템에서 센싱 성능 향상을 위해 광대역 신호를 활용할 경우, 주파수에 따라 빔의 방향이 틀어지는 빔편이 현상을 피할 수 없다. 따라서, 광대역 신호를 활용한 ISAC 시스템에서 빔편이 현상을 고려한 빔포밍 설계 연구도 진행되고 있다 <그림 3>.

2. 자가 간섭 제거 기술

ISAC 시나리오 중 송신 안테나 어레이와 수신 안테나 어레이가 공존하는 모노스택 센싱의 경우, 송신 RF 신호가 수신 안테나로 들어오면서 생기는 자가 간섭을 피할

수 없다. 자가 간섭 신호는 아주 가까운 거리에서 들어오는 신호이므로, 다른 물체 또는 산란체로 인한 간섭 신호보다 훨씬 높은 세기를 가지고 있다. 따라서, 효과적인 자가 간섭 제거(Self-Interference Cancellation, SIC) 기술이 요구되며, 이를 통해 신호 대 간섭비(SIR)를 개선하고, 탐지 및 통신 성능을 동시에 향상시킬 수 있다^[19].

SIC 기술은 일반적으로 여러 단계를 거쳐 자가 간섭 신호를 점진적으로 완화하며, 각 단계는 서로 보완적인 역할을 수행한다. 첫 번째 단계는 안테나 설계를 통한 SIC로써, 안테나 패턴을 최적화하여 송신 신호가 직접 수신 안테나로 들어오는 것을 방지하는 것과 공간 분리를 통해 물리적인 신호 세기를 줄이는 과정이 포함될 수 있다. 또한, 편파 분리 또는 지향성 빔포밍 기술을 활용하여 자가 간섭 신호를 억제하는 것도 가능하다. 두 번째 단계는 아날로그 SIC로써, RF 필터링 기술을 활용하여 특정 주파수 대역의 자가 간섭 신호를 제거한다. 이때 위상 및 진폭 조절 기법을 적용하여 송신 신호의 복사본을 생성하고, 이를 이용해 간섭 신호를 상쇄하는 과정이 적용될 수 있다. 아날로그 SIC를 통해, 저잡음 증폭기로 유입되는 간



<그림 4> 다중 기지국 협력 센싱 시나리오 예시

섭 신호를 줄여 후속 신호 처리 단계의 부담을 경감할 수 있다. 마지막 단계는 디지털 SIC로써, 수신된 신호에서 송신 신호의 특징을 분석하고, 이를 활용하여 자가 간섭 성분을 추출한 후 제거한다. 비선형 왜곡 보상을 위해 고차 모델링 및 적응 필터링 기법을 활용할 수 있다. 또한, 최근 머신러닝 기반을 적용한 SIC 기법도 많은 주목을 받고 있다.

이렇듯, 안테나 설계, 아날로그 신호 처리, 디지털 신호 처리를 결합하여 종합적인 SIC 기법을 적용하면 자가 간섭 신호 세기를 노이즈 수준까지 낮출 수 있다. 이는 모노스태틱 센싱의 신뢰성을 향상시키고, ISAC 시스템의 핵심 응용 분야에서 보다 정밀한 감지 및 통신 성능을 제공하는 데 기여할 것으로 기대된다

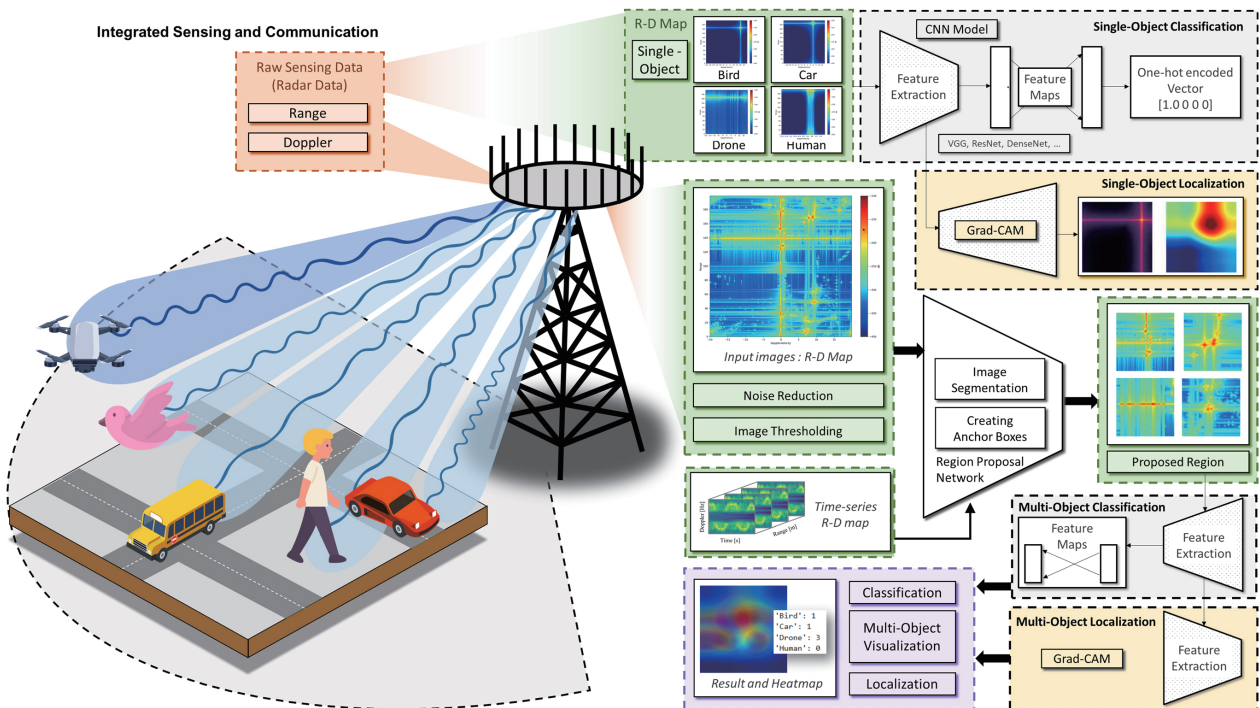
3. 송신 웨이브폼 설계

ISAC 시스템에서 센싱 성능에 큰 영향을 미치는 또 다른 요소로, 송신 신호의 웨이브폼 설계를 들 수 있다. 송신 웨이브폼 설계는 ISAC 시스템의 목표에 따라 다양한 방식으로 최적화될 수 있으며, 각 웨이브폼은 통신 효율,

센싱 성능, 계산 복잡도 측면에서 고유한 특성을 가진다. 따라서, 특정 응용 시나리오에 따라 적절한 웨이브폼을 선택하거나, 새로운 하이브리드 웨이브폼을 설계하는 것이 중요하다.

센싱 성능을 극대화하기 위해, 기존 레이더 시스템에서 활용되는 다양한 펄스 기반 웨이브폼을 적용할 수 있다. 대표적인 예로, 선형 주파수 변조나 펄스 도플러 방식 등을 들 수 있다. 이러한 웨이브폼들은 우수한 센싱 성능을 제공하지만, 일반적으로 낮은 통신 효율을 가지며, 기존 무선 통신 시스템과의 직접적인 호환이 어렵다는 단점이 있다.

기존 통신 시스템에서 사용되는 웨이브폼을 활용하는 경우, 높은 데이터 전송률을 유지하면서 센싱 기능을 동시에 수행할 수 있다. 대표적인 예로, 5G, Wi-Fi 등 현재 무선 통신 시스템에서 표준적으로 사용되는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 웨이브폼을 고려할 수 있다. OFDM은 다중 경로 페이딩 환경에서 강인하며, 높은 통신 효율을 보장한다. 그러나, 센싱을 위한 고해상도 거



〈그림 5〉 인공지능 기술을 활용한 다중 객체 분류 예시

리 및 속도 추출이 어려우며, 추가적인 신호 처리가 필요하다. 또 다른 예로, 직교 시간 주파수 공간(Orthogonal Time Frequency Space, OTFS) 웨이브폼을 고려할 수 있다. OTFS는 도플러 및 거리 차원에서 신호를 처리하는 방식을 활용하여, 이동 환경에서도 안정적인 성능을 제공한다. OFDM 대비 도플러 이동에 대한 강인성이 높아, 빠르게 이동하는 타겟에 맞는 ISAC 기술 구현에 적합하다. 그러나, OTFS 웨이브폼은 일반적으로 OFDM 웨이브폼 대비 높은 수신 복잡도를 가지고 있다.

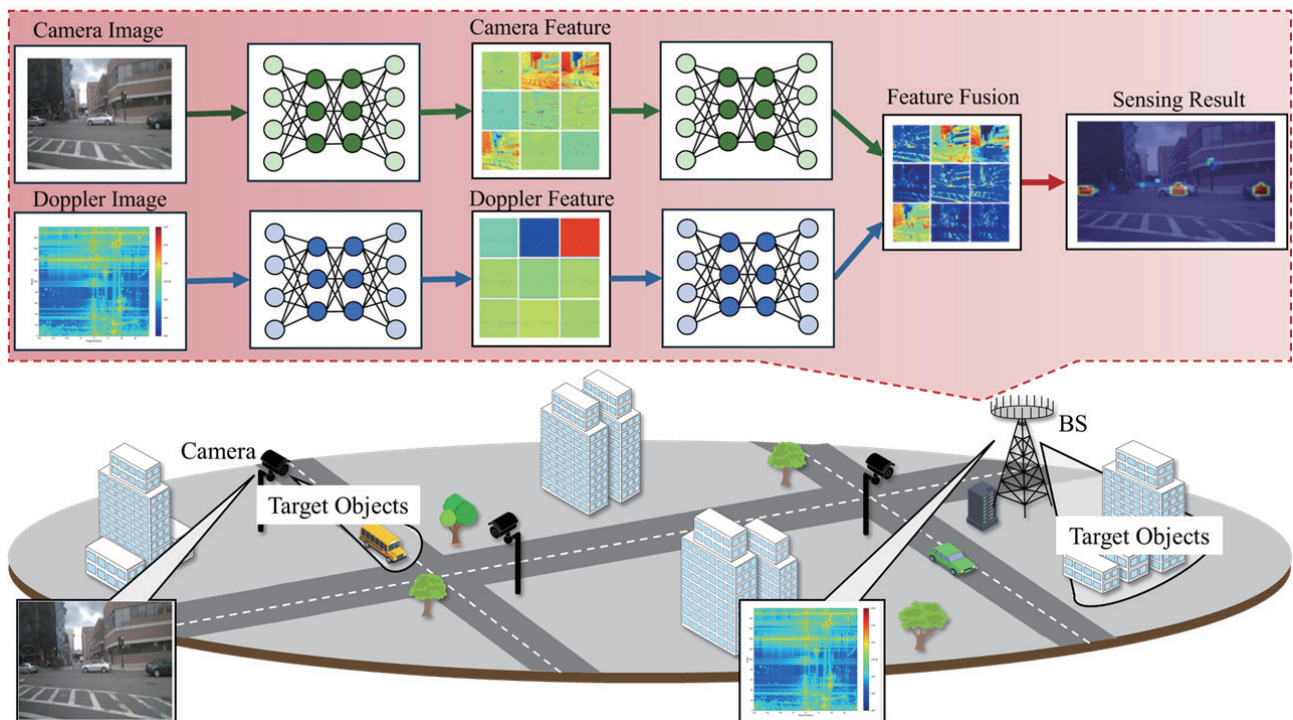
각각의 웨이브폼은 통신 효율, 센싱 성능, 구현 복잡도 측면에서 서로 다른 장단점을 가지므로, ISAC 시스템의 목표와 응용 환경에 따라 적절한 웨이브폼을 선택해야 한다. 또한, 최근에는 하이브리드 웨이브폼 및 AI 기반 최적화 기술을 통해, 기존 방식의 한계를 극복하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 이를 통해 ISAC 시스템은 더욱 유연하고 실용적인 센싱 및 통신 기능을 동시에 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

III. ISAC의 주요 도전 과제

1. 센싱 커버리지 확보

초창기 ISAC 기술 개발 및 연구는 반사 신호가 가시선(Line of Sight, LoS) 경로로 수신되는 경우를 고려해왔다. 이러한 ISAC 기술은 LoS 경로가 확보가능한 영역에 대해서만 센싱 커버리지를 제공할 수 있다. 그러나 실제 ISAC의 운용 환경에서는 건물, 장애물 등으로 인해 지구 또는 단말과 타겟 사이의 LoS 경로 확보가 어려운 경우가 빈번하게 발생할 수 있다. 따라서, LoS 경로를 확보하지 못하는 영역 또는 시나리오에 대한 센싱 커버리지 확장 기술은 ISAC 활용 시나리오 확대에 있어 매우 중요한 도전 과제라고 볼 수 있다.

센싱 커버리지 확대를 위한 핵심 기술로써, 재구성 가능한 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 또는 지능형 반사 표면(Intelligent Reflecting Surface, IRS)을 고려할 수 있다. RIS는 안테나 어레이를 활용하여 RF 신호의 반사를 조절하는 기능을 제공한다^[20]. 적절한 RIS 설계 및 최적화를 통해 밀리미터웨이



〈그림 6〉 카메라 및 Range-도플러를 활용한 객체 인식 예시

브 또는 테라헤르츠 통신에서 LoS가 보장되지 않는 영역에 대한 커버리지 확장을 제공할 수 있음이 널리 알려져 있다^[21,22]. RIS의 장점은 ISAC 시스템에서 LoS를 확보하기 위한 요소 기술로 활용될 수 있으며, ISAC 시스템에 적합한 RIS 설계 및 최적화를 통해 ISAC 센싱 커버리지를 효과적으로 확장할 수 있다^[23].

센싱 커버리지 확대를 위한 또 다른 기술로써, 다중 기지국 협력 시스템 또는 분산형 다중입출력 시스템을 고려할 수 있다. 다중 기지국 협력 시스템의 경우, 서로 다른 위치에서 센싱을 수행하는 다수의 기지국들의 협력을 이용한다. 이때 각 기지국이 확보 가능한 LoS 영역이 서로 다르다는 점을 이용하여 센싱 커버리지를 효과적으로 확대할 수 있다 <그림 4>. 유사한 기술인 분산형 다중입출력 시스템의 경우 하나의 중앙 처리 장치로 연결된 다중 안테나 어레이들이 서로 다른 위치에 설치되어, 다중 기지국과 같은 효과를 제공할 수 있다. 이 경우에도 각 안테나 어레이가 확보한 LoS 영역이 존재하며, 분산된 어레이들에서 수신된 정보 또는 신호를 통합하여 전체 센싱 커버리지를 확대할 수 있다^[24,25].

이 밖에도 이동형 기지국의 역할을 수행할 수 있는 UAV, 위성 등을 활용한 다양한 센싱 커버리지 확장 연구가 수행되고 있으며, 이를 통해 ISAC 시스템 센싱 커버리지에 대한 한계점을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 센싱 기능 확장

현재까지 대부분의 ISAC 기술 개발 및 연구는 단일 또는 다중 타겟을 탐지하는 타겟 탐지와 타겟의 위치 또는 속도를 추정하는 기능에 집중되어 있다. ISAC 통신을 활용한 다양한 Use Case 확보 및 어플리케이션 확대를 위해서는 타겟 분류, 타겟 추적 등 다양한 센싱 기능을 제공할 필요가 있다. 예를 들어, 레이더에서 대표적으로 고려되던 드론과 새의 분류 문제나, 드론 적/아 식별 문제 등은 ISAC 기술이 민간 분야의 적용을 넘어 국방 분야로의 확대 적용하기 위해 해결해야 할 중요한 도전 과제라고 볼 수 있다.

ISAC 시스템의 센싱 기능 확장을 위해 해결해야 할 가장 큰 문제는 클러터(Clutter) 문제이다. 클러터 신호는

원하는 타겟에 의한 반사 신호가 아닌 다른 물체 및 경로로 인한 반사로 발생하는 간섭 신호를 의미한다. 이미 레이더 분야에서는 클러터 신호를 처리하기 위한 다양한 기술들이 개발된 바 있다^[26]. 무선 통신 인프라를 활용한 ISAC 기술에서는 레이더와 다른 특성의 간섭 신호들이 발생할 수 있으며, 이를 해결하기 위한 고유의 기술 개발이 필요할 것으로 예상된다. 예를 들어, 클러터 신호를 처리하기 위해 기존 무선 통신 시스템에서 간섭 신호를 제거하기 위해 활용하였던 빔포밍, 신호 스프레딩, 순차 간섭 제거 등의 기술을 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

대표적인 센싱 기능이라고 볼 수 있는 다중 객체 분류 및 식별 문제의 경우, 이미 레이더 분야에서 개발되어왔던 다양한 기술들을 도입하는 방향을 고려할 수 있다. 먼저, 개별 물체의 전파적 특성을 고려한 특성 추출 및 신호 처리 방식을 도입할 수 있다. 또 다른 방식으로, 인공지능 기술을 활용한 객체 분류 기술을 고려할 수 있다. 해당 기술은 드론, 새, 사람, 자동차 등의 다양한 객체가 존재할 때, 각 객체가 가지고 있는 Range 및 도플러 특성 등을 활용하여 서로 다른 객체를 분류하는 기술이다 <그림 5>. 다만, 다중 객체 분류 및 식별 기술의 경우, 타겟 종류 및 환경의 다양성으로 인해 레이더 분야에서도 여전히 도전적인 과제로 여겨지고 있는 실정이다. 따라서, 기존 기술의 도입뿐만 아니라 ISAC 시스템의 무선 환경 및 전파 특성을 이용한 고유의 기술 개발을 통해 센싱 기능의 확대를 실현하는 것은 여전히 중요한 과제라고 할 수 있다.

3. 이종 센서 협동 기술

현존하는 대부분의 ISAC 기술들은 기지국 또는 단말에서 확보된 RF 수신 신호를 활용한 센싱 기능 제공에 집중되어 있다. 그러나, 통신 RF 신호 기반 센싱만 의존하는 경우, 환경에 따라 성능 제약이 매우 크며, RF 신호의 근본적인 한계로 인해 식별, 분류 등에서 충분한 성능/기능을 제공하지 못할 수 있다. 현재 다양한 목적으로 운용되고 있는 다른 센서(예, 광학, IR, 열화상 등)들을 ISAC 시스템과 함께 결합하면, 다양한 센싱 서비스 제공 및 성능 향상이 가능할 것으로 예상된다.

이종 센서와의 협동을 고려한 통합 센싱 기술 개발을

위해서는, 이중 센서에 따른 센싱 데이터 특성 및 장단점 분석이 필수적이다. 예를 들어, 광학 카메라는 물체 식별을 위한 정보를 제공하는 대신, 위치 및 속도에 대한 정보 제공은 어렵다. 반면에 Range 및 도플러를 활용한 ISAC 기술은 물체의 위치 및 속도에 대한 정확한 정보 제공이 가능하다. 따라서, 이 두 기술을 결합하면 타겟에 대한 다양한 정보를 획득하는 것이 가능하다 <그림 6>. 이중 센서 및 RF 신호에서 제공되는 특성을 종합적으로 고려하기 위해 멀티모달 인공지능을 활용할 수 있다. 이를 통해 직접적인 해석이 어려운 이중 데이터에 대해서도 센싱 성능을 달성하기 위한 효과적인 정보 융합 방식을 제공할 수 있다.

이중 센서와의 협동을 고려한 통합 센싱 시스템에서 모든 환경에 대해 다수개의 센서를 동시에 구동시키는 것은 전력 및 데이터 처리 관점에서 매우 비효율적인 방식이라고 할 수 있다. 특별히, 각 센서에서 수집되는 데이터의 양은 굉장히 방대한 반면, 모든 상황에서 다양한 센싱 정보가 요구되는 것은 아니다. 예를 들어, 야간 환경 또는 장애물로 가로막힌 상황에서 광학 카메라는 의미있는 정보 제공이 어렵다. 따라서, 센싱 목적, 환경, 데이터 특성에 따라 선택적인 센싱 정보 결합 및 운용 기술을 개발하는 것도 남아있는 중요한 과제라고 할 수 있다.

IV. 결론

ISAC 기술은 통신과 센싱을 융합하여 차세대 무선 네트워크의 혁신을 이끄는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 본 원고에서는 ISAC의 개념과 필요성, 핵심 요소 기술 및 도전 과제에 대해 논의하였다.

ISAC은 기존 무선 네트워크가 직면한 주파수 자원의 한계를 극복하고, 더욱 정밀한 환경 인식을 가능하게 함으로써 다양한 응용 분야에서 필수적인 기술로 자리매김할 것이다. 특히, 6G 네트워크에서는 초연결, 초저지연, 초정밀 센싱이 요구되며, ISAC은 이러한 요구를 충족시키는 핵심 인프라로서의 역할을 할 것이다.

아직 ISAC 기술의 실용화를 위해서는 여전히 해결해야 할 도전 과제가 많다. 센싱 커버리지 확보, 센싱 기능 확

장, 이중 센서 협동 기술 개발 등은 ISAC 기술의 실현 및 서비스 확대를 위한 중요한 연구 과제이다.

결론적으로, ISAC 기술은 6G 시대의 도래와 함께 무선 네트워크의 패러다임을 변화시키는 중요한 혁신 요소로 작용할 것이며, 향후 지속적인 연구 개발과 표준화 노력이 이루어진다면, 다양한 산업 분야에서 광범위하게 활용될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 글은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00453301).

참고 문헌

- [1] R. M. Mealey, "A Method for Calculating Error Probabilities in a Radar Communication System," in IEEE Transactions on Space Electronics and Telemetry, vol. 9, no. 2, pp. 37–42, June 1963
- [2] V. Giannini et al., "9.2 A 192–Virtual–Receiver 77/79GHz GMSK Code–Domain MIMO Radar System–on–Chip," 2019 IEEE International Solid–State Circuits Conference – (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2019
- [3] S. Jang, J. Lee, Y. Choi, D. Kim and G. Kim, "Recent Advances in Ultrahigh–Speed Wireline Receivers With ADC–DSP–Based Equalizers," in IEEE Open Journal of the Solid–State Circuits Society, vol. 4, pp. 290–304, 2024
- [4] L. Chen, L. Chen, D. Sun, Y. Sun, Y. Pan and X. Zhu, "A 39 GHz Doherty–Like Power Amplifier With 22dBm Output Power and 21% Power–Added Efficiency at 6dB Power Back–Off," in IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 14, no. 1, pp. 88–99, March 2024
- [5] Das, S. Mohan and Kota Venkata Ramanaiah, "Blocker tolerant cascode LNA for Wifi & IoT applications," International Journal of Communication Systems 37 2024
- [6] X. Yang, Z. Wei, J. Xu, Y. Fang, H. Wu and Z. Feng, "Coordinated Transmit Beamforming for Networked ISAC With Imperfect CSI and Time Synchronization," in IEEE Transactions

- on Wireless Communications, vol. 23, no. 12, pp. 18019–18035, Dec. 2024
- [7] S. Buzzi, C. D'Andrea and S. Liesegang, "Scalability and Implementation Aspects of Cell-Free Massive MIMO for ISAC," 2024 19th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Rio de Janeiro, Brazil, 2024
- [8] H. Shi, C. Yang, J. Yuan and M. Peng, "Wideband Terahertz ISAC Meets Phased Array: A Link-Level Performance Analysis Perspective," 2024 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Hangzhou, China, 2024
- [9] C. Han, Y. Wu, Z. Chen, Y. Chen and G. Wang, "THz ISAC: A Physical-Layer Perspective of Terahertz Integrated Sensing and Communication," in IEEE Communications Magazine, vol. 62, no. 2, pp. 102–108, February 2024
- [10] Z. Wang, Y. Liu, X. Mu, Z. Ding and O. A. Dobre, "NOMA Empowered Integrated Sensing and Communication," in IEEE Communications Letters, vol. 26, no. 3, pp. 677–681, March 2022
- [11] SWG IMT-2030, "Framework and overall objectives of the future development of IMT," FRAMEWORK for 2030 and Beyond, 2023
- [12] Y. Cui, F. Liu, X. Jing and J. Mu, "Integrating Sensing and Communications for Ubiquitous IoT: Applications, Trends, and Challenges," in IEEE Network, vol. 35, no. 5, pp. 158–167, September/October 2021
- [13] 김선우 외 3인, "차세대 통신을 위한 ISAC 시스템 동향", 위치정보 산업 동향 보고서, Nov. 2024
- [14] J. Wang, L. Ma, Z. Wei, H. Yang, C. Pan and Y. Wang, "Multi-beam-based Downlink Modeling and Power Allocation Scheme for Integrated Sensing and Communication towards 6G," 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022–Spring), Helsinki, Finland, 2022
- [15] Y. Ding, X. Li, Y. Cai and Z. Wu, "Advancements in ISAC: A Review of Multi-Antenna Technology Integration for Next-Generation Communication and Sensing Systems," 2024 12th International Conference on Information Systems and Computing Technology (ISCTech), Xi'an, China, 2024
- [16] A. Liu et al., "A Survey on Fundamental Limits of Integrated Sensing and Communication," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 2, pp. 994–1034, Secondquarter 2022
- [17] J. Wang, L. Ma, Z. Wei, H. Yang, C. Pan and Y. Wang, "Multi-beam-based Downlink Modeling and Power Allocation Scheme for Integrated Sensing and Communication towards 6G," 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022–Spring), Helsinki, Finland, 2022
- [18] Ali, E., Ismail, M., Nordin, R. et al., "Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research," Frontiers Inf Technol Electronic Eng 18, pp. 753–772, 2017
- [19] S. Hong et al., "Applications of self-interference cancellation in 5G and beyond," in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 114–121, February 2014
- [20] K. Zhong, J. Hu, C. Pan, M. Deng and J. Fang, "Joint Waveform and Beamforming Design for RIS-Aided ISAC Systems," in IEEE Signal Processing Letters, vol. 30, pp. 165–169, 2023
- [21] M. Nemat, J. Park and J. Choi, "RIS-Assisted Coverage Enhancement in Millimeter-Wave Cellular Networks," in IEEE Access, vol. 8, pp. 188171–188185, 2020
- [22] W. Aman, N. Kouzayha, M. M. U. Rahman and T. Y. Al-Naffouri, "On the Downlink Coverage Performance of RIS-Assisted THz Networks," in IEEE Communications Letters, vol. 28, no. 1, pp. 228–232, Jan. 2024
- [23] Z. Yu et al., "Active RIS-Aided ISAC Systems: Beamforming Design and Performance Analysis," in IEEE Transactions on Communications, vol. 72, no. 3, pp. 1578–1595, March 2024
- [24] D. Wang, J. Wang, X. You, Y. Wang, M. Chen and X. Hou, "Spectral Efficiency of Distributed MIMO Systems," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 10, pp. 2112–2127, October 2013
- [25] E. C. Strinati et al., "Toward Distributed and Intelligent Integrated Sensing and Communications for 6G Networks," in IEEE Wireless Communications, vol. 32, no. 1, pp. 60–67,



February 2025

- [26] H. Luo et al., "Integrated Sensing and Communications in Clutter Environment," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 23, no. 9, pp. 10941–10956, Sept. 2024



김 계 윤

- 2024년 8월 포항공과대학교 기계공학과 학사
- 2024년 9월 ~ 현재 포항공과대학교 전자전기공학 석사과정

〈관심 분야〉

무선 통신, 센싱-통신-융합, UAV 통신, 강화학습, 위성 통신



전 요 셸

- 2012년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 학사
- 2016년 8월 포항공과대학교 전자전기공학과 박사
- 2016년 9월 ~ 2018년 8월 포항공과대학교 박사후연구원
- 2018년 9월 ~ 2020년 1월 프린스턴대학교 박사후연구원
- 2020년 2월 ~ 현재 포항공과대학교 전자전기공학과 부교수

〈관심 분야〉

무선 통신, 다중안테나 통신, 인공지능 기반 통신, 분산형 인공지능

ISAC 기술 발전 현황

I. 서론

ISAC (Integrated Sensing and Communication)은 센싱과 통신 기능을 하나의 시스템으로 통합하는 차세대 무선 통신 기술로, 특히 6G와 같은 고도화된 무선 통신 분야에서 핵심 기술로 주목받고 있다. 기존에는 센싱과 통신이 별도의 시스템으로 운영되면서 각각 전용 인프라, 주파수 대역, 신호 처리 방식을 요구해 왔다. 그러나 ISAC 기술을 도입하면 이러한 요소들을 단일 플랫폼으로 통합할 수 있어, 스펙트럼 및 에너지 효율을 높이고 하드웨어 비용을 절감할 수 있다.

통신 기술은 데이터를 송신기에서 수신기로 손실 없이 전송하는 데 중점을 두며, 채널 등에 의한 데이터의 왜곡을 최소화하기 위해 프리코딩 등의 기법들을 적용한다. 반면, 센싱 기술은 송신된 신호가 타겟에 의해 반사되어 들어오는 신호에서 지연 시간, 도플러 이동 등의 정보를 추출하여 타겟의 속도, 위치 등의 정보를 파악하는 것을 목적으로 한다. 이 두 기술 모두 전자기파를 기반으로 하고 유사한 채널 특성과 신호 처리 방식을 공유하지만, 서로 다른 목적 때문에 서로 다른 주파수, 목표 성능을 중심으로 독립적으로 발전해왔다. 그러나, 통신 측면에서 주파수 부족 문제 해결과 초고속 전송이 중요해지면서 고주파수를 이용한 통신 방법이 활발하게 연구되기 시작하였다. 이런 방향성은 센싱에서 사용되는 기술 및 주파수 대역 대와 겹쳐지게 되면서 자연스럽게 센싱과 통신을 융합하는 ISAC 기술이 활발하게 연구되고 있다^[1].

ISAC이 주목받는 주된 이유는 제한된 자원의 효율적 활용과 새로운 서비스 창출 가능성 때문이다. 센싱과 통신을 각각 운용하던 기존 방식에서 벗어나 통합된 ISAC 구조로 전환함으로써 사용 주파수를 공유하고, 스펙트럼 효율과 에너지 효율을 동시에 최적화시킬 수 있다. 이는 기존의 시스템처럼 센싱과 통신에 서로 다른 주파수를 배정할 필요가



강준
KAIST



배수민
UNIST



최진석
KAIST

없이 주파수 포화 문제를 완화할 수 있으며, 한정된 자원을 더욱더 효율적으로 사용할 수 있게 한다. 더욱이, 일부 부품 공유 및 기존 통신 기기 재활용 가능성 등에 의한 요소 때문에 인프라 및 하드웨어 비용 역시 절감할 수 있으므로, 차세대 무선 통신 환경에 필요한 경제성 및 한정된 자원 사용의 효율성을 함께 확보할 수 있다^[2].

ISAC 기술은 자율주행 차량, 사물 인터넷 (IoT) 등 다양한 분야에서 새로운 가능성을 열어줄 것으로 기대된다. 예를 들어, 스마트 IoT 기기에 ISAC 기술을 적용하면, 일상적으로 존재하는 무선 신호 (예: Wi-Fi, 5G)를 활용하여 사용자의 물리적·생리적 상태를 센싱하고 이를 실시간으로 분석할 수 있다^[3]. 이는 기기가 사용자 명령만을 수동적으로 수행하는 것을 넘어, 사용자 상태에 즉각적으로 반응하는 지능형 시스템 구현을 가능하게 한다.

자율주행 차량 분야에서도 ISAC은 차량이 주변 물체 및 도로 상태를 센싱하면서 동시에 다른 차량들과 통신함으로써 탑승자에게 최적의 경로를 제공할 수 있다. 또한, 감지용 센서와 통신용 안테나를 통합해 시스템 크기와 무게를 경량화할 수 있으며, 전력 사용 효율을 높일 수 있기 때문에 자율주행 기술 발전에 크게 기여할 것으로 전망된다^[4].

ISAC 기술은 장점이 많은 동시에 해결해야 할 과제도 안고 있다. 우선, 센싱 신호와 통신 신호를 동시 송수신함에 따라 발생하는 새로운 형태의 간섭은 시스템 성능 저하를 야기할 수 있으므로, 정교한 간섭 관리 방안이 필수적이다. 또한, 센싱과 통신 사이의 트레이드오프를 고려해 요구되는 시스템 성능에 맞추어 자원 등을 어떻게 배정할 것인지 역시 중요한 고려 사항이다. 이러한 문제 해결을 위해 센싱 및 통신 통합 파형 설계, 자원 할당 알고리즘 등이 활발히 연구되고 있으며, 향후 ISAC 기술의 상용화 및 표준화 과정에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

II. 센싱과 통신의 트레이드오프

앞에서 언급한 것처럼 센싱 및 통신 사이에는 트레이드오프가 존재한다. 이 관계를 이해하고 시스템 요구사항에

부합하는 시스템 문제를 만들고 해결하는 것은 매우 중요하다. 이번 장에서는 다양한 상황에서 센싱과 통신은 어떤 트레이드오프 관계를 가지는지 알아보도록 하겠다.

1. 정보 이론적 관점에서의 트레이드오프

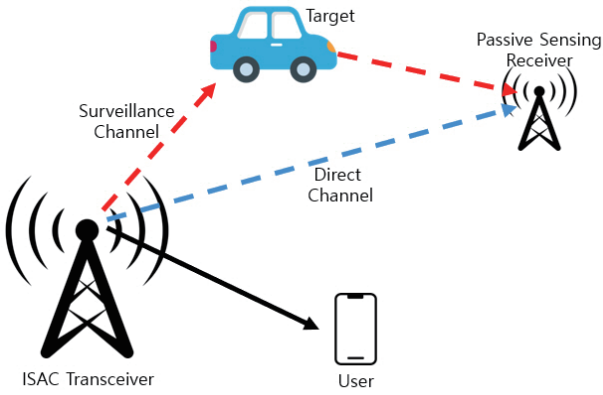
정보이론을 바탕으로 ISAC 시스템의 이론적 한계를 이해하는 것은 매우 중요하다. 하지만, 센싱은 통신처럼 정보 이론적으로 면밀하게 분석되어 있지 않기 때문에 ISAC 시스템을 이론적으로 평가하기 위해서는 새로운 분석 기술이 필요하고, 이와 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 여기서는 ISAC 분야에서 가장 많이 알려진 정보 이론적 결과를 소개하고자 한다^[5]. 이 관계식은 아래 수식과 같으며, 인풋-아웃풋 상호 정보량 (mutual information)과 센싱 정보의 최소 평균 제곱 오차 (MMSE)의 관계식을 보여준다:

$$\frac{d}{d \text{ snr}} I(\text{snr}) = \frac{1}{2} \text{MMSE}(\text{snr}).$$

위 수식에서 사용된 채널은 가우시안 채널이며, snr 은 수신 신호 대 잡음 파워로 정의한다. 이 식은 센싱 성능과 통신 성능의 증가량 사이에 서로 트레이드오프 관계가 있음을 시사한다. 높은 센싱 성능을 가진다는 의미는 $\text{MMSE}(\text{snr})$ 값이 작은 값을 가진다는 의미이며, 이는 snr 에 따른 $I(\text{snr})$ 의 변화량이 감소함을 의미한다. 다시 말하면, 센싱 성능이 좋아질수록 snr 에 따른 통신 성능 증가율이 감소하고, 반대로 센싱 성능이 낮아질수록 snr 에 따른 통신 성능 증가율이 증가한다. 이는 두 기술의 명확한 트레이드오프를 보여준다.

2. 탐지 (detection) 대 통신 트레이드오프

이번에는^[6]에서 분석한 통신과 타겟의 탐지를 동시에 진행할 때 발생하는 트레이드오프를 알아보겠다. 여기서 이야기하는 탐지란 물체의 존재 여부 혹은 어떤 현상이 발생 여부를 확인하는 행위를 의미한다. 전체적인 시스템은 <그림 1>과 같다. ISAC 송신기는 $s_{\text{sen}}(t)$ 의 센싱 신호를 송출하여 물체를 탐지하며, 동시에 $s_{\text{com}}(t)$ 의 통신 신호를 송출하여 유저에서 데이터를 전송한다. 여기서는 각 신호의 간섭은 없다고 가정한다. 이때, 탐지 확률 P_D 을



(그림 1) 탐지 대 통신 시스템 구조

극대화하면서 최소 통신 성능 R_{th} 을 제공하는 파워 할당 최적화 문제는 아래와 같이 구성할 수 있다:

$$\max_{P_s, P_c} P_D \quad s.t. \quad R \geq R_{th}, \quad P_s + P_c = P_T.$$

여기서 P_s 와 P_c 은 각각 센싱 및 통신에 사용되는 파워를 의미하며, P_T 는 전체 사용 파워를 의미한다. 또한, R 은 달성할 수 있는 통신 전송률로 P_s 에 대해 로그 증가 관계를 가진다. 이 시스템에서 탐지 확률은 아래와 같이 Marcum Q 함수 $Q_1(a, b)$ 를 이용해 정의할 수 있다^[6]:

$$P_D \approx Q_1 \left(\sqrt{2 \left(P_T - \frac{1}{\gamma_c} (2^{R_{th}} - 1) \right) \frac{|\gamma_d|^2}{\sigma^2}}, \sqrt{2\gamma} \right).$$

여기서 γ_c 은 통신 채널 이득, γ_d 는 센싱 채널 스칼라 계수, γ 은 탐지 최소 성능, σ^2 은 AWGN (additive white gaussian noise) 잡음 파워이다. 위 식에서 알 수 있는 점은 R_{th} 이 증가할수록 P_D 값이 감소한다는 점이다. 즉, 위의 식과 최적화 문제를 통해 전력 자원을 공유하는 상황에서 센싱과 통신은 명확한 트레이드오프 관계를 가진다는 것을 알 수 있다.

3. 추정 (estimation) 대 통신 트레이드오프

[7]은 ISAC 시스템에서 시간, 주파수, 전력 등을 센싱과 통신에 완전히 재사용함으로써, ISAC 시스템에서 추정 성능을 최적화하고 최대 통합 이득을 달성하는 방법을 제안했다. 여기서 추정은 감지하고자 하는 표적의 속도, 거리, 각도 등을 알아내는 것을 의미한다. 이 논문에서 사

용한 시스템은 <그림 2>와 같다.

ISAC 송신기는 N_t 개의 송신안테나와 $N_r \geq N_t$ 개의 수신안테나를 가지고 있다. K 명의 하나의 안테나를 가지고 있는 유저들에게 통신을 진행하며, 동시에 한 명 이상의 타겟을 센싱한다. 이 시스템에서 특정 시간 L 동안 송신되는 신호 $\mathbf{X} \in \mathbb{C}^{N_t \times L}$ 의 반사 수신 신호 ($\mathbf{Y}_R$)와 통신 수신 신호 ($\mathbf{Y}_C$)는 아래와 같다:

$$\mathbf{Y}_R = \mathbf{G}\mathbf{X} + \mathbf{N}_R, \quad \mathbf{Y}_C = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{N}_C.$$

여기서 $\mathbf{G} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ 과 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{K \times N_t}$ 은 각각 표적 반사 응답 채널과 통신 채널을 의미한다. 즉, $\mathbf{G}$ 는 표적의 거리, 속도, 방향 등과 관련된 정보들을 반영하고 있다. $\mathbf{N}_R$ 과 $\mathbf{N}_C$ 은 각각 σ_R^2 과 σ_C^2 의 파워를 가지고 있는 AWGN 행렬이다. $\mathbf{G}$ 의 최대우도추정 (MLE)은 $\hat{\mathbf{G}}_M = \mathbf{Y}_R \mathbf{X}^H (\mathbf{X} \mathbf{X}^H)^{-1}$ 알려져있으며, 이때 $\mathbf{G}$ 를 추정하는 평균 제곱 오차 (MSE)의 식은 아래와 같이 계산할 수 있다^[8]:

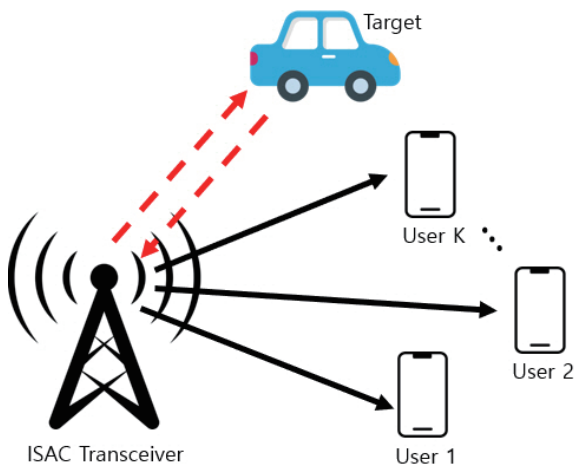
$$E \{ \|\mathbf{G} - \hat{\mathbf{G}}_M\|^2 \} = \frac{\sigma_R^2 N_r}{L} \text{tr}(\mathbf{R}_X^{-1}).$$

여기서 $\mathbf{R}_X = \frac{1}{L} \mathbf{X} \mathbf{X}^H$ 이다. 이를 바탕으로 추정 성능 최적화 문제는 아래와 같이 공식화할 수 있다:

$$\min_{\mathbf{X}} \text{tr}(\mathbf{R}_X^{-1}) \quad s.t. \quad \|\mathbf{X}\|_F^2 \leq L P_T, \quad c_i(\mathbf{X}) \leq C_i, \quad \forall i.$$

여기서 첫 번째 제약조건은 전체 사용 파워 관련 조건이며, 두 번째 제약조건은 통신 성능과 관련된 식이다. 통신 성능 제약 조건은 목적에 따라 다르게 정의할 수 있다. 예를 들어, 통신 성능 제약 조건을 유저당 SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio)값의 최소값을 설정하여서 제한하고 싶다면 그에 맞추어 $c_i(\mathbf{X}) \leq C_i, \forall i$ 을 정의하면 된다. 이 최적화 문제는 센싱과 통신 간의 모순을 가지고 있으며, 이 모순을 해결하는 과정에서 트레이드오프가 발생한다.

$\text{tr}(\mathbf{R}_X^{-1})$ 값이 존재하기 위해서는 $\mathbf{X}$ 가 풀랭크 (full rank)여야 한다. 센싱 관점에서 랭크가 N_t 인 $\mathbf{G}$ 를 추정하기 위해서는 모든 자유도 (DoF)를 사용해야 함으로 $\mathbf{X}$ 는 N_t 랭크를 가진다. 하지만, 통신에서는 다른 결과가 도출된다. $\mathbf{H}$ 의 자유도는 $\min(N_t, K)$ 로 제한되며, 대규모 안테나를 사용하는 경우 $\mathbf{H}$ 은 K 의 랭크를 가진다. 즉, 통



〈그림 2〉 추정 대 통신 시스템 구조

신에서의 $\mathbf{X}$ 는 K 랭크를 가진다. 이는 $\mathbf{R}_X$ 의 랭크 부족을 의미하며, 역행렬을 구할 수 없다는 의미이다. 이를 해결하기 위해^[7]은 아래와 같이 통신 데이터 $\mathbf{S}_C \in \mathbb{C}^{K \times L}$ 에 센싱을 위한 데이터 $\mathbf{S}_A \in \mathbb{C}^{(N_t - K) \times L}$ 을 추가하여 $\mathbf{X}$ 가 풀랭크를 가지도록 구성한다:

$$\mathbf{X} = [\mathbf{W}_C, \mathbf{W}_A] \begin{bmatrix} \mathbf{S}_C \\ \mathbf{S}_A \end{bmatrix} = \mathbf{W}_C \mathbf{S}_C + \mathbf{W}_A \mathbf{S}_A.$$

여기서 $\mathbf{W}_C$ 와 $\mathbf{W}_A$ 는 프리코더를 의미한다. 이를 통해 풀랭크 $\mathbf{X}$ 를 구성할 수 있지만, $\mathbf{S}_A$ 로 인해 유저당의 SINR에 아래와 같이 추가적인 잡음이 추가되며, 이는 궁극적으로 통신 성능을 저하한다:

$$SINR_k = \frac{|h_k^H \mathbf{w}_k|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K |h_k^H \mathbf{w}_i|^2 + \|\mathbf{h}_k^H \mathbf{W}_A \mathbf{S}_A\|^2 + \sigma_C^2}.$$

정리하면, 추정 최적화 문제에서 센싱과 통신을 동시에 사용하기 위해서는 센싱 데이터 스트림이 추가되고, 이는 통신 성능을 저하시켜 서로 간의 트레이드오프를 발생시킨다.

III. 센싱-통신 통합 파형 설계 특징

앞 장에서 살펴본 바와 같이, 센싱과 통신을 통합하여 시스템을 설계하면 필연적으로 트레이드오프가 발생하게 되며, 신호 자원을 공유하는 ISAC 시스템에서 신호 파형 설계는 핵심적인 역할을 담당한다. 센싱과 통신 결합 정

도에 따라 센싱-통신 통합 파형은 약하게 결합된 방식부터 완전 통합 방식까지 다양하게 구상될 수 있다. 본 장에서는 이러한 파형 설계 방식을 개괄적으로 살펴본다.

1. 분리된 자원 할당을 통한 통합 파형 설계

센싱과 통신을 분리된 자원 위에서 수행하는 방법은 상호 간섭을 피할 수 있는 직관적인 접근법으로, 시간, 주파수, 공간, 코드와 같은 다양한 도메인에서 구현될 수 있다.

시간 분할 센싱-통신 통합 파형은 기존 상용 시스템에 쉽게 적용 가능한 가장 약하게 결합된 방식으로, 센싱과 통신이 시간적으로 분리되어 수행된다. 예를 들어, 주기적인 FMCW 파형이 센싱에 사용되고, 다양한 변조 방식이 통신에 활용될 수 있다. 이 방식은 IEEE 802.11p 및 802.11ad와 같은 표준에서도 채널 추정 신호를 센싱 목적으로 활용하며 구현되고 있다.

주파수 분할 센싱-통신 통합 파형은 OFDM 파형을 기반으로 센싱과 통신을 다른 서브캐리어에 할당하여 자원을 분리하는 방식이다. 이를 통해 채널 조건, 센싱 및 통신 성능 지표, 송신 전력에 따라 서브캐리어와 전력을 최적화할 수 있다.

공간 분할 센싱-통신 통합 파형은 MIMO 및 대규모 MIMO 기술의 발전으로 주목받고 있으며, 센싱과 통신이 서로 직교하는 공간 자원을 통해 수행된다. 예를 들어, LoS 환경에서는 서로 다른 공간 빔으로 센싱과 통신 신호를 전송하며, 다중 경로 환경에서는 센싱 신호를 통신 채널의 영공간에 투영하여 간섭을 방지할 수 있다.

센싱과 통신 신호를 직교 혹은 준직교 코드 시퀀스로 다중화하는 방식을 통해 코드 분할 센싱-통신 통합 파형을 설계할 수도 있다. 이 과정에서 신호 간 간섭을 최소화하고 신뢰성을 높이기 수신단에서 통신 신호를 먼저 복원한 후 이를 제거하고 남은 신호로부터 센싱 신호를 추출하는 SIC 기법을 활용할 수 있다.

2. 완전 통합 파형 설계

센싱-통신 완전 통합 파형 설계 방식은 크게 3가지로 나뉜다. 센싱 중심 설계 (Sensing-centric Design), 통

신 중심 설계 (Communication-centric Design), 그리고 공동 설계 (Joint Design) 방식이다. 다음에서는 각 접근 방식에 대해 설명한다.

가. 센싱 중심 설계

센싱 중심 설계는 기존 센싱 파형 또는 인프라에 통신 기능을 통합하는 것을 목표로 하며, 센싱 성능이 우선적으로 보장된다. 다만, 순수한 레이더 센싱 파형은 통신 신호를 포함하지 않기 때문에, 센싱 중심 설계의 핵심은 센싱 성능을 크게 저하시키지 않으면서 정보 데이터를 센싱 파형에 삽입하는 데 있다.

– 시간-주파수 도메인 삽입

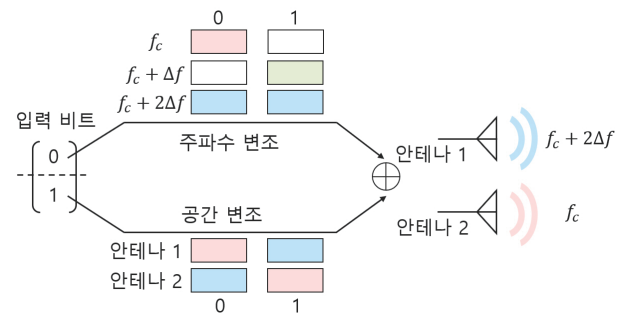
초기 센싱 중심 설계 연구는 시간-주파수 도메인에서 정보를 삽입하는 방식에 초점을 맞췄다. 예를 들어, 레이더 응용에서 널리 사용되는 Chirp 신호는 큰 시간-대역폭 곱을 가지며, 펄스 압축 또는 매칭 필터링 기법을 통해 우수한 거리 추정 성능을 제공한다. Chirp 신호가 가지는 파라미터 (진폭, 시작 주파수, 초기 위상)에 변조를 적용하여 통신 데이터를 삽입할 수 있으며, 각각 ASK, FSK, PSK의 변조 방식이 활용 가능하다.

– 공간 도메인 삽입

공간 도메인을 활용한 방식에서는 MIMO 레이더 시스템의 통신 데이터를 사이드로브 (sidelobe) 레벨에 삽입한다. 주 빔은 타겟 센싱에 사용되고, 통신 데이터는 사이드로브 레벨의 변화를 통해 전송된다. 예를 들어, 사이드로브 레벨이 “0”과 “1” 데이터를 나타내도록 설계된 빔포밍 벡터를 사용하며, 이를 통해 레이더 성능을 유지하면서 통신 기능을 통합할 수 있다. 다만, 사이드로브 레벨 변동 방식은 레이더 성능, 특히 오경보율 (False Alarm Rate)에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 고려한 섬세한 설계가 요구된다.

– 인덱스 변조

센싱 중심 설계의 또 다른 유망한 접근 방식은 인덱스 변조를 활용하는 것이다. 예를 들어, MIMO 레이더에서 어떤 캐리어 주파수를 선택할 지와 선택한 주파수 대역의 안테나 할당 방식에 따른 조합으로 통신 데이터를 인코딩하여 전달할 수 있다. 이를 통해 통신 데이터는 레이더 펄



〈그림 3〉 인덱스 변조를 활용한 ISAC 파형 설계 예시

스 간 분산되며, 센싱 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

나. 통신 중심 설계

통신 중심 설계는 기존 통신 파형이나 시스템 위에 센싱 기능을 구현하는 방식으로, 통신 성능이 우선적으로 보장된다. 송신 측에서 통신 파형이 완전히 알려져 있으므로 단일 정적 센싱 (mono-static sensing)이 가능하다. 그러나 통신 데이터의 랜덤성이 시스템의 센싱 성능을 저하시킬 수 있다는 부분이 약점이다.

– OFDM 기반 설계

OFDM 파형은 5G 표준과의 높은 호환성 덕분에 통신 중심 설계에서 널리 사용된다. OFDM 신호는 다중 서브캐리어를 활용하여 데이터를 전송하며, 다음과 같이 표현된다.

$$s_{OFDM}(t) = \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_c} d_{m,n} e^{j2\pi f_n t} \text{rect}\left(\frac{t - (m-1)T}{T}\right)$$

여기서 N_s 와 N_c 는 OFDM 신호 프레임에서 각각 OFDM 심볼의 개수와 서브캐리어의 개수이며, $d_{m,n}$ 은 n 번째 서브캐리어에서의 m 번째 데이터 심볼, f_n 은 n 번째 서브캐리어 주파수, 그리고 T 는 OFDM 심볼 구간의 길이를 의미한다.

OFDM 기반 센싱은 다음 과정을 거친다. 먼저 송신된 신호가 타겟에 반사되어 레이더 에코로 수신된다. 수신된 신호에 대한 샘플링 및 FFT 처리를 통해 서브캐리어별 채널 응답을 계산한다. 이후 데이터 심볼 $d_{m,n}$ 의 랜덤성을 제거하기 위해 요소별 나눗셈을 수행하면 각 레이더

<표 1> 시스템 환경구성

파형 설계	방법론	대표 기술	장점	단점
비중첩 자원 할당	시간 분할	- FMCW와 통신 변조 간 시간 분할 - IEEE 802.11ad의 CEF를 활용한 센싱	구현이 용이	낮은 효율성
	주파수 분할	- OFDM에서 S&C 간 서브캐리어 할당		
	공간 분할	- S&C 간 안테나 분리		
완전 통합 파형	센싱 중심	- 정보 전달 신호로 Chirp 신호 사용 - MIMO 레이더 사이드로브 embedding - 인덱스 변조	센싱 성능 보장	낮은 전송률
	통신 중심	- OFDM/OTFS 기반 에코 시그널 활용	통신 성능 보장	불안정한 센싱 성능
	공동 설계	- 최적화를 기반으로 한 파형 설계	S&C 간 성능 조절	높은 복잡도

에코의 요소별 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{y}_{m,n} = \frac{y_{m,n}}{d_{m,n}} = \alpha_{m,n} e^{-j2\pi\Delta f\tau} e^{j2\pi f_D(m-1)T}$$

여기서 $\alpha_{m,n}$ 은 m 번째 OFDM 심볼 및 n 번째 서브캐리어에서의 채널 계수이며, f_D 와 τ 는 각각 도플러 주파수와 지연 시간을 의미한다. 최종적으로 에코 신호에 대하여 FFT와 IFFT를 활용하여 지연 및 도플러 성분을 추정하며, 이를 통해 2D 지연-도플러 프로파일을 생성해 센싱에 필요한 정보를 추출할 수 있다.

- OTFS 기반 설계

OTFS는 시간-주파수 도메인에서 신호를 다루는 OFDM과 달리, 도플러-지연 도메인에서 신호를 정의하여 고속 이동 통신 환경에서도 통신과 센싱의 성능을 극대화할 수 있는 설계 방식이다. 이 방식은 데이터를 도플러-지연 도메인에서 직접 표현함으로써 통신과 센싱을 같은 도메인에서 통합 처리할 수 있다는 장점도 추가적으로 제공할 수 있지만 데이터를 도플러-지연 도메인으로 변환하고 다시 시간-주파수 도메인으로 복원하는 과정에서 추가적인 연산이 요구된다. 이러한 변환 과정은 계산 복잡도를 증가시키고 하드웨어 구현 부담을 가중시키며, 이는 OTFS의 현실적인 구현을 위해 해결해야 할 중요한 과제 중 하나로 남아 있다.

3. 공동 설계

공동 설계는 센싱 중심 설계와 통신 중심 설계가 제공하지 못하는 센싱과 통신 성능 간의 스케일 가능한 트레이드오프를 형성하기 위해 고안된 방식이다. 공동 설계 방식은 기존의 센싱 혹은 통신 파형에 의존하지 않고, 처음부터 센싱-통신 통합 파형을 설계함으로써 더 높은 자유도 (DoF)와 유연성을 제공한다.

공동 설계는 센싱과 통신 간의 균형을 맞추기 위해 다음과 같은 최적화 문제를 정의한다.

$$\min_{\mathbf{X}} \rho \|\mathbf{H}\mathbf{X} - \mathbf{S}_d\|_F^2 + (1 - \rho) \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_0\|_F^2$$

$$s.t. \quad \|\mathbf{X}\|_F^2 = LP_T$$

여기서 $\|\mathbf{H}\mathbf{X} - \mathbf{S}_d\|_F^2$ 는 통신 성능 손실을 나타내는 항으로, $\mathbf{H}\mathbf{X}$ 는 다중 사용자 환경에서의 채널을 거친 통신 신호를 의미하며, $\mathbf{S}_d$ 는 통신 데이터 행렬을 의미한다. 이 항은 다중 사용자 간 간섭을 줄이고 통신 성능을 향상시키는 데 초점을 둔다. $\|\mathbf{X} - \mathbf{X}_0\|_F^2$ 는 센싱 성능 손실을 나타내는 항으로, $\mathbf{X}_0$ 는 센싱에 최적화된 파형을 의미한다. 이 항은 설계된 파형 $\mathbf{X}$ 가 센싱에 필요한 특성을 유지하도록 유도한다. 공동 설계 방식은 가중치 ρ 를 활용해 센싱과 통신 간의 우선 순위를 유연하게 조절할 수 있으며, 특정 채널 조건에 의존하지 않고 어떠한 MIMO 채널에서도 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 비선형 최적화 문제로 인해 높은 계산 복잡도를 보이며, 이는 실제 시스템 구현 시 추가적인 부담으로 작용할 수 있다.

IV. 국내외 연구 동향

본 장에서는 ISAC과 관련된 기술 동향에 대해 알아본다.

1. 연구개발 동향

가. 국외 연구동향

– 노키아 (Nokia)는 차세대 6G 통신 기술을 위한 ‘Extreme Massive MIMO 기술 백서’를 통해 넓은 대역폭을 활용한 소형 셀 구성 설계를 강조하며, 미래 6G에 적합한 MIMO 기반 통신과 레이더 센싱의 융합 시스템을 제안했다. 특히, 보쉬 (Bosch)와의 협력을 통해 6G 시스템에서 고정밀 위치 측정 및 센싱 기술을 연구하고 있으며, 이를 산업용 사물인터넷에 적용할 계획이다. 또한, 인도 벵갈루루에 6G 연구소를 설립하여 네트워크를 센서로 활용하는 기술을 개발 중이다. 이를 통해 고정밀 데이터 전송과 환경 인식을 동시에 가능하게 하며, 차세대 무선통신 기술의 새로운 패러다임을 제시하고 있다.

– 미국 국립표준기술원 (NIST)은 최근 28GHz 대역 센싱 (Context-aware) 측정 시스템을 개발하여, 측정 캠페인을 통해 사람의 동작 인식 특성을 분석하는 연구를 진행하고 있다. 또한, NGA와의 협력을 통해 ISAC 전파 채널 모델링에 대한 심도 있는 연구를 수행하며, 통신과 센싱의 융합 기술 발전을 이끌고 있다.

– 화웨이 (Huawei)는 테라헤르츠 100~300GHz 대역에서 프로토타입 단말기를 개발하였으며, 캐리어 주파수 140GHz, 대역폭 8GHz, 4Tx/16Rx MIMO 구성을 통해 테라헤르츠 파의 고정밀 센싱 능력을 확인하였다고 발표하였다. 또한, 2021년 one6G 서밋에서 광무선 통신과 센싱을 통합한 프로토타입을 시연하며, 차세대 통신 기술에서의 혁신 가능성을 제시하였다.

– Hexa-X는 2030년을 목표로 6G 표준 기술, 비전 및 핵심 서비스 모델을 개발하기 위해 유럽연합 (EU)이 출범한 대규모 민간 프로젝트로 노키아, 에릭스, 오렌지, 텔레포니카, 인텔, 지멘스, CEA, 핀란드 오울루 대학, 이탈리아 피사 대학 등이 참여하고 있다. 서브테라헤르츠 대역 (캐리어 주파수 60GHz, 대역폭 800MHz, 64-

QAM)에서 OFDM 통신 방식을 사용하여 레이더 위치 추적 기능의 기초적인 센싱 성능을 검증하였으며, 송수신 직선거리는 6.6m, 통신과 센싱 시간 비율은 1:5.25로 설정하였다.

– ZTE는 실용 5G 네트워크를 기반으로 센싱-통신 통합 기술 초기 검증 프로젝트를 구성하여 실제 야외 시험 환경에서 보행자 추적, UAV/자동차/보행자 동시 추적, UAV 추정 범위 확장 등에 대한 필드 시험을 시행하고 센싱 성능을 확인하였다. 시험은 캐리어 주파수 4.85GHz, 대역폭 100MHz에서 진행되었으며, 최대 추적 및 센싱 거리는 1,433m에 달하였다.

– 퀄컴 (Qualcomm)은 세계 최대 규모의 모바일 산업 및 기술 전시회인 MWC 2023에서 ‘정확한 위치 추적과 RF대역에서의 센싱’을 주제로 실외 환경 및 공장 환경에서 밀리미터파 (26GHz, 대역폭 200MHz) 주파수를 활용한 정밀 위치 추적 성능을 제시하였으며, 수평 정확도는 0.84m (80%)로 확인되었다. 또한, 서브테라헤르츠 (60GHz, 대역폭 400MHz) 주파수를 기반으로 한 고해상도 RF 센싱 성능도 시연하였으며, 평균 센싱 거리 오차는 21cm를 제시하였다.

나. 국내 연구동향

국내에서는 ISAC 기술에 대한 연구가 초기 단계에 있다. SK텔레콤은 2023년 8월에 발간한 6G 백서^[9]에서 ISAC기술이 6G 핵심 서비스 중 하나로 자리 잡을 가능성을 전망했다. 학계에서는 연세대학교, 성균관대학교, 서울대학교 등이 2024년부터 차세대 네트워크 산업 기술개발 사업을 통해 통신-센싱 통합 기술 연구를 본격적으로 시작하였다. 한국과학기술원은 불완전한 채널 정보 상황 속에서도 통신에서의 주파수 효율과 센싱에서의 성능을 보장하는 연구를 수행하고 있으며, 한양대학교는 ISAC 기술을 자율주행, 로봇, 드론 등 다양한 응용 분야에 활용할 가능성을 모색 중이다. 다만, 이러한 연구들은 여전히 해외에 비해 초기 단계에 머물러 있어, 앞으로 더 많은 연구와 투자가 요구된다.

2. 표준화 동향

ISAC 기술에 대한 표준화 작업은 현재 이동통신 국제



표준화 기구인 3GPP와 IEEE 802에서 진행되고 있다.

가. IEEE 802.11bf 표준

무선랜 센싱은 기존 무선랜에 센싱 기능을 추가하여 사람, 동물, 사물의 동작 및 생체 신호를 센싱하고 이동 경로를 추적할 수 있는 기술이다. 이동통신 국제화 표준 기구인 IEEE 802.11bf에서는 무선랜 센싱을 실현하기 위해 SENS로 명명된 PHY와 MAC 레이어를 포함한 영역에서의 표준 절차를 정의하는 표준화 작업을 수행 중이다. 센싱 장치는 역할에 따라 센싱 개시장치와 응답장치로 구분되며, 이 둘은 모두 센싱 수신기와 센싱 송신기가 될 수 있다. 또한, 센싱에 참여하는 주체에 따라 하나의 장치에서 측정 신호를 송수신하는 mono-static 센싱, 하나의 장치가 신호를 송신하고 다른 장치가 에코 시그널을 수신하는 bi-static 센싱, 그리고 다수의 장치가 센싱 절차에 참여하는 multi-static 센싱으로 구분이 가능하며, 위와 같은 다양한 방식에 맞춘 표준화된 센싱 방식을 제공하고자 한다. 표준화 일정으로는 2020년 PAR 승인을 시작으로, 2023년 Draft 2.0이 통과되었으며, 최종 표준화는 2025년 3월에 완료될 예정이다^[10].

나. 3GPP 표준

또다른 이동통신 국제화 표준 기구인 3GPP에서도 ISAC 기술에 관심을 두고 표준화를 진행하고 있다. 2023년에 ISAC 기술 관련 Study Item을 수행한 후^[11], 이어서 Work Item을 진행하였다^[12]. 본 표준화 작업은 5G 시스템을 개선하여 다양한 산업 분야에서 ISAC 기술을 활용하기 위한 유즈케이스와 기술적 요구사항을 정의하는데 초점을 맞춰 진행되었고, 논의 결과는 기술 보고서 TR22.837에 반영되어 있다^[13].

ISAC 시스템의 채널 모델링에 대한 표준화 활동 또한 진행되고 있다. 2023년 6월 3GPP 워크샵에서 주요 제조사들은 ISAC 채널 모델 연구의 필요성을 제기했다. 현재 연구들은 대개 통신 채널과 센싱 채널을 별개로 다루거나 독립적이라 가정한다. 그러나, 안테나의 다중화 및 동일한 환경으로 인해 일부 물체들은 두 채널에 동시에 산란체로 작용할 수 있어 이를 채널 모델링에 반영해야 한다. 또한, 레이더 단면적이나 크기와 재질 등 산란체의 물리적 특성도 센싱-통신 통합 채널 모델링에서 고려되어야

할 추가적인 사항이다.

미국의 민간 주도 연합체인 Next G Alliance에서는 3GPP 표준 제정을 위한 대표적인 센싱 서비스들을 제시한다^[14]. 스마트 사물인터넷, 교통 관리, 기후 환경 모니터링, 드론 센싱 등 대표적인 유즈 케이스들을 정의하고 이에 더불어 각각의 케이스에 대한 센싱 주요 성능 지표(최대 센싱 거리, 거리 해상도, 속도 해상도)를 제시한다. 대표적인 예시로 드론과 같은 고속 이동체에 대해 센싱을 수행하는 경우에는 최대 탐지거리 500m, 최대 탐지 속도 30~40m/s, 거리 해상도 1m, 속도 해상도 5m/s를 만족해야 할 주요 성능 지표로 제시하고 있다.

V. 결론

ISAC 기술은 센싱과 통신을 하나의 시스템으로 통합함으로써 스펙트럼 및 에너지 효율을 극대화하고, 하드웨어 비용을 절감할 수 있는 차세대 무선 통신 기술로 주목받고 있다. 본 고에서는 ISAC 기술의 개요와 장점, 그리고 센싱과 통신 간의 트레이드오프 관계를 정보 이론적 관점, 탐지-통신, 추정-통신 관계를 통해 분석하였다. 또한, 센싱-통신 통합 파형 설계의 다양한 접근 방식과 현재 진행 중인 연구 및 표준화 동향을 살펴보았다. ISAC 기술은 제한된 자원의 효율적 활용과 새로운 서비스 창출 가능성을 제공하는 한편, 센싱과 통신 간 간섭 문제 및 자원 할당 최적화 등 해결해야 할 과제도 존재한다. 이를 위해 신호 설계, 최적화 기법, 그리고 표준화 연구가 활발히 진행 중이며, 향후 ISAC 기술의 발전은 6G 및 자율주행, IoT와 같은 다양한 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Y. Cui, F. Liu, X. Jing, and J. Mu, "Integrating sensing and communications for ubiquitous IoT: applications, trends, and challenges," *IEEE Netw.*, vol. 35, no. 5, pp. 158–167, Sep. 2021.
- [2] F. Liu et al., "Integrated sensing and communications: toward dual-functional wireless networks for 6G and beyond," *IEEE JSAC*, vol. 40, no. 6, pp. 1728–1767, June 2022.

- [3] Q. Huang, H. Chen, and Q. Zhang, "Joint design of sensing and communication systems for smart homes," IEEE Netw., vol. 34, no. 6, pp. 191–197, Nov. 2020.
- [4] T. Luettel, M. Himmelsbach, and H.-J. Wuensche, "Autonomous ground vehicles—concepts and a path to the future," Proc. IEEE, vol. 100, pp. 1831–1839, May 2012.
- [5] D. Guo, S. Shamai (Shitz), and S. Verdú, "Mutual information and minimum mean-square error in Gaussian channels," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 4, pp. 1261–1282, Apr. 2005.
- [6] B. K. Chalise, M. G. Amin, and B. Himed, "Performance tradeoff in a unified passive radar and communications system," IEEE Signal Process. Lett., vol. 24, no. 9, pp. 1275–1279, Sep. 2017.
- [7] F. Liu, Y.-F. Liu, A. Li, C. Masouros, and Y. C. Eldar, "Cramér–Rao bound optimization for joint radar–communication beamforming," IEEE Trans. Signal Process., vol. 70, pp. 240–253, 2022.
- [8] S. M. Kay, Fundamentals of statistical signal processing: estimation theory, vol. 2. Cliffs, NJ, USA: Prentice–Hall, 1998.
- [9] SK텔레콤, "5G Lessons Learned 및 핵심 요구사항, 6G 네트워크 기술 진화 방향, 6G 스펙트럼," SK텔레콤 6G 백서, 2023.
- [10] IEEE, "Status of project IEEE 802.11bf," https://www.ieee802.org/11/Reports/tgbf_update.htm.
- [11] 3GPP, "Revised SID on integrated sensing and communication," SP-220717, 2022.
- [12] 3GPP, "New WID: integrated sensing and communication (sensing)," SP-230507, 2023.
- [13] 3GPP, "Feasibility study on integrated sensing and communication (release 19)," 3GPP TR 22.837 V19.2.1, Feb. 2024.
- [14] Next G Alliance, Next G Alliance Report: 6G technologies, 2022.



강준

- 2024년 8월 성균관대학교 전자전기공학부 학사
- 2024년 9월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석사과정

〈관심 분야〉

ISAC, 무선 통신 시스템 등



배수민

- 2025년 2월 UNIST 학사 졸업 예정
- 2018년 2월 ~ 현재 UNIST 전기전자공학부 학사

〈관심 분야〉

ISAC, 무선 통신 시스템, compressive sensing 등



최진석

- 2014년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2014년 2월 연세대학교 경영학부 학사
- 2016년 2월 The University of Texas at Austin,
Electrical and Computer Engineering,
M.S
- 2019년 2월 The University of Texas at Austin,
Electrical and Computer Engineering,
Ph.D.
- 2019년 11월 ~ 2020년 9월 Senior System Engineer,
Qualcomm Wireless R&D
- 2020년 10월 ~ 2023년 2월 울산과학기술원
전기전자공학과 조교수
- 2023년 3월 ~ 2024년 2월 한국과학기술원 전기 및
전자공학부 조교수
- 2025년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학부
부교수

〈관심 분야〉

무선 통신, ISAC, Full duplex, RSMA, Physical Layer
Security, mmWave 통신, AI 기반 통신, IoT 통신 등

6G-ISAC에서의 센싱 및 측위



양 현 호
충남대학교



최은애
충남대학교



조 훈 기
충남대학교



김 효 원
충남대학교

I. 서론

6세대 이동통신(6G) 시대는 기존 통신 네트워크의 한계를 뛰어넘고 새로운 기술적 가능성을 제시함과 동시에 초고속 데이터 전송, 초저지연, 초연결성을 목표로 하고 있다^[1]. 해당 기술은 단순히 데이터를 전송하고 네트워크를 구축하는 것에서 벗어나, 통신 네트워크가 환경 정보를 실시간으로 수집하고 분석하는 방향으로 나아가고 있다. 통합 센싱 및 통신(ISAC, Integrated Sensing and Communication)은 통신과 센싱 기능을 통합적으로 제공하여 자율주행, 스마트 시티, 스마트 공장, 드론 물류와 같은 다양한 산업 분야에서 새로운 혁신을 가능하게 한다^[2-7].

기존의 이동통신 시스템은 사람과 사람, 사람과 기계 간의 데이터 전송을 중심으로 설계되었으나, 6G 시대에는 물리적 환경과 통신 네트워크가 긴밀하게 상호작용하는 것이 필수적이다. 자율주행 차량, 스마트 공장, 스마트 시티와 같은 환경에서는 데이터를 단순히 송수신하는 것만으로는 충분하지 않으며, 환경 정보를 실시간으로 수집하고 이를 기반으로 동적 의사 결정을 내리는 기능이 필요하다^[2]. ISAC은 통신 신호의 물리적 특성을 활용하여 이러한 요구 사항을 충족시킬 수 있는 기술로 주목받고 있다. ISAC은 네트워크를 통해 데이터를 송수신하면서도 물리적 환경 정보를 실시간으로 감지하고, 이를 기반으로 객체의 위치를 추적할 수 있는 기능을 제공한다.

ISAC의 도입은 단순히 기술적인 진보를 의미하는 것이 아니라, 기존 통신 네트워크와 센싱 시스템의 융합을 통해 새로운 패러다임을 제시한다^[3]. 기존의 센싱 기술은 LiDAR, 카메라, 레이더 등 독립적인 시스템으로 운영되며, 이러한 시스템은 고비용, 복잡한 데이터 처리, 낮은 통합성 등의 문제를 안고 있다. 반면, ISAC은 통신 네트워크 자체가 센서

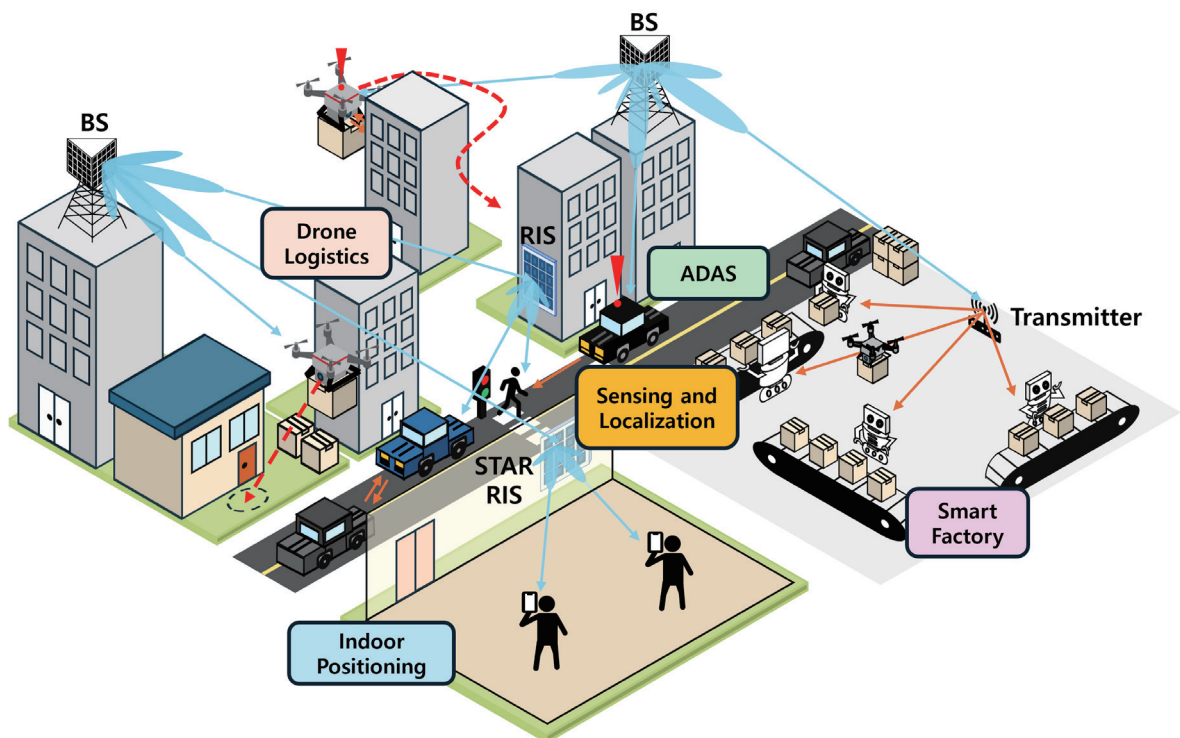
역할을 수행하도록 설계되어 비용 효율성을 크게 높이고, 시스템의 복잡성을 줄이며, 데이터 처리의 일관성을 보장한다^[2,3]. 통신 신호를 활용한 센싱과 위치 추적 기술은 추가적인 하드웨어 없이도 고정밀 데이터를 제공할 수 있으며, 다양한 응용 분야에서 실질적인 혜택을 제공한다.

ISAC의 핵심 기술 중 하나는 SSL(Simultaneous Sensing and Localization)이다. SSL은 통신 신호가 공간을 통과하며 반사와 산란되는 특성을 활용하여 물리적 환경을 감지하고, 이를 기반으로 객체의 위치와 방향을 추적하는 기술이다. 기존의 센싱 시스템에서는 환경 감지와 위치 추적이 독립적으로 작동하며, 이로 인해 데이터 중복과 처리 지연이 발생하였다. 그러나 SSL은 이러한 문제를 해결하며, 통합적으로 데이터를 처리하여 더 빠르고 정확한 정보를 제공할 수 있다. MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 기술은 다중 안테나 배열을 활용하여 신호의 도달 시간과 방향을 분석하고, 이를 통해 물체의 위치를 정밀하게 계산한다^[4,5]. 이러한 접근은 자율주행 차량, 스마트 공장, 드론 물류 시스템과 같은 환경에서 높은 실용성을 보여준다.

ISAC 기술 발전은 테라헤르츠(THz) 대역과 같은 초고주파수 대역의 활용을 통해 가능해졌다. THz 대역과 같이 높은 주파수에서는 넓은 대역폭을 제공하며, 데이터 전송 및 센싱 성능의 동시 향상을 목표로 한다^[6,7].

THz 대역은 높은 공간 해상도를 제공하여 객체의 작은 변화까지도 감지할 수 있다. 이는 자율주행 차량이 도로 위의 작은 장애물을 감지하거나 스마트 공장에서 로봇의 미세한 움직임을 추적하는 데 필수적이다. 또한, Full-Duplex 통신 기술은 송신과 수신을 동시에 처리함으로써 네트워크의 활용도를 극대화하고, 간섭 문제를 해결하여 ISAC의 실질적 구현이 필요하다.

스마트 시티와 같은 대규모 네트워크에서는 ISAC 기술이 중요한 역할을 한다^[2]. 스마트 시티는 차량과 보행자의 움직임을 실시간으로 추적하여 교통 흐름을 최적화하고, 대기 질과 소음 데이터를 분석하여 도시 환경을 개선하며, 재난 상황에서 구조 작업의 효율성을 높이는 데 ISAC 기술을 활용한다. 이러한 응용은 통신 네트워크가 단순히 데이터 전송 플랫폼에서 벗어나, 환경 데이터를 실시간으로 분석하고 상황에 맞는 의사 결정을 내리는 지



〈그림 1〉 ISAC 기반 센싱 및 측위 프레임워크 및 기술의 응용 사례

능형 시스템으로 진화하고 있다.

ISAC 기술의 도입은 단순한 기술적 혁신을 넘어 다양한 산업 분야에서 새로운 비즈니스 모델과 서비스 패러다임을 창출이 가능하다. 자율주행 차량은 도로 환경 데이터를 실시간으로 수집하여 차량 간 거리와 속도를 조정하고, 안전한 주행 경로를 계산한다^[2]. 이러한 기술은 기존의 센싱 기술이 가진 한계를 극복하며, 자율주행 차량의 상용화를 앞당길 수 있다. 또한, 스마트 공장에서는 ISAC 기술을 통해 로봇과 기계 간 데이터를 실시간으로 공유하고, 작업 경로를 최적화하며, 생산성을 높이는 데 기여한다. 이러한 기능은 공장의 자동화 수준을 높이고, 운영 비용을 줄이며, 생산 공정의 병목 현상을 제거한다.

드론 기반 물류 시스템에서도 ISAC 기술은 중요한 역할을 한다. 드론은 비행 중 장애물을 감지하고 경로를 실시간으로 최적화하며, 드론 간 데이터를 공유하여 협력 작업을 수행한다^[8]. 이는 물류 작업의 효율성을 극대화하며, 대규모 네트워크 환경에서도 안정적인 운영을 가능하게 한다. 또한, ISAC 기술은 정밀 농업에서도 활용될 수 있다. 작물의 상태를 모니터링하고, 토양의 상태를 분석하며, 농기계의 작업 경로를 최적화하여 자원의 낭비를 줄이고 생산성을 극대화한다.

ISAC 기술은 6G 시대의 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 예상되며, 다양한 산업과 응용 분야에서 혁신적인 변화를 이끌어낼 것이다. 통신과 센싱의 융합은 네트워크의 활용도를 극대화하고, 기존 시스템의 한계를 극복하며, 새로운 서비스와 비즈니스 모델을 가능하게 한다. 본 논문에서는 ISAC의 기본 원리와 기술적 기반, 그리고 실제 응용 사례를 분석하며, ISAC 기술이 6G 네트워크에서 어떻게 구현될 수 있는지를 논의한다. 또한, SSL 기술의 동작 원리와 이를 지원하는 최신 기술 동향을 살펴보고, ISAC 기술이 다양한 산업에서 가지는 잠재적 가치를 조망한다.

II. 측위 및 센싱 관점에서의 표준동향

1. IMT-2030 Framework: ITU-R 비전의 주요 내용 및 응용사례

ISAC 기술은 통신과 센싱을 융합하여 6G 네트워크의

핵심 요소로 자리 잡고 있으며, 이를 구현하기 위한 표준화 작업이 활발하다. ISAC은 자율주행, 스마트 공장, 스마트 시티, 정밀 농업 등 다양한 응용 분야에서 높은 가치를 제공하며, 센싱(Sensing)과 측위(Localization) 기술을 통합적으로 구현함으로써 네트워크의 기능을 극대화한다. 이를 지원하기 위한 기술적 표준화는 IMT-2030 Framework, ITU-R의 비전, 그리고 기타 국제 표준화 기구를 중심으로 이루어지고 있다^[9].

IMT-2030 Framework는 ISAC 기술이 6G 네트워크에서 구현되기 위해 충족해야 할 주요 성능 지표와 기술적 방향성을 정의한다. 이 프레임워크는 통신과 센싱의 통합적 접근을 강조하며, 데이터를 초고속으로 전송하고 물리적 환경을 실시간으로 파악할 수 있는 네트워크 인프라 설계에 중점을 둔다. 주요 기술적 목표에는 초정밀 위치 추적, 실시간 환경 감지, 데이터 전송 최적화, 그리고 에너지 효율성이 포함된다^[9].

THz 대역의 활용은 IMT-2030 Framework에서 중요한 요소 중 하나로, 기존 GHz 대역보다 훨씬 높은 주파수를 제공하여 더 넓은 대역폭과 높은 데이터 전송 속도를 가능하게 한다. THz 대역은 높은 공간 해상도를 제공하여 복잡한 환경에서도 정밀한 센싱 데이터를 확보한다. 자율주행 차량은 THz 대역을 통해 복잡한 도로 환경에서 차량과 보행자의 움직임을 실시간으로 추적하고, 장애물을 감지하며, 안전한 주행 경로를 설정한다. 스마트 시티에서는 THz 대역이 실시간 교통 흐름 관리와 도시의 환경 데이터를 분석하여 공기 질과 소음 수준을 개선하는데 활용한다. 또한, 드론 물류 시스템에서는 THz 대역을 활용해 장애물을 정확히 감지하고 비행 경로를 최적화함으로써 물류 작업의 효율성을 극대화한다.

Near-field 채널 모델링은 IMT-2030 Framework에서 또 다른 핵심 기술로, 근거리 환경에서 발생하는 전파 특성을 정확히 반영하여 신뢰성 높은 데이터를 제공한다. 기존의 평면파 모델링은 먼 거리에서의 전파 특성을 가정하였으나, 근거리 환경에서는 신호 왜곡과 다중 경로 간섭이 심화된다. Near-field 모델링은 구형파(Spherical Wave)를 기반으로 하여, 근거리 전파 특성을 정확히 반영하고, 밀집된 환경에서도 정밀한 위치 추적과 센싱 데

이터를 제공할 수 있다.

Beamforming 기술은 IMT-2030 Framework에서 강조되는 또 다른 핵심 요소로, 신호를 특정 방향으로 집중시켜 통신과 센싱의 효율성을 극대화한다. Beamforming은 높은 신호 대 잡음비(SNR)를 유지하면서 데이터를 실시간으로 처리하며, 스마트 시티와 같은 대규모 네트워크 환경에서 차량과 보행자의 움직임을 정밀하게 추적하거나, 생산 라인에서 기계 간 작업 효율성을 높이는 데 활용된다. Beamfocusing은 이러한 Beamforming 기술을 더욱 고도화하여, 특정 영역에 신호를 집중시킴으로써 복잡한 환경에서도 높은 성능을 제공한다.

IMT-2030 Framework는 통합 네트워크 설계와 에너지 효율성을 강조하며, 센싱과 통신 데이터를 실시간으로 처리할 수 있는 클라우드 기반 데이터 처리 및 엣지 컴퓨팅 기술을 도입한다. 클라우드 기반 데이터 처리는 대규모 네트워크에서 데이터를 효율적으로 관리하고, 엣지 컴퓨팅은 네트워크 말단에서 데이터를 처리하여 응답 시간을 단축한다. 이러한 기술은 자율주행 차량, 스마트 공장, 그리고 드론 물류 시스템과 같은 응용 분야에서 실질적인 가치를 제공한다. 스마트 공장에서 로봇의 위치를 추적하고 작업 경로를 최적화하는 데 사용될 수 있으며, 드론 물류에서는 정확한 위치 정보를 바탕으로 비행 안전성과 효율성을 높인다.

에너지 효율성은 IMT-2030 Framework의 또 다른 중요한 목표로, 지속 가능한 네트워크 구축을 위해 필수적이다. 환경 에너지를 활용한 에너지 하베스팅 기술은 네트워크 노드의 전력 소비를 줄이고, AI 기반의 자율 네트워크 운영은 에너지 소비를 최적화하여 네트워크의 효율성을 높인다. 스마트 시티에서는 센싱과 통신 데이터 처리를 위해 에너지 효율적인 노드를 활용하며, 자율주행 차량 네트워크에서는 AI 기반의 에너지 관리 기술을 통해 차량 간 협력을 최적화한다.

IMT-2030 Framework의 기술적 비전은 자율주행, 스마트 시티, 정밀 농업, 스마트 공장 등 다양한 응용 분야에서 ISAC 기술의 실질적 구현을 가능하게 한다. 센싱과 측위 기술이 강조되는 응용 분야에서 IMT-2030

Framework는 기술적 로드맵을 제공하며, 이러한 비전을 통해 네트워크의 활용도를 극대화하고 산업의 혁신을 지원한다. 자율주행 차량은 IMT-2030 Framework에서 정의된 THz 대역과 Near-field 채널 모델링을 활용하여 도로 환경을 실시간으로 감지하고 차량 간 거리를 정밀하게 유지하며, 교통 혼잡을 줄이고 안전성을 높일 수 있다. 스마트 공장에서는 기계와 로봇 간 위치 데이터를 실시간으로 공유하여 생산성을 극대화하고, 작업 경로를 최적화한다.

IMT-2030 Framework는 센싱과 측위 기술을 통합적으로 활용하여 6G 네트워크의 핵심 기술로 자리 잡고 있으며, 이를 통해 자율주행, 스마트 시티, 드론 물류, 스마트 공장 등 다양한 산업 분야에서 새로운 가능성을 열어가고 있다. 앞으로의 연구는 이러한 기술적 비전을 실현하기 위해 표준화 작업과 기술적 혁신을 지속적으로 추진해야 하며, 이는 6G 네트워크에서 ISAC 기술의 성공적 구현을 위한 기반이 될 것이다.

2. 3GPP Release-19의 주요 내용 및 응용사례

3GPP Release-19는 통신과 센싱을 통합하여 6G 네트워크에서의 새로운 기능을 정의하는 표준화 작업으로, ISAC 기술의 실질적 구현을 목표로 한다^[10]. Release-19는 센싱과 측위 기능을 강화하여 다양한 응용 분야에서 혁신적인 변화를 가능하게 한다. 이 표준은 기존의 5G NR(New Radio)을 확장하여 초고속 데이터 전송, 초정밀 위치 추적, 그리고 실시간 환경 감지 기능을 포함한다^[11]. Release-19는 자율주행, 스마트 공장, 스마트 시티, 드론 물류 시스템과 같은 응용 분야에서 실질적인 가치를 제공할 수 있는 기술적 기틀을 마련하고 있다.

TOA(Time of Arrival)는 Release-19의 주요 기술 중 하나로, 신호가 송신기에서 수신기에 도달하는 시간을 측정하여 거리 정보를 계산한다. TOA는 높은 시간 분해능을 제공하며, 복잡한 도시 환경이나 실내와 같은 까다로운 조건에서도 신뢰성 높은 데이터를 제공할 수 있다. TOA는 자율주행 차량 간 거리 유지와 충돌 방지를 위해 차량의 위치를 정밀하게 계산하며, 드론 비행 중 장애물 간의 거리를 측정하여 비행 경로를 최적화하는 데 활용된

다. 이러한 기능은 자율주행 차량과 드론 물류 시스템에서 안전성 및 효율성을 높인다.

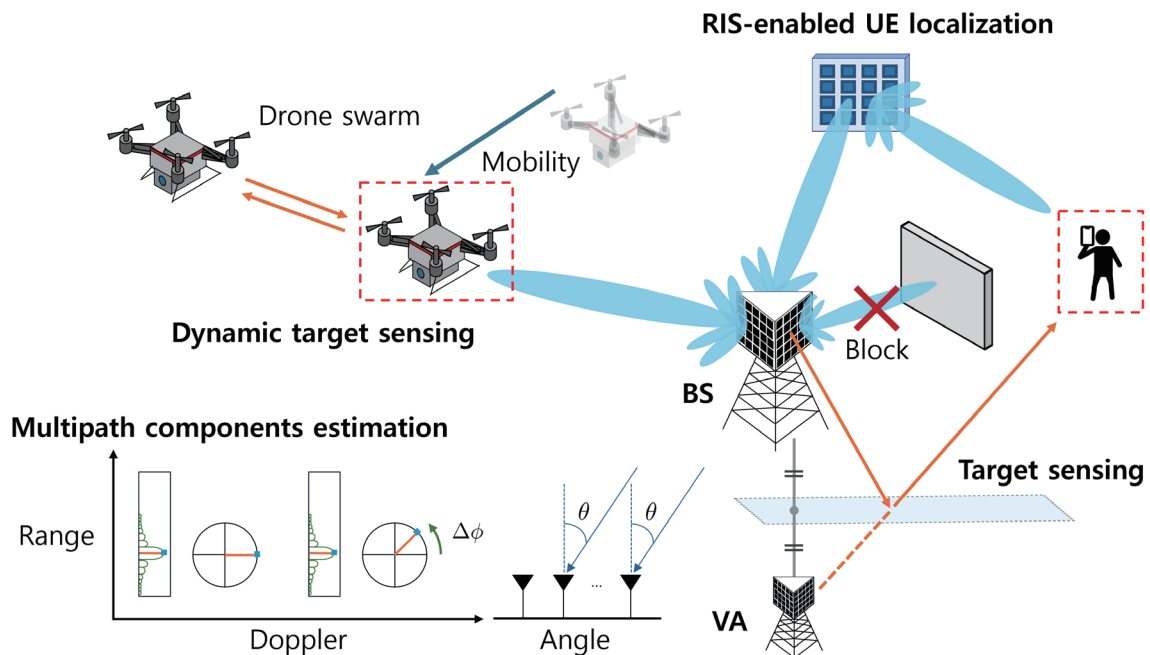
AOA(Angle of Arrival)는 다중 안테나 배열을 통해 신호의 도달 각도를 추정하는 기술로, MIMO 기술과 결합하여 높은 정확도를 제공한다. AOA는 신호의 방향을 정밀하게 분석하여 차량의 진행 방향을 추적하거나 드론의 비행 경로를 최적화하는 데 중요한 역할을 한다. 또한, AOA는 스마트 공장에서 로봇 간의 작업 방향을 조정하거나, 네트워크 내 물체 간 상호작용을 관리하는 데 사용된다. 이러한 기술은 복잡한 환경에서도 높은 신뢰성을 유지하며, 스마트 시티와 같은 대규모 네트워크에서 통신과 센싱 성능을 높인다.

Beamforming은 Release-19에서 센싱과 통신의 성능을 극대화하기 위해 도입된 또 다른 핵심 기술이다. Beamforming은 특정 방향으로 신호를 집중시키는 기술로, 고속도로에서 차량 간 통신을 안정적으로 지원하며, 스마트 공장 내에서 기계 간 데이터 전송의 품질을 유지한다. Release-19의 빔 관리 기술은 다중 사용자 환경에서도 동적으로 신호를 조정하여 최적의 성능을 보장한다. Beamforming과 Beamfocusing 기술의 결합은 복잡한 환경에서도 높은 신호 품질과 정밀한 위치 추적이 가능할

것이다.

Release-19는 동적 자원 관리 기술을 통해 통신과 센싱 간의 자원 충돌을 방지하고 네트워크 성능을 극대화한다. 동적 자원 관리는 주파수 대역과 대역폭을 효율적으로 분배하여 센싱 데이터와 통신 데이터 간의 간섭을 최소화한다. 자율주행 차량 네트워크에서는 차량 간 데이터를 실시간으로 공유하여 교통 흐름을 최적화하고, 스마트 시티에서는 차량과 보행자의 움직임을 분석하여 교통 혼잡을 줄이는 데 기여한다. 이러한 기술은 드론 물류 시스템에서도 비슷한 방식으로 적용되어, 드론 간 협업과 비행 안전성을 지원한다.

Release-19는 스마트 공장에서의 작업 효율성을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다. 센싱 데이터를 활용하여 생산 라인의 병목 현상을 제거하고, 로봇과 기계의 작업 경로를 최적화하며, 예측 유지보수를 통해 공장의 가동 시간을 늘릴 수 있다. 이러한 기술은 스마트 공장의 자동화 수준을 높이고, 운영 비용을 절감하며, 제품 품질을 향상시키는 데 기여한다. 로봇과 기계의 위치 데이터를 실시간으로 분석하여 작업 경로를 조정하고, 기계 간 상호작용을 최적화함으로써 공장의 생산성을 극대화할 수 있다.



〈그림 2〉 다중경로 신호를 활용한 센싱 및 측위 시스템 개념도

드론 물류 시스템에서도 Release-19는 중요한 역할을 한다. Release-19의 TOA와 AOA 기술을 통해 드론의 비행 경로를 정밀하게 제어하고 장애물을 실시간으로 감지하며, 드론 간 데이터를 공유하여 협업 작업을 지원한다. 이러한 기술은 물류 작업의 안전성과 효율성을 동시에 향상시킬 수 있다. 스마트 시티에서는 Release-19를 통해 차량과 보행자의 움직임을 실시간으로 모니터링하고, 교통 흐름을 최적화하며, 환경 데이터를 분석하여 도시 생활의 질을 개선할 수 있다.

Release-19의 기술적 진보는 앞으로 Release-20 및 6G 표준화 작업에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 통신과 센싱의 융합을 통해 자율주행, 스마트 공장, 드론 물류 시스템, 스마트 시티 등 다양한 산업 분야에서 혁신적인 변화를 가져올 것이다. 센싱과 측위 기술의 발전은 Release-19가 제공하는 모든 기능의 중심에 있으며, 이는 6G 네트워크에서 ISAC 기술의 성공적인 구현을 위한 기반이 될 것이다.

III. ISAC 구현을 위한 측위 및 센싱 기술

SSL은 통신과 센싱을 통합적으로 활용하여 객체를 탐지하고 위치를 추적하는 기술로, ISAC에서 핵심적인 역할을 한다. SSL은 기존의 센서 기반 기술에 비해 효율성이 높고, 통신 네트워크와 직접 결합하여 데이터 처리와 위치 추적을 통합적으로 수행할 수 있다. 이러한 SSL은 다중경로 신호를 활용해 각 경로의 채널 매개변수를 추정하고, 단말의 위치 뿐 아니라 인접 환경을 구성하는 물체들의 센싱이 가는 것을 목표로 한다(그림 2) 참고). 이는 기존의 라디오 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술로 볼 수 있다.

SSL 구현에 있어 확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter), RB(Rao-Blackwellized) 필터 기반 기법, 그리고 Fast-SLAM과 같은 전통적인 SLAM 기법 뿐 아니라 RFS(Random Finite Set) 기반 SLAM과 BP(Belief Propagation) 기반의 메시지 전달 기법은 복잡한 환경에서 높은 성능을 보이며, 통합적이고 정교한 데이터 처리가 가능하다. 최근 연구에서는 RFS-SLAM

과 BP-SLAM의 융합을 통해 객체 간 관계를 모델링하고 위치 정보를 더욱 정밀하게 추정하는 방법이 제안되고 있다^[12]. 여기에 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface)의 도입은 신호 전파를 능동적으로 제어함으로써 통신 및 센싱의 성능을 극대화하는 데 기여하고 있다.

EKF-SLAM은 SLAM 문제의 초기 연구에서 널리 사용된 기법으로, 로봇의 위치와 맵을 동시에 추정하기 위해 확장 칼만 필터를 활용한다. EKF-SLAM의 핵심은 비선형 상태 공간 모델을 선형화하여 예측과 업데이트 단계를 수행하는 데 있다. 이 기법은 계산 효율성이 높고, 센서 노이즈와 상태 불확실성을 효과적으로 처리한다^[13]. 하지만, 시스템의 복잡성이 증가함에 따라 EKF의 계산 비용이 기하급수적으로 증가하며, 이는 다중 객체 추적과 같은 문제에서 성능 한계로 작용한다.

RB-SLAM은 EKF-SLAM의 계산 효율성 문제를 해결하기 위해 제안된 방법으로, 상태 공간을 분리하여 로봇의 위치와 맵 변수 간의 조건부 독립성을 활용한다. RB-SLAM은 베이지 네트워크를 기반으로 상태를 분리하여, 로봇의 경로는 파티클 필터(Particle Filter)를 사용해 추정하고, 맵 변수는 조건부 확률 분포를 통해 갱신한다. 이를 통해 RB-SLAM은 더 복잡한 환경에서도 효율적인 SLAM을 가능하게 한다. 하지만, 입자 필터 기반의 구현은 계산 비용이 높고, 센서 노이즈가 많거나 데이터 연관 문제가 복잡할 경우 성능이 제한된다.

Fast-SLAM은 RB-SLAM의 계산 복잡성을 낮추고 효율성을 향상시키기 위해 설계된 기법이다. 이 방법은 맵의 각 랜드마크를 독립적인 베이지 필터로 처리하며, 로봇 경로는 입자 필터를 통해 추정한다. Fast-SLAM은 맵의 랜드마크 수와 로봇의 경로 길이에 비례하는 계산 비용을 가지므로, 대규모 환경에서도 비교적 효율적으로 동작할 수 있다. 하지만, 랜드마크 간의 상호 의존성을 무시하기 때문에, 매우 밀집된 환경이나 동적인 환경에서는 성능이 제한될 수 있다.

RFS 기반 SLAM은 SSL의 주요 구현 방식 중 하나로, 객체를 랜덤 집합으로 모델링하여 환경의 복잡성을 처리한다. 기존 SLAM 알고리즘은 개별 객체를 독립적으로 추적하며, 이로 인해 데이터 연관(Data Association) 문

제에서 제한을 받는다. 반면, RFS-SLAM은 전체 객체를 집합으로 간주하여 불확실성을 관리하고, 객체의 수와 상태를 동시에 추정할 수 있다. 이 기술은 다중 객체 추적(MTT, Multi-Target Tracking) 문제에서 뛰어난 성능을 보이며, 센서 노이즈와 데이터 손실과 같은 환경적 제약 조건을 효과적으로 처리할 수 있다^[14]. RFS-SLAM의 주요 구성 요소로는 PHD(Probability Hypothesis Density) 필터와 CPHD(Cardinalized PHD) 필터가 있다. PHD 필터는 객체의 존재 확률 밀도를 기반으로 상태를 추정하며, CPHD 필터는 추가적으로 객체의 수를 추정하여 다중 객체 추적의 성능을 향상시킨다. 이러한 필터는 자율주행, 드론 물류 시스템, 스마트 공장 등에서 광범위하게 사용되고 있다.

PMBM(Poisson Multi-Bernoulli Mixture) 기반 SLAM은 RFS-SLAM의 구현 방식 중 하나로, 다중 객체를 추적하고 센싱 데이터를 통합적으로 처리하는 데 중점을 둔다. PMBM은 포아송 분포와 다중 베르누이 분포를 결합하여 객체 상태의 확률적 밀도를 모델링한다. 이는 데이터 연관 문제를 효율적으로 처리하며, 객체의 생성 및 소멸을 동적으로 관리할 수 있는 강력한 방법이다. PMBM 필터는 다음과 같은 강점을 제공한다. 첫째, 데이터 연관 문제를 확률적으로 처리하여 센서 데이터의 불확실성을 효과적으로 관리한다. 둘째, 객체의 상태와 수를 동시에 추정하여 복잡한 환경에서도 높은 성능을 유지한다. 셋째, 계산 복잡도를 줄이면서도 높은 정확도를 제공한다^[15]. 이러한 특성은 PMBM 기반 SLAM이 자율주행 차량, 스마트 공장, 드론 네트워크 등 다양한 응용에서 중요한 역할을 수행하게 한다.

BP 기반 SLAM은 그래프 이론에 기반한 확률적 추론 기법으로, 센싱 데이터와 환경의 상태를 효율적으로 처리하여 객체의 위치를 추정하고 환경 지도를 생성하는 데 사용된다. BP는 메시지 전달 알고리즘을 활용하여 각 노드(센서, 로봇, 랜드마크 등) 간 정보를 교환하고, 전체 그래프의 상태를 계산하는 방식으로 동작한다. 이 기법은 데이터 연관 문제와 불확실성이 높은 환경에서 효과적인 해결책을 제공하며, 복잡한 환경에서도 높은 성능을 유지할 수 있다^[16].

BP 기반 SLAM은 그래프 모델을 사용하여 로봇의 경로와 랜드마크 상태 간의 관계를 명시적으로 표현한다. 이를 통해 각 노드가 독립적으로 데이터를 처리하는 대신, 메시지 전달 과정을 통해 주변 노드와의 상호작용을 고려하며 상태를 갱신한다. BP는 이러한 특성 덕분에, 밀집된 랜드마크 환경이나 동적인 환경에서도 높은 신뢰성의 SLAM 결과를 제공할 수 있다. Set-Type BP는 기존의 벡터 기반 BP의 확장된 형태로, 객체의 수가 동적으로 변하는 상황에서도 효율적으로 동작한다. Set-Type BP는 객체의 상태를 집합 형태로 처리하며, 데이터 연관 문제를 해결하는 동시에 객체 간 상호작용을 정확히 모델링한다.

최근 BP 기반 SLAM에 대한 연구는 다양한 응용 분야에서 이루어지고 있다. 대표적으로, 다중 경로 신호를 활용한 SLAM 문제에 BP를 적용하여, 신호 반사 경로를 추적하고 고정밀 위치 추정을 가능하게 하는 알고리즘을 제안하였다^[17]. 이 연구는 실내 환경과 같은 복잡한 반사 환경에서 효과적인 성능을 보였다. 또한, PMBM 기반 SLAM과 BP를 결합한 연구는 데이터 연관 문제를 확률적 방식으로 해결하고, 객체 상태의 불확실성을 효과적으로 관리할 수 있음을 보여주었다. 이 연구는 대규모 네트워크 환경에서 로봇과 센서의 위치를 추정하는 데 뛰어난 성능을 발휘하였다^[12].

RIS를 활용한 BP-SLAM 연구도 활발히 진행 중이다. RIS는 무선 신호의 반사와 산란을 제어하여 BP 알고리즘이 더 정교한 데이터를 처리할 수 있도록 지원한다. RIS를 통해 신호의 강도와 방향을 조정함으로써, BP 기반 SLAM의 정확도와 안정성을 높이는 기술이 개발되고 있다^[18]. 이러한 접근은 실내 환경에서 GPS가 없는 상황에서도 높은 성능을 제공하며, 스마트 공장, 자율주행, 드론 네트워크와 같은 응용 분야에서 활용되고 있다.

Set-Type BP는 기존 벡터 기반 BP의 한계를 극복하기 위해 설계된 방식으로, 객체의 수가 고정되지 않은 상황에서도 동작할 수 있다. Set-Type BP는 객체 간의 상호작용을 명시적으로 모델링하며, 메시지 전달 과정을 통해 각 객체의 상태를 추정한다. 이 과정에서 데이터 연관 문제를 효율적으로 처리하고, 객체 간 관계를 정교하

게 표현할 수 있다. Set-Type BP는 RFS 기반 접근법과 결합될 때, 더욱 높은 성능을 발휘한다. PMBM 기반 SLAM에서 Set-Type BP를 활용하면, 다중 객체 환경에서 데이터의 신뢰성을 높이고 위치 추적의 정확도를 개선할 수 있다^[12].

최근 연구에서는 RFS-SLAM, BP 기반 접근법, 그리고 RIS 기술의 통합을 통해 더욱 정교한 SSL 시스템이 개발되고 있다. 이러한 접근법은 센싱 데이터와 통신 데이터를 실시간으로 처리하며, 객체의 상태와 위치를 정밀하게 추정한다. PMBM 기반 SLAM에서 Set-Type BP를 활용하면 데이터 연관 문제를 더욱 효율적으로 처리할 수 있으며^[12], RIS를 통해 신호 전파를 최적화함으로써 센싱 데이터의 품질을 향상시킬 수 있다^[18]. 이러한 통합 접근법은 SSL이 다양한 환경에서 높은 성능을 유지할 수 있도록 지원하며, 6G 네트워크에서 핵심적인 역할을 수행할 것이다.

SSL 기술의 발전은 단순한 기술적 혁신을 넘어, 다양한 산업 분야에서 새로운 가능성을 열어준다. RFS-SLAM과 BP-SLAM은 각각 객체 추적과 데이터 처리의 효율성을 높이는 데 중점을 두고 있으며, RIS 기술은 신호 전파를 능동적으로 제어하여 통신 및 센싱 성능을 극대화한다. 이러한 기술들은 6G 네트워크에서 SSL이 필수적인 구성 요소로 자리잡을 수 있도록 지원하며, 향후 더욱 정교한 알고리즘과 하드웨어가 개발됨에 따라 SSL의 응용 범위는 계속 확장될 것이다.

IV. ISAC의 기능성과 측위 및 센싱의 응용사례

ISAC 기술은 현대 통신과 센싱 기술의 융합을 통해 다양한 산업과 응용 분야에서 혁신적인 변화를 이끌고 있다. ISAC는 통신 네트워크가 단순히 데이터 전송 플랫폼의 역할을 넘어, 환경 데이터를 실시간으로 감지하고 분석하는 기능을 수행하도록 한다. 센싱과 측위 기능은 ISAC 기술의 핵심 구성 요소로, 자율주행, 스마트 공장, 스마트 시티, 드론 물류 시스템, 정밀 농업 등 다양한 응용 분야에서 필수적인 역할을 한다^[2].

ISAC는 기존 통신 네트워크와 센서 시스템의 한계를 극복하는 새로운 접근 방식을 제공한다. 기존의 센서 기술은 고비용과 복잡한 데이터 처리 문제로 인해 확장성이 제한적이었다. 반면, ISAC는 통신 인프라를 활용하여 센싱과 위치 추적을 통합적으로 수행함으로써 비용 효율성을 크게 향상시킨다^[3]. 자율주행 차량은 도로 환경을 실시간으로 감지하고, 차량 간 거리를 유지하며, 보행자와의 충돌을 방지하기 위해 ISAC 기술을 활용한다. 이러한 기능은 주행 경로를 최적화하고, 복잡한 교통 상황에서도 안전한 주행을 가능하게 한다. SSL기술은 TOA, AOA, Doppler 효과와 같은 물리적 신호 특성을 활용하여 이러한 데이터를 실시간으로 분석하고, 객체의 위치와 속도를 정밀하게 추적한다.

스마트 공장에서는 ISAC 기술이 공장의 효율성을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다. 로봇과 기계 간의 실시간 데이터 공유를 통해 생산 라인의 병목 현상을 제거하고, 작업 경로를 최적화하며, 생산성을 높이는 데 기여한다. SSL은 공장 내 로봇과 장비의 위치를 정밀하게 추적하고, 작업 경로를 실시간으로 조정하여 공장의 자동화 수준을 높이는 데 필수적이다. 이러한 기능은 예측 유지보수를 가능하게 하며, 공장의 가동 시간을 늘리고 운영 비용을 줄이는 데 도움을 준다. 로봇의 위치 데이터를 실시간으로 분석하여 작업 경로를 최적화함으로써 생산성과 안정성을 높일 수 있다.

스마트 시티는 ISAC 기술의 또 다른 주요 응용 분야이다. 차량과 보행자의 움직임을 정밀하게 추적하여 실시간 교통 관리를 가능하게 하고, 대기 질과 소음 데이터를 분석하여 도시 환경을 개선할 수 있도록 한다. 이러한 기술은 재난 상황에서 구조 작업의 속도와 효율성을 높이며, 도시에 거주하는 사람들의 안전을 보장한다. SSL 기술은 도시 내의 차량 흐름을 최적화하고, 사고 위험을 줄이며, 환경 데이터를 분석하여 공기 질과 같은 도시 생활의 질을 개선하는 데 중요한 역할을 한다. 이러한 응용은 통신 네트워크가 단순한 데이터 전송 플랫폼에서 벗어나, 환경 정보를 실시간으로 분석하고 의사 결정을 지원하는 지능형 시스템으로 진화하고 있음을 보여준다.

드론 물류 시스템에서는 ISAC 기술이 드론의 비행 경

로를 최적화하고, 장애물을 실시간으로 감지하며, 물류 작업의 효율성을 높이는 데 사용된다. SSL 기술은 드론이 비행 중 경로를 실시간으로 조정하고, 드론 간 협업을 지원하며, 네트워크 안전성을 보장한다. 드론은 센싱 데이터를 통해 주변 환경의 장애물을 감지하고 비행 경로를 자동으로 조정함으로써 물류 작업의 효율성과 안전성을 극대화 한다.

정밀 농업에서도 ISAC 기술은 중요한 역할을 한다. ISAC는 작물의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 토양 데이터를 분석하며, 농기계의 작업 경로를 최적화하여 자원의 낭비를 줄이고 생산성을 극대화한다. SSL 기술은 농업 환경에서의 데이터를 통합적으로 처리하여 작물의 성장 상태와 토양의 질을 평가하고, 최적의 경작 방식을 제안하는 데 사용된다. 이러한 기술은 농업 생산성을 높이고, 환경에 미치는 영향을 최소화 한다.

ISAC 기술의 또 다른 주요 기여는 재난 대응 및 관리 분야이다. ISAC는 통신 신호를 활용하여 재난 지역의 상황을 실시간으로 모니터링하고, 구조 작업을 지원하며, 구조 대원의 위치를 정확히 파악하는 데 기여한다. 이러한 기술은 재난 발생 시 신속한 의사 결정을 가능하게 하며, 구조 작업의 속도와 효율성을 극대화한다. SSL 기술은 지진이나 홍수와 같은 자연 재해 발생 시 구조 작업의 성공률을 높이고 피해를 최소화할 수 있는 강력한 도구를 제공한다.

ISAC 기술은 또한 군사 및 국방 분야에서도 중요한 역할을 한다. SSL 기술은 군사 작전에서 병력과 장비의 위치를 실시간으로 추적하고, 적의 위치를 정확히 파악하며, 실시간 상황 인식을 지원한다. 이러한 기술은 작전의 성공률을 높이고, 병력의 안전성을 강화하는 데 필수적이다. ISAC는 통신과 센싱을 통합하여 군사 작전의 신속성과 정확성을 크게 향상할 것으로 전망한다.

V. 연구방향 및 도전과제

ISAC 기술의 주요 연구 가능성은 크게 네 가지 축으로 나뉜다. 첫째는 초고주파 대역인 THz와 같은 새로운 주파수 자원의 활용이다. 이 대역은 초고속 데이터 전송과

정밀 센싱 및 측위를 가능하게 하지만, 신호 감쇠, 다중 경로 간섭, 전파 불확실성과 같은 기술적 문제가 존재한다. 따라서, THz 대역을 효과적으로 활용하기 위해 채널 모델링, 신호 증폭, 빔포밍 기술의 혁신이 요구된다. 둘째는 RIS 기술이다. RIS는 전파를 능동적으로 조작하여 신호의 품질과 정확도를 높이며, 실내 및 도시 환경에서의 위치 추적과 통신 성능을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다. 셋째는 SSL 알고리즘의 발전으로, 이는 객체 추적과 환경 감지의 정밀도를 높이고 데이터 처리의 효율성을 극대화한다. 넷째는 AI 기반 네트워크 관리와 자원 최적화로, 이는 대규모 네트워크에서의 자율적인 작동과 실시간 데이터 처리의 신뢰성을 보장한다.

THz 대역 활용은 6G 네트워크에서 필수적인 구성 요소로, 데이터 전송 속도를 높이고 센싱의 공간 해상도를 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 THz 대역은 기존의 주파수 대역과 다른 전파 특성을 가지며, 신호 감쇠가 심하고 전파 범위가 제한적이다. 이를 해결하기 위해 채널 모델링 연구가 중요하며, 다중 경로 신호의 특성과 반사 효과를 고려한 모델이 필요하다. 또한, THz 대역은 높은 대역폭을 제공하기 때문에 다중 사용자 환경에서의 자원 할당과 빔포밍 기술의 정교화가 요구된다^[19]. 자율주행 차량 간의 통신에서는 차량 간 거리와 속도를 정확히 추적하고, 고속도로에서의 복잡한 교통 상황을 효과적으로 처리하기 위해 이러한 기술이 활용될 수 있다. 또한, 스마트 공장과 드론 물류 시스템에서도 THz 대역은 높은 정밀도로 객체를 감지하고 실시간으로 데이터를 처리하는 데 중요한 역할을 한다.

RIS 기술은 ISAC 시스템의 성능을 한 단계 끌어올릴 수 있는 중요한 요소로, 실내 환경과 도시 환경에서의 응용 가능성이 크다^[20]. RIS는 전파의 반사, 굴절, 산란 특성을 제어하여 신호 품질을 향상시키고 센싱 데이터의 정확성을 높인다. 실내 내비게이션에서는 GPS 신호가 도달하지 않는 환경에서도 정확한 위치 추적이 가능하며, 스마트 시티에서는 차량과 보행자의 움직임을 실시간으로 모니터링하여 교통 흐름을 최적화할 수 있다. RIS 연구는 신호 제어의 효율성뿐 아니라 에너지 소비를 줄이는 데에도 중점을 두고 있다. 이는 네트워크의 지속 가능성을 높

이고 운영 비용을 줄이는 데 기여한다.

SSL 알고리즘은 통신 신호를 활용하여 객체의 위치와 상태를 실시간으로 추적하는 기술로, ISAC의 핵심 구성 요소 중 하나이다. SSL은 TOA, AOA, Doppler Shift 등의 물리적 신호 특성을 활용하여 높은 정밀도를 제공하며, 최근 연구에서는 RFS 기반 SLAM, BP 기반 접근법, PMBM 필터와 같은 고급 기법을 도입하고 있다. 이들 알고리즘은 복잡한 환경에서도 센싱 데이터와 통신 데이터를 통합적으로 처리하여 객체의 상태를 정확히 추정할 수 있도록 한다. BP 기반 알고리즘은 데이터 연관 문제를 효과적으로 처리하며, Set-Type BP는 객체 간의 상호작용을 명시적으로 모델링하여 더 높은 수준의 정밀도를 제공한다. 이러한 기술은 스마트 공장, 자율주행, 드론 네트워크와 같은 다양한 응용 분야에서 실질적인 가치를 제공한다.

AI 기반 네트워크 관리는 대규모 네트워크 환경에서 자원 할당과 QoS(Quality of Service) 관리를 최적화하는 데 핵심적인 역할을 한다^[21]. AI와 머신러닝은 네트워크 상태를 실시간으로 모니터링하고, 데이터를 기반으로 자율적인 의사 결정을 내릴 수 있는 능력을 제공한다. 자율주행 차량 네트워크에서는 차량 간 협업을 통해 교통 흐름을 최적화하고, 스마트 팩토리에서는 로봇 간의 통신과 작업 경로를 동적으로 조정할 수 있다. 이러한 기술은 네트워크의 효율성을 높이는 동시에 에너지 소비를 줄이고 운영 비용을 절감하는 데 기여한다.

센싱과 통신 신호의 융합은 ISAC 기술의 성능을 극대화하기 위한 중요한 과제로, waveform 설계와 신호 처리 기술이 그 중심에 있다. Waveform 설계는 센싱 데이터와 통신 데이터 간의 간섭을 최소화하고, 두 기능의 효율성을 동시에 극대화할 수 있는 방안을 모색한다^[22]. 이러한 기술은 자율주행 차량, 드론 물류 시스템, 스마트 공장 등에서 데이터 전송과 환경 감지의 정밀도를 크게 향상시킬 수 있다. 또한, waveform 설계와 딥러닝 기반 신호 처리 기술을 결합하면, 복잡한 환경에서도 높은 신뢰성과 정확도를 제공할 수 있다. 스마트 공장에서는 로봇과 기계 간 데이터를 정밀하게 처리하여 작업 경로를 최적화하고 생산성을 극대화한다.

ISAC 기술은 다양한 가능성을 제공하지만, 동시에 해결해야 할 도전 과제도 다수 존재한다. 첫째, THz 대역과 같은 초고주파수 환경에서 신뢰성 높은 채널 모델링이 필요하다. 둘째, 센싱 데이터와 통신 데이터의 특성이 다르기 때문에 이를 통합적으로 처리하는 알고리즘 개발이 요구된다. 셋째, RIS와 같은 기술은 높은 에너지 소비 문제를 동반할 수 있으므로, 지속 가능한 에너지 관리 솔루션이 필요하다. 넷째, 데이터 보안과 프라이버시 문제도 해결해야 할 중요한 과제로, 암호화 기술과 인증 시스템의 개발이 필요하다. 마지막으로, ISAC 기술의 표준화 작업이 필수적이며, 이를 통해 기술의 상호운용성을 확보하고 다양한 응용 분야에서의 활용 가능성을 높일 수 있다.

6G-ISAC 기술은 6G 네트워크의 핵심 기술로 자리 잡으며, 다양한 응용 분야에서 혁신적인 변화를 이끌어낼 가능성을 제공한다. THz 대역 활용, RIS 최적화, SSL 알고리즘 발전, AI 기반 네트워크 관리, 센싱과 통신 신호 융합 등의 연구는 앞으로 6G-ISAC 기술이 더욱 정교하고 신뢰성 높은 시스템으로 발전하는 데 중추적인 역할을 할 것이다. 이러한 기술적 도전 과제를 해결함으로써, ISAC는 자율주행, 스마트 시티, 스마트 공장, 드론 물류, 군사 작전 등 다양한 분야에서 새로운 가능성을 열어가며, 6G 시대의 네트워크를 진화시키는 데 기여할 것이다.

VI. 전망과 결론

6G 시대에 ISAC 기술은 단순한 데이터 전송을 넘어 통합적이고 지능적인 네트워크 서비스를 제공하는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 센싱과 측위를 통합적으로 수행할 수 있는 기능은 ISAC 기술의 가장 중요한 특징 중 하나로, 자율주행, 스마트 시티, 정밀 농업, 스마트 공장, 군사 작전 등 다양한 산업 분야에서 혁신을 가능하게 한다. 이러한 기술은 통신 신호를 활용하여 물리적 환경 데이터를 실시간으로 수집, 분석, 처리함으로써 네트워크가 단순한 데이터 전송 플랫폼에서 환경 인식과 의사 결정 지원 시스템으로 진화할 수 있도록 한다. 그러나 이러한 기술의 발전은 여전히 다양한 연구와 해결해야 할 기술적

과제들이 존재한다.

ISAC 기술의 발전은 센싱과 측위 기술을 중심으로 다양한 도전 과제를 동반한다. 첫째, THz 대역에서의 신뢰성 높은 채널 모델링이 필요하다. THz 대역은 높은 주파수와 넓은 대역폭을 제공하지만, 신호 감쇠와 다중 경로 간섭과 같은 문제를 동반한다. 이를 해결하기 위해 채널 모델링 연구와 빔포밍 기술의 발전이 필수적이다. 둘째, 센싱 데이터와 통신 데이터 간의 통합 처리도 중요한 과제로 남아 있다. 센싱 데이터는 물리적 환경에서의 정보를, 통신 데이터는 네트워크 성능을 최적화하는 정보를 제공하며, 이 두 데이터를 효율적으로 통합하고 처리하기 위한 새로운 알고리즘 개발이 요구된다. 셋째, RIS와 같은 기술은 높은 에너지 소비 문제를 해결해야 한다. RIS는 센싱과 통신 신호를 능동적으로 제어하여 성능을 극대화하지만, 에너지 소비를 줄이기 위한 지속 가능한 솔루션이 필요하다.

센싱 및 측위를 강조하는 ISAC 기술의 또 다른 과제는 데이터 보안과 프라이버시 문제이다. ISAC 시스템이 실시간 데이터를 처리하는 과정에서 민감한 개인 정보가 포함될 가능성이 높다. 스마트 시티와 같은 대규모 네트워크 환경에서는 이러한 데이터를 보호하기 위한 암호화 기술과 인증 시스템이 필요하다. 데이터의 안전성과 신뢰성을 보장하지 못하면, ISAC 기술의 상용화와 확산에 제약이 생길 수 있다.

6G-ISAC 기술은 센싱과 측위 기술의 융합을 통해 네트워크의 활용도를 극대화하며, 다양한 응용 분야에서 혁신적인 변화를 이끌어낼 가능성을 제공한다. 자율주행 차량 네트워크에서는 차량 간 협업을 통해 교통 흐름을 최적화하고, 스마트 시티에서는 차량과 보행자의 위치를 정밀하게 추적하여 교통 혼잡을 줄이고 사고를 예방할 수 있다. 또한, 스마트 공장에서는 로봇과 기계의 위치를 실시간으로 파악하여 생산성을 극대화하고, 에너지 효율성을 높일 수 있다.

6G-ISAC 기술은 센싱과 측위 기술의 융합을 통해 통신 네트워크를 지능적이고 통합적인 시스템으로 발전시키는 데 중추적인 역할을 한다. THz 대역 활용, RIS 최적화, SSL 알고리즘 발전, AI 기반 네트워크 관리, 그리

고 센싱과 통신 데이터의 융합은 앞으로 6G-ISAC 기술이 더욱 정교하고 신뢰성 높은 시스템으로 발전하는 데 필수적인 요소들이다. 이러한 기술적 도전 과제를 해결함으로써, ISAC는 자율주행, 스마트 시티, 스마트 공장, 드론 물류 시스템, 군사 작전 등 다양한 분야에서 새로운 가능성을 열어가며, 6G 시대의 핵심 기술로 자리매김할 것이다.

참고 문헌

- [1] Z. Zhang *et al.*, "6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 14, no. 3, pp. 28–41, Sep. 2019.
- [2] F. Liu *et al.*, "Integrated sensing and communications: Towards dual-functional wireless networks for 6G and beyond," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 40, no. 6, pp. 1728–1767, Jun. 2022.
- [3] H. Hua *et al.*, "Optimal transmit beamforming for integrated sensing and communication," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 8, pp. 10588–10603, Aug. 2023.
- [4] H. Hua *et al.*, "MIMO integrated sensing and communication: CRB-rate tradeoff," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 4, pp. 2839–2854, Apr. 2024.
- [5] H. Zhang *et al.*, "Holographic integrated sensing and communication," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 40, no. 7, pp. 2114–2130, Jul. 2022.
- [6] C. Han *et al.*, "THz: A physical-layer perspective of terahertz integrated sensing and communication," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 62, no. 2, pp. 102–108, Feb. 2024.
- [7] A. Kaushik *et al.*, "Toward integrated sensing and communications for 6G: Key enabling technologies, standardization, and challenges," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 8, no. 2, pp. 52–59, Jun. 2024.
- [8] Z. Liu *et al.*, "UAV assisted integrated sensing and communications for internet of things: 3D trajectory optimization and resource allocation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 8, pp. 8654–8667, Aug. 2024.
- [9] ITU-R, "Framework and overall objectives of the future



- development of IMT for 2030 and beyond,” Nov. 2023.
- [10] “Feasibility study on integrated sensing and communication, Release 19, V19.4.0,” 3GPP TR 22.837, Jun. 2024.
- [11] “Stage 2 functional specification of UE positioning in NG-RAN Release 18, V18.2.0,” 3GPP TS 38.305, Jul. 2024.
- [12] H. Kim *et al.*, “Set-type belief propagation with applications to Poisson multi-Bernoulli SLAM,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 72, pp. 1989–2005, 2024.
- [13] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, “Simultaneous localization and mapping: Part I,” *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 13, no. 2, pp. 99–110, Jun. 2006.
- [14] L. Gao *et al.*, “Random-finite-set-based distributed multirobot SLAM,” *IEEE Trans. Robot.*, vol. 36, no. 6, pp. 1758–1777, Dec. 2020.
- [15] H. Kim *et al.*, “PMBM-based SLAM filters in 5G mmWave vehicular networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 71, no. 8, pp. 8646–8661, Aug. 2022.
- [16] F. Meyer *et al.*, “A scalable algorithm for tracking an unknown number of targets using multiple sensors,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 65, no. 13, pp. 3478–3493, Jul. 2017.
- [17] E. Leitinger *et al.*, “A belief propagation algorithm for multipath-based SLAM,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 18, no. 12, pp. 5613–5629, Dec. 2019.
- [18] H. Kim *et al.*, “RIS-enabled and access point free simultaneous radio localization and mapping,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 4, pp. 3344–3360, Apr. 2024.
- [19] A. M. Elbir *et al.*, “Terahertz-band integrated sensing and communications: Challenges and opportunities,” *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 39, no. 12, pp. 38–49, Dec. 2024.
- [20] H. Luo *et al.*, “Joint beamforming design for RIS-assisted integrated sensing and communication systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 71, no. 12, pp. 13393–13397, Dec. 2022.
- [21] A. Zappone *et al.*, “Wireless networks design in the era of deep learning: Model-based, AI-based, or both?,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 10, pp. 7331–7376, Oct. 2019.

- [21] M. R. Bell, “Information theory and radar waveform design,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 39, no. 5, pp. 1578–1597, Sep. 1993.



양현호

- 2025년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
- 2025년 3월 ~ 현재 충남대학교 전자공학과 석사

〈관심 분야〉

Sensing and localization, mmWave/THz positioning, integrity



최은애

- 2025년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
- 2025년 3월 ~ 현재 충남대학교 전자공학과 석사

〈관심 분야〉

6G positioning, cooperative localization, direction finding

**조 훈 기**

- 2025년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
- 2025년 3월 ~ 현재 충남대학교 전자공학과 석사

〈관심 분야〉

6G positioning, CF-MIMO positioning, LEO positioning

**김 효 원**

- 2021년 8월 한양대학교 전자공학과 박사
- 2021년 8월 ~ 2023년 8월 스웨덴 살머스 공과대학
박사후연구원
- 2022년 1월 ~ 2023년 8월 Marie Curie Fellow
- 2023년 9월 ~ 현재 충남대학교 전자공학과 조교수

〈관심 분야〉

Integrated sensing, localization, and communications,
radio SLAM, and wireless communication systems

통신 분야

[통신]

- 착용형 통신 시스템을 위한 확장 가능한 전도성 패브릭 네트워크의 프로토콜 설계
사카렐로 헤라르도, 유지우, 원윤재
- LoRa 시스템을 위한 SNR 추정 기법
주정석

컴퓨터 분야

[융합컴퓨팅]

- 이기종 메모리 시스템에서의 원격 메모리 접근이 어플리케이션 성능에 미치는 영향 분석
김민재, 노원우
- 양자 회로 시뮬레이션 가속을 위한 순차적 게이트 병합 기법
최승우, 장은혁, 김영민, 노원우

[인공지능, 신경망 및 퍼지시스템]

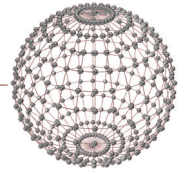
- 공간-시간적 상호작용을 고려한 GATConv-LSTM 일사량 예측 모델
장영준, 이석호, 김지홍, 정길도

[증강휴먼]

- 증강 현실 가상 물체의 지각된 3차원 거리 지각 오차 교정 방법
이주형, 주성준

[인공지능 및 보안]

- UAV 기반 무선전력전송 네트워크에서 강화학습을 활용한 IoT 네트워크 활성화 알고리즘
김대술, 손민정, 하서영, Muy Sengly, 이정륜



인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

- YOLOv8을 이용한 운전자 경로 가이드 시스템 개발
노학기, 이석호, 정길도, 김지홍

[음향 및 신호처리]

- 표현학습을 통한 고품질 CFRP 음향 방출 결함 데이터셋 구축
김다현, 황병일, 김호연, 서영주, 김동주
- 시계열 데이터 분포 특징 기반 배터리 SOH 추정 기법
정우진, 박용주, 박진욱

시스템 및 제어 분야

[제어계측]

- 실외 마커 인식 제어시스템을 위한 카메라 기반 관측기 개발
이석호, 장영민, 김지홍, 정길도

[회로 및 시스템]

- 위상이동을 이용한 터치스크린 PAPR 감소 알고리즘
박지용, 최계원

2024년 학술대회 우수논문

- 음성인식 오류 수정을 위한 이전 발화 기반의 거대언어모델 활용 방안
임혜림, 오창한, 강점자, 송화전, 박기영
- FPGA 리소스 최적화를 고려한 고해상도 LMS 위치 검출 기법에 관한 연구
조진영, 정두희
- Success Memory 및 Regeneration-set Training을 도입한 DQN 기반 아날로그 회로 설계 최적화 알고리즘
김도희, 이수훈, 송익현
- 뇌파신호의 웨이블릿 변환 및 전처리에 따른 딥러닝 기반 발작 예측의 성능 비교
조용운, 오도창

국 내 외 학 술 행 사 안 내

국·내외에서 개최되는 각종 학술대회/전시회를 소개합니다.

게재를 희망하시는 분은 간략한 학술대회 정보를 이메일로 보내주시면 게재하겠습니다.

연락처: ieie@theieie.org

>>2025년 4월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
04.02. - 04.04.	2025 IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI)	Chonburi, Thailand	http://icci2025.smc-thailand.org/
04.03. - 04.05.	2025 2nd International Conference on Trends in Engineering Systems and Technologies (ICTEST)	Ernakulam, India	https://ictest.mec.ac.in/
04.04. - 04.06.	2025 International Conference on Advancement in Communication & Computing in Technology (INOACC)	Bengluru, India	https://inoacc.in/
04.04. - 04.06.	2025 27th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)	Porto, Portugal	https://iceis.scitevents.org/
04.04. - 04.06.	2025 20th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)	Porto, Portugal	https://enase.scitevents.org/
04.05. - 04.06.	2025 Devices for Integrated Circuit (DevIC)	Kalyani, India	https://edu.ieee.org/in-kgec/devic-2025-home-page/
04.05. - 04.06.	2025 IEEE 4th International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)	Michigan, USA	http://www.icmiconf.com/
04.06. - 04.11.	ICASSP 2025 - 2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	Hyderabad, India	https://2025.ieeeicassp.org/
04.06. - 04.11.	2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Workshops (ICASSPW)	Hyderabad, India	https://2025.ieeeicassp.org/
04.07. - 04.10.	2025 IEEE International systems Conference (SysCon)	Montreal, Quebec, Canada	https://ieeesystemscouncil.org/event/conference/ieee-international-systems-conference
04.08. - 04.10.	2025 IEEE International Workshop on Integrated Power Packaging (IWIPP)	Tuscaloosa, Alabama, USA	http://iwipp.org/
04.08. - 04.09.	2025 IEEE Texas Symposium on Wireless and Microwave Circuits and Systems (WMCS)	Waco, Texas, USA	https://texassymposium.org/
04.08. - 04.10.	2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)	Moscow, Russia	https://reepe.mpei.ru/IEEE/Pages/default.aspx
04.09. - 04.11.	2025 IEEE Conference on Secure and Trustworthy Machine Learning (SaTML)	Copenhagen, Denmark	https://satml.org/
04.10. - 04.11.	2025 International Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits (INMMIC)	Torino, Italy	https://www.inmmic.org/
04.12.	2025 IEEE International Conference on Robotics and Technologies for Industrial Automation (ROBOTHIA)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://sites.google.com/view/robothia-malaysia/home
04.13. - 04.15.	2024 International Conference on IT Innovation and Knowledge Discovery (ITIKD)	Manama, Bahrain	http://itikd.ahlia.edu.bh/
04.13. - 04.17.	2025 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC)	Boston, Massachusetts, USA	https://www.ieee-cicc.org/
04.14. - 04.17.	2025 26th International Vacuum Electronics Conference (IVEC)	Rotterdam, Netherlands	https://atpi.eventsair.com/ivec-2025
04.14. - 04.17.	2025 IEEE Silicon Photonics Conference (SiPhotonics)	London, United Kingdom	http://www.ieee-siphotonics.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
04.14. - 04.17.	2025 IEEE 22nd International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)	Houston, Texas, USA	https://biomedicalimaging.org/2025/
04.14. - 04.15.	2025 IEEE Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)	Cocoa Beach, Florida, USA	https://www.ieewamicon.org/
04.15. - 04.17.	2025 IEEE International Microwave Biomedical Conference (IMBioC)	Kaohsiung, Taiwan	https://www.imbioc2025.org/site/page.aspx?pid=901&sid=1585&lang=en
04.15. - 04.19.	2025 10th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)	Beijing, China	https://acpee.net/
04.16. - 04.17.	2025 2nd International Conference on Microwave, Antennas & Circuits (ICMAC)	Islamabad, Pakistan	http://icmac.seecs.edu.pk/
04.16. - 04.17.	2025 11th International Conference on Web Research (ICWR)	Tehran, Iran	https://iranwebconf.ir/
04.18. - 04.20.	2025 11th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)	Kyoto, Japan	https://www.iccar.org/
04.18. - 04.20.	2025 6th International Conference on Electrical, Electronic Information and Communication Engineering (EEICE)	Shenzhen, China	https://www.eeice.net/
04.18. - 04.20.	2025 International Conference on Sensor-Cloud and Edge Computing System (SCECS)	Zhuhai, China	https://www.scecs.org/
04.20. - 04.23.	2025 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)	Los Angeles, California, USA	https://ieee-sustech.org/
04.22. - 04.25.	2025 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)	London, United Kingdom	https://educon-conference.org/
04.22. - 04.25.	2025 IEEE 18th Pacific Visualization Conference (PacificVis)	Taipei City, Taiwan	https://pacificvis2025.github.io/pages/index.html
04.22. - 04.24.	2025 IEEE 5th International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPPI)	Atlanta, Georgia, USA	http://2025.ieee-dtpi.org/
04.22. - 04.24.	2025 IEEE International Conference on RFID (RFID)	Atlanta, Georgia, USA	https://2025.ieee-rfid.org/
04.23. - 04.24.	2025 IEEE Vision, Innovation, and Challenges Summit and Honors Ceremony (VIC Summit)	Tokyo, Japan	https://corporate-awards.ieee.org/event/vic-summit-honors-ceremony-gala/
04.23. - 04.25.	2025 26th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)	San Francisco, California, USA	https://www.isqed.org/
04.24. - 04.25.	2025 International Conference on Nanoelectronics, Nanophotonics, Nanomaterials, Nanobioscience & Nanotechnology (5NANO)	Ernakulam, Kerala, India	https://www.5nano2025.com/
04.24. - 04.25.	2025 13th International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBf)	Munich, Germany	https://www.unibw.de/iwb2025
04.25. - 04.26.	2025 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)	Belagavi, India	http://bhct-2025.ieeebangalore.org/
04.25. - 04.27.	2025 10th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analytics (ICCCBDA)	Chengdu, China	https://www.icccbda.com/index.html
04.25. - 04.27.	2025 IEEE 3rd International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT)	Jilin, China	http://www.iccect.com/
04.25. - 04.27.	2025 11th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR)	Changzhou, China	https://eecr.org/index.html
04.25. - 04.27.	2025 International Conference on Intelligent Transportation and New Energy Technology (ITNET)	Nanning, China	https://www.ic-itnet.com/
04.26. - 05.03.	2025 IEEE/ACM 47th International Conference on Software Engineering (ICSE)	Ottawa, Ontario, Canada	http://www.icse-conferences.org/
04.28. - 05.01.	2025 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC)	Denver, Colorado, USA	https://ieeerepc.org/
04.28. - 05.01.	2025 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)	Salt Lake City, Utah, USA	https://www.ion.org/plans/index.cfm
04.28. - 04.30.	2025 IEEE International Conference on Consumer Technology-Europe (ICCT-Europe)	Algarve, Portugal	https://www.it.pt/Events/Event/5632

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
04.28. - 05.02.	2025 International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAR)	Palermo, Italy	https://www.simpar2025.org/

>>2025년 5월

05.01. - 05.02.	2025 International Conference on Electronics, Computing, Communication and Control Technology (ICECCC)	Bengaluru, India	https://sites.google.com/view/iceccc-2025/home
05.02.	2025 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)	Charlottesville, Virginia, USA	http://engineering.virginia.edu/sieds
05.02. - 05.03.	2025 International Conference on Intelligent and Cloud Computing (ICoCC)	Bhubaneswar, India	http://www.iccc.org.in/
05.03. - 05.09.	2025 IEEE International Radar Conference (RADAR)	Atlanta, Georgia, USA	https://2025.ieee-radar.org/
05.04. - 05.08.	2025 IEEE 33rd Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)	Fayetteville, Arkansas, USA	https://www.fccm.org/
05.04. - 05.09.	2025 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)	Long Beach, California, USA	https://cleoconference.org/
05.04. - 05.07.	2025 IEEE 32nd Symposium on Computer Arithmetic (ARITH)	El Paso, Texas, USA	https://www.arith2025.org/
05.04. - 05.06.	2025 IEEE 3rd International Conference on Mobility, Operations, Services and Technologies (MOST)	Newark, Delaware, USA	http://ieeemobility.org/MOST2025/index.php
05.04. - 05.08.	2025 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference (IAS/PCA)	Birmingham, Alabama, USA	https://cementconference.org/
05.05. - 05.07.	2025 IEEE 28th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS)	Lyon, France	https://cas.polito.it/DDECS2025/
05.05. - 05.07.	2025 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)	Santa Clara, California, USA	https://cai.ieee.org/2025/
05.05. - 05.08.	2025 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST)	San Jose, California, USA	http://www.hostsymposium.org/
05.05. - 05.07.	2025 Conference on AI x Software Engineering	Laguna Hills, California, USA	https://www.aixse.org/
05.05. - 05.08.	IEEE INFOCOM 2025 - IEEE Conference on Computer Communications	London, United Kingdom	https://infocom2022.ieee-infocom.org/
05.05. - 05.09.	2025 II International Congress of Engineering with a Social Sense (CIISS)	Bogotá D.C., Colombia	https://eventos.uniminuto.edu/107918
05.06. - 05.09.	2025 11th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)	Phuket, Thailand	https://iceast.kmitl.ac.th/2025/
05.06. - 05.09.	2025 IEEE 31st Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)	Irvine, California, USA	http://2025.rtas.org/
05.08. - 05.09.	2025 IEEE Build-Up Substrate Symposium (BUSS)	Milpitas, California, USA	http://ieee-buss.org/
05.09.	2025 IEEE Sensors in Spotlight (SenSiS)	Boston, Massachusetts, USA	https://2025.ieee-sensorsinspotlight.org/
05.09. - 05.11.	2025 Global Conference in Emerging Technology (GINOTECH)	PUNE, India	https://ginotech.org/
05.09. - 05.10.	2025 Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC)	Orem, Utah, USA	https://www.uvu.edu/cet/i-etc/
05.09. - 05.11.	2025 IEEE 2nd International Conference on Big Data Science and Engineering (ICBDSE)	Kunming, China	https://www.icbdse.org/
05.09. - 05.11.	2025 4th International Symposium on New Energy Technology Innovation and Low Carbon Development (NET-LC)	Hangzhou, China	https://www.net-lc.net/
05.09. - 05.11.	2025 5th International Conference on Mechanical, Electronics and Electrical and Automation Control (METMS)	Chongqing, China	https://www.met-ms.com/
05.09. - 05.11.	2025 10th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCCE)	Nagoya, Japan	https://www.iccre.org/
05.11. - 05.14.	2025 IEEE 29th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)	Gaeta, Italy	https://spi-workshop.org/
05.11. - 05.13.	2025 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)	Ghent, Belgium	http://ispass.org/ispass2025/
05.11. - 05.14.	2025 IEEE Energy Conversion Congress & Exposition Asia (ECCE-Asia)	Bengaluru, India	https://ecceasia2025.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.11. - 05.14.	2025 IEEE/IAS 61st Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)	Montreal, Quebec, Canada	https://site.ieee.org/ias-icps/main-conference/
05.11. - 05.14.	2025 29th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC)	Portland, Oregon, USA	https://asynsymposium.org/
05.12. - 05.15.	2025 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)	San Francisco, California, USA	https://sp2025.ieee-security.org/
05.12. - 05.16.	2025 Joint Conference of the European Frequency and Time Forum and IEEE International Frequency Control Symposium (EFTF/IFCS)	Querétaro, Mexico	https://2025.ieee-ifcs-eftf.org/
05.12. - 05.16.	2025 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)	Sochi, Russia	https://icieam.su-ieee.ru/
05.12. - 05.14.	2025 ESA Workshop on Aerospace EMC (Aerospace EMC)	Seville, Spain	https://atpi.eventsair.com/emc-2025
05.12. - 05.16.	2025 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://iwcmc.net/2025/
05.12. - 05.16.	NOMS 2025-2025 IEEE Network Operations and Management Symposium	Honolulu, Hawaii, USA	https://noms2025.ieee-noms.org/
05.12. - 05.16.	2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)	St. Petersburg, Russia	http://media-publisher.ru/en/about-weconf-2025/
05.12. - 05.16.	2025 IEEE Magnetic Frontiers: Altermagnetism - New Opportunities in Magnetism	Liblice, Czech Republic	https://www.frontiers2025.cz/
05.13. - 05.14.	2025 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS)	Oerias, Portugal	https://www.icmcis.eu/
05.14. - 05.16.	2025 IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)	Astana, Kazakhstan	https://sist.astanait.edu.kz/
05.14. - 05.16.	2025 5th International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)	Suzhou, China	https://www.icaie.org/index.html
05.14. - 05.18.	2025 International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)	Budapest, Hungary	https://isse-conf.eu/
05.14. - 05.16.	2025 5th International Conference on Pervasive Computing and Social Networking (ICPCSN)	Salem, India	https://icpsn.com/
05.15. - 05.16.	2025 5th International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)	Fez, Morocco	http://www.iraset.org/2025/
05.15. - 05.17.	2025 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) & 2025 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)	Timisoara, Romania	https://info-optim.ro/
05.16. - 05.19.	2025 37th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)	Xiamen, China	http://www.ccdc.neu.edu.cn/
05.16. - 05.18.	2025 International Conference on Advancements in Smart, Secure and Intelligent Computing (ASSIC)	Bhubaneswar, India	http://assic.info/index.php
05.16. - 05.18.	2025 IEEE 3rd International Conference on Power Science and Technology (ICPST)	Kunming, China	https://www.icpst.org/
05.16. - 05.18.	2025 The 16th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT)	Cape Town, South Africa	https://www.mimt.us/
05.16. - 05.17.	2025 3rd International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS)	Hassan, India	https://icdsis.in/
05.16. - 05.18.	2025 IEEE 8th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)	Changsha, China	https://www.cieec.com.cn/
05.16. - 05.18.	2025 5th International Conference on Computer, Control and Robotics (ICCCR)	Hangzhou, China	https://www.icccr.org/
05.16. - 05.18.	2025 2nd International Conference on Intelligent Computing and Robotics (ICICR)	Dalian, China	http://www.icrconf.com/
05.16. - 05.18.	2025 10th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)	Xi'an, China	https://www.ic-icsp.org/
05.16. - 05.18.	2025 IEEE International Annual Conference on Complex Systems and Intelligent Science (CSIS-IAC)	Shenzhen, China	http://www.conference123.org/csisiac2025/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.16. - 05.18.	2025 8th International Conference on Communication Engineering and Technology (IC CET)	Guangzhou, China	https://www.iccet.org/
05.16. - 05.18.	2025 4th International Conference on Electronics, Integrated Circuits and Communication Technology (EICCT)	Chengdu, China	https://www.ic-eict.net/
05.17. - 05.20.	2025 8th International Conference on Electronics Technology (ICET)	Chengdu, China	https://www.icet.net/
05.18. - 05.21.	2025 IEEE International Memory Workshop (IMW)	Monterey, California, USA	https://www.ewh.ieee.org/soc/eds/imw/
05.18. - 05.21.	2025 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)	Houston, Texas, USA	https://www.iemdc.org/
05.18. - 05.21.	2025 15th International Symposium on Linear Drivers for Industry Applications (LDIA)	Daejeon, Korea (South)	http://www.ldia2025.com/
05.19. - 05.23.	2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)	Atlanta, Georgia, USA	https://2025.ieee-icra.org/
05.19. - 05.22.	2025 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)	Chemnitz, Germany	https://i2mtc2025.ieee-ims.org/
05.19. - 05.23.	2025 Asia-Pacific International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility (AP EMC)	Taipei, Taiwan	https://www.apemc2025.org/site/page.aspx?pid=901&sid=1565&lang=en
05.19. - 05.21.	2025 IEEE 34th Microelectronics Design & Test Symposium (MDTS)	Albany, New York, USA	https://mdts.ieee.org/
05.19. - 05.22.	2025 10th International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)	Tampa, Florida, USA	https://emergingtechnet.org/FMEC2025/index.php
05.19. - 05.22.	2025 International Conference on Modern Computing, Networking and Applications (MCNA)	Tampa, Florida, USA	http://mcna-conference.org/2025/index.php
05.19. - 05.22.	2025 IEEE 25th International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid)	Tromsø, Norway	https://site.uit.no/ccgrid2025/
05.19. - 05.22.	2025 IEEE 25th International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing Workshops (CCGridW)	Tromsø, Norway	https://site.uit.no/ccgrid2025/
05.19. - 05.22.	2025 IEEE Conference on Education and Training in Optics and Photonics (ETOP)	Glasgow, United Kingdom	http://www.etop-conference.org/
05.19. - 05.22.	2025 IEEE Emerging Technology Reliability Roundtable (ETR-RT)	Prague, Czech Republic	https://cqr.committees.comsoc.org/etr-rt-2025/
05.19. - 05.22.	2025 IEEE 9th International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)	Tromsø, Norway	https://icfec2025.ontariotechu.ca/
05.19.	IEEE INFOCOM 2025 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)	London, United Kingdom	https://infocom2025.ieee-infocom.org/authors/call-workshop-proposals
05.19. - 05.23.	2025 IEEE 41st International Conference on Data Engineering (ICDE)	Hong Kong, Hong Kong	https://ieee-icde.org/2025/
05.20. - 05.22.	2025 IEEE 19th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)	Antalya, Türkiye	https://cpepowereng2025.org/
05.20. - 05.22.	2025 IEEE 26th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)	Suita, Osaka, Japan	https://hpsr2025.ieee-hpsr.org/
05.20. - 05.23.	2025 22nd International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)	Bangkok, Thailand	https://ecti-con2025.eng.chula.ac.th/
05.21. - 05.23.	2025 Third International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS)	Trichy, India	http://icaiss.com/
05.21. - 05.23.	2025 26th International Radar Symposium (IRS)	Hamburg, Germany	https://www.dgon-irs.org/home
05.23. - 05.25.	2025 International Conference in Advances in Power, Signal, and Information Technology (APSIT)	Bhubaneswar, India	https://apsit.co.in/
05.23. - 05.25.	2025 6th International Conference for Emerging Technology (INCET)	BELGAUM, India	http://www.incet.org/
05.23. - 05.25.	2025 IEEE 12th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)	Chongqing, China	http://www.itaic.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.23. - 05.25.	2025 2nd International Symposium on New Energy Technologies and Power Systems (NETPS)	Hangzhou, China	https://www.netps.org/
05.23. - 05.25.	2025 IEEE International Conference on Electrical Energy Conversion Systems and Control(IEECSC)	Chongqing, China	https://ieee-ieecsc.net/2025/
05.23. - 05.26.	2025 8th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD)	Chengdu, China	https://www.icaibd.org/
05.23. - 05.25.	2025 6th International Conference on Control, Communication and Computing (ICCC)	Thiruvananthapuram, India	https://iccc2025.cet.ac.in/
05.23. - 05.25.	2025 IEEE 5th International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)	Changchun, China	http://www.icetci.org/
05.23. - 05.24.	2025 7th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (ICHORA)	Ankara, Turkiye	http://www.ichoracongress.com/
05.23. - 05.26.	2025 IEEE International Workshop on Radio Frequency and Antenna Technologies (IWRF&AT)	Shenzhen, China	https://rfat.szu.edu.cn/rfat2025/
05.23. - 05.25.	2025 6th International Conference on Computing, Networks and Internet of Things (CNIOT)	Shanghai, China	http://www.cniot-conf.net/
05.23. - 05.25.	2025 IEEE 5th International Conference on Computer Communication and Artificial Intelligence (CCAI)	Haikou, China	http://www.ccai.net/
05.23. - 05.26.	2025 17th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology (ICBBT)	Hangzhou, China	https://www.icbbt.org/index.htm
05.23. - 05.25.	2025 6th International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning (CVIDL)	Ningbo, China	https://www.cvidl.org/
05.24. - 05.25.	2025 IEEE 15th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)	Penang, Malaysia	https://www.iscaie.org/home
05.25. - 05.28.	2025 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)	London, United Kingdom	https://iscas2025.org/lander
05.26. - 05.31.	2025 IEEE 75th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)	Dallas, Texas, USA	https://www.ectc.net/
05.26. - 05.30.	2025 IEEE 19th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG)	Tampa/Clearwater, Florida, USA	https://fg2025.ieee-biometrics.org/
05.26. - 05.29.	2025 IEEE International Conference on Machine Learning for Communication and Networking (ICMLCN)	Barcelona, Spain	https://icmlcn2025.ieee-icmlcn.org/
05.26. - 05.28	2025 IEEE 5th International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	http://ieee-ichms.org/2025/
05.26. - 05.28	2025 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)	Bruges, Belgium	https://etems.digital/2025/
05.26. - 05.29.	2025 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://attend.ieee.org/ccece-2025/
05.27. - 05.30.	2025 24th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)	Dallas, Texas, USA	https://www.ieee-itherm.net/
05.27. - 05.30.	2025 International Conference on Military Technologies (ICMT)	Brno, Czech Republic	https://icmt2025.cz/
05.27. - 05.30.	2025 12th International Conference on Information Technology (ICIT)	Amman, Jordan	https://icit.zuj.edu.jo/Home/
05.28. - 05.30.	2025 7th International Conference on Inventive Material Science and Applications (ICIMA)	Namakkal, India	https://icoimsa.com/2025/
05.28. - 05.29.	2025 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)	Novi Sad, Serbia	https://www.gozinc.org/
05.28. - 05.30.	2025 IEEE Medical Measurements & Applications (MeMeA)	Chania, Greece	http://www.memea2024.ieee-ims.org/
05.29. - 05.30.	2025 IEEE Engineering Reliable Autonomous Systems (ERAS)	Worcester, Massachusetts, USA	https://erasrobotics.org/
05.29. - 05.31	2025 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT)	Valparaiso, Indiana, USA	https://eit-conference.org/eit2025/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.30. - 06.01.	2025 International Conference on Artificial Intelligence and Digital Ethics (ICAIDE)	Guangzhou, China	https://www.icaide.net/

>>2025년 6월

06.01. - 06.05.	2025 37th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD)	Kumamoto, Japan	https://www.ispsd2025.com/
06.02. - 06.05.	2025 IEEE 101st Vehicular Technology Conference (VTC2025-Spring)	Oslo, Norway	https://events.vtsociety.org/vtc2025-spring/
06.02. - 06.05.	2025 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA)	Duisburg, Germany	https://edas.info/web/cogsima2025/home.html
06.02. - 06.04.	2025 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)	Porto, Portugal	https://vnc2025.ieee-vnc.org/
06.02. - 06.05.	2025 26th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)	Irvine, California, USA	https://mdm2025.github.io/
06.02. - 06.06.	2025 MIPRO 48th ICT and Electronics Convention	Opatija, Croatia	http://www.mipro.hr/
06.03. - 06.06.	2025 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit)	Poznan, Poland	https://www.eucnc.eu/
06.03. - 06.06.	2025 25th International Conference on Process Control (PC)	Štrbské Pleso, Slovakia	https://www.process-control.sk/
06.03. - 06.04.	2025 International Conference on Smart Computing, IoT and Machine Learning (SIML)	Surakarta, Indonesia	https://siml.ums.ac.id/2025/
06.03. - 06.06.	2025 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE)	Rome, Italy	https://ieee-wptce.org/
06.03. - 06.07.	2025 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)	Milano, Italy	http://www.ipdps.org/
06.04. - 06.06.	2025 IEEE 55th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL)	Montreal, Quebec, Canada	https://mvl.jpn.org/ISMVL2024/
06.04. - 06.06.	IEEE EUROCON 2025 - 21st International Conference on Smart Technologies	Gdynia, Poland	https://2025.ieee-eurocon.org/
06.04. - 06.06.	2025 6th International Conference in Electronic Engineering & Information Technology (EEITE)	Chania, Greece	https://eeite.hmu.gr/
06.04. - 06.06.	2025 IEEE Seventh International Conference on DC Microgrids (ICDCM)	Tallinn, Estonia	https://taltech.ee/en/ieee-icdcm-2025/
06.04. - 06.06.	2025 Tenth Conference on Lighting (Lighting)	Sozopol, Bulgaria	https://conference.nko.bg/
06.05. - 06.08.	2025 IEEE International Conference on Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE)	Nanjing, China	http://www.precede2025.com/
06.06. - 06.07.	2025 International Conference on Emerging Trends in Industry 4.0 Technologies (ICETI4T)	Navi Mumbai, India	https://iceti4t.siesgst.edu.in/
06.06. - 06.08.	2025 4th International Symposium on Robotics, Artificial Intelligence and Information Engineering (RAIE)	Zhenjiang, China	https://www.raie.org/
06.06. - 06.07.	2025 International Conference on Intelligent Computing and Knowledge Extraction (ICICKE)	Bengaluru, India	https://icicke.in/
06.06. - 06.08.	2025 IEEE International Symposium on Ethics in Engineering, Science, and Technology (ETHICS)	Evanston, Illinois, USA	https://attend.ieee.org/ethics-2025/
06.06. - 06.07.	2025 IEEE International Conference on Hydraulic Engineering Calculation and Simulation Technology (HECST)	Shanghai, China	https://www.hecstconf.com/
06.07. - 06.11.	2025 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)	South Padre Island, Texas, USA	https://ieee-eic.org/
06.08. - 06.12.	ICC 2025 - IEEE International Conference on Communications	Montreal, Quebec, Canada	https://icc2025.ieee-icc.org/
06.08. - 06.12.	2025 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)	Hangzhou, China	https://www.cec2025.org/
06.08. - 06.13.	2025 IEEE 53rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	Montreal, Quebec, Canada	https://ieee-pvsc.org/PVSC53/
06.08. - 06.12.	2025 Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits)	Kyoto, Japan	https://www.vlssymposium.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.09. - 06.11.	2025 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)	Denver, Colorado, USA	https://phmconf.org/
06.09. - 06.13.	2025 IEEE Conference on Norbert Wiener in the 21st Century (21CW)	Kitakyushu, Japan	https://www.21stcenturywiener.org/
06.09. - 06.11.	2025 21st International Conference on Distributed Computing in Smart Systems and the Internet of Things (DCOSS-IoT)	Lucca, Italy	https://dcoss.org/
06.10. - 06.12.	2025 IMAPS Nordic Conference on Microelectronics Packaging (NordPac)	Copenhagen, Denmark	https://nordic.imapseurope.org/nordpac/
06.10. - 06.12.	2025 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)	Rome, Italy	https://events.tuni.fi/icl-gnss/
06.10 - 06.13	2025 IEEE 21st International Conference on Factory Communication Systems (WFCS)	Rostock, Germany	https://wfcs25.uni-rostock.de/
06.10. - 06.14.	2025 14th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)	Budva, Montenegro	https://mecocoference.me/meco2025/
06.10. - 06.17.	2025 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	Nashville, Tennessee, USA	http://cvpr2025.thecvf.com/
06.11. - 06.13.	2025 7th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)	Bochum, Germany	https://gpecom.org/2025/
06.11. - 06.13.	2025 4th International Conference on Advances in Computing, Communication, Embedded and Secure Systems (ACCESS)	Ernakulam, India	https://sites.google.com/view/access25
06.11. - 06.13.	2025 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment (MetroLivEnv)	Venezia, Italy	https://www.metrolivenv.org/
06.11. - 06.13.	2025 IEEE Evolution - Life Members Conference	Boston, Massachusetts, USA	https://lifemembersconference.ieee.org/
06.12. - 06.13.	2025 IEEE/ACM 34th International Workshop on Logic and Synthesis (IWLS)	Verona, Italy	http://www.iwls.org/iwls2025/
06.13. - 06.14.	2025 International Conference on Computing Technologies (ICOCT)	Bengaluru, India	https://icoct.in/
06.13. - 06.15	2025 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC)	Yinchuan, China	http://www.edssc2025.com/
06.13. - 06.15	2025 International Symposium on Intelligent Robotics and Systems (IROS)	Chengdu, China	https://www.isoires.org/
06.13. - 06.16.	2025 International Conference on Distance Education and Learning (ICDEL)	Kunming, China	http://www.icdel.org/index.html
06.13. - 06.14.	2025 3rd Cognitive Models and Artificial Intelligence Conference (AICCONF)	Prague, Czech Republic	http://ai-conf.com/
06.13. - 06.15	2025 International Conference on Advanced Energy Systems and Power Electronics (AESPE)	Hangzhou, China	http://aespe.net/
06.13. - 06.15	2025 11th International Symposium on Sensors, Mechatronics and Automation System (ISSMAS)	Zhuhai, China	https://www.is-smas.net/
06.15. - 06.20.	2025 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS 2025	San Francisco, California, USA	https://ims-ieee.org/
06.15. - 06.17.	2025 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC)	San Francisco, California, USA	https://rfic-ieee.org/
06.15. - 06.20.	2025 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)	Taipei, Taiwan	https://ias-am.ieee.org/2025/
06.15. - 06.20.	2025 IEEE 23rd International Forum on MPSoC for Software-Defined Hardware (MPSoC)	Megeve, France	http://mpsoc-forum.org/
06.16. - 06.20.	2025 IEEE 38th Computer Security Foundations Symposium (CSF)	Santa Cruz, California, USA	https://csf2025.ieee-security.org/index.html
06.16. - 06.20.	2025 10th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)	Bol and Split, Croatia	https://splitech.org/
06.16. - 06.17.	2025 International Conference on Smart Learning Courses (SCME)	Hebron, Palestine	https://scme.edu.ps/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.17. - 06.19.	2025 6th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)	Tirunelveli, India	http://icicv.org/conf2025/
06.17. - 06.20.	2025 IEEE 34th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)	Toronto, Ontario, Canada	https://ieee-isie-2025.org/
06.18. - 06.20	2025 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)	Dublin, Ireland	http://bmsb2025.com/
06.18. - 06.21.	2025 IEEE 13th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)	Rende, Italy	https://events.dimes.unical.it/ichi2025/
06.18. - 06.20	2025 IEEE 38th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)	Madrid, Spain	https://2025.cbms-conference.org/
06.18. - 06.20	2025 IEEE/AIAA Transportation Electrification Conference and Electric Aircraft Technologies Symposium (ITEC+EATS)	Anaheim, California, USA	https://itec-conf.com/
06.18. - 06.21.	2025 International Conference on Power Electronics Converters for Transportation and Energy Applications (PECTEA)	Jatni, India	http://conference.iitbbs.ac.in/pectea2025/
06.18. - 06.20	2025 IEEE 12th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)	Naples, Italy	https://www.metroaerospace.org/
06.18. - 06.20	2025 IEEE Guwahati Subsection Conference (GCON)	Itanagar, India	https://gcon2025.in/
06.19. - 06.20.	2025 1st International Conference on Radio Frequency Communication and Networks (RFCoN)	Thanjavur, India	https://sastra.edu/rfcoe23/
06.19. - 06.20.	2025 IEEE 2nd International Conference on Blockchain, Smart Healthcare and Emerging Technologies (SmartBlock4Health)	Bucharest, Romania	https://smartblock4health.upb.ro/
06.19. - 06.21.	2025 19th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)	Sofia, Bulgaria	https://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/?konf=227
06.20. - 06.22.	2025 5th International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)	HUBBALI, India	https://inconf.in/
06.20. - 06.22.	2025 2nd International Conference on Digital Media, Communication and Information Systems (DMCIS)	Nanjing, China	https://www.icdmcis.org/
06.20. - 06.22.	2025 6th International Conference on Electrical Technology and Automatic Control (ICETAC)	Nanjing, China	https://www.icetac.org/
06.20. - 06.21.	2025 IEEE 2nd International Conference on Energy and Electrical Engineering (EEE)	Nanchang, China	https://www.iceeeconf.com/
06.20. - 06.22.	2025 9th International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA)	Nanjing, China	https://www.icpesa.org/
06.20. - 06.22.	2025 IEEE International Conference on Pattern Recognition, Machine Vision and Artificial Intelligence (PRMVAI)	Loudi, China	https://www.prmvai.org/
06.20. - 06.22.	2025 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (SEAI)	Fuzhou, China	https://www.seai.org/
06.20. - 06.22.	2025 10th International Symposium on Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (ISAECEE)	Xi'an, China	https://www.isaecee.com/
06.21. - 06.24.	2025 23rd IEEE Interregional NEWCAS Conference (NEWCAS)	Paris, France	http://www.newcas2025.com/
06.21. - 06.25.	2025 ACM/IEEE 52nd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)	Tokyo, Japan	http://iscaconf.org/isca2025/
06.22. - 06.26	2025 62nd ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC)	San Francisco, California, USA	https://www.dac.com/
06.22. - 06.26.	2025 25th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG)	Naples, Italy	https://www.compumag2025.com/cm/
06.22. - 06.25	2025 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)	Cluj-Napoca, Romania	https://ieee-iv.org/2025/
06.22. - 06.25	2025 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS)	Singapore	https://2025.ieee-fleps.org/
06.22. - 06.26.	2025 Joint Conference on Electrostatics (ESA)	St. Catharines, Ontario, Canada	https://electrostatics.org/annual-meeting-2/
06.22. - 06.25.	2025 IEEE 16th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)	Nanjing, China	https://www.pedg2025.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.23. - 06.27.	2025 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC)	Munich, Germany	https://www.cleoeurope.org/
06.23. - 06.26.	2025 55th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)	Naples, Italy	https://dsn2025.github.io/
06.23. - 06.26.	2025 55th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks - Supplemental Volume (DSN-S)	Naples, Italy	https://dsn2025.github.io/
06.23. - 06.26.	2025 55th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W)	Naples, Italy	https://dsn2025.github.io/
06.23. - 06.26.	2025 21st International Conference on Intelligent Environments (IE)	Darmstadt, Germany	https://www.ie2025.fraunhofer.de/
06.23. - 06.25.	2025 Silicon Valley Cybersecurity Conference (SVCC)	San Francisco, California, USA	https://www.svcc-svcsi.org/
06.23. - 06.26.	2025 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)	Chisinau, Moldova	https://blackseacom2025.ieee-blackseacom.org/
06.23. - 06.27.	2025 IEEE 11th International Conference on Network Softwarization (NetSoft)	Budapest, Hungary	https://netsoft2025.ieee-netsoft.org/
06.23. - 06.27.	2025 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS)	Bologna, Italy	https://www.emts2025.it/
06.24. - 06.26.	2025 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)	Villasimius, Italy	https://www.iccep.net/
06.24. - 06.26.	2025 IEEE/ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)	New York, New York, USA	https://conferences.computer.org/chase2025/
06.24.	2025 IEEE International Conference on AI and Data Analytics (ICAD)	Waltham, Massachusetts, USA	http://ieee-icad.org/
06.25. - 06.27.	2025 6th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)	Coimbatore, India	http://icirca18.com/
06.25. - 06.27.	2025 25th International Conference on Digital Signal Processing (DSP)	Pylos (Messinia, Southwest Peloponnese), Greece	https://2025.ic-dsp.org/
06.25. - 06.27.	2025 IEEE/ACIS 29th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)	Busan, Korea (South)	https://acisinternational.org/conferences/snpd-2025-summer/
06.25. - 06.26.	2025 Second International Conference on Cognitive Robotics and Intelligent Systems (ICC - ROBINS)	Coimbatore, India	https://kpriet.ac.in/conference/icc-robins
06.26. - 06.27.	2025 IEEE International Conference on LLM-Aided Design (ICLAD)	Stanford, California, USA	https://www.islad.org/
06.26. - 06.27.	2025 17th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)	Targoviste, Romania	https://ecai.ro/
06.26. - 06.27.	2025 International Compact Modeling Conference (ICMC)	San Francisco Bay Area, California, USA	https://2025.si2-icmc.org/
06.26. - 06.27.	2025 IEEE Cloud Summit	Washington, District of Columbia, USA	https://www.ieeecloudsummit.org/
06.26. - 06.27.	2025 Symposium on Maritime Informatics and Robotics (MARIS)	Syros, Greece	http://ieee-maris.aegean.gr/about.html
06.26. - 06.27.	2025 International Conference on Emerging Technologies in Computing and Communication (ETCC)	Bangalore, India	https://pesu-etcc2025.vercel.app/
06.27. - 06.29.	2025 IEEE International Conference on Computation, Big-Data and Engineering (ICCBE)	Penang, Malaysia	https://www.iccbe.asia/
06.27. - 06.29.	2025 7th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI)	Tokushima, Japan	https://www.iccci.org/
06.27. - 06.29.	2025 IEEE International Symposium on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things: Design and Implementation (CPSIoTDI)	Bilaspur, Chhattisgarh, India	https://cpsit2k24.com/
06.27. - 06.28.	2025 International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech)	Ruse, Bulgaria	http://www.compsystech.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.27. - 06.28.	2025 International Conference on Advancements in Power, Communication and Intelligent Systems (APCI)	Kannur, India	https://www.gcek.ac.in/APCI2025/
06.27. - 06.28.	2025 Annual International Conference on Data Science, Machine Learning and Blockchain Technology (AICDMB)	MYSURU, India	http://aicdmb2025.vvce.ac.in/
06.27. - 06.28.	2025 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://sites.google.com/view/i2cacis/home
06.27. - 06.29.	2025 13th International Conference on Intelligent Computing and Wireless Optical Communications (ICWOC)	Chengdu, China	https://www.icwoc.org/
06.27. - 06.29.	2025 4th International Conference on Image Processing and Media Computing (ICIPMC)	Xi'an, China	https://www.icipmc.net/
06.28. - 06.30.	2025 IEEE 3rd International Conference on Image Processing and Computer Applications (ICIPCA)	Shenyang, China	http://www.icipca.org/
06.29. - 07.03.	2025 23rd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers)	Orlando, Florida, USA	https://www.transducers2025.org/
06.29. - 07.03.	2025 30th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2025 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC)	Sapporo, Japan	https://www.oecpcsc2025.org/
06.29. - 07.03.	2025 IEEE Kiel PowerTech	Kiel, Germany	https://2025.ieee-powertech.org/
06.30. - 07.04.	2025 IEEE 10th European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)	Venice, Italy	https://eurosp2024.ieee-security.org/
06.30. - 07.05.	2025 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)	Rome, Italy	https://2025.ijcnn.org/
06.30. - 07.02.	2025 22nd International Conference on Ubiquitous Robots (UR)	College Station, Texas, USA	https://2025.ubiquitousrobots.org/
06.30. - 07.03.	2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)	Tyumen, Russia	http://media-publisher.ru/en/about-synchroinfo-2025/
06.30. - 07.03.	2025 IEEE 19th International Conference on Control & Automation (ICCA)	Tallinn, Estonia	http://www.mae.cuhk.edu.hk/~usr/icca2025/index.html

>>2025년 7월

07.01. - 07.03.	2025 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)	Barcelona, Spain	https://www.iccad-conf.com/
07.01. - 07.03.	2025 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0 & IoT)	Castelldefels, Spain	https://www.metroind40iot.org/
07.01. - 07.03.	2025 16th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)	Irbid, Jordan	https://www.just.edu.jo/icics/
07.02. - 07.05.	2025 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)	Bologna, Italy	https://ieee-iscc.computer.org/2025/
07.02. - 07.04.	2025 13th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)	Thessaloniki, Greece	https://www.iwagpr2025.gr/
07.03. - 07.06.	2025 5th International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)	Paris, France	https://www.icecet.com/
07.03. - 07.05.	2025 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)	Bali, Indonesia	http://iaict.org/
07.03. - 07.05.	2025 11th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC)	Kochi, India	http://icscc.net/
07.04. - 07.06.	2025 IEEE North-East India International Energy Conversion Conference and Exhibition (NE-IECCE)	Silchar, India	https://ne-iecce2025.org/
07.04. - 07.05.	2025 International Conference on Computing Technologies & Data Communication (ICCTDC)	HASSAN, India	https://icctdc.com/
07.04. - 07.06.	2025 International Conference on Smart & Sustainable Technology (INCSST)	Chikodi, India	https://incst.org/
07.04. - 07.05.	2025 International Conference on Information, Implementation, and Innovation in Technology (I2ITCON)	Pune, India	https://commcon.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.04. - 07.06.	2025 4th International Conference on Robotics, Artificial Intelligence and Intelligent Control (RAIIC)	Chengdu, China	https://www.raic.org/
07.04. - 07.07.	2025 7th International Conference on Power and Energy Technology (ICPET)	Shanghai, China	https://www.icpet.org/
07.04. - 07.05.	2025 International Conference on Engineering Innovations and Technologies (ICoEIT)	Bhopal, India	http://icoeit.org/
07.06. - 07.10.	2025 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)	Reims, France	https://fuzzieee2025.conf.lip6.fr/
07.06. - 07.09.	2025 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI)	Kalamata, Greece	https://www.ieee-isvlsi.org/ISVLSI_2025_Website/index.html
07.07. - 07.10.	2025 American Control Conference (ACC)	Denver, Colorado, USA	https://acc2025.a2c2.org/
07.07. - 07.09.	2025 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)	Christchurch, New Zealand	https://attend.ieee.org/tensymp25/
07.07. - 07.12.	2025 IEEE World Congress on Services (SERVICES)	Helsinki, Finland	https://services.conferences.computer.org/2024/
07.07. - 07.09.	2025 IEEE 31st International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS)	Ischia, Italy	https://orion.polito.it/iolts/
07.07. - 07.13.	2025 17th International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)	Bath, United Kingdom	http://conference.cs.cityu.edu.hk/icaci/
07.07. - 07.11.	2025 Joint Telematics Group/IEEE Information Theory Society Summer School in Information Theory, Signal Processing, Telecommunication, and Networking	Mumbai, India	http://ee.iitb.ac.in/~jtg2025/
07.07. - 07.10.	2025 21st International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods, and Applications to Circuits Design (SMACD)	Istanbul, Turkiye	https://smacd-conference.org/
07.07. - 07.11.	2025 28th International Conference on Information Fusion (FUSION)	Rio de Janeiro, Brazil	https://fusion2025.org/
07.08. - 07.10.	2025 Signal Processing Symposium (SPSymo)	Warsaw, Poland	https://spsympo.ise.pw.edu.pl/en
07.08. - 07.11.	2025 IEEE World Haptics Conference (WHC)	Suwon, Korea (South)	https://2025.worldhaptics.org/
07.08. - 07.10.	2025 Fifth International Symposium on 3D Power Electronics Integration and Manufacturing (3D-PEIM)	Denver, Colorado, USA	https://www.3d-peim.org/
07.08. - 07.11.	2025 IEEE 49th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)	Toronto, Ontario, Canada	https://ieeecompsac.computer.org/2025/
07.08. - 07.10.	2025 38th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)	Reykjavik, Iceland	https://www.vacuumnanoelectronics.org/
07.08. - 07.11.	2025 Sixteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)	Lisbon, Portugal	https://icufn.org/
07.09. - 07.12.	2025 IEEE 5th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)	Jaipur, India	https://www.sefet.in/
07.10. - 07.18.	2025 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC)	Nashville, Tennessee, USA	https://www.nsrec.com/
07.10. - 07.13.	2025 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)	Bengaluru, India	https://ieee-conecct.org/
07.11. - 07.13.	2025 IEEE 26th China Conference on System Simulation Technology and its Applications (CCSSTA)	Shenzhen, China	http://www.ccssta.org.cn/index
07.12. - 07.13.	2025 Intelligent Methods, Systems, and Applications (IMSA)	Giza, Egypt	http://imsa.msa.edu.eg/
07.12. - 07.14.	2025 10th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)	Wuxi, China	https://www.icsip.org/index.html
07.12. - 07.15.	2025 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)	Bali, Indonesia	https://www.icmlc.com/
07.12. - 07.15.	2025 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)	Bali, Indonesia	https://www.icwapr.org/
07.13. - 07.18.	2025 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF)	Graz, Austria	https://2025.ieee-isaf.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.13. - 07.18.	2025 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting (AP-S/ CNC-USNC-URSI)	Ottawa, Ontario, Canada	https://sites.google.com/view/ieeap-sursi2025
07.13. - 07.16.	2025 IEEE 25th International Conference on Nanotechnology (NANO)	Washington, District of Columbia, USA	https://2025.ieeenano.org/
07.13. - 07.18.	2025 IEEE CNC-USNC-URSI North American Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium)	Ottawa, Ontario, Canada	https://sites.google.com/view/ieeap-sursi2025
07.14. - 07.18.	2025 47th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	Copenhagen, Denmark	https://embc.embs.org/2025/
07.14. - 07.17.	2025 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)	Changhua, Taiwan	https://tc.computer.org/tclt/icalt-2025/
07.14. - 07.18.	2025 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)	Hangzhou, China	https://www.aim2025.org/
07.15. - 07.18.	2025 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2025 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC / I&CPS Europe)	Chania, Crete, Greece	https://www.eeeic.net/
07.15. - 07.22	2025 12th International Conference on Machine Intelligence Theory and Applications (MITA)	Frankfurt, Germany	http://www.mita2025.com/
07.15. - 07.17.	2025 IEEE 8th International Conference on Signal Processing and Machine Learning (SPML)	Hohhot, China	https://www.spml.net/
07.15. - 07.18.	2025 16th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)	Rome, Italy	https://www.icmae.org/
07.15. - 07.18.	2025 17th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON)	Chiang Mai, Thailand	http://www.bmeicon.org/bmeicon2025/
07.16. - 07.18.	2025 6th International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)	Setúbal, Portugal	https://www.cispee2025.ips.pt/
07.16. - 07.20.	2025 25th International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS)	Hangzhou, China	https://qrs25.techconf.org/
07.16. - 07.20.	2025 25th International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C)	Hangzhou, China	https://qrs25.techconf.org/
07.16. - 07.18.	2025 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)	Colmar, France	https://cits.udg.edu/
07.16. - 07.18.	2025 10th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)	Chengdu, China	https://www.icivc.org/index.html
07.17. - 07.19.	2025 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)	Osaka, Japan	https://ieee-arso.org/
07.17. - 07.18.	2025 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)	Iasi, Romania	http://scs.etti.tuiasi.ro/isscs2025/
07.18. - 07.21.	2025 International Conference of Clean Energy and Electrical Engineering (ICCEEE)	Changchun, China	http://www.icceee.com/expire.php
07.18. - 07.19.	2025 International Conference on Computing, Intelligence, and Application (CIACON)	Durgapur, India	https://www.ciacon.in/
07.18. - 07.19.	2025 Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA)	Ernakulam, India	http://ic7.fisat.ac.in/
07.18. - 07.20.	2025 4th International Conference on Power System and Energy Technology (ICPSET)	Chengdu, China	https://www.icpset.org/
07.19. - 07.21.	2025 International Conference on Advanced Machine Learning and Data Science (AMLDS)	Tokyo, Japan	http://amlDs.site/
07.20. - 07.23.	2025 IEEE 20th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)	St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada	https://antem2025.ieee.ca/
07.20. - 07.23.	2025 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm)	Sønderborg, Denmark	https://attend.ieee.org/procomm-2025/
07.20. - 07.22.	2025 IEEE 9th International Test Conference India (ITC India)	Bangalore, India	https://itctestweekindia.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.21. - 07.24.	2025 IEEE 15th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)	Penang, Malaysia	http://ieee-peds.org/
07.21. - 07.25.	2025 IEEE Symposium on Radiation Measurements and Applications (SORMA West)	Berkeley, California, USA	http://sormawest.org/
07.21. - 07.23.	2025 IEEE 4th German Education Conference (GECon)	Hamburg, Germany	https://attend.ieee.org/gecon-2025/
07.21. - 07.23.	2025 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)	Toronto, Ontario, Canada	https://iccp2025.iccp-conference.org/
07.21. - 07.24.	2025 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS)	Tucson, Arizona, USA	https://ieeedapps.com/
07.21. - 07.24.	2025 IEEE International Congress on Intelligent and Service-Oriented Systems Engineering (CISOSE)	Tucson, Arizona, USA	https://conf.researchr.org/home/cisose-2025
07.21. - 07.23.	2025 IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series (SUM)	Berlin, Germany	https://www.ieee-sum.org/
07.21. - 07.24.	2025 IEEE 11th International Conference on Big Data Computing Service and Machine Learning Applications (BigDataService)	Tucson, Arizona, USA	https://conf.researchr.org/track/cisose-2025/bigdataservice-2025
07.21. - 07.23.	2025 IEEE Space, Aerospace and Defence Conference (SPACE)	Bangalore, India	http://www.ieeespace.org/
07.21. - 07.23.	2025 1st International Symposium on E-CARGO and Applications (E-CARGO)	Guangzhou, China	http://e-cargoschool.com/2025#/
07.21. - 07.24.	2025 IEEE Intelligent Mobile Computing (MobileCloud)	Tucson, Arizona, USA	https://conf.researchr.org/track/cisose-2025/imc-2025
07.21. - 07.24.	2025 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Testing (AITest)	Tucson, Arizona, USA	https://ieeaitest.com/
07.22. - 07.25.	2025 International Symposium on Educational Technology (ISET)	Bangkok, Thailand	https://hksmic.org.hk/iset/2025/
07.23. - 07.25.	2025 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)	Durban, South Africa	https://www.ictas.org/
07.23. - 07.25.	2025 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)	Surabaya, Indonesia	https://elib.its.ac.id/conf/isitia/main/
07.25. - 07.26.	2025 International Conference on Innovations in Intelligent Systems: Advancements in Computing, Communication, and Cybersecurity (ISAC3)	Bhubaneswar, India	https://isac3.in/
07.25. - 07.27.	2025 3rd World Conference on Communication & Computing (WCONF)	Raipur, India	https://wconf.in/
07.25. - 07.27.	2025 International Conference on Computational Intelligence and Robotics (CIR)	Guangzhou, China	https://www.ic-cir.com/
07.25. - 07.27.	2025 IEEE 7th International Conference on Artificial Intelligence, Computer Science, and Information Processing (AICSIP)	Hangzhou, China	https://www.aicsconf.cn/
07.25. - 07.26.	2025 3rd International Conference on Data Science and Network Security (ICDSNS)	Tiptur, India	https://icdsns.co.in/
07.25. - 07.27.	2025 6th International Conference on Energy Power and Automation Engineering (ICEPAE)	Zhengzhou, China	https://www.icepae.org/
07.25. - 07.27.	2025 8th Asia Conference on Energy and Electrical Engineering (ACEEE)	Qingdao, China	https://www.aceee.net/
07.26. - 07.27.	2025 IEEE 4th World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC)	GB Nagar, Gwalior, India	http://scrs.in/conference/aic2025
07.27. - 07.31.	2025 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)	Austin, Texas, USA	https://pes-gm.org/
07.27. - 07.30.	2025 16th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS)	Shanghai, China	http://www.icrms.cn/#/
07.28. - 08.01.	2025 International Conference on Sampling Theory and Applications (SampTA)	Vienna, Austria	https://sampta25.univie.ac.at/
07.28. - 07.30.	2025 44th Chinese Control Conference (CCC)	Chongqing, China	https://ccc2025.cqu.edu.cn/
07.28. - 08.01.	2025 IEEE International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO)	Changchun, China	http://www.3m-nano.org/2025/main/index.asp

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.28. - 07.31.	NAECON 2025 - IEEE National Aerospace and Electronics Conference	Dayton, Ohio, USA	https://attend.ieee.org/naecon-2025/
07.28. - 08.01.	2025 IEEE Space Computing Conference (SCC)	Los Angeles, California, USA	https://2025.smcit-scc.space/
07.28. - 08.01.	2025 IEEE 11th International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (SMC-IT)	Los Angeles, California, USA	https://2025.smcit-scc.space/
07.29. - 08.01.	2025 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO)	Tianjin, China	http://www.em-conf.com/nemo2025/
07.29. - 07.31.	2025 8th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)	Erode, India	https://iccmcc.com/ICCMC-25/
07.30. - 08.01.	2025 10th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed)	Pattaya, Thailand	http://www.istem-ed.com/2025/

>>2025년 8월

08.01. - 08.02.	2025 12th International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology - Signal and Information Processing (ICETET - SIP)	Nagpur, India	https://ghrce.raisoni.net/icetetsip-25/index.php
08.01. - 08.03.	2025 International Conference on Equipment Intelligent Operation and Maintenance (ICEIOM)	Urumqi, China	http://iceiom2025.aconf.org/
08.01. - 08.02.	2025 Third International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology (NMITCON)	BENGALURU, India	https://nitte.edu.in/nmit/nmitcon/
08.01. - 08.03.	2025 International Conference on Mechanical Automation and Engineering Applications (ICMAEA)	Chongqing, China	https://www.icmaea.org/
08.01. - 08.03.	2025 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)	Portsmouth, United Kingdom	http://www.ieee-arm.org/
08.02.	2025 IEEE 16th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)	Shah Alam, Malaysia	https://sites.google.com/view/icsgrc-malaysia/home
08.03. - 08.06.	2025 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	Beijing, China	http://2025.ieee-icma.org/
08.03. - 08.06.	2025 IEEE 20th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Yantai, China	https://www.ieeeiciea.org/2025/
08.03. - 08.07.	2025 IEEE 13th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)	Christchurch, New Zealand	http://www.ieee-apcap.org/
08.03. - 08.06.	2025 IEEE 5th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE)	Harbin, China	https://www.icempe2025.org/
08.04. - 08.07.	2025 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference - Global (TEMSCON Global)	San Diego, California, USA	https://2025.ieee-temscn-global.org/
08.04. - 08.06.	2025 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR)	Chania, Crete, Greece	https://www.ieee-csr.org/
08.04. - 08.06.	2025 IEEE International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS)	Madison, Wisconsin, USA	https://coinsconf.com/
08.04. - 08.07.	2025 34th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)	Tokyo, Japan	http://www.iccn.org/iccn25/
08.04. - 08.06.	2025 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM)	Hong Kong	http://www.iwem2025.org/
08.04. - 08.08.	2025 4th International Conference on Power Systems and Electrical Technology (PSET)	Tokyo, Japan	https://www.pset.org/
08.05. - 08.08.	2025 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)	Alexandria, Virginia, USA	https://ests.mit.edu/
08.05. - 08.08.	2025 IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://ieee-ifetc.org/
08.05. - 08.09.	2025 10th International Youth Conference on Energy (IYCE)	Budapest, Hungary	https://www.iyce-conf.org/
08.05. - 08.08.	2025 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)	Windhoek, Namibia	https://etncc.nust.na/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.05. - 08.06.	2025 14th International Conference on Information Technology in Asia (CITA)	Kota Samarahan, Malaysia	https://www.conference.unimas.my/cita/en/
08.06. - 08.07.	2025 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium - Europe (RAMS-Europe)	Amsterdam, Netherlands	http://rams-europe.org/
08.06. - 08.08.	2025 3rd International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS)	Erode, India	http://icscds.com/
08.06. - 08.08.	2025 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)	Reykjavik, Iceland	https://islped.org/2025/
08.06. - 08.08.	2025 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration and Data Science (IRI)	San Jose, California, USA	https://homepages.uc.edu/~niunn/IRI25/
08.06. - 08.08.	2025 IEEE South Asia Ferroelectric Symposium (SAFS)	Bangalore, India	http://2025.ieee-safs.org/
08.07. - 08.08.	2025 8th International Conference on Circuit, Power & Computing Technologies (ICCPCT)	Kollam, India	http://www.iccpct.in/
08.07. - 08.09.	2025 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA)	Antalya, Turkiye	https://acdsa.org/index.php
08.07. - 08.09.	2025 International Conference on Networks & Advances in Computational Technologies (NetACT)	Trivandrum, India	https://netact25.in/
08.08. - 08.10.	2025 IEEE 8th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)	Guiyang, China	http://www.iaeac.org/
08.08. - 08.09.	2025 International Conference on Biomedical Engineering and Sustainable Healthcare (ICBMESH)	Manipal, India	https://conference.manipal.edu/ICBMESH2025/
08.09.	2025 IEEE 7th Symposium on Computers & Informatics (ISCI)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.isci.asia/
08.10. - 08.15.	2025 IEEE North American Particle Accelerator Conference (NA-PAC)	Sacramento, California, USA	https://events.slac.stanford.edu/napac25
08.10. - 08.13.	2025 IEEE 68th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)	Lansing/E. Lansing, Michigan, USA	https://mwscas.tripod.com/
08.10. - 08.13.	2025 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)	Shanghai, China	https://iccc2025.ieee-iccc.org/
08.11. - 08.13.	2025 IEEE International Conference on Advanced Visual and Signal-Based Systems (AVSS)	Tainan, Taiwan	https://sites.google.com/view/avss2025-tw
08.12. - 08.13.	2025 9th International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)	Coimbatore, India	http://icoisc.org/2025/
08.13. - 08.14.	2025 International Conference on Computing and Artificial Intelligence Technology (ICCAIT)	Cairo, Egypt	http://iccait-24.tech/
08.13. - 08.15.	2025 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID)	Miramar Beach, Florida, USA	https://ieee-rapid.org/
08.13. - 08.15.	2025 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)	Edmonton, Alberta, Canada	https://2025.ieee-ihrc.org/
08.13. - 08.15.	2025 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)	Popayan, Colombia	https://2025.ieee-colcom.org/
08.15. - 08.17.	2025 IEEE Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications in Asia (WIPDA Asia)	Beijing, China	https://www.wipda-asia2025.org/
08.15. - 08.17.	2025 IEEE 5th New Energy and Energy Storage System Control Summit Forum (NEESSC)	Hohhot, China	https://www.neessconf.com/
08.15. - 08.17.	2025 International Conference on Energy Technology and Electrical Engineering (ETEE)	Shenyang, China	https://www.ic-etee.com/
08.16. - 08.17.	2025 International Conference on Artificial Intelligence and Machine Vision (AIMV)	Gandhinagar, India	https://www.aimv.in/
08.17. - 08.22.	2025 50th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)	Helsinki, Finland	https://www.irmmw-thz.org/
08.17. - 08.21.	2025 IEEE 21st International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)	Los Angeles, California, USA	https://2025.ieeecase.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.17. - 08.22.	2025 URSI Asia-Pacific Radio Science Meeting (AP-RASC)	Sydney, Australia	http://www.ap-rasc.com/home.php
08.17. - 08.22.	2025 Cybersecurity4D (C4D)	Gqeberha, South Africa	https://paicta.co/
08.17. - 08.19.	2025 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS)	Taichung, Taiwan	https://aris2025.nchu.edu.tw/
08.18. - 08.22.	2025 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal & Power Integrity (EMC+SIPI)	Raleigh, North Carolina, USA	http://www.emc2025.emcss.org/
08.19. - 08.22.	2025 22nd International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)	Murree, Pakistan	https://www.ibcast.org.pk/
08.20. - 08.23.	2025 5th Power System and Green Energy Conference (PSGEC)	Hong Kong, Hong Kong	https://www.psgec.org/
08.20. - 08.22.	2025 IEEE 31st International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA)	Singapore, Singapore	https://rtcsa2025.github.io/
08.20. - 08.22.	2025 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)	Tainan, Taiwan	http://smile.ee.ncku.edu.tw/cibcb2025/
08.21. - 08.23.	2025 International Conference on Smart Multimedia (ICSM)	Paris, France	https://smartmultimedia.org/2025/
08.21. - 08.22.	2025 International Conference on Applications of Machine Intelligence and Data Analytics (ICAMIDA)	Aurangabad, India	http://icamida.mgm.ac.in/
08.21. - 08.23.	2025 IEEE 6th India Council International Subsections Conference (INDISCON)	Rourkela, India	https://www.ieeeindiscon.org/
08.22. - 08.23.	2025 International Conference on Sustainability, Innovation & Technology (ICSIT)	Nagpur, India	https://www.icsitnagpur.in/
08.22. - 08.24.	2025 International Power and Sustainable Energy Technologies Conference (PSETC)	Singapore, Singapore	https://www.psetc.net/
08.22. - 08.23.	2025 2nd International Conference on Intelligent Algorithms for Computational Intelligence Systems (IACIS)	Hassan, India	https://iacis.co.in/
08.22. - 08.24.	2025 6th International Conference on Control, Robotics and Intelligent System (CCRIS)	Guangzhou, China	http://www.ccris-conf.net/
08.22. - 08.24.	2025 8th International Conference on Big Data and Artificial Intelligence (BDAI)	Taichang, China	https://www.bdai.net/
08.22. - 08.23.	2025 IEEE 15th International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)	Batu Ferringhi, Penang, Malaysia	http://acsrg.com/iccsc2025/
08.22. - 08.23.	2025 17th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)	Hangzhou, China	http://ihmsc.zju.edu.cn/
08.23. - 08.24.	2025 IEEE 5th International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation (AMMCS)	Nanjing, China	https://www.ammcs.org/
08.23. - 08.25.	2025 6th International Conference on Clean and Green Energy Engineering (CGEE)	Zagreb, Croatia	https://www.cgee.org/
08.24. - 08.27.	2025 IEEE Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)	Dallas, Texas, USA	https://www.ieee-sdemped.org/
08.24. - 08.26.	2025 IEEE 9th Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)	Tunis, Tunisia	https://2025.ieee-rtsi.org/
08.24. - 08.26.	2025 IEEE Hot Chips 37 Symposium (HCS)	Stanford, California, USA	https://www.hotchips.org/
08.25. - 08.29.	2025 34th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)	Eindhoven, Netherlands	https://www.ro-man2025.org/
08.25. - 08.27.	2025 International Conference on Metaverse Computing, Networking and Applications (MetaCom)	Seoul, Korea (South)	https://ieee-metacom.org/
08.26. - 08.29.	2025 IEEE Conference on Games (CoG)	Lisbon, Portugal	https://cog2025.inesc-id.pt/
08.26. - 08.28.	2025 22nd Annual International Conference on Privacy, Security, and Trust (PST)	Fredericton, New Brunswick, Canada	http://pstnet.ca/
08.26. - 08.29.	2025 29th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)	Miedzyzdroje, Poland	http://mmar.edu.pl/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.27. - 08.28.	2025 IEEE 8th International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering (InECCE)	Kuantan, Malaysia	https://sites.google.com/umpsa.edu.my/inecce2025
08.27. - 08.29.	2025 30th International Conference on Automation and Computing (ICAC)	Loughborough, United Kingdom	https://cacsuk.co.uk/conferences
08.27. - 08.29.	2025 XXV Symposium of Image, Signal Processing, and Artificial Vision (STSIVA)	Armenia, Colombia	https://stsiva.ieee.org.co/
08.28. - 08.31.	2025 International Conference on Information and Automation (ICIA)	Lanzhou, China	http://www.icia2025.org/
08.28. - 08.30.	2025 International Conference on Artificial intelligence and Emerging Technologies (ICAET)	Bhubaneswar, India	https://scse.xim.edu.in/news-events/icaet-2025/
08.29. - 08.30.	2025 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Electronics and Intelligent Communication Systems (ICITEICS)	Bangalore, India	https://iteics.in/index.php
08.29. - 08.31.	2025 Global Conference on Information Technology and Communication Networks (GITCON)	Belagavi, India	https://gitcon.in/
08.29. - 08.30.	2025 IEEE Madhya Pradesh Section Conference (MPCON)	Jabalpur, India	http://mpcon.in/
08.29. - 08.31.	2025 IEEE 7th International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)	Shenyang, China	http://www.icpics.org/
08.31. - 09.03.	2025 IEEE 35th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)	Istanbul, Turkiye	https://2025.ieeemlsp.org/en/Default.asp?

The Magazine of the IEIE

특별회원사 명단

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)디비하이텍	조기석	경기도 부천시 수도로 90(도당동)	032-680-4700	www.dbhitek.com
(주)레티널	김재혁	경기도 안양시 동안구 부림로170번지 41-10, 4층	02-6959-7007	https://letinar.com
(주)마르시스	박용규	서울시 강남구 언주로 85길 7	02-3445-3999	http://www.marusys.com
(주)세미파이브	조명현	경기도 성남시 분당구 양현로 322, 코리아디자인센터 2층		http://www.semifive.com
(주)센서위드유	이윤식	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 501-4호	052-912-4282	http://www.sensorwyou.com
(주)에스비솔루션	변영재	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 401-3호	052-217-7343	http://www.sb-solutions.co.kr
(주)와이솔	김지호	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	김영섭	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍(주)	문혁수	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자(주)	조주완	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG넥스원	김지찬	서울시 서초구 강남대로 369(서초동, 나라빌딩)	02-1644-2005	http://www.lignex1.com
LPKF Laser&Electronics	이용상, 벤델레고츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤(주)	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스(주)	곽노정	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버(주)	최수연	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	https://www.navercorp.com
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
대덕전자(주)	신영환	경기도 안산시 단원구 강촌로230 (목내동 475)	031-8040-8000	http://www.daeduck.com
대전테크노파크	김우연	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djtp.or.kr
도쿄อิเล็ก트론코리아(주)	원제형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
(주)동인시스템	곽동달	부산광역시 해운대구 센텀북대로 60,	051-787-7288	http://www.donginsm.com
롯데렌탈(주)	최진환	경기도 안양시 동안구 전파로88 (신원비전타워 8층)	02-3453-8970	https://www.lotterental.com
리얼테크코리아 주식회사	창팅치	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.com
비전테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
머플 주식회사	안수남	경기 성남시 분당구 판교로 289번길 20, 2동		http://www.murple.ai/
삼성전자(주)	한종희	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	02-1588-3366	https://www.samsung.com
스카이칩스	이강윤	수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 85511호	031-299-6848	http://www.skaichips.co.kr
스테코(주)	최기환	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨(주)	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmmed.com
오토아이티(주)	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템(주)	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
정보통신정책연구원	배경율	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
(주)LX세미콘	이윤태	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com
(주)넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
(주)더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
HL만도(주)	조성현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2114	https://www.hlmando.com/
(주)빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
(주)스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
(주)시스메이트	이상만	대전시 유성구 유성대로 1184길 41	042-486-6135	http://www.sysmate.com
주식회사 뷰웍스	김후식	경기도 안양시 동안구 부림로 170번길 41-3	070-7011-6161	https://www.vieworks.com
(주)실리콘마이터스	허염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconitus.com
(주)싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 별말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
(주)인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
(주)솔리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 솔리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
(주)유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
(주)코클리어닷에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
(주)크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://www.cressem.com
(주)텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터회관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
(주)티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
(주)티엘아이	홍세경	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
(주)해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지 40, 스타기업관 207호	043-715-9034	http://www.haechitech.com
중소벤처기업진흥공단	강석진	경상남도 진주시 동진로 430	055-751-9380	www.kosmes.or.kr
케이케이테크(주)	김경하	경기도 안성시 대덕면 무능로132	031-678-1586	http://www.k-ktch.co.kr
코어인사이트(주)	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈마치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
한국알박(주)	김선길	경기도 평택시 청북읍 한산길5	031-683-2922	http://www.ulvackora.co.kr
한국전자기술연구원	신희동	경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)	031-789-7740	http://www.keti.re.kr
한국전자통신연구원	방승찬	대전시 유성구 가정로 218	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한화시스템(주)	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템(주)	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스(주)	정의선, 이규석	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차(주)	정의선, 장재훈, 이동석	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아(주)	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아(주)	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아(주)	MIYOSHI KEITA	경기도 성남시 분당구 정자일로 155, 엔16층(정자동, 분당두산타워)	031-725-4201	https://www.hitachi-hightech.com

박사학위 논문초록 게재 안내

본 학회에서는 전자공학회지에 국내외에서 박사학위를 취득한 회원의 학위 논문초록을 게재하고 있으니 해당 회원 여러분의 적극적인 참여를 바랍니다.(단, 박사학위 취득후 1년 이내에 제출해 주시는 것에 한함.)

성 명	(국문)	(한문)	(영문)
학위취득	학 교 명	대학교	학과
	취득년월	년 월	지도교수
현 근무처 (또는 연락처)	주 소	(우편번호 :)	
	전화번호	FAX번호	
학위논문 제목	국 문		
	영 문		
KEY WORD			

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130

서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)

사무국 회지담당자앞

E-mail : ieie@theieie.org

TEL : (02)553-0255(내선 6번) FAX : (02)562-4753



대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 <월간>

제52권 제3호(통권 제490호)

The Magazine of the IEIE

2025년 3월 20일 인쇄

2025년 3월 25일 발행

발행및

편집인

인쇄인

발행인

(사) 대한전자공학회

한림원(주)

사 단 법 인 대 한 전 자 공 학 회

회장 백 광 현

대표 김 흥 중

(우)06130 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)

TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)562-4753

E-mail : ieie@theieie.org

Homepage : http://www.theieie.org



2025년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

2025년도 회원 연회비는 2024년과 동일함을 알려드리며, 아직 2025년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서서는 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해연도에 한합니다.

◆ 2025년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.

- 정 회 원 : 70,000원 (입회비 : 10,000원)
- 학생회원 : 30,000원 (입회비 면제)
- 평생회원 : 700,000원
 - 평생회비 할인 제도 : 학회 홈페이지 안내 참조
 - 평생회비 분납 제도(1년 한) : 평생회비 분할 납부를 원하시는 회원께서는 회원 담당에게 요청하여 주시기 바랍니다.
 - 7월 1일부터 연회비 50% 할인 적용

2. 논문지(eBook) 제공

학회지와 논문지(국·영문)가 eBook으로 발간되어 학회 홈페이지(<http://www.theieie.org>)를 통해 제공되고 있습니다.

3. 회비의 납부방법

신용카드(홈페이지 전자결제) 및 계좌이체(한국씨티은행, 102-53125-258)를 이용하여 학회 연회비, 심사비 및 논문게재료 등 납부 가능합니다.

4. 석·박사 신입생 및 재학생 다년 학생회원 가입 및 회비 할인 제도 안내

우리 학회에서는 석·박사 신입생 및 재학생을 위하여 다년 학생회원 가입 제도 및 회비 할인 제도를 마련하였습니다. 한 번의 회원가입으로 졸업 및 수료 때까지 학회 활동에 참여하실 수 있는 기회가 되시기 바라며 회비 할인 혜택까지 받으시길 바랍니다.

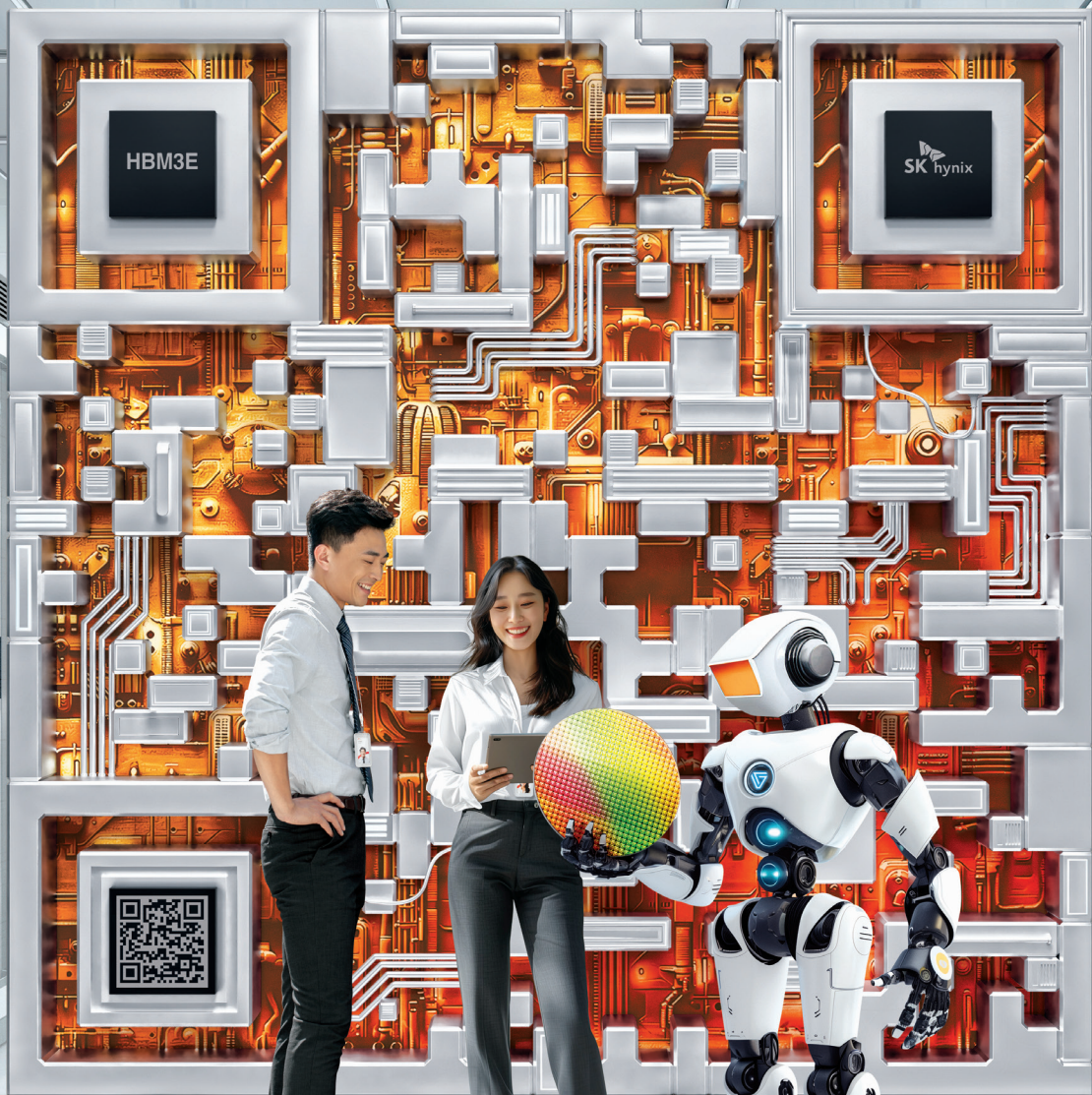
◎ 가입 대상 및 할인 혜택

- 가입 대상 : 2025년 석·박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년당 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)
3년 90,000원(1년당 30,000원) → 3년 70,000원(22.2% 할인)
4년 120,000원(1년당 30,000원) → 4년 90,000원(25% 할인)
5년 150,000원(1년당 30,000원) → 5년 110,000원(26.7% 할인)

5. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 객새롬 서기(회원담당)

Tel : 02-553-0255(내선 3번) / E-mail : edit@theieie.org



위의 QR코드를 찍어보세요
SK하이닉스가 만드는 미래 AI 세상이 펼쳐집니다

AI와 미래를 잇는 코드 SK하이닉스로부터

미래 AI인프라의 핵심, 글로벌 No.1 AI 메모리 기업