ISSN 1016-9288
제52권 5호
2025년 5월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.52. no.5

In-Band Full Duplex Radio

- In-Band Full Duplex Radio를 위한 Self-Interference Cancellation 기술동향
- In-Band Full Duplex Radio를 위한 디지털 Self-Interference Cancellation 기술
- 5G NR FR1 IBFD 응용을 위한 저잡음 RF PLL의 설계
- In-Band Full Duplex Radio를 위한 RF영역 자기간섭신호 제거 기술 동향

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers
www.theieie.org

LG전자

LG전자 구독 — 좋아요.

가전도 이제 전문케어 받는 시대

LG전자 구독 subscribe

LG전자 베스트샵 또는 LGE.COM에서 원하는 가전을 구독해 보세요

* 제품별 계약조건에 따라 구독기간은 상이하며, 총 계약기간 동안 제품의 소유권은 회사에게 있음. 계약기간이 3년 이하 상품은 계약만료 후 소유권이 고객에게 이전되지 않으며, 재구독 / 반납 / 인수(비용 추가)여부를 필수로 선택 가능. 4년 ~ 6년인 상품은 계약만료 후 제품 소유권이 고객님께 이전됨.

2025년도 대한전자공학회

학회상 후보자 추천

사단법인 대한전자공학회에서는 매년 전자.정보.통신 분야에 탁월한 업적을 이루고 전자공학의 발전에 크게 공헌한 분에게 학회상을 아래와 같이 시상하고 있습니다. 금년에도 회원 여러분께서 훌륭하신 후보자를 추천하여 주시면 감사하겠습니다.

1. 시상부문

시 상 부 문	인 원	시 상 자 격	시 상 내 용
대한전자공학대상	1명	전자.정보.통신 및 그 관련 분야에 탁월한 업적이 있는 자	상패 및 부상 (2,000만원)
기술혁신상	1명	전자공학 기술발전에 현저한 업적을 이룩한 자 또는 기업의 기술혁신에 기여한 자	상패 및 부상
IEIE Research Pioneer Award	1명	50세 이하로서 전자,정보,통신 및 그 관련 분야에서 새로운 연구분야를 개척, 확대시킨 업적이 있는 자	상패 및 부상 (500만원)
논문상 (TC,SD,CI,SP, SC,IE)	6명	우수한 논문을 대한전자공학회 논문지 및 해외 저명 학술지에 발표한 자로서 6개 Society (TC,SD,CI,SP,SC,IE)별 각 1인(*)	상패 및 부상

* 최근 5년간 전자공학회 논문지에 3편 이상의 저널 논문이 포함되어야 함.

2. 추천권자

가. 소속기관장 (연구소, 대학, 기업체, 행정기관 등)　　나. 개인(본인 포함)

* 단, 대한전자공학대상은 소속기관장의 추천에 한함.

3. 제출서류

* 제출서류 작성양식은 학회 홈페이지(http://www.theieie.org)를 참조하기 바람.

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감: 2025년 7월 15일(화)

나. 접 수 처: 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동) 과학기술회관 1관 907호
대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표: 2025년 11월 초순

나. 시 상: 2025년 11월 28일(금) 정기총회(장소: 추후공지)

2025년도 대한전자공학회

해동상 후보자 추천

사단법인 대한전자공학회에서는 매년 전자.정보.통신 분야에 탁월한 업적을 이루고 전자공학의 발전에 크게 공헌한 분에게 해동상을 아래와 같이 시상하고 있습니다. 해동상은 대덕전자(주) 고, 김정식 회장께서 우리나라 전자공학 분야의 학문 발전과 기술 발전을 위하여 크게 업적을 쌓은 분들의 노고를 치하하고 업적을 기리기 위하여 해동과학문화재단을 설립함으로써 제정되었습니다. 금년에도 회원 여러분께서 훌륭하신 후보자를 추천하여 주시면 감사하겠습니다.

1. 시상부문 및 자격

시상부문	인원	시상자격	시상내용
해동학술상	1명	학회 정회원 혹은 평생회원(회원자격 최근 2년 이상 유지)이어야 하며, 최근 10년간 본 학회 논문지 및 SCI-E급 국제저널에 논문 게재 등 전자 · 정보 · 통신 및 관련 분야 학술 활동에 탁월한 업적이 있는 자(*)	상패 및 부상 (2,500만원)
해동기술상	1명	기업체, 공공연구기관 및 정부출연기관에 근무하는 임직원 중 우수한 기술개발 업적을 달성하여 국가적으로 전자 · 정보 · 통신 기술 발전에 크게 기여한 자	상패 및 부상 (2,500만원)
해동젊은공학인상 (학술상)	1명	학회 정회원 혹은 평생회원(회원자격 최근 2년 이상 유지)이며, 만 40세 이하인 자로 최근 5년간 본 학회 학술대회 및 학술지에 논문 게재 등 전자 · 정보 · 통신 및 관련 분야 학술 활동에 탁월한 업적이 있는 자(**)	상패 및 부상 (1,000만원)
해동젊은공학인상 (기술상)	1명	만 40세 이하인 자로, 우수한 기술개발 업적을 달성하여 국가적으로 전자 · 정보 · 통신 기술 발전에 크게 기여한 자	상패 및 부상 (1,000만원)

* 해동학술상은 최근 10년간 본 학회 학술지(전자공학회 논문지, JSTS, IEIE SPC)에 5편 이상의 논문을 게재한 자로서 10년간(2015년 7월 1일~2025년 6월 30일)의 실적을 평가함.

** 해동젊은공학인상(학술상)은 당해년도 만 40세 이하로서 최근 5년간 본 학회 학술대회(하계, 추계, ICEIC, ICCE-Asia, ITC-CSCC) 및 학술지(전자공학회논문지, JSTS, IEIE SPC)에 5편 이상의 논문을 게재한 자로서 5년간(2020년 7월 1일~2025년 6월 30일)의 실적을 평가함.

※ 해동상에 제출하는 논문은 마감일 기준으로 게재된 논문만 인정하며, 아래 조건 중 하나 이상에 해당하는 자는 후보가 될 수 없음.

- 타 기관 해동상 수상자
- 동일한 연구개발 업적으로 본 학회 또는 타 학회에서 수상한 자
- 5년 이내 대한전자공학회에서 수여하는 다른 상(해동상 타 부문, IEIE/IEEE Joint Award, IEIE Research Pioneer Award) 수상자

2. 추천권자

가. 소속기관장 (연구소, 대학, 기업체, 행정기관 등)　　나. 개인(본인 포함)

3. 제출서류

* 제출서류 작성양식은 학회 홈페이지(http://www.theieie.org)를 참조하기 바람.

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감: 2025년 7월 15일(화)

나. 접 수 처: 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동) 과학기술회관 1관 907호
대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표: 2025년 11월 초순

나. 시 상: 2025년 12월 12일(금) (장소: 추후공지)

The Institute of Electronics and Information Engineers
Summer Annual Conference of IEIE, 2025

2025년도 하계종합 학술대회

2025년 6월 24일(화) ~ 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, AI응용, 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)
- FAX (02)552-6093
- 홈페이지 http://conf.theieie.org
- e-mail conf@theieie.org

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

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

Important Date

February	April 11, 2025 ~~March 31, 2025~~	May 15, 2025	May 31, 2025	July 7-10, 2025
Full-Paper Submission Begin	Full-Paper Submission Deadline *"Deadline Extension"*	Notification of Paper Acceptance	Camera-Ready Paper Submission Deadline	Conference Date

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-cscc2025.org.

Contact Point

• E-mail : inter@theieie.org • Phone : +82-2-553-0255(Ext. 4) • www.itc-cscc2025.org.

IEIE CAU IEEE

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 19th, 2025
- Submission of Final ver. Paper: September 30th , 2025

CONTACT POINT

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

2025 추계학술대회

곤지암리조트 EW빌리지 (경기도 광주)

11. 28(금) ~ 29(토)

| 최우수/일반/학부생 논문

논문제출 : 10월 20일(월)
심사통보 : 10월 27일(월)
사전등록 : 11월 17일(월)

| 정기총회

곤지암리조트 EW빌리지
2025년 11월 28일(금)

| 발표분야(학회 6개 소사이어티)

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

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

(06130) 서울시 강남구 테헤란로 7길 22 과학기술회관 1관 907호
TEL 02-553-0255 (내선6) FAX 02-562-4753
e-mail ieie@theieie.org 홈페이지 http://conf.theieie.org/2025f/

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.

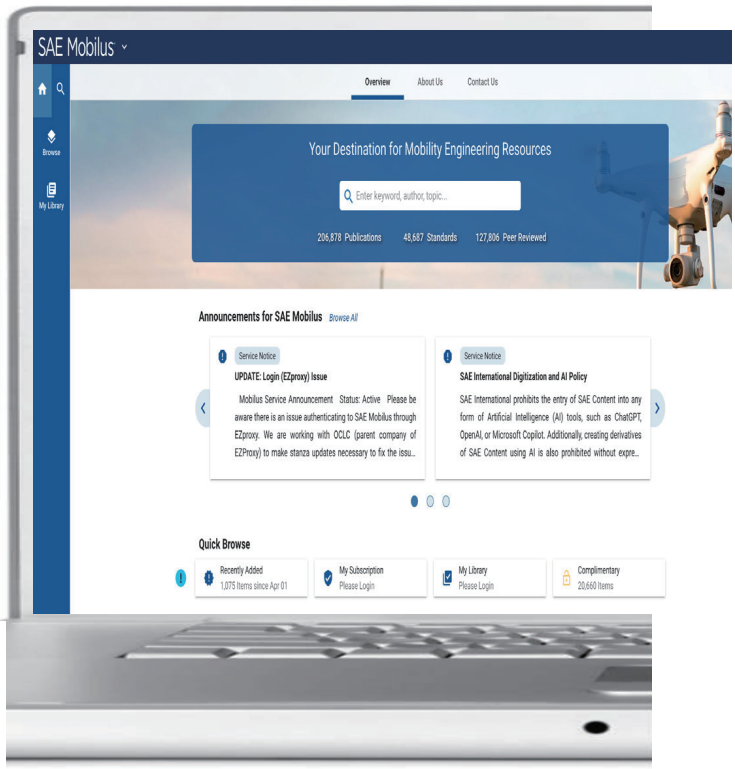
SAE MOBILUS™에서 다음과 같은 다양한 주제 분야에 대한 자료를 확인할 수 있습니다.

- 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



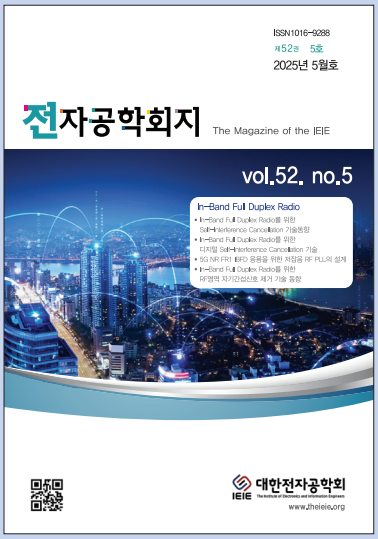
SAE INTERNATIONAL

Authorized Dealer in Korea

키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.
Tel. 02.3474.5290 Web. www.kitis.co.kr

CONTENTS

제52권 5호 (2025년 5월)



※ 학회지 5월호 표지 (vol 52. No 5)

- 사무국 편집담당
  이 안 순 부장
  TEL : (02)553-0255(내선 6)
  FAX : (02)562-4753
- 학회 홈페이지
  http://www.theieie.org

학회소식

특집 : In-Band Full Duplex Radio

회원광장

정보교차로

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

2025년도 임원 및 각 위원회 위원

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

이 수 인 (텔레칩스 상무)
조 영 민 (SkyMirr CEO)
최 성 민 (해치텍 대표이사)
함 철 희 (삼성전자 마스터)

이 사

궁 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 종 (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 엽 (삼성전자 마스터) – 대외협력
최 재 용 (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

협 동 이 사

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 혜 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 (디사일로 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 (라온텍 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 AI연구원 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 종 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 울 (광운대학교 교수) – 신기술
차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장) – 표준화
최 욱 (인천대학교 교수) – 학회지
홍 성 완 (서강대학교 교수) – 하계 / 대외협력

지부장 명단

강 원 지 부	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
대구·경북지부	이 찬 수 (영남대학교 교수)
부산·경남·울산지부	김 현 철 (울산대학교 교수)
제 주 지 부	고 석 준 (제주대학교 교수)
호 서 지 부	강 윤 희 (백석대학교 교수)
미 국	최 명 준 (텔레다인 박사)
광주·전남지부	최 수 일 (전남대학교 교수)
대전·충남지부	이 병 희 (한밭대학교 교수)
전 북 지 부	이 지 훈 (전북대학교 교수)
충 북 지 부	조 문 규 (한국교통대학교 교수)
일 본	강 유 선 (Tokyo Polytechnic University 교수)
러시아지부	Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위 원 장	박 성 한 (한양대학교 명예교수)		
부 위 원 장	이 진 구 (동국대학교 명예교수)		
위 원	고 성 제 (고려대학교 명예교수)	공 준 진 (웨이브피아 CSO)	구 용 서 (단국대학교 석좌교수)
	김 도 현 (국민대학교 명예교수)	김 성 대 (KAIST 명예교수)	김 수 중 (경북대학교 명예교수)
	김 재 희 (연세대학교 명예교수)	나 정 웅 (KAIST 명예교수)	문 영 식 (한림성심대학교 총장)
	박 규 태 (연세대학교 명예교수)	박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)	박 항 구 (소암시스텔 회장)
	백 준 기 (중앙대학교 교수)	서 승 우 (서울대학교 교수)	성 굉 모 (서울대학교 명예교수)
	이 문 기 (연세대학교 명예교수)	이 상 설 (한양대학교 명예교수)	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
	전 국 진 (서울대학교 명예교수)	전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)	정 정 화 (한양대학교 명예교수)
	천 경 준 (씨젠 회장)	홍 대 식 (연세대학교 교수)	홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)

기획위원회

위 원 장	강 석 주 (서강대학교 교수)		
부 위 원 장	전 세 영 (서울대학교 교수)	고 형 호 (충남대학교 교수)	
위 원	권 구 덕 (강원대학교 교수)	김 상 완 (서강대학교 교수)	박 관 서 (연세대학교 교수)
	서 민 재 (서울시립대학교 교수)	진 경 환 (고려대학교 교수)	

학술연구위원회 – 하계

위 원 장	강 명 곤 (서울시립대학교 교수)		
TPC위원장	김 현 (서울과학기술대학교 교수)		
위 원	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 병 수 (한국전자기술연구원 센터장)	김 익 균 (한국전자통신연구원 부장)
	김 형 진 (한양대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)	박 동 욱 (서울시립대학교 교수)
	서 경 원 (서울과학기술대학교 교수)	서 민 재 (서울시립대학교 교수)	서 승 호 (고려대학교 교수)
	송 준 영 (인천대학교 교수)	신 창 환 (고려대학교 교수)	심 원 보 (서울과학기술대학교 교수)
	연 규 봉 (한국자동차연구원 수석연구원)	유 담 (서울대학교 교수)	이 규 호 (연세대학교 교수)
	이 권 형(LG전자 책임연구원)	이 승 호 (한밭대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)
	정 소 이 (아주대학교 교수)	조 성 인 (동국대학교 교수)	최 승 규 (경희대학교 교수)
	홍 성 완 (서강대학교 교수)		

학술연구위원회 – 추계

위 원 장	조 성 현 (한양대학교 교수)		
TPC위원장	변 대 석 (삼성전자 마스터)		
위 원	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)	권 종 원 (한국산업기술시험원 센터장)
	김 중 헌 (고려대학교 교수)	김 학 구 (중앙대학교 교수)	노 태 문 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
	서 병 석 (상지대학교 교수)	이 승 호 (한밭대학교 교수)	이 형 민 (고려대학교 교수)
	추 민 성 (한양대학교 교수)	하 태 준 (광운대학교 교수)	함 범 섭 (연세대학교 교수)
	황 인 철 (강원대학교 교수)		

논문편집위원회

위 원 장	장 익 준 (경희대학교 교수)		
위 원	박 정 환 (경희대학교 교수)	이 후 진 (한성대학교 교수)	임 영 현 (경희대학교 교수)
	전 동 석 (서울대학교 교수)	정 해 준 (경희대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
	최 재 용 (가천대학교 교수)	최 정 욱 (한양대학교 교수)	한 태 희 (성균관대학교 교수)

국제협력위원회

위 원 장	구 민 석 (서울시립대학교 교수)		
위 원	김 성 준 (동국대학교 교수)	배 준 성 (강원대학교 교수)	송 익 현 (한양대학교 교수)
	심 용 (중앙대학교 교수)	황 진 영 (한국항공대학교 교수)	

회원관리위원회

위 원 장	류 수 정 (서울대학교 교수)		
위 원	김 수 연 (동국대학교 교수)	김 태 인 (인하대학교 교수)	박 익 준 (중부대학교 교수)
	박 혜 림 (서울과학기술대학교 교수)	안 성 수 (명지전문대학 교수)	유 경 창 (삼성전자 수석연구원)
	유 동 훈 (디사일로 CRO)	이 신 형 (서울시립대학교 교수)	이 정 아 (AURA CEO)
	이 정 원 (서울대학교 교수)	임 정 연 (SK텔레콤 담당)	

회지편집위원회

위 원 장	황 원 준 (고려대학교 교수)		
부 위 원 장	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)

사업위원회

위 원 장	유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원)		
위 원	감 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)	강 태 욱 (성균관대학교 교수)	권 경 하 (KAIST 교수)
	김 영 로 (명지전문대학 교수)	김 중 헌 (고려대학교 교수)	류 은 석 (성균관대학교 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	선우명훈 (아주대학교 교수)	손 교 민 (삼성전자 마스터)
	신 세 운 (UNIST 교수)	안 호 균 (한국전자통신연구원 책임연구원)	이 채 은 (한양대학교 교수)
	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)	제 민 규 (KAIST 교수)
	허 재 두 (한국전자통신연구원 연구전문위원)		

교육연구위원회

위 원 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)		
위 원	김 혁 (서울시립대학교 교수)	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 영 우 (TEL 부사장)	박 혜 림 (서울과학기술대학교 교수)	변 대 석 (삼성전자 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	신 재 영 (한국교통대학교 교수)	윤 종 윤 (Fadu 사장)
	이 신 형 (서울시립대학교 교수)	이 영 택 (ASML 전무)	이 후 진 (한성대학교 교수)
	정 성 엽 (고려대학교 교수)	정 용 규 (을지대학교 교수)	

홍보/정보화위원회

위 원 장	김 용 신 (고려대학교 교수)		
위 원	궁 재 하 (고려대학교 교수)	김 성 우 (서울대학교 교수)	김 정 석 (가천대학교 교수)
	유 현 우 (성균관대학교 교수)	이 상 현 (아주대학교 교수)	

표준화위원회

위 원 장	김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원)		
부 위 원 장	연 규 봉 (한국자동차연구원 수석연구원)		
위 원	김 도 훈 (한국전자통신연구원 박사)	권 기 원 (성균관대학교 교수)	김 성 동 (서울과학기술대학교 교수)
	박 재 영 (광운대학교 교수)	배 준 호 (가천대학교 교수)	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장)

신기술위원회

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)		
부 위 원 장	김 용 신 (고려대학교 교수)	조 성 재 (이화여자대학교 교수)	
위 원	김 성 우 (서울대학교 교수)	이 철 호 (서울대학교 교수)	오 윤 호 (고려대학교 교수)
	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)	이 명 재 (연세대학교 교수)	정 한 울 (광운대학교 교수)

선거관리위원회

위 원 장	전 홍 태 (중앙대학교 교수)		
위 원	강 명 곤 (서울시립대학교 교수)	강 석 주 (서강대학교 교수)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)
	김 윤 (서울시립대학교 교수)	류 수 정 (서울대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)

포상위원회

위 원 장	공 준 진 (웨이브피아 CSO)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	강 명 곤 (서울시립대학교 교수)	김 종 옥 (고려대학교 교수)
	장 익 준 (경희대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	
위원 및 간사겸임	권 혁 인 (중앙대학교 교수)		

인사위원회

위 원 장	백 광 현 (중앙대학교 교수)		
위 원	김 종 옥 (고려대학교 교수)	강 석 주 (서강대학교 교수)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)
	조 성 재 (이화여자대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	

차세대 리더육성위원회

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)		
부 위 원 장	김 민 휘 (중앙대학교 교수)	정 성 엽 (고려대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)
위 원	김 가 인 (DGIST 교수)	박 관 서 (연세대학교 교수)	서 민 재 (서울시립대학교 교수)
	이 규 호 (연세대학교 교수)	정 이 품 (연세대학교 교수)	채 주 형 (광운대학교 교수)

통신소사이어티

회장	신오순 (숭실대학교 교수)		
부회장	김선용 (건국대학교 교수)	김재현 (아주대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
	김 훈 (인천대학교 교수)	오정근 (ATNS 대표이사)	윤석현 (단국대학교 교수)
	이인규 (고려대학교 교수)	이재진 (숭실대학교 교수)	이정우 (중앙대학교 교수)
	최천원 (단국대학교 교수)	허 준 (고려대학교 교수)	
감사	유명식 (숭실대학교 교수)	이흥노 (광주과학기술원 교수)	
협동부회장	김병남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김연은 (브로던 대표이사)	김영한 (숭실대학교 교수)
	김용석 (답스 대표이사)	방승찬 (한국전자통신연구원 원장)	연철흠 (LGT 상무)
	이재훈 (유정시스템 대표이사)	장병수 (이노벨류네트웍스 부사장)	정현규 (한국전자통신연구원 부장)
	조인호 (에이스테크놀로지 박사)		
이사	김광순 (연세대학교 교수)	김성훈 (한국전자통신연구원 박사)	김정호 (이화여자대학교 교수)
	김준수 (한국공학대학교 교수)	서철헌 (숭실대학교 교수)	성원진 (서강대학교 교수)
	손인수 (동국대학교 교수)	신수용 (금오공과대학교 교수)	신요안 (숭실대학교 교수)
	윤종호 (한국항공대학교 교수)	윤지훈 (서울과학기술대학교 교수)	이예훈 (서울과학기술대학교 교수)
	이재훈 (동국대학교 교수)	이종호 (숭실대학교 교수)	이호경 (홍익대학교 교수)
	임종태 (홍익대학교 교수)	장석호 (건국대학교 교수)	조성래 (중앙대학교 교수)
	조성현 (한양대학교 교수)	최지웅 (대구경북과학기술원 교수)	최진식 (한양대학교 교수)
	허서원 (홍익대학교 교수)	홍인기 (경희대학교 교수)	황승훈 (동국대학교 교수)
	황인태 (전남대학교 교수)		
간사	김중헌 (고려대학교 교수)	정소이 (아주대학교 교수)	
연구회위원장	백상헌 (고려대학교 교수) – 통신		윤상민 (국민대학교 교수) – 지능형네트워크
	이용식 (연세대학교 교수) – 마이크로파 및 전파전파		이철기 (아주대학교 교수) – ITS
	김강욱 (경북대학교 교수) – 군사전자		허재두 (한국전자통신연구원 연구전문위원) – 무선 PAN/BAN

반도체소사이어티

회장	장성진 (와이씨 대표이사)		
자문위원	공준진 (웨이브피아 CSO, 본회명예회장)	권오경 (한양대학교 교수, 반소전임회장)	김영환 (POSTECH 교수)
	김재석 (연세대학교 교수)	김진상 (경희대학교 총장, 반소전임회장)	김희석 (청주대학교 교수)
	박홍준 (POSTECH 교수)	선우명훈 (아주대학교 교수, 반소전임회장)	소경신 (Synopsys 사장)
	손보익	신윤승 (반소전임회장)	신현철 (한양대학교 교수, 반소전임회장)
	우남성 (반소전임회장)	이승훈 (서강대학교 교수)	이윤종 (KAIST 교수)
	임신일 (서경대학교 교수)	임형규 (반소전임회장)	전영현 (삼성전자 부회장, 반소전임회장)
	정연모 (경희대학교 교수)	정항근 (전북대학교 교수)	조경순 (한국외국어대학교 교수)
	조상복 (울산대학교 교수)	조중휘 (인천대학교 교수, 반소전임회장)	최기영 (서울대학교 교수)
	최승종 (웰랑 대표)	허 염 (실리콘마이터스 회장)	
감사	이강윤 (성균관대학교 교수)	이광엽 (서경대학교 교수)	
부회장	고대협 (LX세미콘 연구소장)	김동규 (한양대학교 교수)	박영우 (EXICON 사장)
	안기현 (한국반도체산업협회 전무)	이한호 (인하대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)
	최중호 (서울시립대학교 교수, 수석부회장)	황상준 (삼성전자 부사장)	
총무이사	강명곤 (서울시립대학교 교수)	고형호 (충남대학교 교수)	김지훈 (한양대학교 교수)
	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	류현석 (서울대학교 교수)	박종선 (고려대학교 교수)
	배승준 (삼성전자 부사장)	윤찬호 (삼성전자 마스터)	추민성 (한양대학교 교수)
편집이사	노정진 (한양대학교 교수)	유창식 (삼성전자 부사장)	조성재 (이화여자대학교 교수)
	한태희 (성균관대학교 교수)		
학술이사	강진구 (인하대학교 교수)	김철우 (고려대학교 교수)	범진욱 (서강대학교 교수)
	변영재 (UNIST 교수)	송민규 (동국대학교 교수)	이병훈 (POSTECH 교수)
	이승호 (한밭대학교 교수)	이혁재 (서울대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)
	인치호 (세명대학교 교수)	정진균 (전북대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)
	최우영 (연세대학교 교수)	최창환 (한양대학교 교수)	
사업이사	강운병 (삼성전자 마스터)	공배선 (성균관대학교 교수)	공정택 (성균관대학교 교수)
	김동순 (세종대학교 교수)	김소영 (성균관대학교 교수)	김시호 (연세대학교 교수)
	김용석 (성균관대학교 교수)	김원종 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김종선 (홍익대학교 교수)
	나영선 (LX세미콘 상무)	백광현 (중앙대학교 교수)	변대석 (삼성전자 마스터)
	손교민 (삼성전자 마스터)	송용호 (삼성전자 부사장)	엄낙웅 (한국전자통신연구원 연구위원)
	오정우 (연세대학교 교수)	이상훈 (웨이브피아 대표)	조태제 (DGIST 교수)
	최규명 (서울대학교 교수)	최병호 (한국전자기술연구원 본부장)	최윤경 (고려대학교 교수)
	최준림 (경북대학교 교수)		
재무이사	권기원 (성균관대학교 교수)	이성수 (숭실대학교 교수)	
산학이사	김경수 (넥스트칩 대표)	김동현 (ICTK 사장)	김보은 (라온텍 사장)
	김준석 (ADT 사장)	나준호 (실리콘웍스 전무)	손재철 (가천대학교 교수)
	송태훈 (휴인스 사장)	신용석 (케이던스코리아 사장)	오문욱 (삼성전자 부사장)
	이도영 (옵토레인 사장)	이장규 (텔레칩스 대표)	
회원이사	노원우 (연세대학교 교수)	문 용 (숭실대학교 교수)	
연구회위원장	조일환 (명지대학교 교수) – 반도체소자 및 재료		김상인 (아주대학교 교수) – 광파 및 양자전자
	이강윤 (성균관대학교 교수) – SoC설계		황인철 (강원대학교 교수) – RF집적회로
	정원영 (강운공업 본부장) – PCB&Package		김익균 (한국전자통신연구원 부장) – 정보보안시스템
	장익준 (경희대학교 교수) – 내방사선 반도체 설계 및 소자		김한구 (EESOP 대표) – ESD/EOS & Latchup
	노원우 (연세대학교 교수) – 인 메모리 컴퓨팅		송민규 (동국대학교 교수) – 이미지센서
협동위원	강석형 (POSTECH 교수)	궁재하 (고려대학교 교수)	권구덕 (강원대학교 교수)
	권영수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김민준 (한국외국어대학교 교수)	김병수 (한국전자기술연구원 센터장)
	김수연 (동국대학교 교수)	김영민 (홍익대학교 교수)	김재욱 (한국과학기술연구원 그룹장)
	김태환 (한국항공대학교 교수)	류성주 (서강대학교 교수)	류시강 (한국항공대학교 교수)
	박관서 (연세대학교 교수)	박성정 (건국대학교 교수)	박인호 (인하대학교 교수)
	박준은 (성균관대학교 교수)	방혁준 (쿤텍 대표)	백지선 (부산대학교 교수)
	서민재 (서울시립대학교 교수)	송준영 (인천대학교 교수)	양준성 (연세대학교 교수)
	오윤호 (성균관대학교 교수)	유호영 (충남대학교 교수)	윤명국 (이화여자대학교 교수)
	이영주 (POSTECH 교수)	이우주 (중앙대학교 교수)	이윤명 (성균관대학교 교수)
	이주열 (가천대학교 교수)	이형민 (고려대학교 교수)	임채강 (한국외국어대학교 교수)
	전동석 (서울대학교 교수)	전성훈 (삼성전자 상무)	전재훈 (인하대학교 교수)
	전천후 (단국대학교 교수)	정무경 (SK 사피온 CTO)	정윤호 (한국항공대학교 교수)
	제민규 (KAIST 교수)	창동진 (충남대학교 교수)	채주형 (광운대학교 교수)
	채형일 (건국대학교 교수)	최우영 (서울대학교 교수)	최재혁 (서울대학교 교수)
	최재혁 (성균관대학교 교수)	한정환 (충남대학교 교수)	

컴퓨터소사이어티

회장	이덕기 (연암공과대학교 교수)		
명예회장	강문식 (강릉원주대학교 교수)	김승천 (한성대학교 교수)	김형중 (고려대학교 교수)
	박인정 (단국대학교 명예교수)	박춘명 (한국교통대학교 교수)	신인철 (단국대학교 명예교수)
	안병구 (홍익대학교 교수)	안현식 (동명대학교 교수)	이규대 (공주대학교 교수)
	정용규 (을지대학교 교수)	최용수 (신한대학교 교수)	허 영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)
	홍유식 (상지대학교 교수)	황성운 (가천대학교 교수)	
자문위원	권호열 (강원대학교 교수)	남상엽 (국제대학교 교수)	정교일 (조선대학교 교수)
감사	박수현 (국민대학교 교수)	변영재 (UNIST 교수)	
부회장	김도현 (제주대학교 교수)	박성욱 (강릉원주대학교 교수)	심정연 (강남대학교 교수)
	윤은준 (경일대학교 교수)	조민호 (고려대학교 교수)	
협동부회장	강상욱 (상명대학교 교수)	김병서 (홍익대학교 교수)	김영학 (산업기술평가관리원 본부장)
	우운택 (KAIST 교수)	유성철 (쌍용정보통신 본부장)	이기영 (인천대학교 교수)
	이후진 (한성대학교 교수)	정은성 (홍익대학교 교수)	황인정 (명지병원 책임연구원)
총무이사	심규성 (한경대학교 교수)		
재무이사	박영훈 (숙명여자대학교 교수)		
홍보이사	오희석 (한성대학교 교수)		
편집이사	강병권 (순천향대학교 교수)	기장근 (공주대학교 교수)	김선욱 (고려대학교 교수)
	김정욱 (경희대학교 교수)	김진홍 (배재대학교 교수)	김천식 (세종대학교 교수)
	김한울 (서울과학기술대학교 교수)	노소영 (월송출판 대표)	윤상훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이문구 (김포대학교 교수)	이민호 (경북대학교 교수)	이세호 (전북대학교 교수)
	이주형 (가천대학교 교수)	이찬수 (영남대학교 교수)	정혜명 (김포대학교 교수)
	한규필 (금오공과대학교 교수)		
학술이사	고한얼 (고려대학교 교수)	김대홍 (을지대학교 교수)	김명선 (한성대학교 교수)
	김종윤 (경동대학교 교수)	김형진 (전북대학교 교수)	김홍균 (다스파워 이사)
	백광현 (중앙대학교 교수)	서민석 (고려대학교 교수)	신건윤 (한경대학교 교수)
	이정선 (을지대학교 교수)	이충규 (조선대학교 교수)	임경원 (대림대학교 교수)
	임재균 (명지병원 소장)	진 훈 (안양대학교 교수)	최한용 (신한대학교 교수)
	한상민 (순천향대학교 교수)	한영선 (부경대학교 교수)	한태화 (연세대의료원 팀장)
	황석중 (SK텔레콤 박사)	황재정 (군산대학교 교수)	
사업이사	박승창 (유오씨 사장)	차시호 (청운대학교 교수)	황진영 (한국항공대학교 교수)
산학이사	권태윤 (네이버시스템즈 대표이사)	김대휘 (한국정보통신 대표)	김성길 (우주텔레콤 이사)
	김용수 (비온시이노베이터 대표이사)	김은영 (투와이시스템즈 이사)	김진수 (지엔소프트 대표이사)
	김효선 (연세세브란스병원 연구원)	서봉상 (올포랜드 이사)	송치봉 (웨이버스 이사)
	신동희 (엠티데이타 부장)	오승훈 (주얼린 대표)	이명옥 (진우ATS 팀장)
	이재홍 (유비벨록스모바일 대표)	이학준 (이노지에스코리아 연구소장)	임준섭 (대신정보통신 차장)
	전한수 (세림TSG 전무)	조병순 (CNCinstrument 사장)	조병영 (태진인포텍 전무)

연구회위원장

- 황성운 (가천대학교 교수) – 인공지능 및 보안
- 윤은준 (경일대학교 교수) – 융합컴퓨팅
- 정은성 (홍익대학교 교수) – 블록체인
- 김명선 (한성대학교 교수) – AI 응용
- 한태화 (연세대의료원 팀장) – AAST
- 김도현 (제주대학교 교수) – M2M/IoT
- 우운택 (KAIST 교수) – 증강휴먼
- 이민호 (경북대학교 교수) – 인공지능/신경망/퍼지
- 진 훈 (안양대학교 교수) – 휴먼ICT

인공지능 신호처리소사이어티

회장	고병철 (계명대학교 교수)		
자문위원	김정태 (이화여자대학교 교수)	김종옥 (고려대학교 교수)	김창익 (KAIST 교수)
	김홍국 (광주과학기술원 교수)	박종일 (한양대학교 교수)	송병철 (인하대학교 교수)
	심동규 (광운대학교 교수)	이영렬 (세종대학교 교수)	전병우 (성균관대학교 교수)
	조남익 (서울대학교 교수)	홍민철 (숭실대학교 교수)	
부회장	강석주 (서강대학교 교수)	김승룡 (고려대학교 교수)	황원준 (고려대학교 교수)
협동부회장	강경진 (LG전자 연구위원)	권기룡 (부경대학교 교수)	김남수 (서울대학교 교수)
	김진웅 (한국전자통신연구원 그룹장)	김창수 (고려대학교 교수)	백준기 (중앙대학교 교수)
	예종철 (KAIST 교수)	윤재웅 (LG전자 연구위원)	이병욱 (이화여자대학교 교수)
	이찬수 (영남대학교 교수)	지인호 (홍익대학교 교수)	최강선 (한국기술교육대학교 교수)
	최병호 (한국전자기술연구원 센터장)	하정우 (네이버 Head)	한재준 (삼성전자 마스터)
감사	홍성은 (성균관대학교 교수)	이종택 (경북대학교 교수)	
총무	정승원 (고려대학교 교수)		
이사	강수명 (계명대학교 교수)	고영준 (충남대학교 교수)	고종환 (성균관대학교 교수)
	고현석 (한양대학교 교수)	곽노준 (서울대학교 교수)	곽수영 (한밭대학교 교수)
	곽수하 (POSTECH 교수)	구본학 (LG전자 연구원)	김동국 (전남대학교 교수)
	김상원 (한국전자통신연구원 연구원)	김원준 (건국대학교 교수)	김준모 (KAIST 교수)
	김진규 (고려대학교 교수)	김태욱 (한양대학교 교수)	김태현 (한양대학교 교수)
	김학구 (중앙대학교 교수)	김한울 (서울과학기술대학교 교수)	김휘용 (경희대학교 교수)
	남우정 (경북대학교 교수)	문경식 (DGIST 교수)	민동보 (이화여자대학교 교수)
	박상현 (DGIST 교수)	박영경 (이화여자대학교 교수)	박은병 (성균관대학교 교수)
	박인규 (인하대학교 교수)	박진선 (부산대학교 교수)	박철수 (광운대학교 교수)
	백종덕 (연세대학교 교수)	손진희 (광주과학기술원 교수)	신종원 (광주과학기술원 교수)
	심재영 (UNIST 교수)	심현정 (KAIST 교수)	엄찬호 (중앙대학교 교수)
	오병태 (한국항공대학교 교수)	우성민 (한국기술교육대학교 교수)	우운택 (KAIST 교수)
	유윤규 (두산인프라코어 연구원)	유재준 (UNIST 교수)	유종빈 (아주대학교 교수)
	유현우 (UNIST 교수)	윤정인 (한화디펜스 연구원)	이 철 (동국대학교 교수)
	이경오 (한국전자통신연구원 선임연구원)	이금하 (KT 연구원)	이범식 (조선대학교 교수)
	이상철 (인하대학교 교수)	이윤구 (광운대학교 교수)	이채은 (한양대학교 교수)
	임성빈 (고려대학교 교수)	임성훈 (DGIST 교수)	장준혁 (한양대학교 교수)
	전세영 (서울대학교 교수)	정교일 (조선대학교 교수)	정영주 (숙명여자대학교 교수)
	정희철 (경북대학교 교수)	조동현 (충남대학교 교수)	조성인 (동국대학교 교수)
	조성현 (POSTECH 교수)	차영수 (고려대학교 교수)	최 욱 (인천대학교 교수)
	최동걸 (한밭대학교 교수)	최성준 (고려대학교 교수)	최종원 (중앙대학교 교수)
	최종현 (연세대학교 교수)	최해철 (한밭대학교 교수)	한보형 (서울대학교 교수)
	한재호 (고려대학교 교수)	함범섭 (연세대학교 교수)	황효석 (경희대학교 교수)
협동이사	강현수 (충북대학교 교수)	곽노준 (서울대학교 교수)	곽진태 (고려대학교 교수)
	구형일 (아주대학교 교수)	권구락 (조선대학교 교수)	권준석 (중앙대학교 교수)
	김광주 (한국전자통신연구원 연구원)	김기백 (숭실대학교 교수)	김동현 (연세대학교 교수)
	김상효 (성균관대학교 교수)	김선주 (연세대학교 교수)	김용환 (한국전자기술연구원 수석)
	김원하 (경희대학교 교수)	김재곤 (한국항공대학교 교수)	김정진 (계명대학교 교수)
	김종민 (강원대학교 교수)	김중욱 (항공우주연구원 연구원)	김진우 (경성대학교 교수)
	김해광 (세종대학교 교수)	남승우 (한국전자통신연구원 연구원)	박구만 (서울과학기술대학교 교수)

	박 상 윤 (명지대학교 교수)	박 성 홍 (KAIST 교수)	박 현 진 (성균관대학교 교수)
	박 호 종 (광운대학교 교수)	배 성 호 (경희대학교 교수)	서 영 호 (광운대학교 교수)
	서 정 일 (한국전자통신연구원 연구원)	서 진 근 (연세대학교 교수)	손 광 훈 (연세대학교 교수)
	송 진 호 (연세대학교 교수)	신 재 섭 (픽스트리 대표이사)	신 지 태 (성균관대학교 교수)
	심 학 준 (캐논메디칼시스템즈코리아 박사)	양 현 종 (UNIST 교수)	어 영 정 (연세대학교 교수)
	엄 일 규 (부산대학교 교수)	오 세 홍 (한국외국어대학교 교수)	오 태 현 (POSTECH 교수)
	유 명 호 (인텔리빅스 대표이사)	유 양 모 (서강대학교 교수)	윤 국 진 (KAIST 교수)
	윤 일 동 (한국외국어대학교 교수)	이 기 승 (건국대학교 교수)	이 상 근 (중앙대학교 교수)
	이 상 윤 (연세대학교 교수)	이 상 헌 (DGIST 교수)	이 상 훈 (연세대학교 교수)
	이 승 용 (POSTECH 교수)	이 연 정 (경북대학교 교수)	이 의 진 (서울과학기술대학교 교수)
	이 장 원 (한국항공대학교 교수)	이 재 성 (서울대학교 교수)	이 종 석 (연세대학교 교수)
	이 종 설 (한국전자기술연구원 책임연구원)	이 종 하 (계명대학교 교수)	이 준 재 (계명대학교 교수)
	이 준 호 (성균관대학교 교수)	이 창 우 (카톨릭대학교 교수)	임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)
	임 재 윤 (제주대학교 교수)	임 종 우 (한양대학교 교수)	장 세 진 (한국전자기술연구원 센터장)
	장 용 준 (제주한라대학교 교수)	장 인 수 (한국전자통신연구원 연구원)	전 기 완 (국가수리과학연구소 박사)
	전 해 곤 (광주과학기술원 교수)	정 미 라 (계명대학교 교수)	정 원 기 (고려대학교 교수)
	정 찬 호 (한밭대학교 교수)	정 호 기 (한국교통대학교 교수)	정 호 열 (영남대학교 교수)
	정 홍 (HDXWILL 박사)	조 승 룡 (KAIST 교수)	조 윤 지 (네이버 연구원)
	진 현 성 (제주대학교 교수)	최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)	최 윤 식 (연세대학교 교수)
	최 장 환 (이화여자대학교 교수)	최 준 원 (서울대학교 교수)	최 현 철 (영남대학교 교수)
	한 종 기 (세종대학교 교수)	허 용 석 (아주대학교 교수)	홍 성 훈 (전남대학교 교수)
	황 도 식 (연세대학교 교수)	황 성 주 (KAIST 교수)	황 영 배 (충북대학교 교수)
연구회위원장	황 원 준 (고려대학교 교수) – 딥러닝		강 제 원 (이화여자대학교 교수) – 영상처리
	장 길 진 (경북대학교 교수) – 음향 및 음성신호처리		이 덕 우 (계명대학교 교수) – 영상이해
	이 종 호 (서울대학교 교수) – 바이오영상신호처리		김 성 우 (서울대학교 교수) – 로봇지능

시스템 및 제어소사이어티

회 장	이 덕 진 (전북대학교 교수)		
명 예 회 장	김 덕 원 (연세대학교 교수)	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	박 종 국 (경희대학교 교수)
	서 일 홍 (한양대학교 교수)	오 상 록 (한국과학기술연구원 원장)	오 승 록 (단국대학교 교수)
	오 창 현 (고려대학교 교수)	유 정 봉 (공주대학교 교수)	정 길 도 (전북대학교 교수)
	주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 교수)	
부 회 장	권 종 원 (한국산업기술시험원 센터장)		
감 사	김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원)	김 영 철 (군산대학교 교수)	
총무이사 (겸)	김 기 연 (한국산업기술시험원 선임연구원)		
편집/학술이사	강 성 복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	서 영 석 (영남대학교 교수)	이 왕 상 (경상대학교 교수)
	임 대 영 (한국산업기술시험원 선임연구원)		
홍 보 이 사	김 현 갑 (B&P인스트루먼트 연구소장)	박 덕 우 (한국기계전기전자시험연구원 센터장)	최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
산 학 연 이 사	김 광 식 (소올아이티 전무)	문 태 주 (부일하우징 대표)	신 대 현 (대연씨앤아이 대표)
	유 병 길 (현대선기 대표)		
회 원 이 사	권 오 민 (충북대학교 교수)	김 수 찬 (한경대학교 교수)	김 종 만 (전남도립대학교 교수)
	김 호 철 (을지대학교 교수)	남 기 창 (동국대학교 교수)	류 지 형 (한국전자통신연구원 박사)
	문 정 호 (강릉원주대학교 교수)	박 명 진 (경희대학교 교수)	박 재 병 (전북대학교 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	송 철 규 (전북대학교 교수)	여 희 주 (대진대학교 교수)
	유 재 현 (한경대학교 교수)	이 수 열 (경희대학교 교수)	이 용 귀 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	이 태 희 (전북대학교 교수)	이 학 성 (세종대학교 교수)	정 재 훈 (동국대학교 교수)
	최 수 범 (한국과학기술정보연구원 연구원)	최 우 영 (전북대학교 교수)	한 아 (한국산업기술시험원 선임연구원)
연구회위원장	권 종 원 (한국산업기술시험원 센터장) – 인공지능 전환(AX)		남 기 창 (동국대학교 교수) – 의용전자 및 생체공학
	연 규 봉 (한국자동차연구원 수석연구원) – 자동차전자		오 창 현 (고려대학교 교수) – 의료영상시스템
	이 석 재 (대구보건대학교 교수) – 국방정보및제어		이 성 준 (한양대학교 교수) – 회로 및 시스템
	정 범 진 (서울과학기술대학교 교수) – 스마트미터링		정 재 훈 (동국대학교 교수) – 지능로봇
	한 수 희 (POSTECH 교수) – 제어계측		

산업전자소사이어티

회 장	고 정 환 (인하공업전문대학 교수)		
명 예 회 장	김 은 원 (대림대학교 교수)		
자 문 위 원	김 대 휘 (한국정보기술 대표이사)	원 영 진 (부천대학교 교수)	윤 기 방 (인천대학교 명예교수)
	이 상 회 (동서울대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 명예교수)	조 규 남 (로봇신문사 대표이사)
	한 성 준 (대흥정보 고문)		
수석부회장	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)		
상 임 이 사	구 자 일 (인하공업전문대학 교수)	김 상 범 (한국폴리텍대학 교수)	김 영 로 (명지전문대학 교수)
	박 병 섭 (인하공업전문대학 교수)	서 병 석 (상지대학교 교수)	서 춘 원 (K-My지능정보기술 대표이사)
	안 성 수 (명지전문대학 교수)	윤 중 현 (조선이공대학교 교수)	이 정 석 (인하공업전문대학 교수)
	이 태 동 (국제대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)	
협동상임이사	강 현 석 (로보웰코리아 대표이사)	권 오 병 (진인프라 전무이사)	김 세 종 (SJ정보통신 이사)
	김 윤 철 (대흥정보 상무이사)	김 정 석 (오디에이테크놀로지 대표이사)	김 젬 마 (엠티데이타 상무이사)
	김 진 선 (청파이엠티 대표이사)	박 현 영 (진우에이티에스 전무이사)	서 봉 상 (명화지리정보 대표이사)
	서 승 현 (글로벌텔레콤 대표이사)	성 재 용 (오픈링크시스템 대표이사)	송 관 식 (아이씨티웨이 상무이사)
	송 광 헌 (복두출판사 대표이사)	송 치 봉 (웨이버스 대표이사)	유 성 철 (쌍용정보통신 상무이사)
	이 영 준 (투비콤 대표이사)	장 대 현 (LG U+ 상무이사)	전 한 수 (세림TSG 전무이사)
	조 병 영 (태진티엔에스 대표이사)	조 한 일 (하이제이컨설팅 대표이사)	최 석 우 (대보정보통신 상무이사)
이 사	강 희 훈 (여주대학교 교수)	권 오 상 (경기과학기술대학교 교수)	권 윤 중 (세명대학교 교수)
	김 현 (부천대학교 교수)	김 남 섭 (서일대학교 교수)	김 대 순 (전주비전대학교 교수)
	김 백 기 (강릉원주대학교 교수)	김 용 민 (충청대학교 교수)	김 태 원 (상지대학교 교수)
	김 필 중 (조선이공대학교 교수)	성 홍 석 (부천대학교 교수)	안 태 원 (동양미래대학교 교수)
	엄 우 용 (인하공업전문대학 교수)	우 찬 일 (서일대학교 교수)	원 우 연 (한국폴리텍대학 교수)
	이 문 구 (김포대학교 교수)	이 상 철 (인천재능대학교 교수)	이 성 재 (대림대학교 교수)
	이 시 현 (동서울대학교 교수)	이 용 구 (한림성심대학교 교수)	이 주 연 (전주비전대학교 교수)
	장 기 동 (동양미래대학교 교수)	최 의 선 (한국폴리텍대학 교수)	
협 동 이 사	고 강 일 (이지테크 대표이사)	곽 정 희 (한국정보기술 이사)	김 응 연 (인터그래텍 대표이사)
	김 철 룡 (LIG 책임연구원)	변 용 필 (진인프라 전무이사)	신 동 희 (엠티데이타 상무이사)
	신 우 현 (시티랩스 이사)	오 재 곤 (한국정보기술 상무이사)	이 경 원 (동해종합기술공사 상무이사)
	이 성 대 (엔클라우드 상무이사)	이 승 민 (튠시스템 대표이사)	이 승 태 (하나텍시스템 이사)
	이 용 우 (쌍용정보통신 상무이사)	이 지 학 (송암시스콤 대표이사)	임 준 섭 (대신정보통신 차장)
	장 기 웅 (나날에스엠아이 부장)	장 철 (우송정보기술 대표이사)	정 민 우 (한국정보기술 상무이사)
	정 용 훈 (롯데정보통신 선임)	한 찬 석 (동해종합기술공사 부사장)	
감 사	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	김 영 선 (대림대학교 교수)	

제25대 평의원 명단

강 명 곤 (서울시립대학교 교수)
강 석 판 (LG전자 상무)
강 제 원 (이화여자대학교 교수)
고 성 제 (고려대학교 명예교수)
고 진 환 (경상대학교 교수)
공 배 선 (성균관대학교 교수)
구 민 석 (서울시립대학교 교수)
궁 재 하 (고려대학교 교수)
권 구 덕 (강원대학교 교수)
권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)
김 강 태 (삼성전자 부사장)
김 기 현 (전북대학교 교수)
김 도 훈 (한국전자통신연구원 박사)
김 동 현 (ICTK 대표이사)
김 민 휘 (중앙대학교 교수)
김 상 태 (전남테크노파크 본부장)
김 성 대 (한국과학기술원 명예교수)
김 수 중 (경북대학교 명예교수)
김 시 호 (연세대학교 교수)
김 영 민 (홍익대학교 교수)
김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 은 원 (대림대학교 교수)
김 재 현 (아주대학교 교수)
김 종 옥 (고려대학교 교수)
김 진 상 (경희대학교 교수)
김 태 욱 (연세대학교 교수)
김　혁 (서울시립대학교 교수)
김 현 수 (삼성전자 상무)
김 형 탁 (홍익대학교 교수)
남 광 희 (포항공과대학교 교수)
노 승 원 (LG이노텍 CTO)
노 태 문 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
류 수 정 (서울대학교 교수)
문 영 식 (한림성심대학교 총장)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
박 성 욱 (차세대지능형반도체사업단 이사장)
박 성 한 (한양대학교 명예교수)
박 인 규 (인하대학교 교수)
박 준 석 (인하대학교 교수)
박 항 구 (소암시스템 회장)
배 준 성 (강원대학교 교수)
백 종 덕 (연세대학교 교수)
변 대 석 (삼성전자 마스터)
서 병 석 (상지대학교 교수)
서 정 목 (연세대학교 교수)
서 철 헌 (숭실대학교 교수)
손 교 민 (삼성전자 마스터)
송 병 철 (인하대학교 교수)
송 준 영 (인천대학교 교수)
신 오 순 (숭실대학교 교수)
신 현 철 (광운대학교 교수)
안 광 호 (한국전자기술연구원 본부장)
안 성 수 (명지전문대학 교수)
양 준 성 (연세대학교 교수)
오 윤 제 (정보통신기획평가원 PM)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)

강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
강 성 원 (한국전자통신연구원 부원장)
고 병 철 (계명대학교 교수)
고 용 남 (전, 하나마이크론 CTO)
고 형 호 (충남대학교 교수)
공 준 진 (웨이브피아 CSO)
구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)
권 건 우 (홍익대학교 교수)
권 기 룡 (부경대학교 교수)
권 혁 인 (중앙대학교 교수)
김 경 기 (대구대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
김 동 규 (한양대학교 교수)
김 동 현 (연세대학교 교수)
김 병 서 (홍익대학교 교수)
김 선 용 (건국대학교 교수)
김 성 우 (서울대학교 교수)
김 승 천 (한성대학교 교수)
김 영 권 (후레대학교 명예총장)
김 영 민 (서울대학교 교수)
김 영 한 (UC San Diego/가우스랩스 대표이사)
김 원 준 (건국대학교 교수)
김 익 균 (한국전자통신연구원 부장)
김 재 희 (연세대학교 명예교수)
김 중 헌 (고려대학교 교수)
김 진 영 (광운대학교 교수)
김 학 구 (중앙대학교 교수)
김　현 (서울과학기술대학교 교수)
김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
김　훈 (인천대학교 교수)
남 기 창 (동국대학교 교수)
노 원 우 (연세대학교 교수)
동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)
류 은 석 (성균관대학교 교수)
문　용 (숭실대학교 교수)
박 관 서 (연세대학교 교수)
박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
박 종 선 (고려대학교 교수)
박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)
방 승 찬 (한국전자통신연구원 원장)
배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
변 영 재 (울산과학기술원 교수)
서 봉 상 (올포랜드 상무)
서 종 모 (서울대학교 교수)
선 우 경 (서울대학교 교수)
송 문 섭 (심텍 회장)
송 상 헌 (중앙대학교 교수)
송 진 호 (연세대학교 교수)
신 요 안 (숭실대학교 교수)
심 동 규 (광운대학교 교수)
안 병 구 (홍익대학교 교수)
안 현 식 (동명대학교 교수)
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
오 윤 호 (고려대학교 교수)
우 운 택 (한국과학기술원 교수)

강 석 주 (서강대학교 교수)
강 윤 희 (백석대학교 교수)
고 석 준 (제주대학교 교수)
고 정 환 (인하공업전문대학 교수)
공 규 열 (한성대학교 교수)
곽 진 태 (고려대학교 교수)
구 용 서 (단국대학교 석좌교수)
권 경 하 (한국과학기술원 교수)
권 종 원 (한국산업기술시험원 센터장)
권 호 열 (강원대학교 교수)
김 기 연 (한국산업기술시험원 선임연구원)
김 도 현 (국민대학교 명예교수)
김 동 식 (인하공업전문대학 교수)
김 명 선 (한성대학교 교수)
김 상 범 (한국폴리텍대학 교수)
김 선 욱 (고려대학교 교수)
김 소 영 (성균관대학교 교수)
김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 영 로 (명지전문대학 교수)
김 영 선 (대림대학교 교수)
김 용 신 (고려대학교 교수)
김　윤 (서울시립대학교 교수)
김 재 준 (서울대학교 교수)
김 종 선 (홍익대학교 교수)
김 지 훈 (한양대학교 교수)
김 철 우 (고려대학교 교수)
김 한 구 (EESOP 대표)
김　현 (부천대학교 교수)
김 형 진 (한양대학교 교수)
나 정 웅 (한국과학기술원 명예교수)
남 일 구 (부산대학교 교수)
노 정 진 (한양대학교 교수)
류 성 주 (서강대학교 교수)
문 상 미 (나사렛대학교 교수)
민 경 식 (국민대학교 교수)
박 규 태 (연세대학교 명예교수)
박 성 정 (건국대학교 교수)
박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)
박 철 수 (광운대학교 교수)
배 순 민 (케이티 LAB장)
백 광 현 (중앙대학교 교수)
범 진 욱 (서강대학교 교수)
서 민 재 (서울시립대학교 교수)
서 승 우 (서울대학교 교수)
서 지 원 (연세대학교 교수)
성 굉 모 (서울대학교 명예교수)
송 민 규 (동국대학교 교수)
송 익 현 (한양대학교 교수)
신 세 운 (포항공과대학교 교수)
신 창 환 (고려대학교 교수)
심　용 (중앙대학교 교수)
안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안 호 균 (한국전자통신연구원 책임연구원)
연 규 봉 (한국자동차연구원 수석연구원)
오 태 현 (포항공과대학교 교수)
우 정 호 (비전넥스트 대표이사)

원 제 형 (도쿄일렉트론코리아 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 만 (고려대학교 교수)
이 서 규 (한국팹리스산업협회 회장)
이 수 인 (텔레칩스 상무)
이 우 주 (중앙대학교 교수)
이 장 규 (텔레칩스 대표이사)
이 재 진 (숭실대학교 교수)
이 정 석 (인하공업전문대학 교수)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 찬 수 (영남대학교 교수)
이 천 희 ((전)청주대학교 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 (강운공업 본부장)
정 이 품 (연세대학교 교수)
정 준 (쏠리드 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 (LX세미콘 연구위원)
홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)
황 성 운 (가천대학교 교수)
황 인 태 (전남대학교 교수)

유 명 식 (숭실대학교 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 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 홍 (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 희 (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 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 병 희 (한밭대학교 교수)
이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
이 영 택 (ASML 전무)
이 인 규 (고려대학교 교수)
이 재 규 (삼성전자 마스터)
이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
이 채 은 (한양대학교 교수)
이 충 용 (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, 자문/서울IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 총회 등 사무국 총괄
이안순 부장 – 학회지, 추계학술대회, 이사회/평의원회, 총무업무(선거, 공문, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wiset 등), 산업전자소사이어티
배지영 부장 – 국제학술대회(ICCE–Asia), 하계종합학술대회, 신기술(총괄), 차세대리더육성, 시스템 및 제어소사이어티
배기동 부장 – 사업행사(기술워크숍 등), 국문논문, 표준화, 용역업무, 인공지능신호처리소사이어티
이소진 서기 – 국제학술대회(ITC–CSCC, ICEIC, ICCE–Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간, 컴퓨터소사이어티
김예빈 서기 – 정보화(홈페이지 관리 및 디지털 업무지원, 장비관리), 교육, 홍보, 신기술(담당), 차세대리더육성, 기타 지원업무, 반도체소사이어티
곽새롬 서기 – 본회/소사이어티/연구회 재무, 회원관리(개인회원 및 특별회원), 기획, 통신소사이어티

제3차 상임이사회 회의록

제3차 상임이사회가 4월 11일(금) 17시 학회 회의실(한국과학기술회관 1관 907호)에서 개최되었으며, 이번 회의 결과는 다음과 같다.

– 다 음 –

1. 성원 보고

– 제3차 상임이사회는 54명의 상임이사 중 39명의 참여로 성원되었음.

2. 본 학회(각 위원회) 및 소사이어티 보고

– 본 회(각 위원회)/ 각 소사이어티별 사업 및 활동 계획·추진경과 보고

3. 심의사항 의결

– 신규 개인회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.
– 신규 특별회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.
– 해동상 후보 지원 자격 변경에 관한 사항 원안대로 승인함.
– 2025~2026년도 간선평의원 예비후보 승인사항 원안대로 승인함.
– SPC 논문 게재료 인상 건 원안대로 승인함.
– SPC 간사 활동비 지급 건 원안대로 승인함.
– APSIPA(The Asia–Pacific Signal and Information Processing Association) MoU 체결 건 원안대로 승인함.

4. 기타

특별회원 및 유관기관 방문

학회 회장단은 4월 16일 특별회원사인 마르시스, 4월 30일 LG전자(휘센파크–창원)을 각각 방문하여 경영 및 기술 분야의 현안과제를 논의하고 상호 협력방안을 모색하였고, 특히 LG전자는 이동수단으로 헬기를 제공하였다.

[마르시스 – 이용식 대표이사]

[LG전자 휘센파크 – 창원]

AI를 가능하게 하는 반도체 기술 워크숍

대한전자공학회 사업위원회 주최로[프로그램위원장: 변영재 교수(UNIST)] 개최로 "AI를 가능하게 하는 반도체 기술 워크숍"은 4월 17일(목) 과학기술회관 중회의실7에서 개최되었다. 이번 워크숍에서는 AI 반도체 분야에서 활발하게 연구하고 계신 산업체 연구소 및 학계 최고수준의 전문가를 초청하여 최근 이슈가 되고 있는 HBM(High Bandwidth Memory), PIM(Process in Memory) 관련 최신 연구 동향 및 기술이 소개되었으며, AI를 가능하게 하는 반도체 분야에서 AI 반도체 구조 및 공정, 그리고 인터페이스의 디지털 회로 및 아날로그 회로 설계 등 전문가의 강연이 진행되었다. 참석은 약 100여 명이었다.

강연 모습(04.17)

2025 지능정보 및 제어 학술대회

시스템 및 제어소사이어티(이덕진 회장, 전북대학교)에서는 대한전기학회와 공동으로 4월 23일(수)~25일(금), 전북대학교 컨벤션센터에서 "지능정보 및 제어 학술대회"를 개최하였다. 축사에는 전북도청 신원식 국장, 전북대학교 이존화 부총장, 전북대학교 공과대학 김만영 학장 그리고 기조강연에는 "중성 원자 양자컴퓨팅 기술의 현재와 산업화 전망" 정희정 이사(Pasqal Korea), 초청강연에는 "자연모사 로봇 연구소개" 윤동원 교수(DGIST), "로봇 지능 안전: 자율 시스템을 위한 안전 이론과 응용" 김정훈 교수(POSTECH) 등의 강연과 논문발표에 약 180여 명이 오프라인으로 참석한 가운데 성황리에 개최되었다.

개회사(이덕진 회장)

축사(전북도청 신원식 국장)

참가자 기념촬영

2025 SoC학술대회

SoC설계연구회[위원장: 김경기 교수(대구대)]에서는 5월 10일(토) 대구대학교에서 "2025 SoC학술대회"를 개최하였다. 이번 학술대회는 100여 편의 논문이 발표되었으며, 학술발표와 더불어 네 가지 전문 주제별(아날로그, 센서IC, CAD/Image 센서, Wireless/Wireline)로 9명의 신진 교수들의 초청 강연과 SoC설계연구회에서 준비한 연구회 세션인 반도체소자, PIM and CXL, RF집적회로 분야 최신 연구 내용에 대한 강연이 진행되었다. 이런 프로그램들이 국내 SoC 관련 연구 인력이 모여 정보 및 의견을 교환할 수 있는 장이 되었으며 SoC 연구 분야의 최신 연구 동향 및 향후 설계 연구에 도움이 되는 학술대회가 되었다. 그리고 약 300여 명이 참석하였다.

〈발표장〉

〈발표장〉

〈단체사진〉

신규회원 가입현황

기간 : 2025년 3월 1일 – 3월 31일

〈정회원〉

최원석(LG이노텍), 김종한(LIG넥스원), 윤종길(SK텔레콤), 정지영(로데슈바르즈 코리아), 이상민(인피니언), 임정근, 하원석(인하공업전문대학), 박형곤(이화여자대학교), 이성욱(중앙대학교), 곽민정 (현대차그룹)

이상 10명

〈평생회원〉

김복기(단암시스템즈), 권혁준(한국폴리텍IV대학)

이상 2명

〈학생회원〉

정유진(경희대학교), 강재현, 김강현, 김수일, 김혜림, 목진서, 박상현, 박수영, 박홍근, 서민준, 서영준, 석승미, 신동현, 왕주현, 이강훈, 이은정, 이제규, 전동운, 조규민, 최선용, 홍승아(성균관대학교), 심준영(아주대학교), 오수환(충남대학교), 김종인(한국외국어대학교)

이상 24명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

(2025년 4월 17일 ~ 5월 16일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제4차 ITC-CSCC 2025 조직위원회	4.18 (16:00)	온라인	– 논문모집 및 행사 진행 논의 등
제1차 회지편집위원회	4.24 (16:30)	학회 회의실	– 상견례 및 80주년 특집호 발간 등
제1차 자문위원회	4.25 (11:00)	그랜드인터컨티넨탈 서울 파르나스	– 전임회장 평가 및 학회 자문 등
제1차 추계 조직위원회	4.25 (17:00)	학회 회의실	– 상견례 및 프로그램 구성 논의 등
제4차 하계 조직위원회	5.2 (17:00)	온라인	– 학술대회 운영 및 논문모집 등
제2차 ICCE-Asia 2025 조직위원회	5.7 (16:30)	온라인	– 프로그램 구성 및 행사진행 논의 등

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
사업위원회	AI를 가능하게 하는 반도체 기술 워크숍	4.17	한국과학기술회관 (온라인 병행)
시스템및제어소사이어티	2025 지능정보 및 제어 학술대회	4.23~25	전북대학교 국제컨벤션센터
산업전자소사이어티	2025 춘계학술대회 및 제5회 전국대학교 이그나이트 스토리텔링 경진대회	4.25~26	서울가든호텔
SoC설계연구회	2025 SoC학술대회	5.9~10	대구대학교
사업위원회	SoC 설계 보안 기술 워크숍	5.16	상공회의소 (온라인 병행)
교육위원회	대학생 산업체 방문	5.16	삼성전자(수원)

특 · 집 · 편 · 집 · 기

In-Band Full Duplex Radio

권 구 덕 편집위원
(강원대학교)

차세대 무선 통신 시스템에서는 제한된 주파수 자원의 효율적 활용이 중요한 과제로 대두되고 있으며, 이에 따라 In-Band Full Duplex (IBFD) Radio 기술이 새로운 패러다임으로 부상하고 있다. 동일 주파수 대역에서 송수신을 동시에 처리할 수 있는 IBFD는 이론적으로 스펙트럼 효율을 두 배까지 향상시킬 수 있어, 6G 이동통신과 같은 고속 · 고효율 네트워크 실현을 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 그러나 이를 실현하기 위해서는 송신 신호로부터 발생하는 자기간섭(Self-Interference, SI)을 정밀하게 제거할 수 있는 Self-Interference Cancellation (SIC) 기술이 필수적이다.

본 특집호는 한국연구재단 기초연구실 사업의 지원을 받아 운영 중인 '기계학습 기반 고집적 In-Band Full Duplex Radio 기초연구실' 참여 연구진이 공동 기고한 네 편의 원고로 구성되었다. 송수신기 회로, 제어 알고리즘, 디지털 처리 분야 전문가들이 함께 참여하고 있으며, 본 특집호를 통해 IBFD Radio의 핵심 기술을 통합적으로 조망하고자 한다.

첫째, "IBFD Radio를 위한 SIC 기술 동향(권구덕 외)"은 IBFD 송수신기에서 요구되는 SIC 성능을 규정하고, 안테나 인터페이스부터 RF, Analog, Digital 영역까지의 계층적 SIC 구조를 소개하였다. 특히 Ferrite Circulator, CMOS Circulator, Electrical Balance Duplexer(EBD) 등 최신 하드웨어 구조와 FDE/TDE 기반 아날로그 상쇄 회로 중심의 구현 사례들을 분석하였다.

둘째, "IBFD Radio를 위한 Digital SIC 기술 동향(고갑석 외)"은 수신단 디지털 영역에서 잔여 SI 신호를 제거하기 위한 알고리즘 구조와 적응 보정 기법을 다룬다. 특히 Deep Learning 기반 디지털 SIC 기술과 실시간 채널 추정을 통한 동적 보정 구조에 초점을 맞춰 디지털 처리 단계의 성능 개선 방향을 제시한다.

셋째, "5G NR FR1 IBFD 응용을 위한 저잡음 RF PLL의 설계(황인철 외)"는 IBFD 시스템에서 위상 잡음이 잔류 SI에 미치는 영향을 분석하고, 이를 최소화하기 위한 RF PLL 설계 방안을 제시하였다. 강원대학교의 칩 설계 사례를 통해 PFD-CP PLL과 DTC 기반 Sampling PLL을 비교하고, 각 구조의 위상 잡음 특성과 보정 기법을 평가하였다.

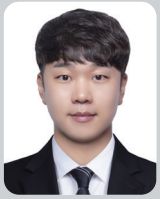
넷째, "IBFD Radio를 위한 RF영역 자기간섭신호 제거 기술 동향(박승영 외)"은 EBD 내 임피던스 매칭 최적화를 위한 제어 알고리즘 기술을 중점적으로 다루었다. 기존 DLS, PSO 기반 기법과 함께 신경망 기반 임피던스 조절 알고리즘의 구조와 성능을 비교 분석하고, 단일 안테나 및 MIMO IBFD 시스템에 적용 가능한 저지연 · 고정밀 제어 전략을 제안하였다.

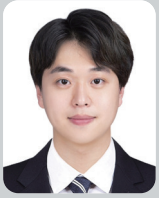
바쁜 일정 속에서도 귀중한 원고를 보내주신 집필진 여러분께 깊이 감사드리며, 본 특집호가 IBFD 기술의 학문적 진전과 산업적 확산을 위한 이정표가 되기를 기대한다.

In-Band Full Duplex Radio를 위한 Self-Interference Cancellation 기술 동향


권구덕
강원대학교


이동구
강원대학교


조성준
강원대학교

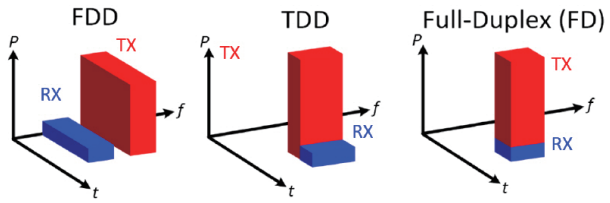

윤석주
강원대학교


김현준
강원대학교

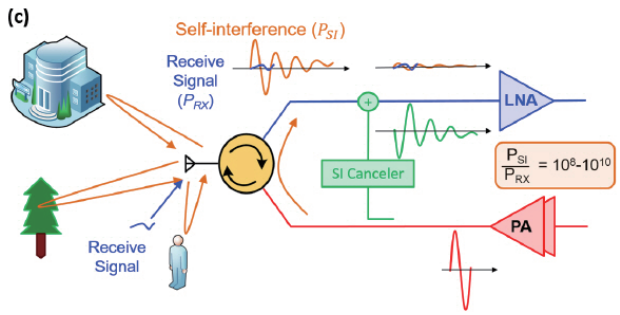
Ⅰ. 서 론

현대 무선 통신 시스템은 전송 및 수신의 분리 방식에 따라 크게 시분할 이중화(Time-Division Duplex, TDD) 방식과 주파수분할 이중화(Frequency- Division Duplex, FDD) 방식으로 분류된다. TDD는 SPDT(Single-Pole Double-Throw) 스위치와 같은 소자를 이용해 송신과 수신을 시간적으로 분리하여 통신하고, FDD는 SAW(Surface Acoustic Wave) 듀플렉서와 같은 주파수 선택적인 필터를 활용해 송신 주파수와 수신 주파수를 서로 분리함으로써 동시 통신을 가능하게 한다[1-2]. 하지만 이처럼 송신 신호와 수신 신호를 분리하기 위해 시

간 슬롯이나 주파수 대역을 별도로 할당해야 하므로, 전체 스펙트럼 자원의 활용 효율이 저하되는 한계를 지닌다. 최근 4차 산업혁명과 함께 IoT(Internet of Thing), 스마트 시티, 스마트 홈, AR/VR(Augmented Reality/Virtual Reality), 자율 주행 등 다양한 응용이 확산되면서 무선 통신 수요가 기하급수적으로 증가하고 있다. 그러나 무선 주파수 자원은 한정되어 있으며 이미 대부분의 주파수 대역이 포화 상태에 이르렀기 때문에, 한정된 자원을 보다 효율적으로 활용하는 것이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 이러한 배경에서 IBFD(In-Band Full Duplex) 통신 기술이 차세대 유망 기술로 주목받고 있다[3-4]. IBFD기술은 동일한 주파수 대역 내에서 송신신호와



〈그림 1〉 기존 통신 방식(FDD, TDD)과 차세대 IBFD 통신 방식의 특성[5]



〈그림 2〉 IBFD 송수신기에 SI 신호가 발생하는 매커니즘[5]

수신신호를 동시에 처리할 수 있는 기술로, 〈그림 1〉에 나타낸 바와 같이 기존의 TDD 및 FDD 방식과 달리 이론적으로 스펙트럼 효율을 두 배까지 향상시킬 수 있다. 이에 따라, IBFD는 네트워크 용량 증대, 데이터 전송률 향상, 통신 지연 감소 등 다양한 측면에서 우수한 성능 향상을 기대할 수 있는 기술로 평가받고 있다[6].

IBFD 송수신기는 동일한 주파수 대역에서 송신과 수신을 동시에 수행하는 구조로, 이로 인해 송신 신호의 일부가 수신 경로로 유입되어 자기 간섭(Self-Interference, SI)을 유발한다. 〈그림 2〉는 이러한 SI 신호가 어떻게 발생하고 수신기를 열화시키는지 보여준다. 송신기에서 출력된 신호는 PA(Power Amplifier)를 거쳐 안테나를 통해 방사되지만, 이 중 일부는 경로상의 누설, 반사 또는 커플링을 통해 수신 경로로 되돌아오게 된다. 동시에 외부에서 수신되는 수신 신호도 존재하지만, 이 수신 신호에 비해 SI 신호는 일반적으로 약 90~120 dB 정도 더 크다. 이러한 강한 SI 신호는 수신기의 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier, LNA)를 비롯한 후단 회로를 포화시키거나 성능을 심각하게 저하시켜, 결과적으로 수신 감도를 크게 저하시킬 수 있다. 특히 송신 신호가 다양한 반사 경로를 따라 다시 수신 안테나로 유입되는 경우, SI 신호는 장시간 지연(Delay)을 가지게 되며, 이로 인해 심각한 주파수 분산이 발생한다. 이러한 특성은 SI 신호를 시간 및 주파수 영역 모두에서 복잡하게 만들며, 주변 환경 변화에 매우 민감하게 반응하게 한다. 따라서 환경 변화에 따라 동적으로 적응할 수 있는 적응형 SIC (Self-Interference Cancellation) 기술이 필수적이다. 다행히

표 1. 5G NR FR1에서 채널-폭에 따라 요구되는 SIC 성능 (0 dB CNR 기준)

채널-폭 (MHz)	수신감도 (dBm)	수신기 입력 신호 파워 (dBm) (3dB FEM 손실 고려)	PA 최고 출력 파워 (dBm) (3dB PAM 손실 고려)	PAPR Margin (dB)	요구되는 SIC 성능 (dB)
5	-98	-101	27	5	133
10	-95	-98	27	5	130
20	-92	-95	27	5	127
50	-88	-91	27	5	123
100	-85	-88	27	5	120
400	-79	-82	27	5	114

도 SI 신호는 외부 블로커와 달리 송신기에서 생성된 신호로, 시스템 내부적으로 정확히 알고 있는 정보이다. 이를 기반으로 송신 신호의 일부를 복제하여 수신 경로에서 발생하는 SI 성분을 정밀하게 모사 및 제거하는 SIC를 설계할 수 있다. 이러한 SIC 기술은 수신 경로를 SI 신호로부터 보호하고, IBFD 시스템의 안정적인 동작을 보장하는 핵심 기술로 간주된다. 본 원고에서는 IBFD 송수신기의 SIC 요구 사양을 도출하고, 안테나 인터페이스 SIC 및 RF/Analog SIC 기술의 최신 연구 동향을 소개한다. 아울러, 대표적인 IBFD 송수신기 구조들을 소개하고, SIC 성능 분석을 통해 현 시점에서의 기술 성숙도를 종합적으로 평가한다.

Ⅱ. IBFD Transceiver의 SIC 요구 사양

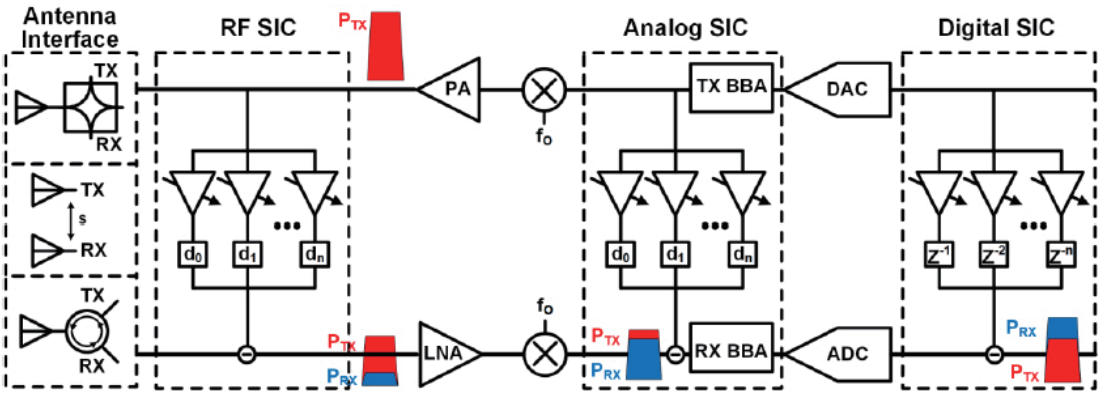
본 장에서는 IBFD 통신 방식을 지원하기 위한 송수신기의 SIC 요구 사양을 정리하고, 향후 이동통신 표준에 IBFD를 적용하기 위해 극복해야 할 주요 기술적 과제를 소개한다.

1. 5G NR 이동통신 표준에 요구되는 SIC 사양

IBFD 시스템에서는 수신기의 수신 감도를 열화시키지 않기 위해 SI 신호가 반드시 수신 감도 이하로 충분히 억제되어야 한다. 〈표 1〉은 5G NR(New Radio) 이동통신 표준을 기준으로 채널-폭에 따라 수신기에 요구되는 SIC 사양을 보여 준다[7]. 예를 들어, 채널-폭이 5 MHz일 경우 약 133 dB의 SIC 성능이 요구되며 채널-폭이 증가할수록 수신 감도가 열화되기 때문에 상대적으로 요구되는 SIC 수준은 다소 감소하지만 여전히 100 dB 이상의 높은 SIC 성능이 필요하다. 예로, 채널-폭이 10 MHz인 5G NR 시스템을 기준으로 실제 요구되는 SIC 성능을 계산해볼 수 있다. 먼저, 송신 신호는 PAM(Power Amplifier Module)에서 발생하는 약 3 dB 손실을 고려하여 송신 출력 전력을 27 dBm으로 가정할 수 있다. 수신 신호는 FEM (Front-End Module)에서 약 3 dB의 손실을 겪으며 -98 dBm 수준으로 도달하게 된다. 또한 송신신호의 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)에 의한 5 dB 마진을 반영하면 송신 신호와 수신 감도 간의 차이는 총 130 dB가 된다. SI 신호에 의한 수신 감도의 열화를 거의 없게 하려면 여기에 5-10 dB의 SIC 성능이 더 필요하게 된다.

2. SIC 기술이 적용된 IBFD 송수신기

〈그림 3〉은 SIC 기술이 적용된 대표적인 IBFD 송수신기의 블록도를 보여준다. IBFD 송수신기에 요구되는 높은 SIC 성능을 달성하기 위해서는 안테나 인터페이스, RF, Analog, Digital의 여러 영역에 걸쳐 단계적으로 SIC를 수행해야 한다. 첫 번째 단계는 안테나 인터페이스로 송신 안테나와 수신 안테나를 물리적으로 분리하거나[8-9] 하나의 안테나를 송수신기가 공유하고 Circulator[10-16] 등을 활용하여 송신 신호가 수신기에 직접 유입되는 것을 억제한다. 이 과정에서 최소 20 dB 이



〈그림 3〉 SIC 기술이 적용된 IBFD 송수신기의 대표적인 블록도

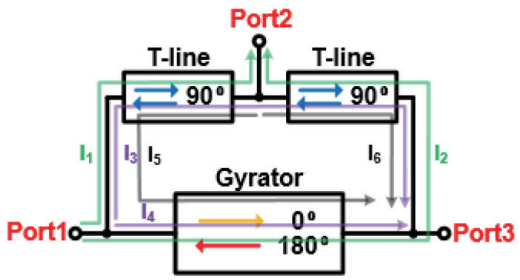
상의 송신-수신 격리도(Isolation)가 확보된다. 그다음 단계에서, 송신 신호의 일부를 복제한 뒤 진폭, 위상, 지연 특성을 조정하여 수신기에 유입된 SI 신호와 동일한 파형을 생성하고 이를 상쇄하는 구조가 사용된다. 이러한 방식은 동일한 기술적 원리를 기반으로 하나, 상쇄가 이루어지는 주파수 영역에 따라 RF SIC와 Analog SIC로 구분된다. RF SIC는 수신 신호가 하향 변환되기 전 RF 주파수 대역에서, Analog SIC는 수신 신호가 하향 변환된 Baseband 주파수 대역에서 상쇄가 이루어진다. 두 방식 모두 Frequency-Flat Phase Cancellation[17-19], Code-Domain Cancellation[20-21], Frequency-Domain Equalization[22], FIR 기반의 Time-Domain Equalization[23-29] 등의 공통된 기술을 적용할 수 있다. 마지막으로, 앞선 아날로그 단계에서 충분히 제거되지 못한 잔여 SI 성분은 Digital SIC를 통해 디지털 영역에서 정밀하게 제거된다. 디지털 영역에서는 시간, 주파수, 위상, 비선형 왜곡에 대한 보정이 가능하며, 이를 통해 전체 시스템의 SIC 성능을 극대화할 수 있다. Digital SIC에 대한 구체적인 기술은 본 특집기사의 다른 고에서 다룰 예정이다.

이처럼 IBFD 송수신기에서는 송신 신호의 자기 간섭을 효과적으로 억제하기 위해 하드웨어 구조적 분리부터 디지털 보정에 이르기까지 다양한 영역에서 SIC 기술이 계층적으로 적용되며, 이를 통해 100 dB 이상의 높은 SIC 성능을 달성할 수 있다.

Ⅲ. 안테나 인터페이스 SIC 기술

1. Ferrite Circulator

IBFD 송수신기에서 송신 신호와 수신 신호를 효과적으로 분리하기 위한 대표적인 수단 중 하나는 Ferrite Circulator이다. Ferrite Circulator는 자성 재료를 기반으로 동작하며 신호가 정해진 방향으로만 흐르도록 유도하여 포트 간 전력 분리를 가능하게 한다. 일반적으로 25 dB 이상의 송신-수신 격리도(TX-RX Isolation), 1 dB 이하의 삽입 손실(Insertion Loss), 그리고 수백 와트급의 높은 전력 처리 능력을 제공하므로 매우 우수한 성능

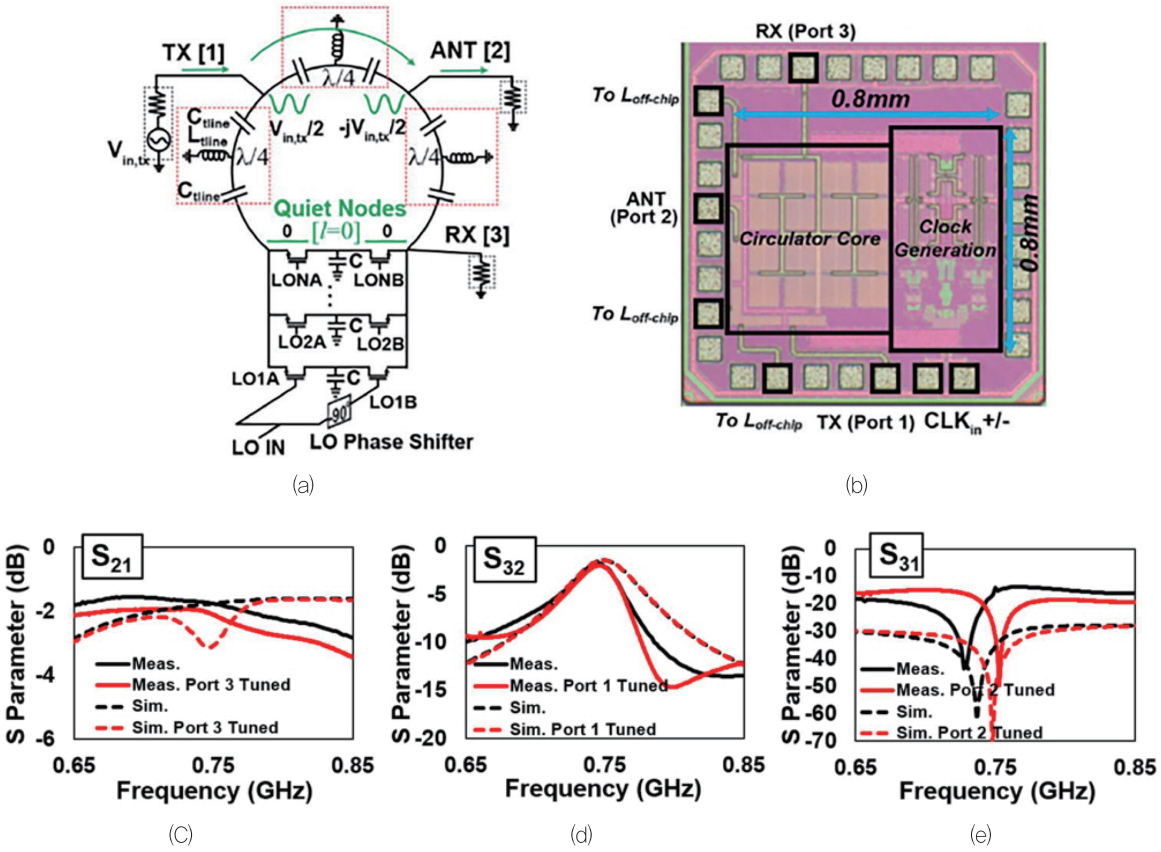


〈그림 4〉 Nonmagnetic Circulator의 동작 원리

을 가지고 있다. 하지만 이러한 Ferrite 기반 소자는 800 ℃ 이상의 고온 열처리 공정을 필요로 하며, 금속 산화물 계열의 소재를 사용하므로 CMOS 공정을 통한 집적화가 불가능하다. 이로 인해 Ferrite Circulator는 송신과 수신이 단일 안테나를 공유하는 구조에는 적합하지만, 크기와 비용 측면에서 IBFD 시스템의 집적도와 상업적 실현 가능성을 저해하는 한계점을 가진다.

2. CMOS Circulator

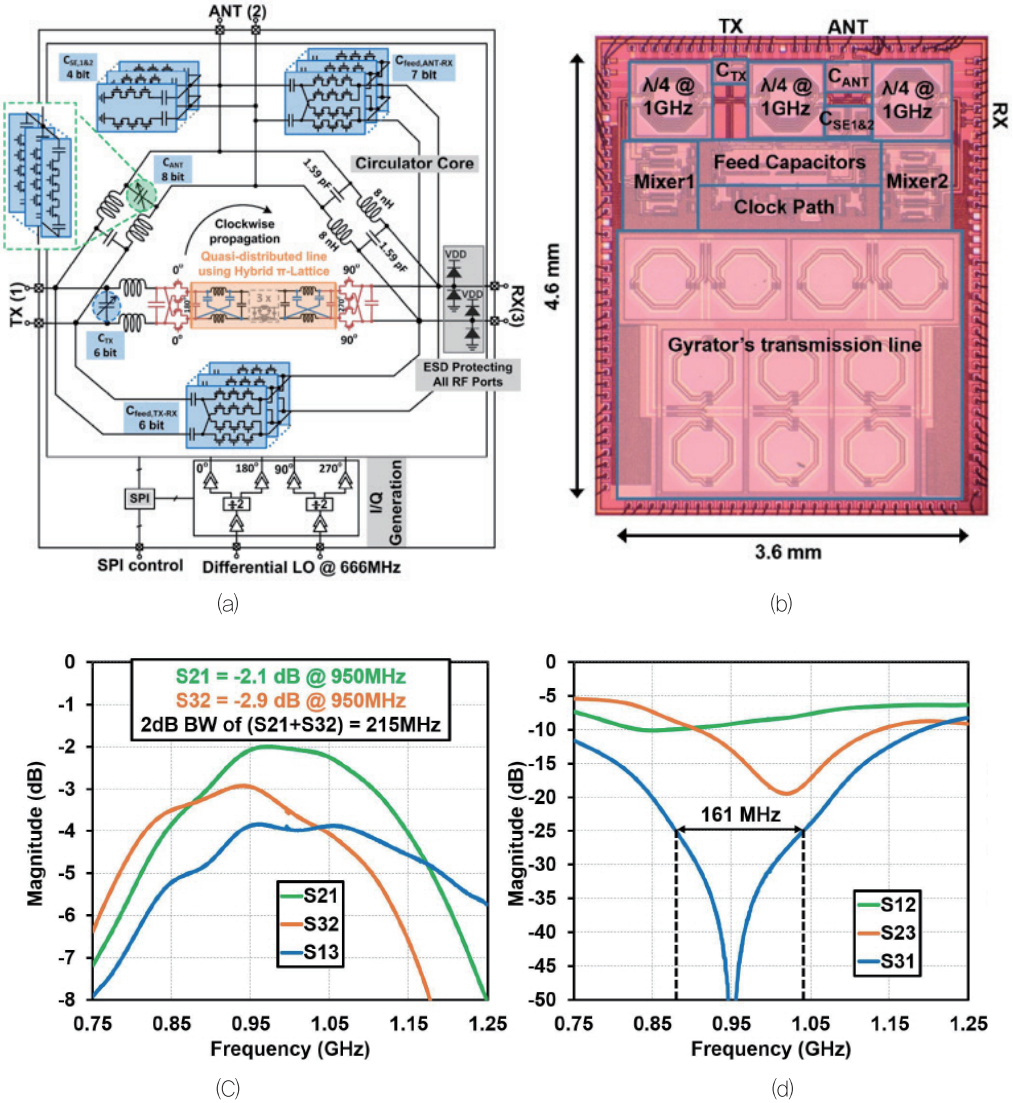
이러한 문제를 해결하기 위해, CMOS 집적이 가능한 Circulator에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 〈그림 4〉는 자성 물질을 사용하지 않고 구현 가능한 Nonmagnetic Circulator의 대표적인 동작 원리를 보여준다. 이 구조는 상호적인(Reciprocal) 특성을 가지는 전송선로(Transmission Line)와 비상호적인 (Non-Reciprocal) 특성을 가지는 Gyrator를 조합하여 구현되며 자성체나 외부 자기장 없이도 순방향 신호 전달을 가능하게 하고 역방향 신호는 억제할 수 있는 이상적인 비순환 동작을 실현한다. 이 Circulator는 세 개의 포트로 구성되며, 각각의 포트는 전송선로와 Gyrator를 경유하는 경로를 통해 다른 포트와 연결된다. 각 경로는 서로 다른 위상 특성을 갖도록 설계되어 특정 방향으로는 신호가 결합되고 다른 방향으로는 상쇄되도록 유도한다. 예를 들어, 포트 1에서 포트 2로 전달되는 신호는 두 개의 경로를 통해 진행된다. 첫 번째 경로 I1은 상호적인 전송선로를 따라 90°의 위상 천이를 겪으며 진행하고, 두 번째 경로 I2는 Gyrator를 통과한 후 전송선로를 지나면서 역시 90°의 위상 천이가 발생한다. 이 두 경로의 위상 변화가 동일하기 때문에 포트 2에서 신호는 동위상으로 결합되고, 이로



〈그림 5〉 N-Path Filter Gyrator 기반의 CMOS Circulator[10]:
(a) 회로도 (b) 칩 사진 (c) 송신 삽입 손실 측정 결과 (d) 수신 삽입 손실 측정 결과 (e) 송신-수신 격리도 측정 결과

인해 손실 없이 효과적인 신호전달이 가능해진다. 반대로, 포트 1에서 포트 3으로 전달되는 신호의 경우, 경로 I3는 전송선로를 두 번 거치면서 총 180°의 위상 천이가 발생한다. 이에 반해 경로 I4는 Gyrator만을 통과하므로 위상 천이가 없다. 결과적으로 포트 3에서 위상이 반대인 두 신호가 상쇄를 일으키며 신호가 전달되지 않는다. 이러한 구조적 위상 설계 덕분에 특정 방향으로의 신호 전달만 허용되고 나머지 방향은 차단된다. 마찬가지로 포트 2에서 포트 3으로 전달되는 신호는 경로 I5와 I6를 통해 전달되며 I5 경로에서 전송선로와 Gyrator를 거치며 90°의 위상 천이를, I6 경로에서는 전송선로를 통해 동일한 90°의 위상 천이를 겪는다. 결과적으로 포트 3에서는 이 두 신호가 동위상으로 결합되어 손실 없이 전달된다.

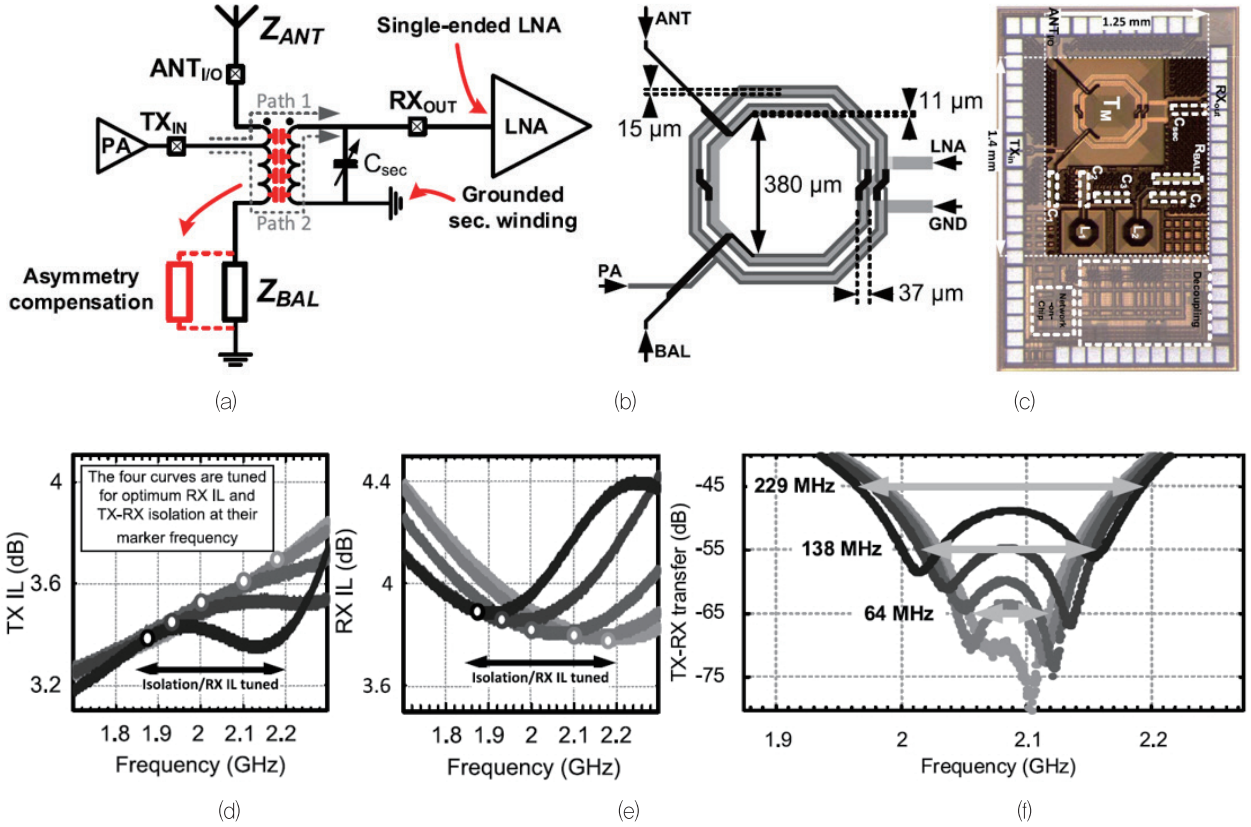
〈그림 5〉는 N-Path Filter Gyrator 기반의 CMOS Circulator의 회로도, 칩 사진 및 측정 결과를 보여준다. 이 Circulator는 세 개의 상호적인 전송선로와 하나의 비상호적인 N-Path Filter Gyrator로 구성되어 있다. N-Path Filter Gyrator는 스위치 양단에 90° 위상 차이를 갖는 LO(Local Oscillator) 신호를 인가하여, 신호의 유입 방향에 따라 출력 위상이 -90° 또는 90°로 천이되도록 함으로써 비상호적인 위상 응답을 구현하였다. 또한, 스위치 사이에 커패시터를 배치함으로써 N-Path Filter 특성을 부여해 높은 Q(Quality Factor) 값의 RF 대역 통과 필터 동작을 구현하였다. 이로 인해 대역 외 블로커 신호를 효과적으로 억제할 수 있으며, 수신기의 선형성을 향상시키는데 기여한다. 회로는 전송선로를 C-L-C 구조로 소형화하였으며, 면적을 많이 차지하는 인덕터는 외부 소자로 구현해 칩 내 면적을 최소화하였다. 이러한 구조를 기반으로 구현된 CMOS Circulator는 750 MHz 주파수 대역에서 동작하며, 측정 결과에 따르면 1.7 dB 수준의 송신 및 수신 삽입 손실을 달성했고, 32 MHz 대역폭 내에서 20 dB 이상의 송신-수신 격리도



〈그림 6〉 Switched Transmission Line Gyrator 기반의 CMOS Circulator[12]:
(a) 회로도 (b) 칩 사진 (c) 송신 삽입 손실 측정 결과 (S21), 수신 삽입 손실 측정 결과 (S32) (d) 송신-수신 격리도 측정 결과 (S31)

를 확보했다. 하지만, 이 구조는 커패시터가 지연 특성을 갖지 않고 신호를 저장하는 역할만 수행하기 때문에 스위치가 순차적으로 온/오프될 때, 한쪽 스위치에 강한 송신 신호 전력이 집중되는 문제가 있다. 이로 인해 전체 구조의 선형성이 제한되고 P1dB 성능이 낮아져 높은 출력이 요구되는 셀룰러 통신용 응용에는 적용이 어렵다는 한계가 존재한다[10-11].

〈그림 6〉은 Switched Transmission Line Gyrator 기반의 CMOS Circulator의 회로도, 칩 사진과 측정 결과를 보여준다. 이 구조는 기존 N-Path Filter 기반의 Circulator의 선형성 한계를 극복하기 위해 제안되었으며, 세 개의 상호적인 차동 전송선로와 비상호적인 Switched Transmission Line Gyrator로 구성된다. Gyrator는 양쪽에 위치한 이중 평형 수동 믹서와 그 사이에 배치된 차동 전송선로로 이루어져 있으며, 믹서의 스위치는 90° 위상 차이를 갖는 LO 신호에 의해 구동된다. 전송선로는 이 LO 신호의 위상 차이와 정확히 일치하는 시간 지연을 제공하도록 설계되며, 스위칭 주파수에 대해 λ/4 길이를 갖는다. 이러한 조건에서, 신호가 왼쪽에서 오른쪽으로 전달될 경우 단순한 시간 지연만 겪으



〈그림 7〉 EBD[30]: (a) 회로도 (b) 트랜스포머 레이아웃 (c) 칩 사진 (d) 송신 삽입 손실 측정 결과 (e) 수신 삽입 손실 측정 결과 (f) 송신–수신 격리도 측정 결과

며 출력되지만, 오른쪽에서 왼쪽으로 전달될 경우 동일한 시간 지연에 더해 신호의 부호 반전이 발생한다. 그 결과 양방향 간 180° 위상 차이가 생기며, 이로써 Gyrator의 비상호적인 위상 전달 특성이 구현된다. 해당 CMOS Circulator는 860 MHz에서 1080 MHz에 이른 넓은 주파수 범위에서 동작하며, 2.1 dB의 송신 삽입 손실, 2.9 dB의 수신 삽입 손실, 그리고 161 MHz 대역폭에서 25 dB 이상의 송신–수신 격리도를 달성하였다. 특히, 스위칭 방식상 송신 신호가 특정 스위치에 집중되지 않기 때문에 높은 선형성을 확보할 수 있다. 이는 기존 N–Path Filter 기반 구조에 비해 확연한 개선이며, 고출력 송신이 요구되는 셀룰러 통신 시스템에서도 충분히 적용 가능한 성능을 제공한다. 또한, LO 주파수의 우수 차 성분에서도 동일한 위상 특성을 유지하므로, 상대적으로 낮은 주파수의 LO를 사용할 수 있어 LO 체인의 전력 소모를 줄이는 데에도 기여한다. 다만, 이러한 구조는 삽입 손실과 격리 특성을 동시에 만족시키기 위해 5개 이상의 전송선로가 필요하며, 이로 인해 칩 면적이 증가하는 단점이 존재한다[12–14].

Switched Capacitor Circulator는 각 포트에 N개의 스위치들과 신호를 저장할 수 있는 N개의 커패시터들로 구성되어 있다. 포트에서 신호가 인가된 뒤 스위치가 켜지면 커패시터에 신호를 저장한다. 저장된 신호는 다른 포트의 스위치가 켜지면 신호를 전달한다. 그 후 다른 포트의 스위치가 켜지면 커패시터에 남은 작은 신호를 내보낸다. 커패시터의 충전과 방전에 의해 동작하는 Circulator이므로 DC부터 1 GHz의 광대역 주파수를 지원한다. 또한 전송선로 없이 Bonding Inductor를 사용하기 때문에 면적이 매우 작다. 하지만, 커패시터의 충전과 방전에 의해 동작하기 때문에 4 dB 수준의 높은 삽입 손실과 20 dB 수준의 송수신 격리도를 갖는다. 따라서 IBFD 시스템에 적용하기에 부족한 성능을 나타낸다[15–16].

〈표 2〉 CMOS Circulator와 EBD의 성능 요약

구조	주파수 (GHz)	TX IL (dB)	RX IL (dB)	TX-RX Isolation (dB)	TX-ANT P1dB (dBm)	ANT-RX IIP3 (dBm)	면적 (mm2)
EBD [30]	1.9-2.2	〈3.7	〈3.9	〉45 (229MHz)	-	-	1.75
N-Path Filter Circulator [10]	0.6-0.8	1.7	1.7	〉20 (32MHz)	-	8.7	0.64
Switched T-line Circulator [12]	0.86-1.08	2.1	2.9	〉25 (161MHz)	〉30.66	36.9	16.5
Switched T-line Circulator [13]	0.91-1.09	2.1	2.6	〉25 (172MHz)	34	36.5	9
Switched Cap Circulator [15]	0-1	3.1-4.3	3.0-4.3	〉18 (850MHz)	1.4	20	0.19
Switched Cap Circulator [16]	0.28-1.15	2.2-2.3	3.2-3.3	〉20 (233MHz)	1-3.2	14.5-17.1	0.17

2. CMOS Electrical Balance Duplexer

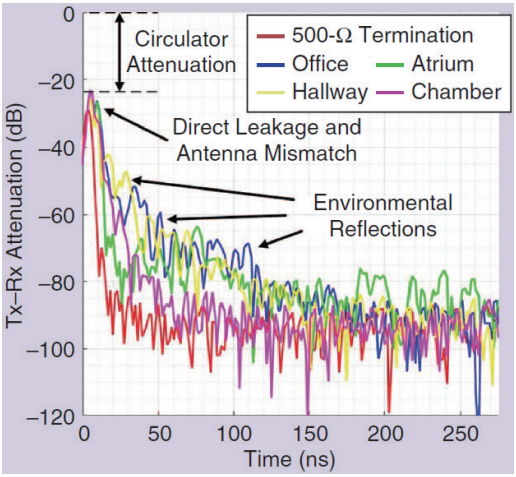
〈그림 7〉은 EBD(Electrical Balance Duplexer)의 회로도, 칩 사진과 측정 결과를 보여준다. 밸런스 네트워크의 임피던스(ZBAL)를 안테나의 임피던스와 정밀하게 일치시킬 경우, 송신 신호는 안테나와 밸런스 네트워크 양쪽으로 균등하게 분배된다. 분배된 두 신호는 각각 안테나-수신기 사이와 밸런스 네트워크-수신기 사이에 위치한 트랜스포머를 통해 수신기 입력단에서 반대 위상으로 도달하게 되며, 이로 인해 상호 상쇄되어 우수한 송수신 격리 성능을 얻을 수 있다. 다만, 밸런스 네트워크로 전달된 송신 신호는 안테나를 통해 방사되지 않기 때문에 전력 손실이 발생하며, 이는 송신 삽입 손실로 작용한다. 이론적으로 EBD는 최소 3 dB 이상의 삽입 손실을 가지며, 최근 발표된 EBD 구조의 측정 결과에서는 약 3.7 dB 수준의 송신 삽입 손실, 3.9 dB의 송신 삽입 손실과 45 dB 이상의 송신-수신 격리도를 나타낸다. 따라서, EBD는 우수한 송신-수신 격리도 성능을 갖지만, 약 4 dB 정도의 높은 삽입 손실을 갖는 한계점이 있다[30].

3. 안테나 인터페이스 SIC 성과 평가

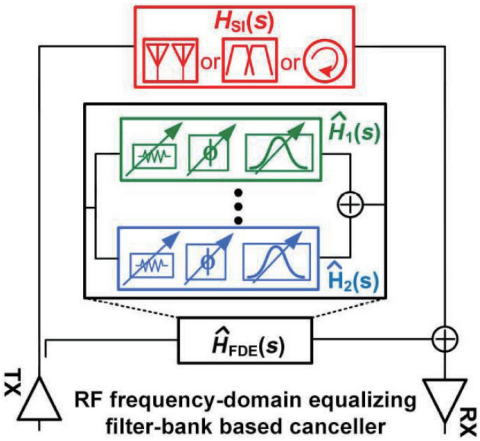
〈표 2〉는 최근 IBFD 송수신기에 적용된 다양한 안테나 인터페이스 SIC 기술들의 성능을 정리한 것이다. 각 기술은 삽입 손실, 선형성, 집적 가능성, 전력 처리 능력, 대역폭 등 다양한 항목에서 상호 Trade-Off 관계를 보이며, 특정 응용에 따라 적합성이 달라진다. EBD는 회로 구조가 비교적 단순하고 CMOS 공정을 통해 집적이 가능하다는 장점이 있다. 또한 높은 선형성을 제공할 수 있어 수신기의 성능 유지 측면에서 유리하다. 그러나 구조적인 특성상 송신과 수신 경로 모두에서 3 dB 이상의 삽입 손실이 발생하며, 이는 수신기의 수신감도 열화와 송신기의 전력 효율 저하를 유발한다. Ferrite Circulator는 매우 낮은 삽입 손실을 가지며, 수백 와트에 달하는 높은 출력 전력도 안정적으로 처리할 수 있다. 이러한 특성 덕분에 고출력 송신이 필요한 응용 환경에서 오랫동안 사용되고 있다. 그러나 크기가 매우 크고 자성체 기반이기 때문에 CMOS 공정을 통한 집적이 불가능하다는 근본적인 한계를 가지고 있다. 따라서 소형화와 집적도가 중요한 현대 통신 시스템에는 적합하지 않다. CMOS Circulator는 자성체 없이 CMOS 공정을 이용해 구현되므로 소형화와 집적화가 가능하고, 약 2 dB 수준의 삽입 손실을 유지하면서도 수 와트 수준의 출력 전력까지 견딜 수 있다. 하지만 동작 주파수 대역폭이 제한적이며, 구조에 따라 선형성이나 격리도 측면에서 성능 향상이 필요하다.

Ⅳ. RF/Analog SIC 기술

SIC 기술은 간섭 신호의 특성 및 제거 방식에 따라 크게 TDE(Time Domain Equalization), FDE(Frequency Domain Equalization), VS(Vector Synthesis)로 나눌 수 있으며, 물리적 회로 삽입 위치에 따라 RF SIC와 Analog SIC로도 구분된다. RF SIC는 송신기에서 수신기로 직접 유입되는 강한 SI 신호를 수신기 입력에서 제거함으로써 후속 회로의 성능 열화를 방지하고 수신기 전체의 선형성과 감도를 유지하는 역할을 한다. 반면, Analog



〈그림 8〉 Ferrite Circulator 기반 안테나 인터페이스의 임펄스 응답[31]



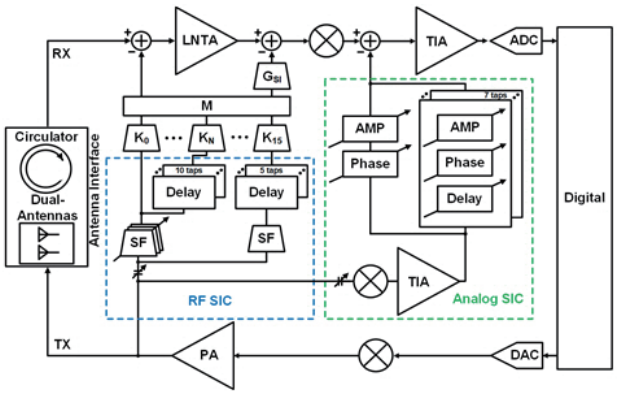
〈그림 9〉 FDE 기반의 RF SIC 블록도[22]

SIC는 RF 영역에서 제거되지 않고 남은 잔류 SI 신호를 하향 변환 이후 Baseband 영역에서 추가적으로 제거함으로써 ADC의 동적 범위를 확보하고 후단 디지털 처리 회로의 부담을 줄여주는 기능을 한다. 실제 IBFD 송수신기 시스템에서는 RF 및 Analog SIC를 함께 적용하여 전체 SIC 성능을 극대화하는 다중 도메인(Multi-Domain) 구조가 주류를 이루고 있다.

〈그림 8〉은 Ferrite Circulator 기반 안테나 인터페이스에서 측정된 임펄스 응답을 보여준다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, IBFD 송수신기에서는 SI 신호가 단일 경로가 아닌 직접 누설, 안테나 매칭 손실, 환경 반사 등 다양한 경로를 통해 수신기로 인가된다. 이로 인해 SI 신호의 크기, 위상, 지연 특성은 주변 환경에 따라 크게 달라진다. 따라서, 이러한 복잡하고 시시각각 변화하는 SI 신호를 효과적으로 제거하기 위해서는 단순한 고정형 상쇄 방식이 아닌 환경 변화에 따라 실시간으로 적응 가능한 적응형 SIC 기술이 필요하다. 적응형 SIC 기술은 다양한 경로를 따라 도달하는 다중 반사 SI 신호를 정확히 모방하고 제거함으로써, 안정적인 수신 성능을 유지할 수 있도록 한다.

1. FDE 기반의 SIC 기술

FDE 기반의 SIC 기술은 송신 신호를 복제한 뒤, 이를 주파수 선택적으로 분할하여 SI 신호를 보다 정밀하게 상쇄하는 방식이다. 이 기술은 특히 채널이 주파수 선택적 특성을 가지는 경우 효과적으로 동작하며, 넓은 대역폭을 갖는 SIC에 적합하다. 〈그림 9〉는 FDE 기반 RF SIC의 전체 블록 다이어그램을 보여준다. 이 구조에서는 복제한 송신 신호를 여러 개의 주파수 대역으로 나누기 위해 Gm–C 필터 기반의 N–Path Filter 구조를 활용하고 있다. N–Path Filter는 다중 경로를 통한 동시 필터링이 가능하며, 각 경로에 대해 필터의 중심 주파수와 대역폭을 조절할 수 있어, 다양한 주파수 성분을 가진 SI 신호에 대응하기 용이하다. 이러한 구조를 통해 복제된 송신 신호는 여러 주파수 대역으로 분리되고, 각 대역에 대해 SI 채널의 주파수 응답 특성을 추정한 후, 해당 대역에 맞게 위상 및 진폭을 정밀하게 보정하여 수신 경로에서 SI 신호와 동기화된 상쇄 신호를 생성한다. 결과적으로, 전체 SI 신호를 보다 세밀하게 모방하여 수신기 입력에서 효과적으로 제거할 수 있다. 그러나 FDE SIC 구조는 몇 가지



〈그림 10〉 TDE 기반의 RF/Analog SIC 블록도[28]

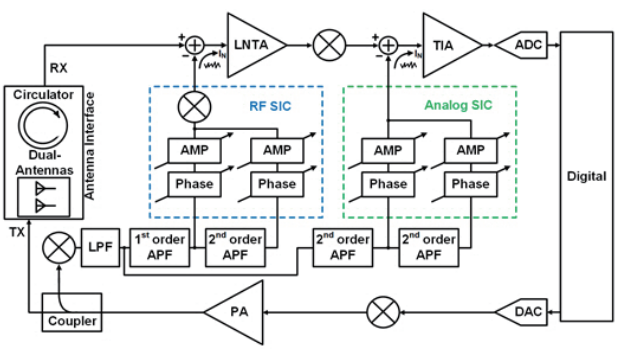
한계점도 존재한다. 먼저, 각 주파수 대역별로 독립적인 필터 동작을 수행하기 위해 복잡한 아날로그 회로 구성이 필요하며, 이로 인해 상당한 전력 소모가 발생할 수 있다. 또한, 이 방식은 다중 경로 환경에서 발생하는 긴 지연 성분의 SI 신호를 완전히 제거하지는 못하는 제약이 있다. 특히 시간에 따라 변화하는 환경 반사에 대응하는 데에는 한계가 있기 때문에, 전반적인 SIC 성능은 환경 특성에 따라 달라질 수 있다[22].

2. TDE 기반의 SIC 기술

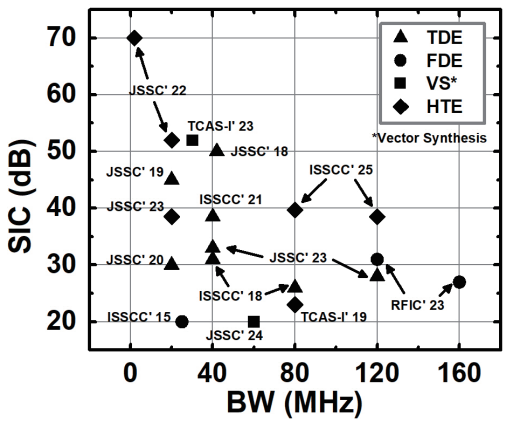
이를 극복하기 위해, TDE SIC는 송신 신호를 다수의 경로로 복제한 뒤 다양한 경로에 따른 송신 신호의 지연과 크기 변화를 다수의 지연 탭과 가중치(Weight)를 부여하여 SIC가 수행되는 노드의 SI 신호와 동기화한 뒤 수신 경로에 삽입함으로써 SI 신호를 상쇄하는 기술이다. FIR 기반으로 구성되는 이 구조는 실제 무선 환경에서 발생하는 AR(Antenna Reflection) 및 RP(Reflection Path)의 다양한 시간 지연 특성을 가진 SI 채널 응답을 효과적으로 근사할 수 있는 장점이 있다[23-29]. 〈그림 10〉은 TDE 기반의 RF 및 Analog SIC 기술을 적용한 송수신기의 블록 다이어그램이다. TDE 기반의 RF SIC는 송신 신호를 SF(Source Follower)와 외부 커패시터를 통해 감쇄하였다. 그 후 커패시터 스택킹 구조를 기반의 지연 탭을 이용하여 다중 경로의 지연을 모방하였고, K0~K15의 Transconductance를 이용한 가중치를 부여하여 다중 경로의 SI 신호 크기를 모방하였다. LNTA(Low Noise Transconductance Amplifier)의 입력과 출력에서 모방한 신호를 이용하여 SIC를 진행하였다. 이러한 FIR 구조의 성능은 지연 탭 수와 각 지연 탭에 적용되는 지연 분해능, 복소 가중치의 정밀도에 따라 좌우된다. 실질적인 설계에서는 삽입 손실, 위상 잡음, 기생 요소 등 다양한 아날로그 회로적인 제약을 고려해야 한다. 결론적으로, TDE 기반의 SIC 기술은 다중 경로를 통해 발생되는 SI 신호를 효과적으로 제거할 수 있지만, 각각의 지연 탭에서 큰 지연 시간을 생성시키기 위한 커패시터의 면적이 큰 한계점을 가지고 있다[28].

3. HTE 기반의 SIC 기술

TDE 기반의 SIC 기술은 RF 영역에서 긴 지연을 생성하기 위해 큰 값의 커패시터와 저항을 사용한다. 큰 값의 커패시터는 시스템의 크기와 비용을 증가시킨다. 큰 값의 저항은 RF SIC 경로의 손실을 유발해 수신기의 NF 성능을 열화시키는 문제점을 가진다. 이를 극복하기 위해, HTE(Hilbert Transform Equalization) 기반의 SIC 기술이 연구되고 있다. 상대적으로 작은 값의 저항과 커패시터로 긴 지연 시간을 생성할 수 있다. 기저대역에서 지연을 생성한 뒤 RF 영역으로 상향 변환하여 TDE 기반 SIC의 문제점을 해결하였다. 〈그림 11〉은 TDE 기반의 RF SIC 및 Analog SIC 기술을 적용한 블록 다이어그램이다. RF SIC와 Analog SIC는 두 개의 지연 탭으로 구성되어 직접 누설 뿐만 아니라 다중 반사에 의해 발생하는 SI 신호를 제거할 수 있다. 최근 발표된 HTE 기반의 SIC 기술을 적용한 IBFD 송수신기는 지연 경로에 능동



〈그림 11〉 HTE 기반의 RF/Analog SIC 블록도[32]



〈그림 12〉 SIC 기술별 채널-폭에 대한 RF/Analog SIC 성능[32]

2차 APF(All Pass Filter) 적용하여 지연 대역폭을 넓혀 120 MHz의 채널-폭 SI 신호에 대해 36 dB의 SIC 성능을 달성하였다. 따라서, HTE 기반의 SIC는 작은 면적으로 NF 성능 열화를 최소화할 수 있으며, 넓은 채널-폭을 갖는 응용 분야를 지원할 수 있다. 하지만, I/Q 경로의 신호 세기를 기반으로 벡터 합성을 통해 SIC 위상을 보상하기 때문에 신호의 크기를 조절하는 트랜스컨덕터의 높은 해상도를 필요로 한다. 또한, 수신기의 입력에서 지연 시간을 상향 변환하기 때문에 LO 누설에 취약한 문제점이 있다[32-34].

4. VS 기반의 SIC 기술

VS 기반의 SIC는 송신 신호를 복제한 후, 각 경로별로 위상 및 진폭을 조절하여 수신기 입력에서 SI 신호를 상쇄하는 구조이다. 복제된 신호는 주파수 변환, 지연, 벡터 가중(위상/진폭) 조절, 그리고 주파수 재변환 단계를 거쳐 수신 경로에 삽입된다. 특히, 고해상도 SI 신호 제거를 위해 7-Bit, 6-Bit, 6-Bit로 구성된 Nested VM(Vector Modulator)를 사용하고, 수십 ns 수준의 그룹 지연을 지원하는 주파수 변환 기반 지연 회로를 함께 구현하여, 실제 무선 환경에서 발생하는 다중 경로 간섭에 효과적으로 대응하였다. VS 구조는 회로가 직관적이고 송신기의 비선형 왜곡까지 함께 제거할 수 있는 장점이 있으며, 아날로그 영역에서 직접적인 상쇄가 가능해 디지털 영역 부담을 줄일 수 있다. 그러나 넓은 대역폭 또는 주파수 선택적 채널 환경에서는 위상 및 진폭 정합 오차에 취약하며, 그룹 지연 보상이 어렵다는 단점이 존재한다[35].

5. SIC 기술별 성능 평가

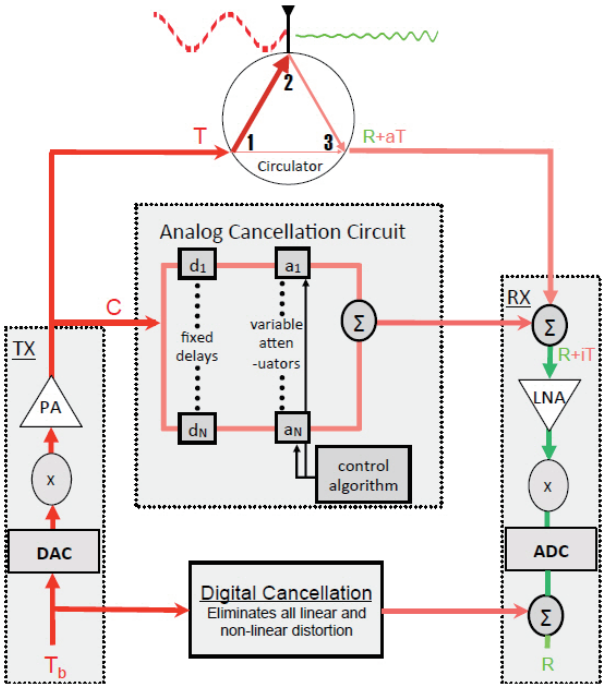
〈그림 12〉는 최근 10년 동안 연구된 SIC 기술별 채널-폭에 대한 RF/Analog SIC 성능을 보여준다. TDE 기반의 SIC 기술은 40 MHz 채널-폭에서 50 dB 수준의 SIC 성능을 나타내며, 120 MHz의 넓은 채널-폭에서는 28 dB의 낮은 SIC 성능을 갖는다. FDE 기반의 SIC는 다중 경로에 의해 발생되는 SI 신호를 제거하지 못해 낮은 SIC 성능을 갖지만, 주파수 선택적 특성을 통해 160 MHz의 넓은 채널-폭을 지원할 수 있다. HTE 기반의 SIC는 2 MHz의 매우 좁은 채널-폭에서는 70 dB 이상의 매우 높은 SIC 성능을 달성하였고, 20 MHz부터 120 MHz까지의 넓은 채널-폭에서도 40 dB 정도의 SIC 성능을 달성하였다.

V. IBFD 송수신기의 대표적인 연구 결과

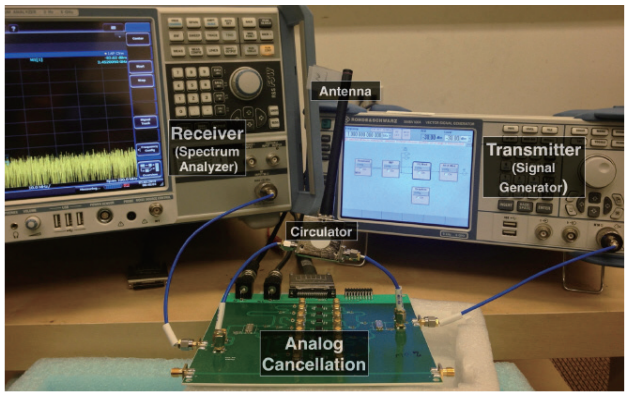
1. 모듈형 IBFD 송수신기

〈그림 13〉은 2013년 Stanford 대학에서 상용 모듈을 사용하여 구현한 IBFD 송수신의 블록 다이어그램, 측정 셋업과 측정 결과를 보여준다. 안테나 인터페이스로 Ferrite Circulator를 사용하였으며, 약 15 dB 수준의 송신-수신 격리도를 갖는다. 추가적인 SIC는 RF SIC와 Digital SIC 두 영역에서만 수행되었으며, Analog SIC는 적용되지 않았다. 특히 RF SIC는 지연과 가중치를 용이하게 조절할 수 있도록 모든 회로가 외부 소자 기반으로 구성하였고 sinc Interpolation 알고리즘을 통해 SIC를 최적화하였다. sinc Interpolation 알고리즘은 복원하고자 하는 특정 시간 지점에서의 신호를 정확하게 재구성하기 위해, 여러 샘플에 sinc 펄스를 중첩하고 해당 시간에서 sinc 함수 값을 기반으로 가중치와 지연을 산출하는 알고리즘이다. Digital SIC는 남아 있는 SI 성분을 제거하는데 약 50 dB의 SIC를 달성하였으며 비선형적인 성분에 대해서도 20 dB를 추가적으로 제거할 수 있다. 따라서, 이 IBFD 송수신기는 80 MHz의 채널-폭에 대해서 Circulator와 RF SIC를 포함하여 62 dB, Digital SIC를 통해 48 dB로 총 110 dB의 높은 SIC 성능을 달성하였다[36].

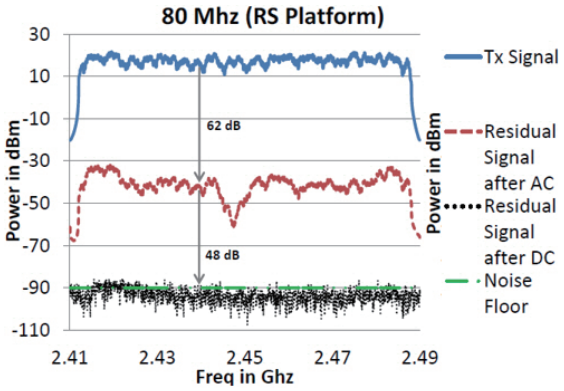
〈그림 14〉는 2016년 Tampere 대학에서 상용 모듈을 기반으로 구현한 IBFD 송수신기의 블록 다이어그램, 측정 셋업과 측정 결과를 보여준다. 이 송수신기는 안테나 인터페이스로 Ferrite Circulator를 채택하였다. EBD와 달리 Circulator는 환경 변화에 따른 정밀한 최적화가 불필요하고, 낮은 삽입 손실을 안정적으로 확보할 수 있어 선택되었다. RF SIC는 TDE 기법을 기반으로 구성되었으며, 기존의 IBFD 시스템들과 차별화되는 부분은 Open-Loop SIC 방식이 아닌 Closed-Loop SIC 구조를 채택



(a)



(b)



(c)

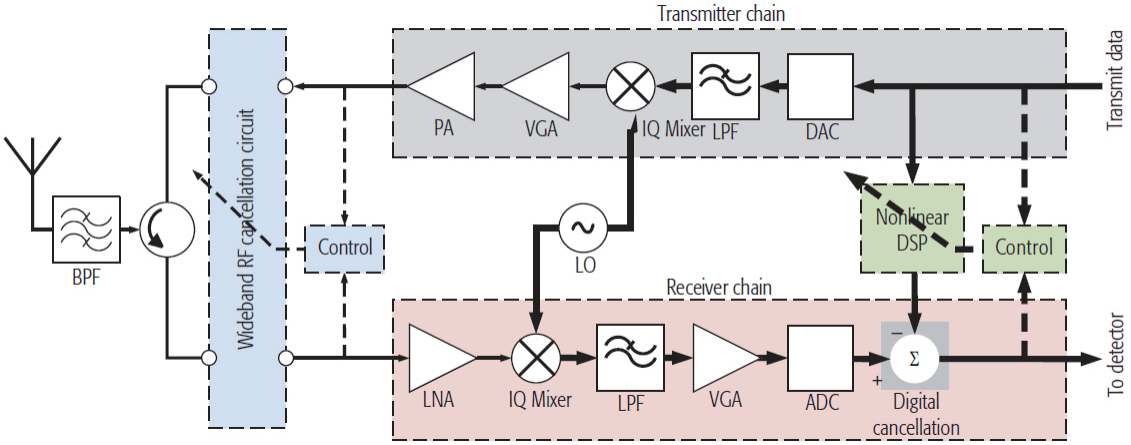
〈그림 13〉 Stanford 대학의 IBFD 송수신기[36]:
(a) 블록 다이어그램 (b) 측정 셋업 (c) 측정 결과

했다는 점이다. 일반적으로 Open-Loop SIC 방식은 사전에 SI 채널을 추정하고, 해당 정보를 바탕으로 상쇄 신호를 구성하여 회로에 적용하기 때문에 최적화 시간이 오래 걸리고 실시간 채널 변화에 대응하기 어렵다. 하지만, Closed- Loop SIC 구조는 피드백 시스템을 통해 SIC의 가중치와 지연 값을 실시간으로 조절할 수 있어 환경 변화나 다중 경로 반사와 같은 조건에서도 즉각적이고 안정적인 SIC가 가능하다. 특히, 이 시스템은 LMS(Least Mean Squared) 기반의 적응 알고리즘을 활용하였으며, RF 영역에서 발생하는 PA, SI 채널, RF Canceller의 비선형 특성을 보상하기 위해 Nonlinear Digital Cancellation 기법도 함께 적용되었다. 이를 통해 비선형 자기 간섭까지 실시간으로 적응적으로 제거할 수 있다. 따라서, 본 IBFD 송수신기는 80 MHz의 채널-폭에서 총 87.8 dB에 이르는 높은 SIC 성능을 달성하였다[37].

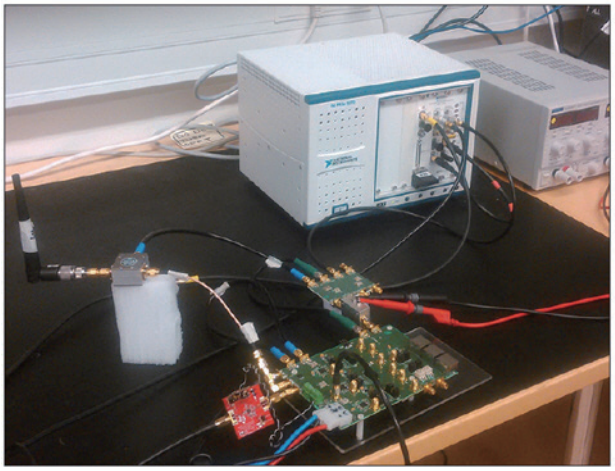
2. CMOS IBFD 송수신기

2024년 Washinghon 대학에서 발표된 IBFD 송수신기는 다양한 SIC 기술을 통합 적용하였다. 이 송수신기는 안테나 인터페이스 SIC로 EBD를 사용하고, RF SIC에는 TDE 기법을, Analog SIC에는 디지털 FIR 필터 기반 구조를 적용하였다. 특히 RF SIC는 LNA의 입력과 출력 양단에서 두 번의 SIC를 수행함으로써 단일 지점보다 높은 SIC 성능을 확보하였고 Analog SIC는 ADC(Analog Digital Converter) 출력 이후 Baseband 영역에서 SIC가 수행되었다. 이 모든 SIC 제어는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 통해 최적화되어, 환경 변화에 따른 적응성을 확보하였다. 그 결과, 120 MHz의 채널-폭에서 EBD를 통한 30 dB, RF SIC를 통한 32 dB, Analog SIC를 통한 23 dB의 SIC 성능을 달성하여 총 85 dB의 SIC 성능을 얻었다. 그러나 EBD에서 발생하는 삽입 손실과 LNA의 입력과 출력에서 수행하는 RF SIC 구조로 인해서 수신기의 NF 성능이 나쁜 한계점이 있다[29].

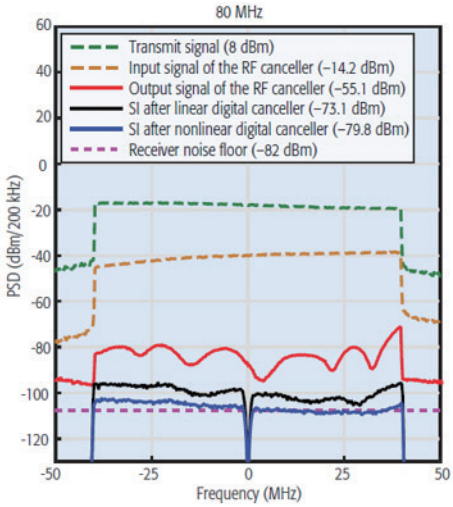
〈그림 15〉는 2024년에 Columbia 대학에서 발표한 IBFD 송수신기의 블록 다이어그램, 칩사진과 SIC 측정 결과를 보여준다. 해당 송수신기는 안테나 인터페이



(a)



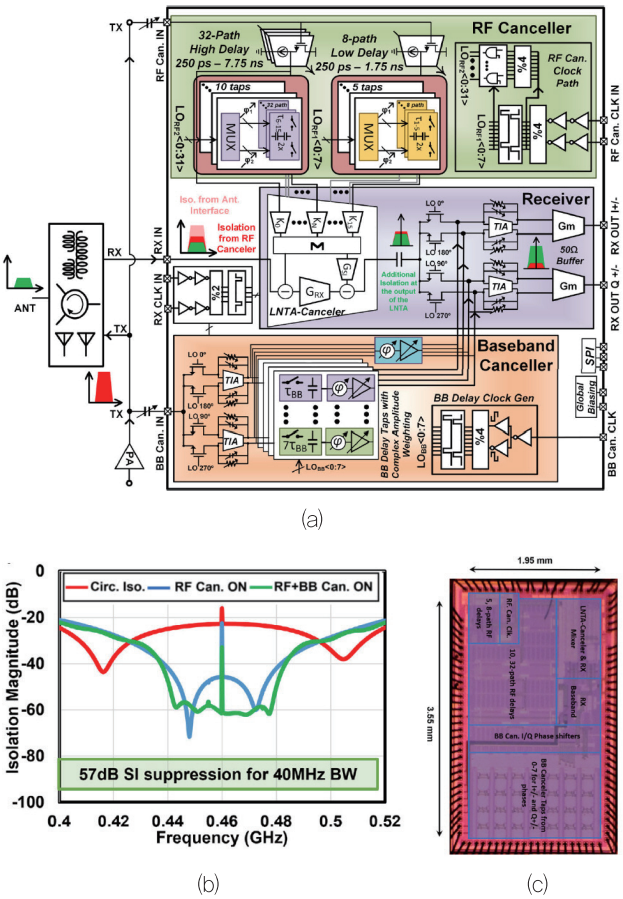
(C)



(d)

〈그림 14〉 Tempere 대학의 IBFD 송수신기[37]: (a) 블록 다이어그램 (b) 측정 셋업 (c) 측정 결과

스 SIC로 Ferrite Circulator를 사용하였으며, RF 및 Analog SIC 영역 모두 TDE 기법을 적용하였다. SI 신호는 집적 누설뿐 아니라 주변 환경 반사 등 다양한 경로를 통해 수신기로 유입되기 때문에, 이를 효과적으로 제거하기 위해 RF SIC는 총 16개의 지연 탭, Analog SIC는 8개의 지연 탭을 사용하였다. 특히 RF SIC는 환경 변화로 인한 주파수 확산 특성까지 고려하기 위해, 긴 지연시간을 제공하는 32-Path와 짧은 지연시간을 제공하는 8-Path를 결합하여 TDE 기반의 SIC를 구성함으로써, 폭넓은 지연 확산 특성을 갖는 SI 신호를 효과적으로 상쇄할 수 있게 하였다. 또한, RF SIC는 LNTA의 입력과 출력 양단에서 상쇄 신호를 삽입함으로써 높은 SIC 성능을 구현하였고, Analog SIC는 TIA(Transimpedance Amplifier)의 입력 지점에서 수행되었다. 이와 같은 다중 지연 기반의 TDE 구조와 다지점 상쇄 방식은 여러 환경에서 복잡하게 변화하는 SI 신호를 보다 정밀하게 모방하고 제거할 수 있다. 최종적으로 이 구조는 40 MHz의 채널-폭에서, Ferrite Circulator로 22 dB의 초기 SIC 성능을 확보하였으며, RF 및 Analog SIC를 통해 추가로 42 dB의 SIC 성능을 달성하였다. 결과적으로 전체 시스템은 총 64 dB의 자기 간섭 제거 성능을 달성하였다. 하지만, 여러 지연 탭을 사용하였고, 긴 지연 시간을 지원하기 위해 송수신기의 면적이 매우 커진 한계점을 가지고 있다[28].

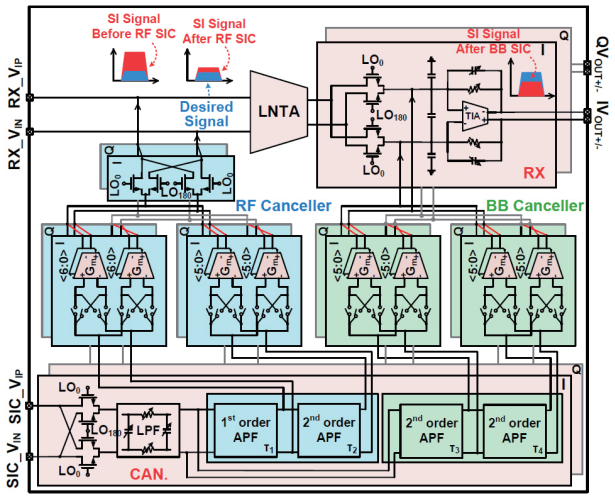


(a)

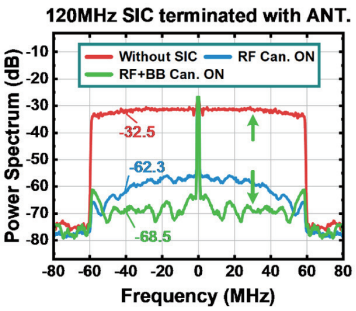
(b)

(c)

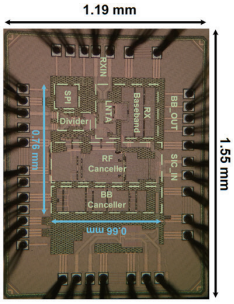
〈그림 15〉 Columbia 대학의 IBFD 송수신기[28]:
(a) 블록 다이어그램 (b) SIC 측정 결과 (c) 칩 사진



(a)



(b)



(c)

〈그림 16〉 Fudan 대학, IBFD 송수신기[32]:
(a) 블록 다이어그램 (b) SIC 측정 결과 (c) 칩 사진

〈그림 16〉은 2025년에 Fudan 대학에서 발표한 IBFD 송수신기의 블록 다이어그램, 칩 사진과 측정 결과를 보여준다. 해당 송수신기는 안테나 인터페이스 SIC로 Ferrite Circulator를 사용하였으며, RF와 Analog SIC 모두에 HTE 기법을 적용하였다. 이 구조는 SI 신호가 직접 누설 경로뿐 아니라 다중 반사에 의한 경로를 통해서도 수신기에 유입되는 점을 고려하여, RF와 Analog SIC 각각에 2개의 지연 탭을 도입하였다. 특히, 긴 지연 시간 확보를 위해 지연 라인을 설계할 경우 필연적으로 발생하는 지연 대역폭의 축소 문제를 해결하기 위해 APF를 추가로 사용하였다. 이를 통해 긴 지연 구간에서도 안정적으로 자기 간섭을 상쇄할 수 있도록 지연 대역폭을 확장하였다. 또한, 각 지연 경로에 대한 효율적 자원 배분과 성능 최적화를 위해, Voronoi Graph Tree(GT) 기반의 알고리즘을 적용하여 각 지연 탭의 특성을 자동으로 조정하였다. 이 알고리즘을 통해 탭 간 간섭을 줄이고 전체 SIC 성능을 극대화할 수 있었다. 그 결과, 120 MHz의 채널-폭에서 63 dB 이상의 SIC 성능을 달성하였다. 따라서, 제안된 IBFD 송수신기는 비교적 적은 수의 지연 탭을 사용하면서도 지연 대역폭 확장 및 탭 최적화를 통해 고성능을 유지할 수 있다[32].

VI. 기존 연구된 IBFD Transceiver의 SIC 성능 평가

〈표 3〉은 기존에 연구된 IBFD 송수신기 구조들의 SIC 성능을 보여준다. 5G NR 이동통신 표준을 지원하기 위해서는 송수신기가 5 MHz에서 최대 400 MHz에 이르는 넓은 채널 대역폭을 처리할 수 있어야 하며, 동시에 114~133 dB에 이르는 SIC 성능을 달성해야 한다. 이

〈표 3〉 IBFD 송수신기의 대표적인 연구 결과

연구 기관	구현 형태	주파수 (GHz)	채널-폭 (MHz)	안테나 SIC (dB)	RF SIC (dB)	Analog SIC (dB)	디지털 SIC (dB)	총 SIC (dB)	면적 (mm2)
Stanford 대학 [36]	모듈	2.45	20/80	72/62			38/48	110	-
Tampere 대학 [37]	모듈	2.46	20/80	19.9/22.2	48.3/40.9		25.3/24.7	93.5/87.8	-
Columbia 대학 [38]	모듈	0.9	5	50			45	95	-
Washington 대학[39]	CMOS	1.6–1.9	80	39	26	-	-	65	4
Columbia 대학 [26]	CMOS	1	1.25	37.4	30.8	-	27	95.2	-
Washington 대학 [29]	CMOS	2.1–2.5	120	22	17	23		62	3.2
Columbia 대학 [28]	CMOS	0.1–1	40	22	30	12	-	64	7.2
Fudan 대학 [34]	CMOS	0.5–4	20	23	26	9	-	55	0.4
Fudan 대학 [32]	CMOS	0.5–5	120	27	29.8	6.2	-	63	0.5

는 송신 신호가 27 dBm 수준에 달하는 상황에서도 −90 dBm 이하의 수신 잡음 바닥을 유지해야 하는 고성능의 무선 통신 환경의 요구를 반영한 것이다. 하지만, 현재까지의 연구에서 모듈 기반으로 구현된 최고 성능의 IBFD 송수신기는 80 MHz의 채널-폭에서 약 110 dB의 SIC를 달성한 수준에 머물고 있으며, 100 MHz 이상의 대역폭에 대해서는 여전히 매우 부족한 SIC 성능을 보인다. 또한, CMOS 집적화된 IBFD 송수신기의 경우 현재 보고된 최고 성능은 120 MHz 채널-폭에서 약 64 dB의 SIC에 그치고 있다. 이를 통해 시스템의 CMOS 집적화와 SIC 성능 간의 Trade-Off가 존재함을 알 수 있다. 더불어, 5G NR 환경에 적용되기 위해서는 단순히 높은 SIC 성능뿐만 아니라, 27 dBm 수준의 강력한 송신 전력에 대해서도 SI 신호를 안정적으로 제거할 수 있는 높은 선형성을 갖춘 IBFD 송수신기 구조가 필요하다. 또한, PA 이후의 비선형 왜곡을 포함한 전체 송신 체인의 영향까지 고려하며 넓은 채널-폭을 지원할 수 있는 고성능 SIC 기술 개발이 차세대 이동통신 표준을 지원하는 IBFD 송수신기의 상용화를 위한 핵심 과제가 될 것이다.

Ⅶ. 결론

IBFD 통신은 기존 TDD, FDD 방식의 한계를 뛰어넘어, 동일한 시간과 주파수 자원에서 송수신을 동시에 수행함으로써 스펙트럼 효율을 극대화할 수 있는 차세대 통신 기술이다. 하지만 실제 시스템에 적용되기 위해서는, 다양한 경로를 따라 유입되는 SI 신호를 정밀하게 제거할 수 있는 고성능의 SIC 기술이 반드시 뒷받침되어야 한다. 본 원고에서는 IBFD 송수신기의 구현을 위한 다양한 영역에서의 SIC 구조와 최근 연구 동향을 살펴보았다. 각 기술은 삽입 손실, 선형성, 집적도, 동작 주파수 범위 등에서 상호 다른 장단점을 가지며, 이를 통합적으로 고려한 설계 접근이 필요함을 알 수 있다. 앞으로는 광대역, 전력 최적화, 회로 집적화뿐만 아니라, 환경 변화에 유연하게 적응할 수 있는 기계학습 기반의 동적 보정 기술의 발전이 병행되어야 할 것이다. 이러한 기술적 과제들을 해결해 나가는 과정은 IBFD 송수신기의 상용화를 앞당기고, 6G 시대의 고속 · 고효율 무선 통신 실현에 핵심적인 역할을 하게 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00221494).

참 고 문 헌

[1] J. Bae et al., “4.3 A 43mm2 Fully Integrated Legacy Cellular and 5G FR1 RF Transceiver with 24RX/3TX Supporting

Inter-Band 7CA/5CA 4×4 MIMO with 1K-QAM," 2024 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2024.

[2] F. Song et al., "A 28nm Multimode Multiband RF Transceiver with Harmonic-Rejection TX and Spur-Avoidance RX Supporting LTE Cat1bis," 2025 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2025.

[3] Risto Wichman et al., "In-Band Full-Duplex Wireless: Challenges and Opportunities," IEEE Journal On Selected Aresa In Communication, vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, Sep. 2014.

[4] Jeffrey S. Herd et al., "In-Band Full-Duplex Technology: Techniques and Systems Survey," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 67, no.7, pp. 3025-3041, July. 2019.

[5] A. Nagulu, "Surpassing Fundamental Limits through Time Varying Electromagnetics," Columbia University, 2022.

[6] Y. Kim et al., "A State-of-the-Art Survey on Full-Duplex Network Design," Proceedings of the IEEE, vol. 112, no. 5, pp. 463-486, May 2024.

[7] 3GPP TR 21.915 v15.0.0 "Release Description (Release 15)", Oct. 2019.

[8] T. Dinc et al., "A 60 GHz CMOS Full-Duplex Transceiver and Link with Polarization-Based Antenna and RF Cancellation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 51, no. 5, pp. 1125-1140, 2016.

[9] T. Chi et al., "A millimeter-wave polarization-division-duplex transceiver front-end with an on-chip multifeed self-interference-canceling antenna and an all-passive reconfigurable canceller," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 53, no. 12, pp. 3628-3639, 2018.

[10] N. Reiskarimian et al., "A CMOS Passive LPTV Nonmagnetic Circulator and Its Application in a Full-Duplex Receiver," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 52, no. 5, pp. 1358-1372, 2017.

[11] M. Pashaeifar et al., "A Millimeter-Wave Front-End for FD/FDD Transceivers Featuring an Embedded PA and an N-Path Filter Based Circulator Receiver," 2022 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), Denver, CO, USA, 2022.

[12] A. Nagulu et al., "Non-Magnetic CMOS Switched-Transmission-Line CirculatorsWith High Power Handling and Antenna Balancing: Theory and Implementation," IEEE Journal Solid-State Circuits, vol. 54, no. 5, pp. 1288-1303, 2019.

[13] A. Nagulu et al., "Multi-Watt, 1-GHz CMOS Circulator Based on Switched-Capacitor Clock Boosting," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 55, no. 12, pp. 3308-3321, Dec. 2020.

[14] A. Nagulu et al., "Non-Magnetic 60GHz SOI CMOS Circulator Based on Loss/Dispersion-Engineered Switched Bandpass Filters," 2019 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2019.

[15] A. Nagulu et al., "Ultra-Wideband Switched-Capacitor Delays and Circulators—Theory and Implementation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, no. 5, pp. 1412-1424, May 2021.

[16] N. Reiskarimian et al., "Inductorless, Widely Tunable N-Path Shekel Circulators Based on Harmonic Engineering," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, no. 5, pp. 1425-1437, May 2021.

[17] J. Zhou et al., "Low-noise active cancellation of transmitter leakage and transmitter noise in broadband wireless receivers for FDD/coexistence," IEEE Journal Solid-State Circuits, vol. 49, no. 12, pp. 3046-3062, 2014.

[18] E Kargaran et al., "Low power wideband receiver with RF self-interference cancellation for full-duplex and FDD wireless diversity," 2017 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), IEEE, 2017.

[19] A. Nagulu et al., "A Single Antenna Full-Duplex Radio using a Non-Magnetic, CMOS Circulator with In-Built Isolation Tuning," 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), 2019.

[20] A. Agrawal et al., "Analysis and Design of N-Path RF

Bandstop Filters Using Walsh-Function-Based Sequence Mixing," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 66, no. 11, pp. 4830-4843, 2018.

[21] H. Alshammary et al., "A Code-Domain RF Signal Processing Front End With High Self-Interference Rejection and Power Handling for 310 Simultaneous Transmit and Receive," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 55, no. 5, pp. 1199-1211, 2020.

[22] J. Zhou et al., "IntegratedWideband Self-Interference Cancellation in the RF Domain for FDD and Full-Duplex Wireless," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 50, no. 12, pp. 3015-3031, 2015.

[23] K. Chu et al., "A Broadband and Deep-TX Self-Interference Cancellation Technique for Full-Duplex and Frequency-Domain-Duplex Transceiver Applications," 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2018.

[24] T. Zhang et al., "Wideband Dual-Injection Path Self-Interference Cancellation Architecture for Full-Duplex Transceivers," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 53, no. 6, pp. 1563-1576, 2018.

[25] M. B. Dastjerdi et al., "Analysis and design of a full-duplex two-element MIMO circulator-receiver with high TX power handling exploiting MIMO RF and shared-delay baseband self-interference cancellation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 54, no. 12, pp. 3525-3540, 2019.

[26] A. Nagulu et al., "A Full-Duplex Receiver With True-Time-Delay Cancelers Based on Switched-Capacitor-Networks Operating Beyond the Delay-Bandwidth Limit," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 56, no. 5, pp. 1398-1411, 2021.

[27] A. Nagulu et al., "A Full-Duplex Receiver Leveraging Multiphase Switched-Capacitor-Delay Based Multi-Domain FIR Filter Cancelers," 2020 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), Los Angeles, CA, USA, 2020.

[28] S. Garikapati et al., "Full-Duplex Receiver With Wideband, High-Power RF Self-Interference Cancellation Based on Capacitor Stacking in Switched-Capacitor Delay Lines," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 59, no. 7, pp. 2105-2120, July 2024.

[29] Jacques C. Rudell et al., "A 2.4 GHz Full Duplex Transceiver With Broadband, Linearity Enhanced, and Long Delay Spread Self Interference Cancellation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 59, no.1, pp. 1246-1260 Apr. 2024.

[30] B. van Liempd et al., "A +70-dBm IIP3 Electrical-Balance Duplexer for Highly Integrated Tunable Front-Ends," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 64, no. 12, pp. 4274-4286, Dec. 2016.

[31] M. Katanbaf, K et al., "Two-Way Traffic Ahead: RF₩/Analog Self-Interference Cancellation Techniques and the Challenges for Future Integrated Full-Duplex Transceivers," IEEE Microwave Magazine, vol. 20, no. 2, pp. 22-35, Feb. 2019.

[32] X. Ma et al., "A Compact Full-Duplex Receiver with Wideband Multi-Domain Hilbert-Transform-Equalization Cancellation Based on Multi-Stage APFs Achieving 65dB SIC Across 120MHz BW," 2025 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, pp. 1-3 2025.

[33] A. El Sayed et al., "A Hilbert Transform Equalizer Enabling 80 MHz RF Self-Interference Cancellation for Full-Duplex Receivers," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 66, no. 3, pp. 1153-1165, March 2019.

[34] F. Chen et al., "Enhanced-Linearity Wideband Full-Duplex Receiver with Shared Self-Interference Cancellaiton," IEEE Transaction on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol.32, no. 9, pp. 1578-1589, Sep. 2024.

[35] H. Abolmagd et al., "A Hierarchical Self-Interference Canceller for Full-Duplex LPWAN Applications Achieving 52-70-dB RF Cancellation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 58, no. 5, pp. 1323-1336, May 2023.

[36] Sachin Katti et al., "Full Duplex Radios," ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM, pp. 375-386, Aug. 2013.

[37] D. Korpi et al., "Full-duplex mobile device: pushing the limits," IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 9, pp.

80–87, September 2016.

[38] Gil Zussman et al., "Demo abstract: Full-Duplex with a Compact Frequency Domain Equalization-based RF Canceller," IEEE Conference on Computer Communications Workshops, Nov. 2017.

[39] K. -D. Chu et al., "Integrated CMOS transceivers design towards flexible full duplex (FD) and frequency division duplex (FDD) systems," 2018 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC), San Diego, CA, USA, 2018.

권구덕

- 2004년 2월 KAIST 전자전산학과 공학사
- 2009년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
- 2009년 9월 ~ 2010년 2월 KAIST 정보전자연구소 박사후 연구원
- 2010년 3월 ~ 2014년 2월 삼성전자 책임연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 강원대학교 전자공학과 교수

〈관심 분야〉
Cellular RFIC, Connectivity RFIC, In-band full duplex radio, CMOS duplexer, CMOS circulator, channel-selection LNA, N-path filter, self-interference cancellation

이동구

- 2019년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 공학사
- 2021년 2월 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 공학석사
- 2025년 4월 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 박사 과정

〈관심 분야〉
mmWave/RF/analog integrated circuits design, Cellular RFIC, In-band full duplex radio

윤석주

- 2020년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 공학사
- 2022년 8월 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 공학석사
- 2025년 4월 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 박사 과정

〈관심 분야〉
mmWave/RF/analog integrated circuits design, Wifi-6/7 applications, Cellular RFIC, In-band full duplex radio

조성준

- 2022년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 공학사
- 2024년 2월 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 공학석사
- 2025년 4월 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 박사 과정

〈관심 분야〉
In-band full duplex radio, Cellular RFIC, N-path Filter, FEM-Less Receiver

김현준

- 2022년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 공학사
- 2024년 2월 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 공학석사
- 2025년 4월 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 박사 과정

〈관심 분야〉
In-band full duplex radio, Cellular RFIC, N-path filter, Channel-selection LNA

In-Band Full Duplex Radio를 위한 디지털 Self-Interference Cancellation 기술


고갑석
강원대학교


유홍재
강원대학교


김태규
강원대학교

Ⅰ. 서 론

차세대 이동통신인 6세대(6G) 시스템은 초고속 전송률, 초저지연 통신, 초고밀도 연결을 목표로 하며, 이를 위해 무선 자원 활용 극대화가 필수적이다. 그러나 기존의 무선 통신 시스템에서는 송수신 간 간섭을 억제하고 하드웨어 설계를 단순화하기 위해 Time Division Duplex(TDD)와 Frequency Division Duplex(FDD) 방식이 널리 사용되어 왔다. 이들 방식은 자원을 시간 또는 주파수 영역에서 분할함으로써 송수신을 물리적으로 분리하는 구조를 갖지만, 스펙트럼 자원의 활용도 측면에서는 한계를 지닌다. 이러한 한계를 극복하고 자원 효율을 높이기 위한 대안으로 In-Band Full Duplex(IBFD) 기술이 주목받고 있다. IBFD는 동일한 시간 및 주파수 자원 상에서 송신과 수신을 동시에 수신함으로써, 이론적으로 스펙트럼 효율을 최대 두 배까지 향상시킬 수 있는 가능성을 지니고 있다.

하지만 IBFD 시스템의 실현을 가로막는 가장 큰 기술적 도전 과제는 자기 간섭 신호(Self-Interference, SI) 문제이다. 송신 안테나에서 방사된 신호가 수신 경로로 유입되면, 원하는 수신 신호에 강한 간섭을 유발하게 된다. 특히, SI 신호 전력이 원하는 수신 신호 전력보다 수십 dB 이상 클 경우, 수신 경로 상에서 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier, LNA)의 포화, 아날로그-디지털 변환기(Analog to Digital Converter, ADC)의 포화 또는 비선형 동작, 나아가 수신 신호 검출 실패와 같은 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 SI 신호를 효과적으로 제거하지 않으면, IBFD의 이론적 이점을 실제 시스템에 구현하기는 어렵다.

최근에는 이러한 IBFD 시스템의 실현을 위한 SI 제거 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. SI 제거는 SI 신호가 제거되는 위치에 따라서 전파(propagation)[1-2], 아날로그(analog)[3-6] 및 디지털(digital) 도메인[7-15]으로 구분되며, 일반적으로 이들 도메인에서 단계적으로 조합된 방식으로 구현된다[13].

전파 도메인에서의 SI 제거 기법은 사용되는 안테나 구조에 따라 크게 공유형 구조와 분리형 구조로 구분된다. 공유형 구조에서는 송신기와 수신기가 하나의 안테나를 공유하며, 동시 송수신을 위해 송수신 경로 분리가 필요하다. 이를 위해 일반적으로 서큘레이터(circulator)를 사용한다. 서큘레이터는 페라이트(ferrite)와 비자성 기반으로 나뉘며, 최근 소형화와 집적화를 위해 비자성 기반 기술 연구가 활발히 진행되고 있다[16]. 그러나 서큘레이터는 송수신 신호를 완전히 분리하지 못하여 강한 SI 신호가 수신 경로에 유입될 수 있다. 이에 따라, 이러한 SI를 감소시키기 위한 기법들이 연구되고 있다.

한편, 분리형 안테나 구조는 송신기와 수신기가 물리적으로 분리된 두 개의 안테나를 사용하는 방식으로, 직접 경로(LOS) 또는 다중경로를 통한 SI가 주요 원인이 된다. 이를 억제하기 위해 충분한 안테나 간 거리 확보[17], 편파 분리[18], 방향성 안테나 사용[19], 흡수체 및 차폐체 설치[19] 등 다양한 공간 설계 기법이 활용된다.

아날로그 도메인의 SI 제거 기법은 수신 신호 경로 상에서 SI 신호를 디지털로 변환하기 전 단계에서 효과적으로 감쇠시키는 역할을 수행한다. 아날로그 도메인은 크게 라디오(RF) 영역과 기저대역(Baseband, BB) 영역으로 나뉜다. 먼저, RF SI 제거 기법은 LNA의 포화를 방지하기 위해 필수적으로 사용된다. RF SI 제거의 기본 동작은 송신단 전력증폭기(Power Amplifier, PA) 이후 송신 경로에서 송신 신호를 추출하고, 이를 감쇠기, 위상천이기 등의 회로를 통해 진폭과 위상을 조정하여 수신단의 SI 신호와 결합시켜 제거하는 것이다.

다음으로, BB SI 제거 기법은 RF에서 처리하지 못하고 남은 잔여 SI 신호 성분을 추가로 제거하기 위해 수행된다. RF 영역에서 이미 감쇠된 SI 신호를 기저대역 주파수로 변환한 후, 송신단 기저대역 신호를 기반으로 진폭과 위상을 정밀하게 조정하고 결합함으로써 SI 신호를 보다 효과적으로 상쇄한다.

마지막으로, 디지털 도메인은 아날로그 처리 이후에도 남는 잔여 SI 성분을 정밀하게 제거하는 역할을 수행한다. 디지털 도메인에서는 아날로그 회로의 비이상성, 예측하기 어려운 시변 특성, 비선형성 등의 복잡한 현상으로 인해 완전히 제거되지 않은 SI 신호를 적응형 필터링 또는 비선형 디지털 신호 처리 알고리즘을 통해 보다 정밀하게 추정하고 제거하는 역할이다. 따라서 디지털 도메인의 SI 제거 성능은 Full Duplex 시스템의 성능을 좌우하는 핵심 요소로 간주된다.

이제부터는 이러한 디지털 SIC의 핵심인 채널 모델링 및 알고리즘 설계 방법을 보다 구체적으로 다루고자 한다. 이를 위해 먼저 IBFD 송수신기의 수학적 모델을 정립한 후, 모델 기반(Model-Based)과 모델 프리(Model-Free) 방식으로 구분하여 디지털 SIC 알고리즘을 살펴보자.

Ⅱ. IBFD 시스템의 신호 모델

본 장에서는 IBFD 시스템에서의 SI를 포함하는 수신 신호 모델을 설명하고, SI에 영향을 주는 하드웨어의 모델링을 살펴본다.

1. 수신 신호와 디지털 SIC

IBFD 시스템에서 수신 신호는 아래 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$r[n] = s[n] + y_{SI}[n] + w[n] \tag{1}$$

여기서 $r[n]$, $s[n]$, $y_{SI}[n]$ 및 $w[n]$은 각각 시간 n에서의 수신 신호, 외부 송신기로부터의 수신 신호, 송신 신호 $x[n]$에 의한 SI 신호와 수신기 잡음을 나타낸다. 원하는 수신 신호 $s[n]$을 복조하는 과정에서 잡음 외에도 SI 신호 $y_{SI}[n]$가 상대적인 세기에 따라 성능에 많은 영향을 줄 수 있다. 따라서, SI 신호 $y_{SI}[n]$를 정확히 추정하고 제거하는 과정이 필수적이다. SI 신호를 송신 신호 $x[n]$으로 표현하면 아래와 같이 모델링된다.

$$y_{SI}[n] = f_{SI}(x[n]) \tag{2}$$

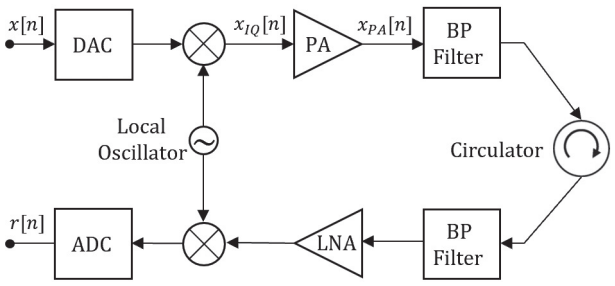
여기서 $f_{SI}(\cdot)$는 송신 신호와 수신 신호의 관계를 나타내는 함수로, SI 신호 성분을 결정짓는 핵심 요소이다. 따라서, 이를 정확하게 모델링하는 것이 SI 제거를 위해 매우 중요하다.

2. SI에 영향을 미치는 요소

SI 채널 $f_{SI}(\cdot)$를 정확하게 모델링하기 위해서는 IBFD 송수신기 하드웨어 블록에서 발생하는 다양한 왜곡 요소를 수학적으로 기술하는 과정이 필요하다. 〈그림 1〉은 IBFD에서 하나의 안테나를 공유하는 송수신기의 하드웨어 블록 다이어그램을 나타낸다. 송신 신호가 디지털-아날로그 변환기(Digital to Analog Converter, DAC)를 거쳐, IQ 믹서(IQ Mixer), PA, 필터(filter) 등 여러 RF 블록을 통과하며 송신 경로를 형성한다. 이 과정에서 송신 신호의 일부는 누설이나 안테나 주변 환경에서의 반사 및 다중경로 효과에 의해 수신 경로로 유입되며, 이는 SI가 된다.

이러한 RF 블록의 비선형성이 SI 신호 제거 성능에 미치는 영향을 여러 연구에서 분석해왔다[4, 7, 20-25]. 특히, SI 채널 모델링에 있어 중요한 비선형 요인으로는 PA의 비선형 왜곡, IQ 불균형, 발진기의 위상 잡음, ADC 양자화 잡음 등이 주목받고 있다. 아래에서 IBFD 시스템에서 핵심적인 하드웨어 구성 요소인 IQ 믹서, PA, LNA, DAC/ADC와 발진기(oscillator)에 대해 살펴본다.

• IQ 믹서: 디지털 송신 신호 $x[n]$이 DAC를 통해 아날로그 신호로 변환된 후, IQ 믹서를 통해 반송파와 혼합되어 상향 변환(Up-Conversion)된다. 이 과정에서 I/Q 신호 간 위상 및 진폭 불균형이 발생하여 직교성이 깨지는 문제가 나타난다. IQ 불균형은 아래와 같이 모델링 할 수 있다:



〈그림 1〉 Circulator를 활용한 IBFD 송수신기 블록 다이어그램

$$x_{IQ}[n] = \frac{1}{2}(1+\psi e^{j\theta})x[n] + \frac{1}{2}(1-\psi e^{j\theta})x^*[n] \quad (3)$$

여기서 ψ는 송신기의 이득 불균형, θ는 위상 불균형, z^*는 복소수 z의 켤레 복소수를 나타낸다. 이러한 IQ 불균형은 이미지 신호를 생성하여 SI 신호 왜곡을 야기한다. IQ 믹서의 불균형을 나타내는 중요 지표로 Image Rejection Ratio (IRR)이 사용되며, 이는 아래와 같이 정의된다.

$$IRR(dB) = 10\log_{10}\left(\frac{P_{Desired}}{P_{Image}}\right), \quad (4)$$

여기서 $P_{Desired}$와 P_{Image}는 각각 원 신호와 이미지 신호 성분의 전력을 나타낸다. IRR값이 클수록 이미지 신호가 적고, 시스템이 이상적인 IQ 특성을 잘 유지하고 있음을 의미한다. 반대로 IRR이 낮을 경우, 심각한 IQ 불균형을 보인다.

• PA: IQ 믹서를 통과한 RF 신호는 원거리 수신기에 충분한 수신 품질을 제공하기 위해 증폭이 필요하다. PA는 에너지 효율을 고려하여 종종 포화 영역 근처에서 동작하며, 이로 인해 비선형성이 쉽게 유발되는 특징을 갖는다. 즉, 입력 신호 대비 출력 신호에서 진폭 및 위상 왜곡 (*Amplitude-to-Amplitude, AM/AM* 및 *Amplitude-to-Phase, AM/PM* 특성)이 발생한다. PA의 비선형 특성을 모델링하는 대표적인 방식은 다항식 모델, Rapp 모델과 Saleh 모델이다.

다항식 모델은 메모리 효과 고려 여부에 따라 일반 다항식 모델과 메모리 다항식 모델로 구분된다. PA의 메모리 효과란 출력 신호가 현재의 입력 신호뿐만 아니라 과거 입력 신호에도 영향을 받는 현상을 의미하며, 이는 시스템의 시간-의존적인 동적 비선형성을 반영한다. 메모리 효과를 고려하지 않는 일반 다항식 모델은 아래와 같다[7].

$$x_{PM}[n] = \sum_{\substack{p=1 \\ p\,odd}}^{P} a_p x[n]^p \quad (5)$$

여기서, P는 다항식의 최대 차수를 나타내고, a_p는 비선형 차수 p의 계수를 나타낸다. 실제 시스템에서는 홀수 차수만이 관심 대역 내 왜곡에 영향을 주기 때문에 홀수 차수만 고려한다.

반면, 메모리 다항식 모델은 이러한 메모리 효과를 고려하여 입력 신호의 시간 지연 성분을 포함한 형태로 모델링되며, 아래와 같다[20].

$$x_{MPM}[n] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{\substack{p=1 \\ p\,odd}}^{P} a_{p,m} x[n-m]^p \tag{6}$$

여기서, M은 메모리 길이를 의미하며, $a_{p,m}$은 비선형 차수 p항과 시간 지연 m에 대한 계수를 나타낸다.

Rapp 모델은 입력 진폭에 대한 출력 진폭의 포화 현상을 비교적 간단하고 부드럽게 표현하는 방식으로, 위상 왜곡은 고려하지 않는다. Rapp 모델은 아래와 같다[21].

$$x_{Rapp}[n] = \frac{G|x[n]|}{\left(1+\left(\frac{G|x[n]|}{A_{sat}}\right)^{2p}\right)^{1/2p}} \tag{7}$$

여기서 p는 PA의 클리핑 정도를 조정하는 스무딩(Smoothing) 지수이고, A_{sat}은 PA의 포화 진폭을 나타내며 G는 PA의 이득을 나타낸다.

한편 Saleh 모델은 Rapp 모델과는 다르게 진폭뿐 아니라 위상 왜곡도 함께 고려하는 모델이다. 입력 진폭에 대한 출력 진폭 모델 (AM/AM)과 입력 진폭에 대한 위상 변화 모델 (AM/PM) 모델은 아래와 같다[21].

$$x_{Saleh(AM-AM)} = \frac{\alpha_a |x|}{1+\beta_a |x|^2} \tag{8}$$

$$x_{Saleh(AM-PM)} = \frac{\alpha_\Phi |x|^2}{1+\beta_\Phi |x|^2} \tag{9}$$

여기서 $\alpha_a, \beta_a, \alpha_\Phi$,와 β_Φ는 각각 *AM/AM* 변형을 결정하는 파라미터와 *AM/PM* 변형을 결정하는 파라미터이다. Saleh 모델의 단점으로는 고차 왜곡이나 PA의 메모리 효과를 잘 근사하지 못한다는 단점이 존재한다.

• LNA: 수신기 안테나를 지난 후 처음 만나는 RF 블록인 LNA는 일반적으로 선형 요소로 간주된다. 하지만, RF 도메인에서 SI 신호가 충분히 감쇠되지 않은 경우 포화 현상이 발생할 수 있으며, 이로 인해 비선형 왜곡이 유발될 수 있다. 이 포화 현상을 모델링할 때는 PA 모델과 동일한 비선형 모델링 방식을 적용할 수 있지만, 많은 디지털 SIC 연구에서는 분석 편의성을 위해 LNA를 선형 모델로 간주한다.

• DAC 또는 ADC: 양자화 잡음(Quantization Noise)과 샘플링 지터(Sampling Jitter) 등의 비이상성이 존재한다. 이는 DAC/ADC의 유한 비트 양자화로 인해 잡음이 SI 신호 제거 성능에 영향을 미친다. 그러나 DAC/ADC의 동적 범위 (Dynamic Range)를 넘지 않도록 아날로그 단계에서 SI를 충분히 감쇠시키면 잔여 SI 신호는 디지털 단계에서 효과적으로 제거될 수 있다[22].

또한 DAC/ADC의 샘플링 지터로 인한 SI 제거 성능의 열화를 시뮬레이션 한 결과 샘플링 지터로 인한 오류는 매우 미미하지만 90~100dB 이상의 높은 SIC 성능이 요구될 때는 샘플링 지터도 고려하여 모델링해야 한다[23].

• 발진기: 발진기에서 발생하는 위상 잡음과 그룹 지연(Group Delay) 왜곡은 SI 신호의 시간 및 주파수 특성을 변화시켜 디지털 SIC에 영향을 미친다[4]. 위상 잡음이 존재할 경우 SI 제거 수준이 큰 폭으로 제한된다. 특히, 별도의 발진기를 사용하는 경우는 큰 위상 잡음과 그로 인해 OFDM 신호의 부반송파 간 간섭 (ICI)이 발생하여 잔여 SI의 주요한 원인이 된다. 반면, 공용 발진기를 사용하면 위상 잡음 영향이 상당히 완화된다[24-25].

Ⅲ. 모델 기반 디지털 SIC 기술

모델 기반 디지털 SIC 기법은 송수신기 하드웨어 구성요소의 물리적 특성에 기반하여 SI 채널을 수학적으로 모델링하고, 이를 통해 SI 성분을 추정 및 제거하는 방식이다. SI 신호를 수학 모델로 표현해 해석이 용이하며, SI 신호 구조가 명확하게 정의되어 하드웨어 구현도 용이하다.

이러한 이론적 모델을 실제 시스템에 적용하기 위해서는, 수학적 모델에 사용한 파라미터 추정이 필요하다. 이에 따라, 본 절에서는 먼저 각 모델의 수학적 구조를 설명한 후, 이를 기반으로 한 디지털 SIC 알고리즘들을 체계적으로 살펴본다.

1. 선형 SI 모델

가장 기본적인 SI 모델은 채널을 선형 시스템으로 근사하는 방식이며, 일반적으로 유한 임펄스 응답 필터 구조

가 활용된다. 유한 임펄스 응답 필터 기반 모델에서는 SI 성분 $y_{SI}[n]$을 송신 신호 $x[n]$와 채널 임펄스 응답 $h[k]$ 간의 합성곱으로 표현할 수 있다[14].

$$y_{SI}[n] = \sum_{l=0}^{L-1} h[l] \cdot x[n-l] \tag{10}$$

여기서 L은 유한 임펄스 응답 필터의 길이를 나타내며, 시스템의 복잡도 및 추정 정확도에 영향을 주는 주요 파라미터이다. 유한 임펄스 응답 필터 계수는 Least Squares(LS), Recursive Least Squares(RLS), Least Mean Squares(LMS) 등의 알고리즘을 통해 추정할 수 있다.

하지만 이러한 선형 모델은 송수신기에서 발생하는 비선형 효과들– 예를 들어, PA 포화, 믹서 IQ 불균형, 위상 잡음 등을 반영하지 못하기 때문에 고출력 환경에서 충분한 SI 제거 성능을 확보하기 어렵다는 한계가 있다.

2. 비선형 SI 모델

선형 모델이 가지는 한계를 극복하기 위해, 송수신기에서 발생하는 비선형 효과를 명시적으로 고려하는 여러 다항식 기반 모델들이 제안되었다. 대표적으로 해머스타인(Hammerstein) 모델과 병렬 해머스타인(Parallel Hammerstein) 모델이 있다.

해머스타인 모델은 정적 비선형 블록 $f_H(\cdot)$과 선형 시간 불변 필터가 직렬로 결합된 구조로서 다음과 같이 주어진다:

$$y_{SI}[n] = \sum_{m=0}^{M-1} h_m f_H(x[n-m]) \tag{11}$$

이 모델을 활용하여 PA의 비선형을 표현하기 위해 함수식 $f_H(\cdot) = \sum_{k=1}^{K} a_k x^k$를 활용하였다 [5, 6, 7]. 주어진 비선형 블록 f_H(CDOT) 에서는 출력이 계수 a_k h[m]에 대해 선형이므로 LS, LMS와 RLS 알고리즘을 사용한 파라미터 추정이 가능하다.

병렬 해머스타인 모델은 각 비선형 차수 p에 대해 독립적인 유한 임펄스 응답 필터 $h_{-p}[m]$를 구성함으로써, 고차 비선형성과 지연 효과를 더 정밀하게 표현할 수 있는 일반화된 구조를 제공한다. 다음과 같이 표현된다:

$$y_{SI}[n] = \sum_{\substack{p=1 \\ p\ odd}}^{P} \sum_{m=0}^{M-1} a_{p,m} x[n-m]^p \tag{12}$$

여기서 $a_{p,m}$는 시간 지연 m 및 비선형 차수 p에 해당하는 입력 신호 대한 임펄스 응답 계수이다. 이러한 구조적 장점 때문에 병렬 해머스타인 모델이 송신단의 PA의 비선형성에 초점을 둔 SI 신호 모델로 활용되었다[9, 26–30].

위의 병렬 해머스타인 모델은 송수신기의 IQ 불균형 효과를 명시적으로 고려하지 않는다. 이를 정확히 표현하기 위해서는 켤레 복소수까지 포함한 확장 선형 (Widely–Linear) 병렬 해머스타인 모델을 적용해야 하며, 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다:

$$y_{SI}[n] = \sum_{\substack{p=1 \\ p\ odd}}^{P} \sum_{m=0}^{M-1} a_{p,m}^{(1)} x[n-m]^p + a_{p,m}^{(2)} x^*[n-m]^p \tag{13}$$

여기서 $a_{p,m}^{(1)}$와 $a_{p,m}^{(2)}$는 각각 비선형 차수 p의 입력 신호와 켤레 신호에 대한 임펄스 응답 계수로, 시간 지연 m및 비선형 차수 p에 따라 달라지는 계수이다. 이것은 각각의 비선형 차수에 대해 원 신호와 켤레 신호를 분리하여 처리하기 때문에 복합적인 비선형 혼합 항을 반영하는데 한계가 있다. 특히, $x[n]^q x^*[n]^{p-q}$ 형태의 혼합 항은 표현되지 않는다. 이를 해결하기 위해 다음과 같이 일반화된 형태로 확장되었다.

$$y_{SI}[n] = \sum_{\substack{p=1 \\ p\ odd}}^{P} \sum_{q=0}^{p} \sum_{m=0}^{M-1} h_{m,p,q} x[n-m]^q x^*[n-m]^{p-q} \tag{14}$$

여기서 $h_{m,p,q}$는 시간 지연 m, 총 비선형 차수 p, 그리고 원 신호/켤레 신호의 조합 비율 q에 따른 계수로, 시스템 내 존재하는 다양한 왜곡 요인을 정밀하게 모델링할 수 있다. 이 모델은 IQ 불균형, PA 비선형성, 선형 무선 채널의 특성을 모두 통합적으로 고려할 수 있다[14],[26].

3. SI 모델 추정 방법론

이 절에서 SI 신호 모델 추정을 위한 알고리즘 접근 방법에 대해서 설명한다. 본 절의 설명은 SI 신호 모델링에 기반한 알고리즘 설명 보다는, SI 신호 모델링 없이 추정 알고리즘 자체의 구조와 동작 방식에 맞추어져 있다.

SI 모델 추정에 적용하기 위해서, 송신 신호 $x[n]$에 대하여 앞에서 설명한 비선형 모델들 중 하나(예: 병렬 해머스타인 모델)를 적용한다. 이러한 모델들은 입력 신호에 대해 비선형적이지만, 계수에 대해 선형 구조를 갖는다. 따라서, 모델의 계수는 벡터 형태인 $\boldsymbol{h}$로 정의될 수 있

으며, 송신 신호 $x[n]$와 SI 신호 $y_{SI}[n]$의 사이의 관계는 다음과 같이 선형 회귀 형태로 표현할 수 있다:

$$\boldsymbol{y}_{SI} = \boldsymbol{X}\boldsymbol{h} \tag{15}$$

여기서 $\boldsymbol{X}$는 $x[n]$에 대한 지연 샘플과 이들의 다항 항을 포함하는 모델 행렬이며, $\boldsymbol{y}_{SI}$는 SI 신호 값들 $y_{SI}[n]$의 벡터 표현이다. 행렬 $\boldsymbol{X}$의 각 행은 시점 n에서의 입력 벡터로, 이를 $\boldsymbol{x}_{in}[n]$이라 정의하자. 이후 설명하는 알고리즘에서는 이 $\boldsymbol{x}_{in}[n]$을 입력으로 사용하여 계수 $\boldsymbol{h}$를 반복적으로 추정할 수 있다. 단, 직교 다항 기저를 생성하는 IH-LMS와 AOP-LMS는 $\boldsymbol{X}$ 대신 자체적으로 정의된 입력 벡터를 사용한다.

가. Least Squares(LS)

LS는 수신 신호와 모델 간의 오차 제곱합을 최소화하는 방식으로, 선형 회귀 문제나 시스템 식별 문제 등에서 널리 사용되는 최적화 기반 계수 추정 기법이다. LS 계수는 다음 식과 같이 계산된다.

$$\boldsymbol{h}_{LS} = (X^H X)^{-1} X^H \boldsymbol{y}_{SI} \tag{16}$$

여기서 X는 입력 신호의 요소들로 구성된 행렬이다. LS 알고리즘은 단발성 처리가 가능하여 오프라인 환경에서는 복잡도가 상대적으로 낮다는 장점이 있다. 단, LS는 역행렬을 계산해야 하기 때문에 대규모 입력에 대해서는 연산량이 증가할 수 있어, 실시간 처리에 적합하지 않을 수 있다. 또한, LS는 선형 모델을 기반으로 하기 때문에 비선형 효과를 적절히 모델링하지 않는다면 간섭 제거 성능을 저하시킬 수 있다.

디지털 SIC 알고리즘에서 PH 모델로 SI 채널의 비선형성을 고려하고, 모델 계수를 LS로 추정하였다[26]. 비선형 SI 제거기를 적용함으로써, 동일한 signal-to-interference-plus-noise ratio(SINR)을 유지하면서도 선형 모델 기반 제거기보다 10 dB 이상 높은 송신 전력을 사용할 수 있음을 보였다. 또한, IQ 이미지 신호를 처리할 수 있는 확장 선형 모델 기반 LS 추정 기법이 제안되었으며, 이를 통해 디지털 도메인에서 이미지 성분의 효과적인 감쇠 성능이 확인되었다.

나. Least Mean Square (LMS)

LMS 알고리즘은 계산 복잡도가 낮고 구현이 간단하여, 적응형 신호 처리 분야에서 가장 널리 사용되는 기법 중 하나이다. LMS는 모델 출력 신호와 원하는 신호 간의 오차의 제곱 평균(Mean Squared Error, MSE)을 최소화하기 위해 계수를 반복적으로 갱신하는 적응형 필터링 알고리즘이다. 갱신 방식은 확률적 경사 하강법의 원리를 따르며, LMS 알고리즘의 의사코드는 〈표 1〉에 나타낸다[10]. LMS는 계산량이 매우 적지만, 수렴 속도가 느리고 입력 신호 간의 상관관계가 큰 경우에는 수렴 성능이 저하된다.

비선형 자기 간섭 제거를 위한 실시간 LMS 알고리즘이 구현되었으며, 멀티코어 프로세서를 활용한 소프트웨어 기반 실시간 구현 가능성을 보였다[31]. IBFD에 대한 집적회로 구현과, 아날로그 및 디지털 영역을 SIC를 결합하여 100 dB 이상의 SI 제거 성능을 달성한 사례에서도 자기 간섭 채널 계수 추정을 위해 LMS 기반 디지털 SIC 알고리즘이 활용되었다[32],[33].

다. Recursive Least Square(RLS)

RLS는 LMS와 마찬가지로 적응형 필터 계수 추정 방법이다. LMS가 오차의 기울기를 이용해 반복적으로 계수를 갱신하는 방식인 반면, RLS는 과거 오차에서 지수 가중치를 적용하여 전체 최소 제곱 오차를 최소화하는 방향으로 필터 계수를 최적화하는 알고리즘이다[15]. 계수 최적화는 아래와 같이 형식화할 수 있다.

$$\hat{\boldsymbol{h}} = \arg\min_{\boldsymbol{h}} \sum_{m=0}^{n} \lambda^{n-m} \left| y_{SI}[n-m] - \boldsymbol{h}^H \boldsymbol{x}_{in}[n-m] \right|^2 \tag{17}$$

〈표 1〉 LMS 알고리즘

LMS 알고리즘
$\hat{\boldsymbol{h}} = 0$
while $e[n]$ is converge **do**
$e[n] = y_{SI}[n] - \hat{\boldsymbol{h}}^H \boldsymbol{x}_{in}[n]$
$\hat{\boldsymbol{h}} = \hat{\boldsymbol{h}} + \mu e^*[n] \boldsymbol{x}_{in}[n]$
$n = n + 1$
end while

〈표 2〉 RLS 알고리즘

RLS 알고리즘
$\hat{\boldsymbol{h}} = 0$
$P[0] = 0$
while $e[n]$ is converge **do**
$\boldsymbol{k}[n] = \dfrac{\lambda^{-1}P[n-1]\boldsymbol{x}_{in}[n]}{1+\lambda^{-1}\boldsymbol{x}_{in}^{H}[n]P[n-1]\boldsymbol{x}_{in}[n]}$
$e[n] = y_{SI}[n] - \hat{\boldsymbol{h}}^{H}\boldsymbol{x}_{in}[n]$
$\hat{\boldsymbol{h}} = \hat{\boldsymbol{h}} + \boldsymbol{k}[n]e^{*}[n]$
$P[n] = \lambda^{-1}P[n-1] - \lambda^{-1}\boldsymbol{k}[n]\boldsymbol{x}_{in}^{H}[n]P[n-1]$
$n = n+1$
end while

여기서 $\lambda \in (0,1]$은 망각 인자 (forgetting factor)로 과거 데이터의 영향력을 조절한다. 이는 값이 커질수록 필터가 최근 샘플에 더 민감하게 되어 필터 계수의 변동이 더 커짐을 의미한다. RLS는 LMS보다 훨씬 빠른 수렴 속도와 높은 정밀도를 제공하며, 시변 환경에서 보다 효과적으로 추적할 수 있다. 이러한 성능은 상대적으로 높은 연산 복잡도와 메모리 요구량을 수반하므로, 실시간 시스템 구현에서는 하드웨어 자원의 제약을 고려해야 한다.

RLS 알고리즘은 매 시간 샘플마다 필터 계수를 갱신하기 위해, 최소 제곱 오차 기준의 최적화 문제 (식 (17))을 풀어야 하며, 이 과정에서 역행렬 계산이 포함된다. 그러나 역행렬 계산은 연산량이 많기 때문에, 이를 회피하기 위한 행렬 갱신 기법이 도입된다. 대표적으로는 행렬 분해와 행렬의 전치 성질을 활용한 순환 갱신 방식 (recursive update)이 사용된다. 이에 관한 의사코드는 〈표 2〉에 나타낸다.

라. Ito-Hemite-LMS

기존 다항 LMS 알고리즘에서는 입력 기저 함수 간의 상관관계로 인해 필터의 수렴 속도가 저하되는 문제가 있다. 이러한 상관성을 제거하기 위해 일부 연구에서는 공분산 행렬의 추정과 고차 행렬 연산을 포함한 사전 직교화 기법을 적용하였으나, 이는 계산 복잡도 측면에서 상당한 부담이 된다. 이를 해결하기 위하여 Ito-Hemite-LMS(IH-LMS)가 제안되었다[10]. 이는 복소 가우시안 입력 신호에 대해 직교성을 갖는 IH 다항식을 기저 함수로 사용한다. IH 다항식은 정의 자체로 직교성을 만족하므로, 기존 방식과 달리 사전 직교화를 위한 별도의 복잡한 연산 과정을 생략할 수 있다. IH 다항식은 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{H}_n(x) = \sum_{m=0}^{\frac{n-1}{2}} (-1)^m m! \binom{\frac{n+1}{2}}{m} \binom{\frac{n-1}{2}}{m} x|x|^{n-1-2m} \quad (18)$$

입력 신호 $x[n]$에 대해 비선형 차수 p에 대해 $\tilde{H}_p[x[n-m]]$을 계산함으로써, 입력 벡터 $\boldsymbol{u}_p^{IH}[n]$을 다음과 같이 구성한다.

$$\boldsymbol{u}_p^{IH}[n] = [\tilde{H}_p(x[n]), \cdots, \tilde{H}_p(x[n-M+1])]^T \quad (19)$$

새로 정의된 입력 벡터를 기반으로 LMS 알고리즘을 적용하여 필터의 계수를 갱신한다. 이에 관한 의사코드는 〈표 3〉에 나타낸다.

IH-LMS에서 직교성은 입력 신호가 복소 가우시안 분포를 따른다는 전제 하에 보장되며, 입력 신호가 비가우시안일 경우 기저 간 직교성이 약화되어 성능 저하가 발생할 수 있다. 더 나아가, 입력 신호 통계가 크게 변하거나 모델 적응성이 요구되는 상황에서는 제한적인 성능을 보일 수 있다.

IH-LMS는 기존의 사전 직교화 여부에 관계없는 다른 LMS 알고리즘들에 비해 매우 빠른 수렴 속도를 달성하였다. 사전 직교화를 적용하지 않은 LMS 알고리즘은 약 30 dB 수준까지 SI를 제거할 수 있는 반면, 사전 직교화를 적용한 IH-LMS는 약 40 dB, 즉 잡음 수준까지 SI를

〈표 3〉 IH-LMS 알고리즘

IH-LMS 알고리즘
$\hat{\boldsymbol{h}}_p = [\hat{h}_p[0], \cdots, \hat{h}_p[M-1]]^T$
$\hat{\boldsymbol{h}}_p = 0$
while $e[n]$ is converge do
Ito-Hermite 다항식으로 $\boldsymbol{u}_p^{IH}[n]$ 계산
$e[n] = y_{SI}[n] - \sum_{\substack{p=1 \\ p\,odd}}^{P} \hat{\boldsymbol{h}}_p^H \boldsymbol{u}_p^{IH}[n]$
$\hat{\boldsymbol{h}}_p = \hat{\boldsymbol{h}}_p + \mu_p e[n]^* \boldsymbol{u}_p^{IH}[n]$
$n = n+1$
end while

제거할 수 있음을 보였다[10]. OFDM 신호 환경에서는 중심극한정리에 따라 OFDM 신호의 분포가 근사적으로 가우시안임이 잘 알려져 있기 때문에, IH-LMS는 충분한 SIC 성능을 보일 수 있다[34].

마. AOP-LMS

Adaptive Orthonormal Polynomial LMS (AOP-LMS)는 직교 다항 기저를 정적으로 구성하는 IH-LMS와 달리, 기저 함수 자체를 적응적으로 갱신함으로써 비선형 및 비정상 (Non-Stationary) SI 신호를 효과적으로 제거하기 위한 기법이다. AOP-LMS는 크게 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 입력 신호 $x[n]$의 확률적 특성을 기반으로 다양한 차수의 모멘트를 추정하고, 이를 바탕으로 아래와 같이 정의된 직교 다항 기저 함수를 구성한다.

$$\phi_p(x[n];\boldsymbol{c}_p) = \sum_{p=0}^{P-1} \boldsymbol{c}_p |x[n]|^{2p} x[n] \tag{20}$$

여기서 $\boldsymbol{c}_p$는 정규 직교 조건을 만족하도록 입력 신호의 모멘트 기반으로 구성된 계수 벡터이다. 본 알고리즘에서는 입력 신호의 모멘트 $\mu_2, \mu_4, \ldots, \mu_{2P}$와 이 중 선택된 차수들의 모멘트 벡터 $\boldsymbol{\mu}_{2a}^{2b} = \{\mu_{2a}, \mu_{2a+2}, \ldots, \mu_{2b}\}$를 활용하여, 〈표 4〉에 나타난 바와 같이 반복적인 행렬 연산을 통해 정규 직교 다항 기저 함수를 구성한다. 이 방식은 기존의 내적 기반 직교화 방식과 달리 모멘트 기반 행렬 연산을 통해 기저 함수의 직교성을 보장한다는 점에서 차별성을 갖는다.

〈표 4〉 직교 기저 함수 구성 단계

직교 기저 함수 생성

입력 : μ_2^{2P}

출력: $\phi_p^{AOP}(x;\hat{\boldsymbol{c}}_p),\ p = 1, \ldots, \frac{P+1}{2}$

초기화: $M_2^{-1} = \left[\frac{1}{\mu_2}\right], \boldsymbol{c}_1 = \left[\frac{1}{\sqrt{\mu_2}}\right]$

for $p = 2$ to $\frac{P+1}{2}$ do

$\bar{\boldsymbol{c}}_p = M_p^{-1}\mu_{2p}^{4p-4}$

$\boldsymbol{c}_p = [\bar{\boldsymbol{c}}_p, 1]$

$\tilde{\boldsymbol{c}}_p = \boldsymbol{c}_p * \boldsymbol{c}_p$

$\hat{\boldsymbol{c}}_p = \boldsymbol{c}_p / \sqrt{\sum_{k=1}^{2p-1} \tilde{\boldsymbol{c}}_p, k\mu 2k}$

$\boldsymbol{u}_p = \mu_{2p}^{4p-4}$

$\tilde{\boldsymbol{u}}_p = M_p^{-1}\boldsymbol{u}_p$

$s_p = \mu_{4p-2} - \boldsymbol{u}_p^T \tilde{\boldsymbol{u}}_p$

$M_{p+1}^{-1} = \begin{bmatrix} M_p^{-1} + \tilde{\boldsymbol{u}}_p s_p^{-1} \tilde{\boldsymbol{u}}_p^T & -\tilde{\boldsymbol{u}}_p s_p^{-1} \\ -s_p^{-1}\tilde{\boldsymbol{u}}_p^T & s_p^{-1} \end{bmatrix}$

end for

두 번째 단계에서는 앞서 정의된 직교 다항 기저 함수를 기반으로 LMS 알고리즘을 적용하여, 필터 계수를 반복적으로 갱신한다. 각 비선형 차수 p에 대해 필터 출력과 원하는 신호와의 오차를 계산하며, 이 오차 값을 이용하여 아래와 같이 해당 차수의 필터 계수를 갱신한다. 이에 관한 의사코드는 〈표 5〉에 나타낸다.

$$e[n] = y_{SI}[n] - \sum_{p=1}^{\frac{P+1}{2}} \boldsymbol{h}_p^H[n] \cdot \phi_p^{AOP}(x[n];\boldsymbol{c}_p) \tag{21}$$

$$\boldsymbol{h}_p[n+1] = \boldsymbol{h}_p[n] + \mu_p e^*[n] \cdot \phi_p^{AOP}(x[n];\boldsymbol{c}_p) \tag{22}$$

AOP-LMS는 입력 신호가 가우시안 분포를 따르지 않거나 시간에 따라 통계적 특성이 변화하는 비정상 환경에서 안정적인 성능을 유지할 수 있다. 그러나 기저 함수 초기화 주기의 설정은 알고리즘의 수렴에 직접적인 영향을 미치며, 환경 변화에 따라 적절한 하이퍼파라미터 조정이

〈표 5〉 AOP-LMS 알고리즘

AOP-LMS 알고리즘

입력: $x[n]$, P, 모멘트 수집 길이 N_m, 기저 초기화 간격 N_{int}

출력: $e[n]$

초기화: $n_s = 1$

for $n = 1$ *to* N ***do***

if $n \le n_s + N_m - 1$ **then**

비선형 기저 $\phi_p^{AOP}(x[n];\boldsymbol{c}_p)$ 생성

end if

if $n = (n_s + N_m - 1)$ **then**

$n_s = n$

end if

$e[n] = y_{SI}[n] - \sum_{p=1}^{\frac{P+1}{2}} \boldsymbol{h}_p^H \phi_p^{AOP}(x[n];\boldsymbol{c}_p)$

$\boldsymbol{h}_p[n+1] = \boldsymbol{h}_p[n] + \mu_p e^*[n] \phi_p^{AOP}(x[n];\boldsymbol{c}_p)$

end for

요구된다.

OFDM 신호 환경에서는 LUT(Look-Up Table)를 활용한 AOP-LMS는 인상적인 MSE 성능과 빠른 수렴 속도를 보이며, IH-LMS와 유사한 수준의 성능을 달성하였다. LUT를 활용함으로써, 런타임 시점에 신호 통계량을 추정하는 방식보다 변조 방식의 변화에 더 빠르게 적응할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 비정상 환경에서는 실제 통계적 모멘트와 경험적 모멘트 간의 불일치로 인해 기저 함수가 완전히 직교하지 못하게 되면서 LUT 또는 IH 기반 기법에 비해 수렴 성능이 저하된다[34].

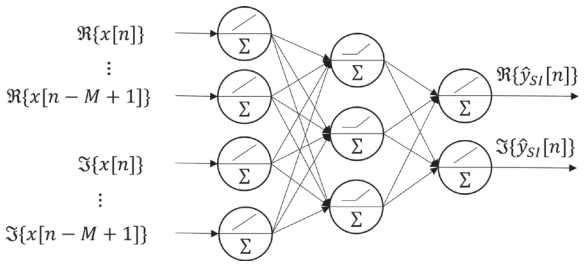
Ⅳ. 모델 프리 디지털 SIC 기술

모델 프리 방식은 SI 채널 $f_{SI}(\cdot)$을 블랙박스로 간주하여 송수신기 하드웨어 요소의 수학적 모델링 없이 입력-출력 데이터 쌍으로 SI 채널을 학습하여 추정하는 접근이다. 이러한 방식은 최근 발전한 기계학습을 활용하여 대규모 입력 데이터로부터 출력 신호의 기댓값 혹은 통계적 특성을 직접 학습함으로써 SI 신호를 제거한다.

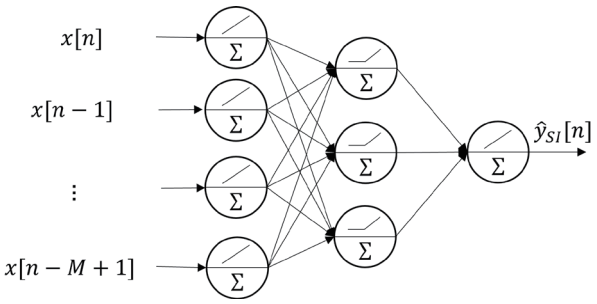
본 장에서는 모델 프리 디지털 SIC 기법으로 제안된 여러 알고리즘 [11],[35-37]을 소개하며, 그 구조에 따라 일반 신경망 기반 구조와 그리드 구조로 구분하여 설명한다. 일반 구조는 전통적인 Feed-Forward 신경망을 기반으로 하며, 그리드 구조는 사다리형과 이동 창 구조를 포함한다.

1. 전통적인 신경망 구조

전통적인 신경망은 연속적인 실수 데이터를 입력으로 받아 학습을 수행하는 구조로, 활성화 함수 및 최적화 기법이 광범위하게 연구되어 있어 적용이 용이하고 학습 안정성이 높다는 장점을 가진다. 이러한 특성을 바탕으로 최근 디지털 SIC를 위한 실수 기반의 피드포워드 신경망(Real-valued FFNN)이 제안되었다[11]. IBFD 시스템에서 다루는 신호는 I/Q 성분으로 구성된 복소수 형태이므로 실수 신경망을 적용하려면 실수부와 허수부로 분리하여 개별적으로 입력해야 한다. 이러한 구조는 〈그림 2〉에 도시되어 있다.



〈그림 2〉 Real-Valued FFNN 예시



〈그림 3〉 Complex-Valued FFNN 예시

실수형 신경망은 복소수 신호의 위상 정보를 직접적으로 표현하기 어렵기 때문에, 복소평면 상에서의 신호 특성을 효과적으로 반영하지 못한다는 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 최근에는 복소수 피드포워드 신경망 (Complex-valued Feedforward Neural Network, CV-FFNN) 구조가 디지털 SIC에 적용되었다[11]. 복소수 신경망은 입력, 가중치, 활성화 함수, 출력까지 모두 복소수 형태로 구성되어 있으며, 복소 평면상의 위상 및 진폭 정보를 직접적으로 반영할 수 있다는 점에서 장점을 갖는다. 특히, 〈그림 3〉에 도시된 바와 같이, CV-FFNN은 복소수 입력 신호를 받아 각 층에서 복소 가중치와 활성화 함수를 통과시키며 학습을 수행한다. 이때, 역전파 학습에는 Wirtinger 도함수를 사용하여 복소수 미분을 안정적으로 정의하고 있다. 하지만, 복소수 연산 계산 복잡도는 실수 연산에 비해 상대적으로 높은 편이다.

2. 그리드 기반 신경망

기존의 FFNN 기반 디지털 SIC 기법은 신호의 복소수 특성을 반영하거나 표현력을 높일 수 있지만 시간 지연에 따른 메모리 효과를 모델링하는 데에는 구조적으로 비효

율일 수 있다. 특히 SI 신호는 송신기 하드웨어(예: PA와 IQ 믹서)의 기억성 있는 비선형 특성에 기인한 지연 성분을 포함하고 있으므로, 이를 효율적으로 학습하기 위해서는 네트워크 구조 자체가 시계열적 구조를 반영할 필요가 있다.

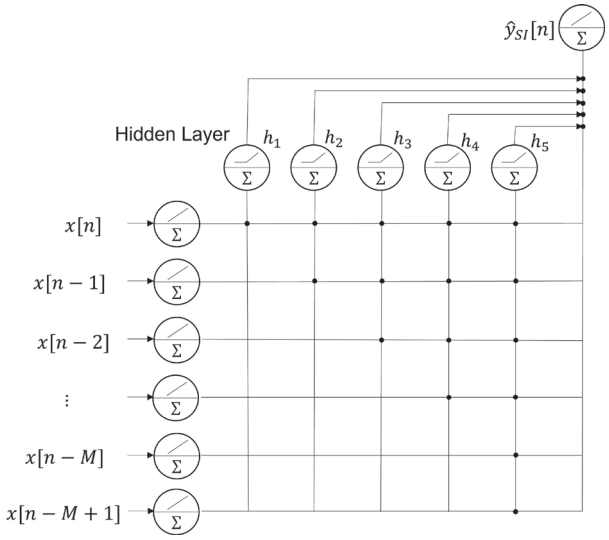
이를 해결하기 위해 제안된 것이 그리드 기반 신경망(Grid-based Neural Network) 구조이며, 대표적으로 LWGS(Ladder-wise Grid Structure)와 MWGS(Moving-window Grid Structure)가 있다[37].

가. LWGS 구조

LWGS는 지연된 입력 데이터를 계단형(ladder-wise)으로 구성된 Hidden Layer의 뉴런에 분할 공급하는 구조를 갖는다. 현재 입력 샘플은 모든 뉴런에 입력되며, 시간이 지날수록 오래된 과거 샘플은 점차 적은 수의 뉴런에만 전달된다. 이러한 구조는 시간적으로 인접한 샘플이 SI 신호에 더 큰 영향을 미친다는 가정 하에, 신경망의 파라미터 수를 효율적으로 줄이면서도 메모리 효과를 효과적으로 학습할 수 있도록 설계되었다. 또한, 전체 입력을 완전 연결하지 않고 부분 연결(partial connectivity)만으로도 학습이 가능하기 때문에, 계산 복잡도를 기존 구조 대비 의미 있게 감소시킬 수 있다는 장점을 지닌다. 이러한 계단형 입력 분할 구조는 〈그림 4〉에서처럼, 각 지연 샘플이 특정 깊이의 뉴런에만 연결되는 형태로 구현된다. 예를 들어, 현재 입력 샘플 $x[n]$ 은 모든 뉴런에 동시에 연결되고, 1단계 지연 샘플 $x[n-1]$ 은 일부 뉴런에만, 가장 오래된 샘플 $x[n-M+1]$은 현재 입력 샘플 $x[n]$과 가장 적은 관련성을 갖기 때문에 단일 뉴런에만 전달되는 형태로, 입력-은닉층 간의 연결이 부분 연결(partial connectivity)을 따르며 계단형으로 구성된다.

나. MWGS 구조

MWGS는 메모리 효과의 고른 반영을 위해 고정된 길이의 슬라이딩 윈도우 (sliding window)를 이용하여 각 뉴런이 입력 데이터를 수신하는 방식으로 설계되었다. 첫 번째 뉴런에는 모든 입력 샘플이 전달되며, 이 뉴런의 주요 목적은 입력 신호의 모든 지연 샘플들 간의 종속성을

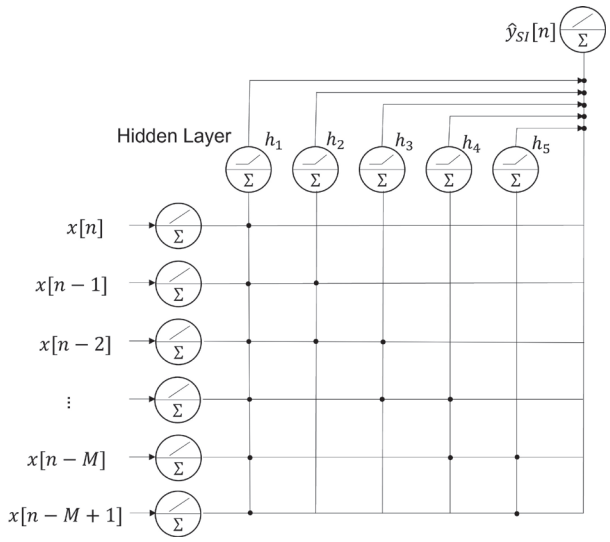


〈그림 4〉 LWGS 예시

학습하는 것이다. 이후 첫 번째 뉴런을 제외한 모든 뉴런은 동일한 길이의 지연 구간을 기준으로 입력을 받아 처리하며, 이는 시간 전 구간에 걸쳐 메모리 효과를 균등하게 반영하고자 하는 목적이다. 예를 들어, 〈그림 5〉는 윈도우의 크기 W가 2인 MWGS의 기본 구조를 도식화 한 것이다. 각 뉴런이 길이 2의 윈도우를 기준으로 입력 시퀀스를 수신하고, 인접한 뉴런 간에는 입력 구간이 중첩되어 연결되는 것을 볼 수 있다. 이러한 중첩 구조는 메모리 반영 범위는 넓히지만, 중복 학습의 가능성을 수반한다. 이는 학습의 효율을 저해할 수 있으며, 계산 복잡도도 증가한다. 슬라이딩 윈도우의 길이 W의 설정이 전체 모델의 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 환경의 특성 및 목표 성능에 따라 W를 적절히 설정하는 것이 중요하며, 하이퍼파라미터 최적화를 통해 최적의 윈도우 길이를 도출하는 과정이 필수적이다.

V. 디지털 SIC 성능 평가

본 장에서는 모델 기반과 모델 프리 디지털 SIC 기법들의 성능을 평가한다. 이들 성능 평가를 위해, 송신 신호 $x[n]$와 SI 신호 $y_{SI}[n]$으로 구성된 두 가지 데이터 세트를 사용한다. 먼저 두 가지 데이터 세트에 대한 설명을 하고, 다양한 디지털 SIC의 성능을 3 가지 항목(수렴 속도,

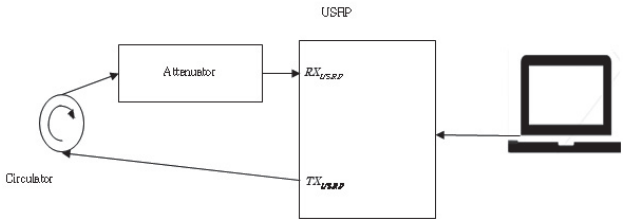


〈그림 5〉 MWGS 예시 (W=2)

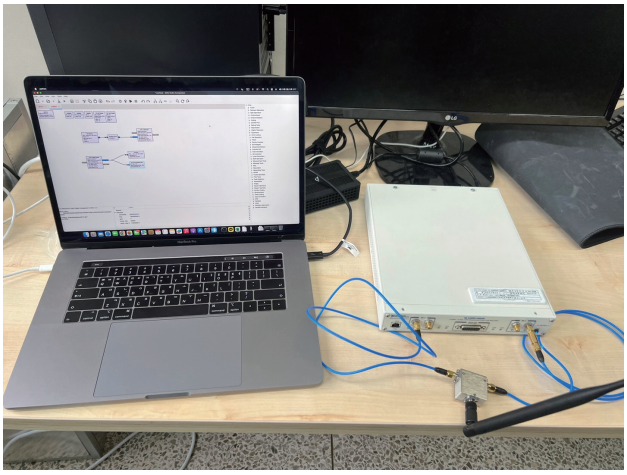
SI 제거 능력, 계산 복잡도)에 대해 평가한다.

1. SI 데이터 세트

첫 번째 데이터 세트는 에인트호벌 공과대학 그룹에서 제공한 데이터 세트[11]이다. 이 데이터는 LabVIEW 소프트웨어 플랫폼 기반의 전이중 노드 테스트베드를 활용하여 수집되었다. 해당 테스트베드는 National Instruments FlexRIO PXIe-1082와 두 개의 National Instruments 5791R RF 트랜시버 어댑터 모듈로 구성되어 있으며, 각 모듈은 송신기와 수신기를 각각 내장하고 있다. 모듈 내에서는 동일한 발진기와 캐리어 신호가 송수신기 간에 공유된다. 22 dBm의 출력 전력을 구현하기 위해 14 dB 이득을 제공하는 외장형 PA를 사용하였다. 디지털 기저대역 송신 신호는 MATLAB에서 생성되어 네트워크를 통해 테스트베드로 전송되며, 테스트베드는 송수신기 동기화 및 DAC, mixing, 신호 증폭, RF 필터링, ADC 등 아날로그 프론트엔드 작업을 수행한다. 수신된 디지털 기저대역 신호는 MATLAB으로 다시 전달되어 오프라인으로 처리된다. 측정에는 2.4 GHz 주파수 대역에서 동작하는 두 개의 안테나를 사용하였고, 패시브 격리도 확보를 위해 안테나 간격을 조정하였다. 송신 신호는 1024개의 서브캐리어를 갖는 OFDM 심볼을 기반으로 하며, 각 서브캐리어는 QPSK 방식으로 변조되었다. 신호



〈그림 6〉 Circulator를 사용한 FD Transceiver 모식도



〈그림 7〉 Circulator를 사용한 FD Transceiver 실제 실험 환경

의 샘플링 주파수는 20 M/s로 설정하였고, 대역폭은 10 MHz로 구성되었다. 송신 전력은 평균 10 dBm으로 설정하였다.

두 번째 데이터 세트는 〈그림 6〉과 〈그림 7〉 같은 환경에서 National Instruments USRP-2954R, National Instruments VERT2450 안테나, Ditom D3C1722S Circulator, 30 dB Attenuator를 사용하여 구성된 하드웨어 테스트베드를 통해 수집되었다. 안테나는 2.4 GHz 주파수에서 동작하는 안테나를 사용하였다. 샘플링 주파수는 5 M/s, 중심 주파수는 2.442 GHz, 신호 대역폭은 5 MHz를 갖는 QPSK 변조 OFDM 신호이며 서브캐리어의 수는 1024이다. 서브캐리어에는 QPSK 심볼과 함께 채널 추정을 위한 파일럿 심볼이 함께 삽입되었다. 송신 전력은 −38 dBm/5 MHz이다. 우리는 첫 번째 데이터 세트를 Alexios 데이터 세트, 두 번째 데이터 세트는 Ours 데이터 세트로 명명한다.

2. 디지털 SIC 알고리즘 성능 평가

우리는 앞서 설명한 모델 기반 알고리즘과 모델 프리 기반 신경망 알고리즘을 대상으로 디지털 SIC 성능을 비교 평가하였다. 비교에 사용된 알고리즘은 다음과 같다.

1) 선형 모델 기반 LS 알고리즘(이하 LS)
2) 선형 LS + PH 기반 LS(이하 LS+PH),
3) PH 모델 기반 LMS(이하 LMS),
4) PH 모델 기반 IH-LMS(이하 IH-LMS),
5) PH 모델 기반 AOP-LMS(이하 AOP-LMS),
6) RV-FFNN,
7) CV-FFNN.

여기서 두 번째 알고리즘은 선형 모델 기반 LS로 선형 성분을 제거하고, 잔여 비선형 성분을 PH 모델 (P=5) 기반 LS 알고리즘으로 잔여 비선형 성분을 제거하는 방식이다. 이와 같은 흐름으로 신경망 알고리즘에서도 비선형 성분을 RV-FFNN 혹은 CV-FFNN으로 모델링하고 제거하는 방식을 사용하였다.

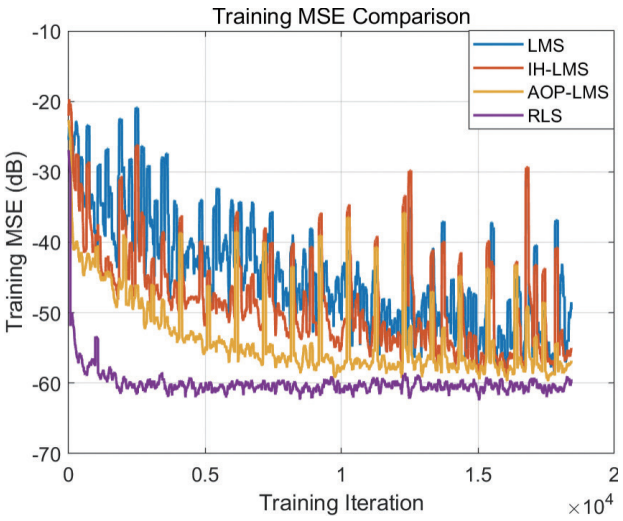
각 알고리즘의 성능은 두 개의 서로 다른 데이터 세트를 사용하여 평가되었으며, 각각의 데이터에서 전체 데이터의 90%를 학습용으로, 나머지 10%를 테스트용으로 사용하였다. 알고리즘 학습은 학습 데이터에 대해 수행되었으며, 성능 평가는 학습된 모델을 테스트에 적용하여 수행되었다.

먼저 우리는 적응형 알고리즘의 수렴 속도를 평가하였다. 수렴 성능을 평가하는 지표로 MSE를 사용하였고, 아래 식과 같다.

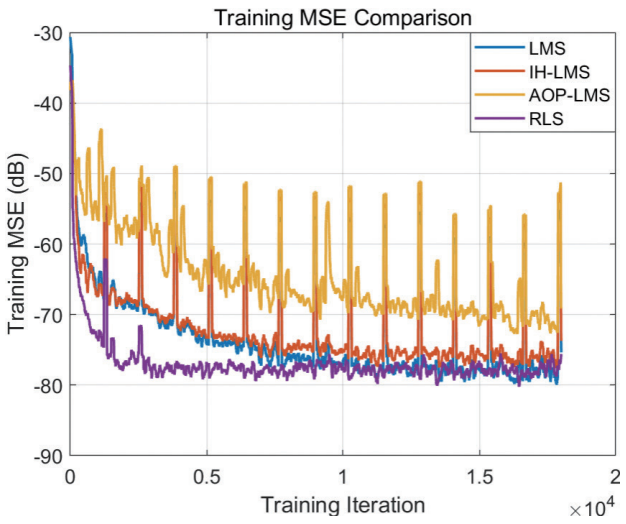
$$MSE_n = \left| y_{SI}[n] - \hat{y}_{SI}[n] \right|^2 \tag{23}$$

〈그림 8〉과 〈그림 9〉는 각각 Alexios 데이터 세트와 Ours 데이터 세트에 대한 훈련 단계에서의 MSE 결과이다. 두 데이터 세트에 대한 수렴 특성을 비교한 결과, 알고리즘별 특징은 다음과 같다. 먼저, RLS는 두 데이터 세트 모두에서 가장 빠른 수렴 속도를 보였다. 초기 학습 구간에서 매우 급격하게 MSE가 감소하며, 수백 iteration 이내에 가장 낮은 수준의 오차 성능에 도달하였다. 학습이 진행됨에 따라 안정적으로 수렴하여 실험 데이터에서도 −80dB 수준의 MSE를 유지하는 등, 모든 알고리즘 중 가장 우수한 수렴 속도와 MSE 성능을 기록하였다. AOP-LMS는 초기 수렴 구간에서 빠르게 MSE가 감소하는 양상을 보였으나, 일정 구간 이후 성능이 정체되는 경향을 나타냈다. Alexios 데이터 세트에서는 RLS 다음으로 수렴 속도가 좋았지만, Ours 데이터 세트에서는 수렴 속도와 MSE 모두 상대적으로 좋지 않은 성능을 나타내었다. IH-LMS는 초기 수렴 속도는 다소 느렸으나, 학습이 진행될수록 점진적으로 MSE가 감소하며 안정적으로 수렴하는 양상을 보였다. Alexios 데이터 세트에서 본 알고리즘은 AOP-LMS 다음으로 우수한 수렴 속도를 나타냈으며, Ours 데이터 세트에서는 RLS 다음으로 양호한 수렴 성능을 보였다. 마지막으로, LMS는 가장 느린 수렴 속도와 상대적으로 높은 MSE를 보였다. Alexios 데이터 세트에서 가장 느린 수렴 속도를 달성하였지만, Ours 데이터 세트에서는 양호한 수렴 속도를 나타내었다. 이는 Alexios 데이터 세트는 비선형 성분이 우세하여 에러가 가우시안 분포를 띄지 않는 특징을 지니지만, Ours 데이터 세트는 비선형 성분이 미세하여 에러가 영향을 적게 받은 것으로 사료된다.

종합해보면, 평가에 사용된 두 데이터 세트에 대하여 네 가지 알고리즘 중 RLS가 가장 빠른 수렴 속도와 가장 낮은 MSE를 달성하였고, 실험적 환경에서도 견고한 성능을 유지하는 것으로 나타났다. AOP-LMS는 Alexios 데이터 세트에서는 RLS 다음으로 우수한 수렴 속도를 나타내었지만, Ours 데이터세트에서는 성능 저하가 발생



〈그림 8〉 Alexios 데이터 세트에 대한 각 알고리즘의 Training MSE



〈그림 9〉 Ours 데이터 세트에 대한 각 알고리즘의 Training MSE

하였다. IH-LMS, LMS 모두 Alexios 데이터 세트보다 Ours 데이터 세트에서 더 좋은 수렴 성능을 보였다.

디지털 SIC 성능은 SI 신호 제거 비율을 기반으로 평가하였다. 구체적으로, 입력 SI 신호 전력 대비 제거 후 잔여 SI 신호의 전력비 (Self-interference cancellation ratio, SICR)를 사용하며, 다음과 같이 정의한다:

$$SICR_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{\sum_n |y_{SI}[n]|^2}{\sum_n |y_{SI}[n] - \hat{y}_{SI}[n]|^2}\right) \quad (24)$$

Alexios 데이터 세트와 Ours 데이터 세트를 사용한 SIC 알고리즘 성능 평가 결과를 〈표 6〉에 나타내었다. 먼저 Alexios 데이터 세트를 기준으로 살펴보면, 선형 모델 기반 LS 알고리즘은 37.86 dB의 SI 신호 제거 성능을 보였다. 반면, 비선형 모델인 PH 기반 LS 알고리즘은 44.79 dB로, 약 7 dB 이상의 향상을 달성하였다. 이 결과는 해당 데이터 세트에 강한 비선형 SI 성분이 포함되어 있음을 시사하며, 선형 모델 기반 접근법의 한계를 분명히 보여준다.

적응형 알고리즘 계열에서는, PH 기반 LMS 알고리즘이 29.81 dB로 가장 낮은 성능을 기록했으며, 이는 LMS가 입력 특성에 민감하고 수렴 속도가 느리다는 고유의 한계로 해석될 수 있다. 반면, IH-LMS는 41.40 dB, AOP-LMS는 41.43 dB로 비교적 유사한 성능을 나타내었으며, 이는 다항 기저의 직교성과 입력 분포 적응 효과의 유의미함을 입증한다. 그러나 이들보다 한 단계 높은 성능을 보인 것은 RLS 알고리즘으로, 45.55 dB의 성능을 달성하며 가장 우수한 적응형 기법으로 나타났다. 이는 RLS의 빠른 수렴 특성과 노이즈에 대한 강건성이 복합적으로 작용한 결과로 해석할 수 있다.

모델 프리 기반 신경망 알고리즘 중, 실수형 FFNN(RV-FFNN)은 45.02 dB, 복소수형 FFNN(CV-FFNN)은 45.95 dB로, RLS와 유사하거나 이를 초과하는 성능을 보였다. 특히 CV-FFNN은 복소수 입력의 위상 정보를 직접 반영함으로써 RV-FFNN 대비 약 1 dB의 성능 향상을 달성하였다. 이는 SI 신호에 내재된 복소평면 상의 통계적 구조를 효과적으로 학습할 수 있는 복소수 신경망의 구조적 강점을 잘 보여준다.

다음으로 Ours 실험 데이터 세트에서 선형 모델 기반 LS 알고리즘은 44.52 dB이고 PH 기반 LS 알고리즘은 45.26 dB를 보인다. 약 0.7 dB의 향상을 달성하였다. 이 데이터 세트는 비선형 성분을 적게 포함하고 있다. 적응형 알고리즘인 LMS, IH-LMS, AOP-LMS 및 RLS는 각각 42.55 dB, 43.12 dB, 37.52 dB와 46.41 dB를 얻었다. LMS 대비 IH-LMS가 약 0.6 dB 향상된 성능을 보인 것은 입력 신호의 통계적 특성을 반영한 IH 직교다항 기저를 사용함으로써, LMS의 입력 민감도를 줄이고 비선형 성분에 대한 보정 효과를 제공한 결과로 해석될 수 있다. 반면, RLS는 빠른 수렴 속도와 높은 추정 정밀도를 바탕으로 두 데이터 세트에서 모두 가장 우수한

〈표 6〉 두 데이터 세트에 대한 각 알고리즘의 SIC 성능

알고리즘 \ 데이터 세트		Alexios (dB)	Ours (dB)
모델 기반 기법	LS	37.86	44.52
	LS+PH	44.79	45.26
	LMS	29.81	42.55
	IH-LMS	41.40	43.12
	AOP-LMS	41.43	37.52
	RLS	45.55	46.41
모델 프리 기법	RV-FFNN	45.02	43.52
	CV-FFNN	45.95	43.88
	LWGS	44.50	–
	MWGS	44.40	–

성능을 보였다. RV-FFNN은 43.52dB, CV-FFNN은 43.88 dB의 성능을 나타내었다. 모델 프리 기반 신경망 알고리즘은 RLS 보다 낮은 성능을 보였다.

〈그림 10〉과 〈그림 11〉은 각각 Alexios 데이터 세트와 Ours 데이터 세트에 대해 각 알고리즘의 SIC 이후 잔여 신호 스펙트럼을 나타낸다. Alexios 데이터는 선형 및 비선형 SI 성분이 모두 존재하는 복합 간섭 환경으로, LS는 비교적 높은 수준의 잔여 신호(−130 dB 수준)를 나타내며, 비선형 성분을 반영한 LS+PH는 이를 개선하지만 여전히 −125 dB 수준에 머무른다. LMS는 −110 dB 이상에서 머무르며 잔여 간섭이 강하게 남아있는 반면, IH-LMS와 AOP-LMS는 −130 dB 이하까지 감소시켜 비선형 모델 기반 적응형 알고리즘의 효과를 보여준다. RLS와 CV-FFNN, RV-FFNN은 −140 dB 이하로 가장 낮은 잔여 신호 파워를 기록하며, 특히 RLS는 전 주파수 대역에서 안정적으로 낮은 스펙트럼을 유지하여 최상의 성능을 보인다.

Ours 데이터 세트는 선형 성분이 지배적이며 비선형 성분이 적게 포함된 환경이다. 이 경우 대부분의 알고리즘들이 우수한 성능을 달성하며, LS+PH, LMS, IH-LMS, RV-FFNN, CV-FFNN, RLS 등은 모두 −150 dB 이하로 낮은 잔여 신호 전력을 달성하였다. 그러나 AOP-LMS는 −140 dB 수준에서 머무른다. 이는 비선형 입력 변환이 입력 특성과 조화를 이루지 못해 잔여 간섭이 충분히 제거되지 않았음을 시사한다.

우리는 디지털 SIC 알고리즘의 계산 복잡도를 평가하였다. 계산 복잡도를 평가하기 위해 FLOPs (부동 소수점 연산 수)를 고려한다. 여기서 총 FLOPs는 알고리즘의 추론 과정에서 사용되는 전체 실수 연산 수를 계산하여 평가한다. 총 FLOPs는 아래와 같이 구한다.

$$\text{총 } FLOPs = \xi^{(R_m)} + \xi^{(R_a)} \tag{25}$$

여기서 $\xi^{(R_m)}$와 $\xi^{(R_a)}$은 각각 실수 곱셈과 실수 덧셈의 FLOPs 수이다. LMS 알고리즘과 CV-FFNN, LWGS, MWGS 모두 복소수 연산을 수행하므로 복소수 연산을 모두 실수 연산으로 바꿔주어야 한다. 복소수 곱셈 1회는 3번의 실수 곱셈 + 5번의 실수 덧셈, 복소수 덧셈 1회는 2번의 실수 덧셈이다. 이를 수식적으로 표현하면 아래와 같다.

$$\xi^{(R_m)} = 3 \times \xi^{(C_m)} \tag{26}$$

$$\xi^{(R_a)} = 5 \times \xi^{(C_m)} + 2 \times \xi^{(C_a)} \tag{27}$$

여기서 $\xi^{(C_m)}$와 $\xi^{(C_a)}$은 각각 복소수 곱셈, 복소수 덧셈의 수를 나타낸다.

우리는 LMS, RLS, CV-FFNN, LWGS와 MWGS 알고리즘의 FLOPs를 비교 평가하였다. LMS와 RLS알고리즘의 FLOPs는 각각 〈표 1〉과 〈표 2〉에 기반하여 계산하였다. 두 알고리즘 모두 비선형 최고 차수가 P인 PH 모델을 사용하였다. 여기서 $P' = \frac{P+1}{2}$로 정의한다. 신경망 알고리즘에서는 고려해주어야 할 복소수 활성화 함수(CRELU)의 계산$(+8N)$도 포함하였다. 전체 알고리즘에 대한 FLOPs는 〈표 7〉에 정리하였다. 알고리즘 별 계산 복잡도의 비교를 하면, LMS는 입력 탭 수 M과 차 항의 개수 P'에 대해 선형적으로 증가하고, 반면, RLS는 칼만 이득 벡터 $k[n]$과 공분산 행렬 $P[n]$의 갱신 과정에서 상당히 많은 복소수 계산이 필요하다. 입력 벡터를 하나로 합쳐 큰 차원의 공분산 행렬을 유지하고 갱신해야 하기 때문에, 계산 복잡도는 $O((MP')^3)$으로 증가하여 다른 알고리즘에 비해 훨씬 높은 계산량을 요구한다.

신경망 기반 알고리즘의 경우, 구조에 따라 계산 복잡도 증가 양상이 상이하게 나타난다. CV-FFNN의 경우 채널 탭 수 M과 뉴런 수N에 비례하여 FLOPs 수가 증가한다. 반면 LWGS 구조는 각 레이어 마다 입력이 누적되는 계단형 구조이기 때문에 FLOPs 수가 $O(N^2)$의 형태로 급격히 증가한다. 이에 비해, MWGS 구조는 고정된 윈도우 길이 W를 기준으로 입력을 분할하여 처리하기 때문에 FLOPs 수가 M과 N에 대해 선형적인 구조를 나타낸다.

전체적으로 볼 때, LMS, CV-FFNN, MWGS 알고리즘은 입력 탭 수 M에 대해 선형적으로 증가하나 신경망 알고리즘에서는 LWGS만 뉴런 수 N에 대해 비선형적으로 증가하는 모습을 가진다. LWGS는 뉴런 수가 적은 소규모 신경망 구조에 적합하다. RLS 알고리즘은 높은 예측 성능과 빠른 수렴 특성을 갖지만, 입력 벡터의 차원이 증가함에 따라 공분산 행렬의 유지 및 갱신에 필요한 연산량이 급격히 증가하게 된다. 이로 인해 RLS 1회 학습당 계산 복잡도가 $O((MP')^3)$ 수준으로 매우 크다. 이 역시 실시간 시스템에서는 제약이 될 수 있다. 디지털 SIC

〈표 7〉 계산 복잡도 비교

	1회 학습당 FLOPs
LMS	$16P'(M+1)+4P'M+4P'+2$
RLS	$10(MP')^3+34(MP')^2+42MP'$
CV-FFNN	$10 \times N(M+1)+8N$
LWGS	$10\times(\sum_{i=1}^{N} i + M)+8N$
MWGS	$10\times(M+W(N-1)+N)+8N$

에서는 실시간 적용 또한 중요한 문제이고, 이에 따라 LMS 알고리즘이나 CV-FFNN과 같이 실시간의 복잡한 환경에서도 상대적으로 계산 복잡도가 낮고 예측 구조가 단순한 알고리즘이 보다 적합할 수 있다.

VI. 결론

본 원고에서는 디지털 자기 간섭 제거(Self-Interference Cancellation, SIC)를 위한 다양한 알고리즘—모델 기반 방식인 LMS, RLS, IH-LMS와 AOP-LMS, 모델 프리 방식인 CV-FFNN, 그리고 두 가지 구조적 변형을 포함하는 LWGS와 MWGS의 성능과 계산 복잡도를 정량적으로 비교 · 분석하였다.

분석 결과, RLS는 뛰어난 간섭 제거 성능과 빠른 수렴 속도를 보여주었으나, 공분산 행렬 계산에 따른 높은 계산 복잡도로 인해 실시간 시스템에서는 적용이 제한적임을 확인하였다. 반면, LMS는 상대적으로 낮은 계산 복잡도를 유지하면서도 안정적인 성능을 제공하여, 제한된 연산 자원 환경에서 실용적인 대안이 될 수 있음을 보여주었다. CV-FFNN은 비선형 채널 모델에 대한 적응력이 우수하고, 병렬 연산이 가능하다는 장점을 가지나, 네트워크 구조에 따라 연산량이 급격히 증가할 수 있는 단점도 존재한다.

그리드 구조 기반 신경망인 LWGS는 각 레이어에서 입력 누적 구조를 가지므로 뉴런 수에 따라 비선형적으로 계산량이 증가하며, 이는 고복잡도 환경에서 실시간 적용에 불리한 요인이 될 수 있다. 반면, MWGS는 고정된 입력 윈도우를 사용하는 방식으로, 계산 복잡도가 선형적으로 증가하는 구조를 가지며, LWGS에 비해 연산 효율성 측면에서 유리한 특성을 보였다.

종합적으로, 디지털 SIC 시스템의 설계에서는 간섭 제거 성능, 수렴 특성, 계산 복잡도 간의 트레이드오프를 고려한 알고리즘 선택이 필수적이며, 특히 실시간 구현 가능성은 중요한 판단 기준이 된다. 따라서 향후 연구에서는 고차 비선형성 및 시변 채널 환경에서도 강인하게 동작하면서, 연산 복잡도를 줄일 수 있는 접근법에 대한 탐색이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00221494).

참 고 문 헌

[1] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo, D. W. Bliss, S. Rangarajan, and R. Wichman, "In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, Sep. 2014

[2] P. V. Prasannakumar, M. A. Elmansouri, and D. S. Filipovi ′ c, "Wideband decoupling techniques for dual-polarized bi-static simultaneous transmit and receive antenna subsystem," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 10, pp. 4991-5001, Oct. 2017

[3] Y. Cao and J. Zhou, "Integrated self-adaptive and power-scalable wideband interference cancellation for full-duplex MIMO wireless," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 55, no. 11, pp. 2984-2996, Nov. 2020.

[4] S. Mondal and J. Paramesh, "Power-efficient design techniques for mm-wave hybrid/digitalFDD/Full-duplex MIMO transceivers," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 55, no. 8, pp. 2011-2026, Aug. 2020.

[5] M. B. Dastjerdi, S. Jain, N. Reiskarimian, A. Natarajan, and H. Krishnaswamy, "Analysis and design of a full-duplex two-element MIMO circulator-receiver with high TX power handling exploiting MIMO RF and shared-delay baseband

self-interference cancellation," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 54, no. 12, pp. 3525-3540, Dec. 2019.

[6] A. Nagulu et al., "6.6 full-duplex receiver with wideband multi-domain FIR cancellation based on stacked-capacitor, N-path switched-capacitor delay lines achieving >54 dB SIC across 80 MHz BW and >15 dBm TX power-handling," in IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, vol. 64, pp. 100-102, Feb. 2021.

[7] V. Panse, T. K. Jain, P. K. Sharma, and A. Kothari, "Digital selfinterference cancelation in the era of machine learning: A comprehensive review," Phys. Commun., vol. 50, no. 101526, Feb. 2022.

[8] H. Yang et al., "Digital self-interference cancellation based on blind source separation and spectral efficiency analysis for the full-duplex communication systems," IEEE Access, vol. 6, pp. 43946-43955, 2018.

[9] D. Korpi, T. Huusari, Y. Choi, L. Anttila, S. Talwar, M. Valkama, Digital self-interference cancellation under nonideal RF components: Advanced algorithms and measured performance, in: 2015 IEEE 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), pp. 286-290, 2015.

[10] J. Kim and N. Lee, "Adaptive Non-Linear Digital Self-Interference Cancellation for Full-Duplex Wireless Systems Using Ito-Hermite Polynomials," Proc. IEEE ICC Workshops, pp. 1-6, 2018.

[11] A. Balatsoukas-Stimming, "Non-linear digital self-interference cancellation for in-band full-duplex radios using neural networks," in Proc. IEEE Int. Workshop Signal Process. Adv. Wireless Commun. (SPAWC), Jun. 2018.

[12] H. Lee, J. Kim, G. Choi, I. P. Roberts, J. Choi, and N. Lee, "Nonlinear self-interference cancellation with learnable orthonoraml polynomials for full-duplex wireless systems," submitted to IEEE J. Sel. Areas Commun., 2024.

[13] A. Nagulu et al., "Doubling down on wireless capacity: A review of integrated circuits, systems, and networks for full duplex," Proc. IEEE, vol. 112, no. 5, pp. 405-432, May 2024.

[14] Balatsoukas-Stimming, Alexios. "Joint detection and self-interference cancellation in full-duplex systems using machine learning." 2021 55th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. IEEE, 2021.

[15] M. Adams and V. K. Bhargava, "Use of the recursive least squares filter for self interference channel estimation," in Proc. IEEE 84th Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall), pp. 1-4, Sep. 2016.

[16] T. Dinc, A. Nagulu, and H. Krishnaswamy, "A millimeter-wave nonmagnetic passive SOI CMOS circulator based on spatio-temporal conductivity modulation," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 52, no. 12, pp. 3276-3292, Dec. 2017.

[17] S. Khaledian, F. Farzami, B. Smida, and D. Erricolo, "Inherent self-interference cancellation for in-band full-duplex single-antenna systems," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 66, no. 6, pp. 2842-2850, Jun. 2018.

[18] T. Dinc and H. Krishnaswamy, "A t/r antenna pair with polarizationbased reconfigurable wideband self-interference cancellation for simultaneous transmit and receive," in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., pp. 1-4, May 2015.

[19] E. Everett, A. Sahai, and A. Sabharwal, "Passive self-interference suppression for full-duplex infrastructure nodes," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 13, no. 2, pp. 680-694, Feb. 2014.

[20]] D. R. Morgan, Z. Ma, J. Kim, M. G. Zierdt, and J. Pastalan, "A generalized memory polynomial model for digital pre distortion of RF power amplifiers," IEEE Trans. Signal Process., vol. 54, no. 10, pp. 3852-3860, Oct. 2006.

[21] A. Yadav, D. Mazumdar, B. R. Karthikeyan, and G. R. Kadambi, "Linearization of Saleh, Ghorbani, and Rapp amplifiers with Doherty technique," SASTech J., vol. 9, pp. 79-86, Sept. 2010.

[22] T. Riihonen and R. Wichman, "Analog and digital self-interference cancellation in full-duplex MIMO-OFDM transceivers with limited resolution in A/D conversion," in Proc. Asilomar Conf. Signals, Syst. Comput., pp. 45-49,

November 2012.

[23] V. Syrjala, and K. Yamamoto. "Is sampling jitter a problem in full-duplex radio transceivers or not?." 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, 2014.

[24] V. Syrjala, M. Valkama, L. Anttila, T. Riihonen, and D. Korpi, "Analysis of oscillator phase-noise effects on self-interference cancellation in full-duplex OFDM radio transceivers," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 13, no. 6, pp. 2977-2990, Jun. 2014.

[25] X. Quan, Y. Liu, S. Shao, C. Huang, and Y. Tang, "Impacts of phase noise on digital self-interference cancellation in full-duplex communications," IEEE Trans. Signal Process., vol. 65, no. 7, pp. 1881-1893, Apr. 2017.

[26] L. Anttila, D. Korpi, V. Syrjälä, M. Valkama, Cancellation of power amplifier induced nonlinear self-interference in full-duplex transceivers, in: 2013 Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp.1193-1198, 2013.

[27] D. Korpi, M. AghababaeeTafreshi, M. Piilila, L. Anttila, M. Valkama, Advanced architectures for self-interference cancellation in full-duplex radios: Algorithms and measurements, in: 2016 50th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp. 1553-1557, 2016.

[28] M. Emara, K. Roth, L. G. Baltar, M. Faerber, and J. Nossek, "Nonlinear digital self-interference cancellation with reduced complexity for full duplex systems," in Proc. 21th Int. ITG Workshop Smart Antennas (WSA), pp. 1-6, 2017.

[29] M. S. Sim, M. Chung, D. Kim, J. Chung, D. K. Kim, and C.-B. Chae, "Nonlinear self-interference cancellation for full-duplex radios: From link-level and system-level performance perspectives," IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 9, pp. 158-167, Jun. 2017.

[30] M. Emara, P. Rosson, K. Roth, and D. Dassonville, "A full duplex transceiver with reduced hardware complexity," in Proc. GLOBECOM IEEE Global Commun. Conf., Dec. pp. 1-6, 2017.

[31] M. A. Tafreshi, M. Koskela, D. Korpi, P. Jääskeläinen, M. Valkama, and J. Takala, "Software defined radio implementation of adaptive nonlinear digital self-interference cancellation for mobile inband fullduplex radio," in Proc. IEEE Glob. Conf. Signal Inform. Process., pp. 733-737, 2016.

[32] J. Zhou, N. Reiskarimian, J. Diakonikolas, T. Dinc, T. Chen, G. Zussman and H. Krishnaswamy, "Integrated full duplex radios", IEEE Commun. Mag., vol. 55, no 4, pp. 142-151, Apr 2017.

[33] D. Korpi, M. Heino, C. Icheln, K. Haneda, and M. Valkama, "Compact inband full-duplex relays with beyond 100 dB self-interference suppression: Enabling techniques and field measurements," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 65, no. 2, pp. 960-965, Feb. 2017.

[34] H. Lee, J. Kim, G. Choi, I. P. Roberts, J. Choi, and N. Lee, "Nonlinear self-interference cancellation with learnable orthonormal polynomials for full-duplex wireless systems," submitted to IEEE J. Sel. Areas Commun., 2024.

[35] A. T. Kristensen, A. Burg, and A. Balatsoukas-Stimming, "Identification of non-linear RF systems using backpropagation," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC Workshops), pp. 1-6, Jun. 2020.

[36] A. T. Kristensen, A. Burg, and A. Balatsoukas-Stimming, "Advanced machine learning techniques for self-interference cancelation in fullduplex radios," in Proc. 53rd Asilomar Conf. Signals Syst. Comput., pp. 1149-1153, Nov. 2019.

[37] M. Elsayed, A. A. A. El-Banna, O. A. Dobre, W. Shiu, and P. Wang,"Low complexity neural network structures for self-interference cancellation in full-duplex radio," IEEE Commun. Lett., vol. 25, no. 1, pp. 181-185, Jan. 2021.

고갑석

- 2007년 8월 한국과학기술원 수리과학과 학사
- 2010년 1월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
- 2017년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 박사
- 2017년 3월 – 2017년 5월 충남대학교 정보통신연구소 연구원
- 2017년 6월 ~ 2021년 5월 미국 Qualcomm Institute at UCSD 연구원
- 2021년 9월 ~ 현재 강원대학교 전기전자공학과 교수

〈관심 분야〉
Interference cancellation and management, Calibration of low-cost particulate matter sensors.

유홍재

- 2024년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 학사
- 2024년 3월 ~ 현재 강원대학교 차세대반도체학과 석사과정

〈관심 분야〉
Wireless communications

김태규

- 2024년 2월 강원대학교 IT대학 전자공학과 학사
- 2024년 3월 ~ 현재 강원대학교 차세대반도체학과 석사과정

〈관심 분야〉
Wireless communications

5G NR FR1 IBFD 응용을 위한 저잡음 RF PLL의 설계


황인철
강원대학교


윤지섭
강원대학교


문제철
슈프림마이크로 코리아

Ⅰ. 서 론

차세대 무선 통신 시스템은 기하급수적으로 증가하는 data traffic과 한정된 spectrum 자원의 고갈이라는 복합적 과제에 직면하고 있다. 이러한 환경에서 기존의 half-duplex 또는 Frequency Division Duplex (FDD) 방식은 spectral efficiency 측면에서 본질적 한계를 지니며, 지속 가능한 대안으로 보기 어렵다. 이에 따라 동일한 주파수 대역 내에서 송수신을 동시에 수행하는 in-band full-duplex (IBFD) 기술이 주목받고 있다. IBFD는 이론적으로 스펙트럼 효율을 두 배로 향상시킬 수 있으며, real-time feedback, collision detection, low-latency communication 등 다양한 부가 이점을 제공한다[1].

그러나 IBFD의 실용화에는 self-interference (SI)라는 기술적 과제가 존재한다. 송신기에서 방사된 고출력 신호는 antenna coupling 또는 path loss 등을 통해 수신 경로로 유입되며, 수신 신호보다 수십 dB 강하게 나타난다. 이를 해결하기 위한 cancellation 기법으로 antenna isolation, beamforming, Analog Linear Cancellation(ALC), Digital Linear Cancellation (DLC) 등이 제안되었으며, 일부 실험에서는 최대 100 dB의 SI 제거 성능이 보고되었다[1].

최근 연구는 이러한 기법의 성능 한계를 야기하는 핵심 요인으로 local oscillator (LO)의 phase noise를 지목하고 있다. FDD에서는 송수신 주파수가 분리되어 위상 잡음이 체인 내부에 국한되지만, IBFD는 동일 주파수에서 송수신이 동시에 이루어져 송신기의 phase noise가 수신 신호에 직접 간섭을 유발한다. 특히 OFDM 시스템에서는 inter-carrier interference (ICI)가 발생해 residual SI로 잔존하며, 이는 DLC로는 제거가 어렵다[1][2].

Syrjälä 등은 oscillator 구성 방식에 따라 phase noise가 SI

〈표 1〉 기존 연구에 기반한 저잡음 PLL 분류

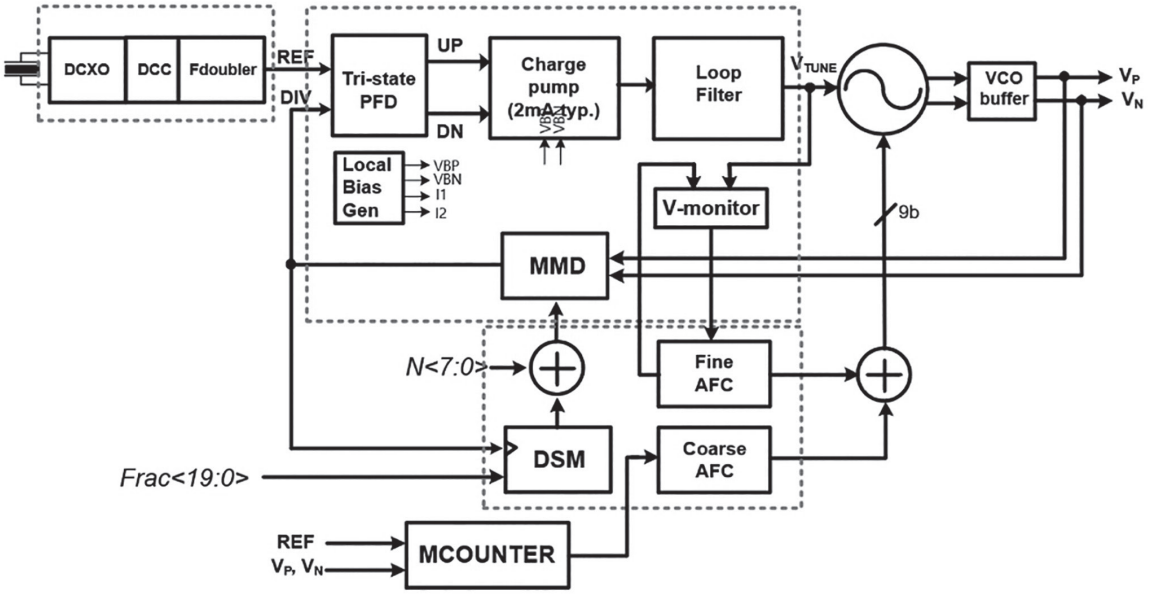
구조	평균 지터 수준 (fs)	전력 수준 (mW)	참고문헌	FoM 수준
PFD CP PLL	100–500 fs 이상	1–100 mW	[3], [4], [5]	~ –240 to –250 dB
DTC 기반 PLL (SPD/SSPD)	30–200 fs	2–40 mW	[6], [7], [8]	~ –250 dB
DPLL with TDC	300–1000 fs	1–10 mW	[9], [10], [11]	~ –230 dB
기타 구조	30–100 fs 이하	10–100 mW	[12], [13], [14]	–260 dB 이상

suppression에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다[2]. 공통 LO 사용 시 일부 잡음은 down-conversion 과정에서 상쇄되지만, 독립 LO 사용 시 잡음이 간섭으로 남는다. 또한 multipath 환경에서는 subcarrier간 간섭과 spectral broadening이 발생하여 DLC 기반 상쇄 성능이 구조적으로 제한된다.

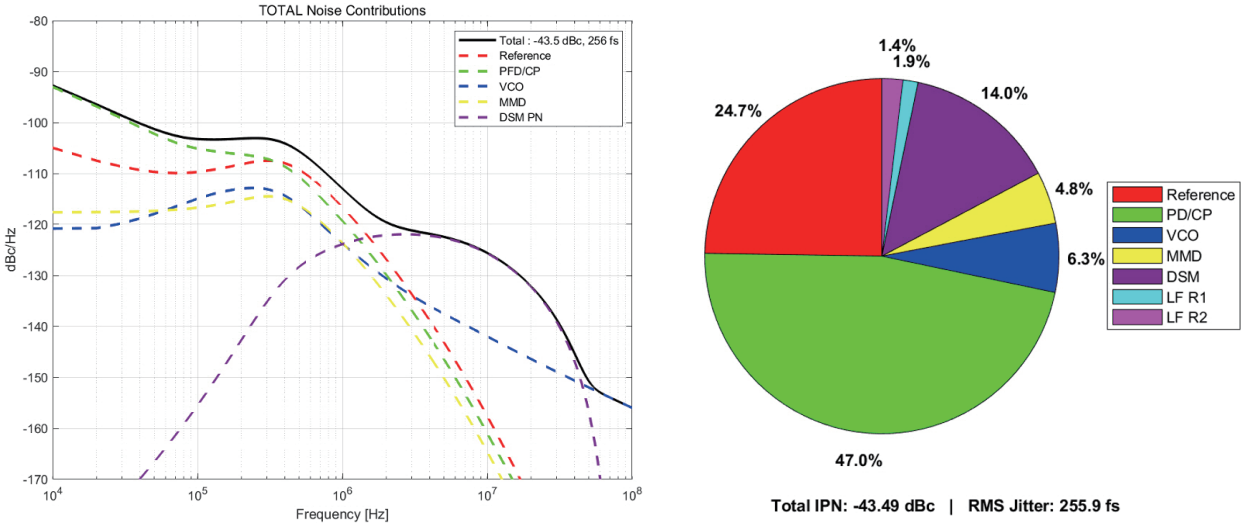
따라서 고성능 IBFD 시스템 구현을 위해서는 ultra-low-jitter oscillator 채택, 공통 LO 기반 동기화, phase noise 보정 알고리즘이 필수적이다. 이를 위해, 공통 LO를 위한 phase-locked loop (PLL)의 설계는 IBFD의 phase noise 특성과 직접적으로 연결된다. OFDM 기반 광대역 시스템에서는 RF PLL의 위상 잡음이 ICI를 유발하여 residual SI를 증가시키는 주요 원인이 된다[13]. 본 연구는 다양한 RF PLL 아키텍처의 위상 잡음 및 전력-지터 특성을 분석하고, IBFD에 적합한 RF PLL 구조를 비교 · 평가하였다[3-14].

최근에 출간된 연구를 기준으로 저잡음 RF PLL을 살펴보면 Figure of Merit (FoM)을 기준으로 네 가지 주요 유형으로 구분된다. 전통적인 PFD-CP 기반 RF PLL은 fractional 분주를 위한 Delta-Sigma Modulator(DSM) 기반의 분주기를 사용하여 jitter 개선에 한계가 있다. Digitally-to-Time Converter (DTC)-based sampling/subsampling PLL은 낮은 jitter(30~100 fs)와 중간 전력 소모로 최근에 많은 설계에 적용되고 있다. 그러나 DTC의 선형성, 잡음 개선 등의 이슈와 다양한 calibration의 필요성 등은 설계 난이도를 높이는 문제가 있다. Time-to-Digital Converter (TDC)-based digital RF PLL은 전력 효율은 우수하나 수백 fs의 jitter와 낮은 FoM으로 인해 IBFD 적용에는 한계가 있다. 기타 구조는 frequency tripler나 cascade topology를 적용하며 mmWave대역에 적합할 수 있다.

본 고에서는 강원대학교에서 IBFD 적용을 위한 sub-



〈그림 1〉 PFD-CP 구조 RF PLL의 블록도(설계 사례1)



(a)회로 시뮬레이션 결과에 기반한 PN 분석

(b)각 블록별 PN 기여도

〈그림 2〉 시뮬레이션 기반 PN 및 각 회로 성분 기여도 분석

10GHz RF PLL의 설계 사례로서 PFD-CP PLL과 DTC-based sampling PLL의 설계 이슈 및 성능을 제시하고, 구조적인 적용 가능성을 평가한다.

Ⅱ. 저잡음 RF PLL 설계

1. PFD-CP PLL (설계 사례1)

Fractional-N Charge-Pump PLL (Fractio- nal-N CP-PLL)은 DSM을 활용하여 높은 주파수 분해능을 제공하고, PFD-CP 기반의 루프 특성을 통해 넓은 튜닝 범위를 확보할 수 있는 장점을 지닌다. 그러나 sub-pico second 수준의 지터 이하로 위상 잡음을 개선하기 위해서는 다양한 회로 설계 이슈에 직면하게 된다. 강원대학교 설계 사례를 통해 저잡음 pll 설계 이슈를 살펴 보고 회피 방안에 대해 살펴본다.

〈그림 1〉은 Fractional-N CP-PLL 기반 주파수 합성기의 전체 블록 다이어그램을 나타낸다. reference 클럭은 on-chip DCXO(Digitally Controlled Crystal Oscillator), DCC(Duty Cycle Corrector) 및 주파수 더블러(Fdoubler)를 통해 생성 되며, Tri-state Phase-Frequency Detector (PFD)에 입력된다. PFD는 기준 신호와 피드백 신호의 위상 차이를 검출하며, 해당 출력은 Charge Pump(CP)를 통해 Loop Filter를 구동하고, Voltage Controlled Oscillator(VCO)를 통해 주파수를 변조한다.

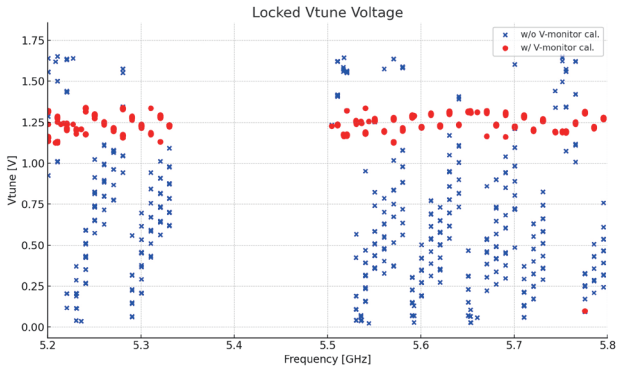
피드백 경로에는 멀티 모듈러스 분주기(MMD)를 사용하며, 이는 20bit 이상의 fractional 값을 랜덤 변조하는 디지털 시그마-델타 변조기(DSM)에 의해 제어되어 수 Hz 단위의 세밀한 주파수 분해능을 제공한다.

본 설계에서는 DSM 기반의 fractional-N CP-PLL에서는 위상 잡음을 개선하기 위해 기준 주파수를 체배하여 effective 분주비를 절반으로 줄이는 방식을 사용했다. 그러나 frequency doubling 회로에서 기준 클럭의 duty cycle이 이상적인 50%에서 벗어날 경우, 체배된 클럭의 even cycle과 odd cycle 간에 불균형이 발생하게 된다. 이로 인해 CP 회로와 상호작용하면서 DSM의 out-of-band 노이즈가 in-band 위상 잡음으로 folding되는 현상이 심화될 수 있다. 이를 개선하기 위해 duty cycle correction(DCC) 회로를 도입하여 클럭의 대칭성을 보정하였다.

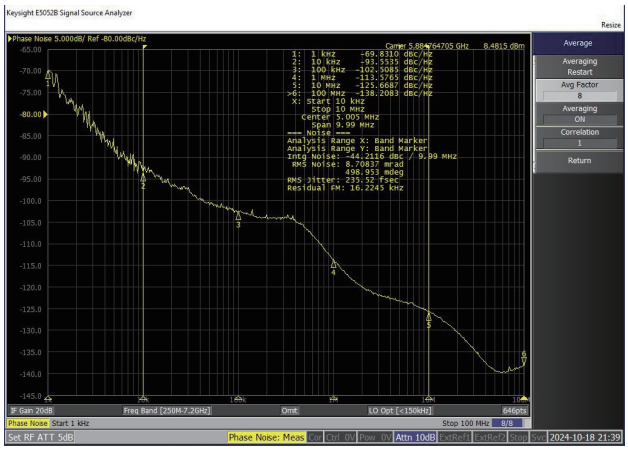
또한 CP-PLL의 위상 잡음을 개선하기 위해서는 CP 전류를 증가시켜 CP 노이즈의 영향을 줄일 필요가 있다. 그러나 전류값이 큰 CP 회로에서는 전류 스위칭 시 up 경로와 down 경로 간의 불일치(mismatch)가 커

지고, Vtune 전압에 따른 CP회로의 비선형성 변동이 DSM noise folding에 변동을 유발하여 위상잡음 특성의 Vtune 의존성을 발생시킨다. 이를 방지하기 위해 위상잡음을 유지하며 사용 가능한 Vtune 전압 범위가 제한되는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 전 채널에서 lock된 Vtune 전압 범위를 일정 수준으로 제한하고 보정할 수 있도록 전압 레인지 검출기(V-monitor) 기반의 캘리브레이션 회로를 설계하였다. 〈그림 3〉은 V-monitor 캘리브레이션을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 locked Vtune 결과를 측정한 결과이다.

설계된 칩은 CMOS 22nm 공정을 사용했으며, xtal 소자를 제외한 모든 회로는 on-chip에 구현하였다. 기준 클럭은 40MHz를 사용하였고, frequency doubling을 통해 80MHz가 PLL에 인가되었다. VCO는 6.7GHz에서 8.2GHz 대역으로 설계되었고, SSB mixing을 통한 LO 발생기를 통해 5~6GHz 대역의 LO 신호를 발생하도록



〈그림 3〉 V-monitoring 기반 알고리즘 적용의 측정 결과



〈그림 4〉 5.88GHz에서 SSB PN 측정 결과

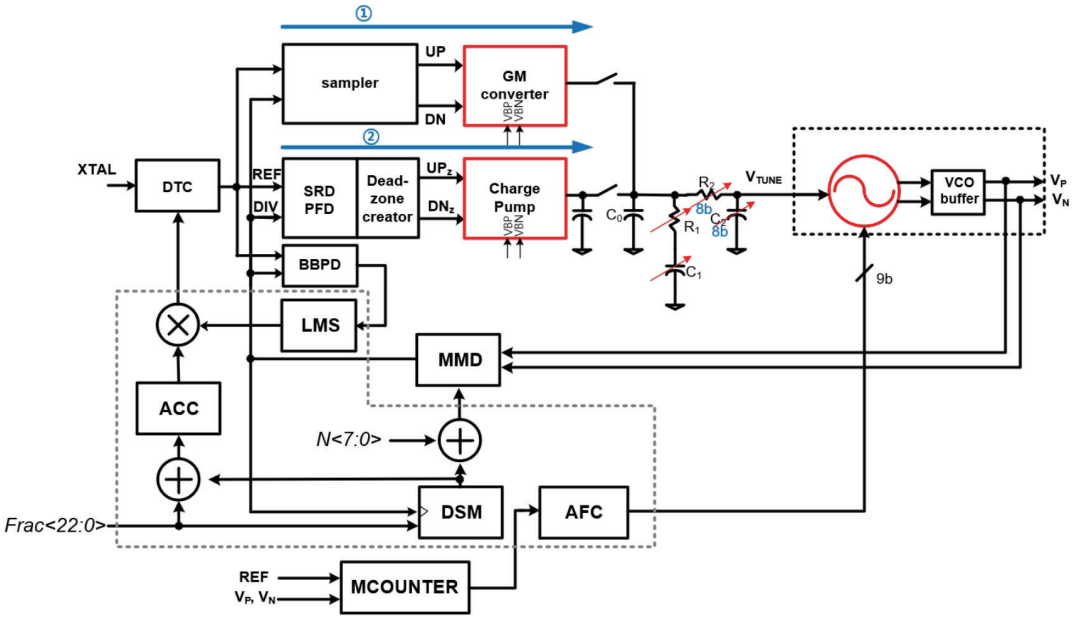
설계되었다.

2. DTC-based sampling PLL (설계 사례2)

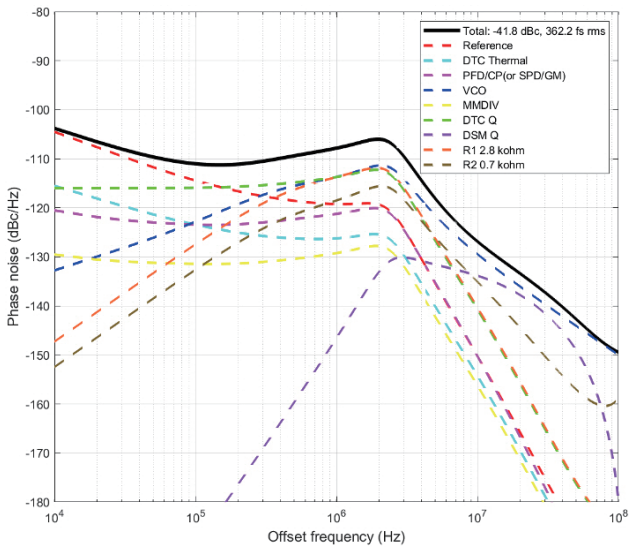
두 번째 설계는 DTC 기반 sampling PLL을 설계하였다. 기존의 PFD-CP PLL은 PLL 잡음을 줄이기 위해 PFD-CP의 이득을 키워야 하는데, 이를 달성하기 위한 방법은 CP 전류를 키우는 것이다. 그러나, 전술한 바와 같이 CP 전류를 일정값 이상 키우면 스위칭에 따른 dynamic mismatch가 커지고 전류 소모가 커지는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 구조로 sampling PLL이 제안되었고, sampler의 이득을 키우는 것이 상대적으로 수월하기 때문에 저잡음 PLL 설계에 유리한 것으로 판단된다.

Sampling PLL은 MMD를 사용하는 sampling PLL 구조와 MMD를 사용하지 않는 subsampling PLL 구조가 있는데, 두 구조 모두 lock range가 좁기 때문에 별도의 frequency lock을 위한 frequency-aided loop이 요구된다.

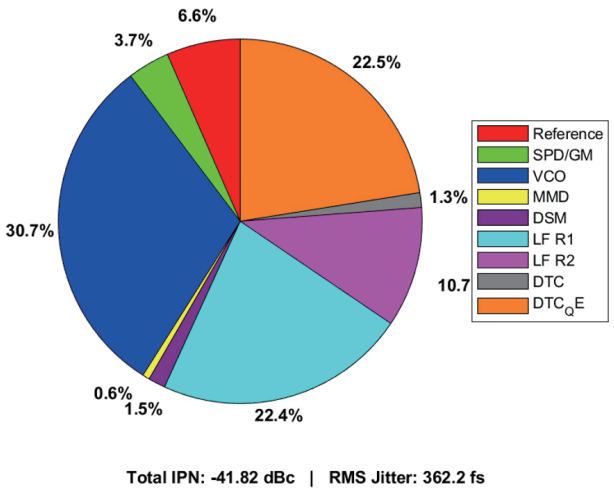
그림에 제시된 회로는 sampling 기반 위상-동기 루프(Sampling Phase-Locked Loop, Sampling PLL)의 구조를 나타내며, 고속 frequency lock과 낮은 위상 잡음 특성을 동시에 달성하기 위해 전통적인 CP-PLL 구조에 sampling 기법과 디지털 보정 경로를 융합한 형태로 구성된다. 입력 기준 클럭은 디지털 주파수-시간 변환기(Digital-to-Time Converter, DTC)를 통해 조정되며, 해당 신호는 sampling 경로와 정규 경로의 두 경로로 분기된다. 첫 번째 경로(①)는 샘플러(sampler)를 통해 입력 참조 신호와 VCO 피드백 신호의 시간 차이를 감지하고, 그 결과를 GM 변환기(GMconverter)를 통해 전류로 변환하여 루프 필터에 공급한다. 이 경로는 sampler 이득을 키워 PLL 잡음을 줄이는 데 효과적이다. 두 번째 경로는 skewed-reset delay를 갖는 PFD를 이용해 의도적인 dead zone을 갖는 PFD-CP PLL(②)을 구현하였다. PFD-CP PLL은 주파수를 추적하여 target 주파수를 위한 Vtune값을 설정하고, 일정 위상 오차 이내로 들어오면 PFD-CP loop은 자동으로 기능을 멈추고 sampling loop이 동작한다.



〈그림 5〉 DTC-based sampling PLL의 블록도(설계 사례2)



(a)회로 시뮬레이션 결과에 기반한 PN 분석



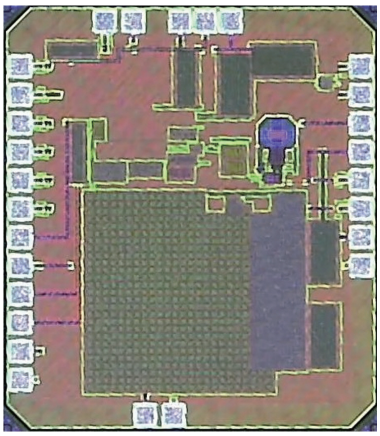
(b)각 블록별 PN 기여도

〈그림 6〉 시뮬레이션 기반 PN 및 각 회로 성분 기여도 분석

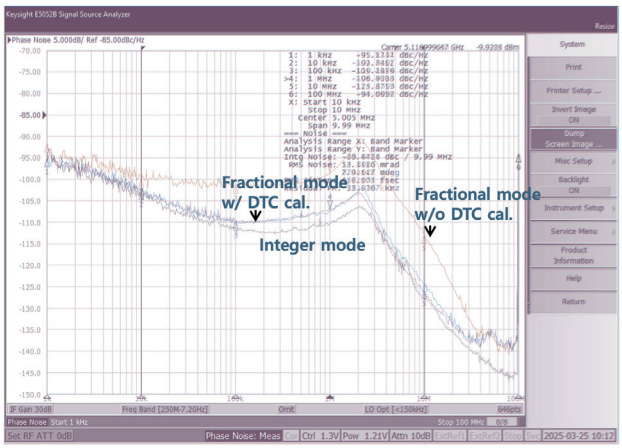
루프 필터는 3차 구조로 설계되며, R1-C1 및 R2-C2로 구성된 네트워크는 고주파 위상 잡음 억제를 위한 zero 및 pole을 형성한다. 디지털 경로에서는 fractional-N 분주를 위한 고차 시그마-델타 변조기(DSM)와 누산기(ACC), 학습 기반의 LMS(Locked-Mode Search) 알고리즘이 적용되어 BBPD(Bang-Bang Phase Detector) 출력을 기반으로 주파수 초기 정렬 및 DTC의 gain 오차 추정을 수행한다.

이와 함께 MMD(Multi-Modulus Divider)와 AFC(Automatic Frequency Calibration)는 광범위한 락 범위와 빠른 락-인 성능을 보장한다.

설계된 칩은 CMOS 65nm 공정을 사용했으며, 〈그림 7〉은 제작된 칩의 die photo이다. 저잡음 신호발생기를 이용해 100MHz 기준 클럭을 공급하였다. VCO



〈그림 7〉 제작된 칩 사진



〈그림 8〉 SSB PN 측정 결과

는 9.5GHz에서 11GHz 대역으로 설계되었고, divider-by-2를 통해 4.7~5.5GHz 대역의 LO 신호를 발생하도록 설계되었다.

〈그림 8〉은 제작된 sampling PLL의 SSB 위상잡음 측정결과이다. 5100MHz integer 모드에서 측정된 위상잡음을 기준으로 해서 DTC gain calibration이 적용된 경우의 위상잡음과 DTC gain calibration이 적용되지 않은 경우의 위상잡음을 비교 plot하였다. DTC gain calibration은 DSM의 양자화잡음을 기반으로 DTC의 1LSB당 delay 조절값을 조정하여 DSM에 의해 유발된 위상 변동을 추적, 제거하도록 하는 알고리즘이며, 알고리즘 오차가 있는 경우 DSM 양자화 잡음이 제거되지 않고 남게 되어, 위상 잡음의 열화를 가져온다. 본 설계에서는 앞서 위상 잡음 기여도 분석한 결과에서 알 수 있는 바와 같이 VCO의 이득이 크게 설계되어 loop filter의 저항 잡음의 기여도가 크게 보이는 문제가 있었다. 이에 따라 VCO 이득을 줄이고, loop filter의 영향을 제거한다면 PFD-CP PLL의 위상잡음 특성보다 개선된 결과를 보일 수 있을 것이다.

III. 결론과 전망

본 연구에서는 차세대 무선 통신 시스템의 핵심 기술로 주목받고 있는 In-Band Full-Duplex (IBFD)환경에서 요구되는 저위상잡음 RF PLL 구조에 대해 고찰하고, 강원대학교의 실제 칩 설계 사례를 통해 두 가지 대표적인 PLL 아키텍처의 성능 및 설계 이슈를 분석하였다.

첫 번째 사례로 제시된 PFD-CP 기반 fractional-N PLL은 넓은 튜닝 범위와 높은 주파수 분해능을 제공할 수 있는 장점을 가지지만, DSM 기반의 노이즈 folding 문제, CP 전류 증가에 따른 mismatch 및 비선형성 등의 설계 난점이 존재하였다. 이를 보완하기 위해 DCC, V-monitor 기반 캘리브레이션 회로 등의 보조 회로를 설계하여 안정적인 Vtune 동작 영역 확보와 잡음 개선을 도모하였다.

두 번째로 소개된 DTC 기반 sampling PLL은 샘플러의 이득 증폭을 통해 위상 잡음 특성을 개선할 수 있으며, PFD-CP 루프와 하이브리드 형태로 구성하여 락 속도와 위상 잡음을 동시에 만족시킬 수 있는 구조로 구현되었다. 특히 DTC gain calibration 알고리즘을 통해 DSM 양자화 잡음을 보상하고 위상 잡음 열화를 억제할 수 있었다.

비교 결과, sampling PLL은 상대적으로 낮은 위상 잡음과 전력 효율을 달성할 수 있는 구조로, 고성능 IBFD 시스템의 송수신 공통 LO에 적합한 아키텍처임을 확인하였다. 다만, calibration 및 loop 안정성 확보를 위한 회로 복잡도는 설계 부담으로 작용할 수 있으며, 이를 극복하기 위한 자동화된 보정 기법과 구조적 간소화 연구가 병행되어야 한다.

이를 바탕으로 향후 확보하고자 하는 기술은 다음과 같다.

- Sub-6GHz 및 mmWave 대역을 아우르는 초광대역 Full-Duplex 시스템에 대응 가능한 PLL 구조의 다중 대역화(Multi-Band)설계
- AI/ML 기반의 실시간 보정 및 제어 알고리즘
- Ultra-Low Jitter RF PLL의 시스템 통합 최적화 설계

또한, 실제 통신 시스템에서의 통합 성능 평가 및 실시간 전파 환경에서의 잔류SI 제거 한계 분석, RFimpairment 보정 기법과의 통합 설계를 통해, 이론적 성능을 실용적인 수준으로 이끌어 내는 것이 차세대 IBFD 시스템 상용화를 위한 중요한 과제가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 슈프림 마이크로 코리아(주)와 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00221494).

참고문헌

[1] V. Syrjala, M. Valkama, L. Anttila, T. Riihonen, and D. Korpi, "Analysis of oscillator phase-noise effects on self-interference cancellation in full-duplex OFDM radio transceivers," IEEE Trans. Wireless Commun.,vol. 13, no. 6, pp. 2977-2990, Jun. 2014.

[2] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo, D. W. Bliss, S. Rangarajan, and R. Wichman, "In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities, " IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, Sep. 2014.

[3] Y.-L. Hsueh et al., "A 0.29mm^2 frequency synthesizer in 40nm CMOS with 0.19psrms jitter and <-100dBc reference spur for 802.11ac," in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2014, pp. 472-474.

[4] F. Song, Y. Zhao, B. Wu, L. Tang, L. Lin, and B. Razavi, "A fractional-N synthesizer with 110fsrms jitter and a reference quadrupler for wideband 802.11ax," in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2019, pp. 264-266.

[5] G. Vlachogiannakis et al., "A self-calibrated fractional-N RF PLL for WiFi 6/802.11ax in 28nm FDSOI CMOS," in Proc. 45th Eur. Solid-State Circuits Conf. (ESSCIRC), Cracow, Poland, 2019, pp. 105-108.

[6] A. Santiccioli et al., "A 66-fs-rms jitter 12.8-to-15.2-GHz fractional-N bang-bang RF PLL with digital frequency-error recovery for fast locking," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 55, no. 12, pp. 3349-3361, Dec. 2020.

[7] W. Wu et al., "A 28-nm 75-fsrms analog fractional-N sampling RF PLL with a highly linear DTC incorporating background DTC gain calibration and reference clock duty cycle correction," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 54, no. 5, pp. 1254-1265, May 2019.

[8] M. Mercandelli et al., "A 12.5GHz fractional-N type-I sampling RF PLL achieving 58fs integrated jitter," in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2020, pp. 274-276.

[9] C.-W. Yao et al., "A 14-nm 0.14-psrms fractional-N digital RF PLL with a 0.2-ps resolution ADC-assisted coarse/fine-conversion chopping TDC and TDC nonlinearity calibration," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 52, no. 12, pp. 3446-3457, Dec. 2017.

[10] M. B. Dayanik, N. Collins, and M. P. Flynn, "A 28.5-33.5GHz fractional-N RF PLL using a 3rd order noise shaping time-to-digital converter with 176 fs resolution," in Proc. 40th Eur. Solid-State Circuits Conf. (ESSCIRC), Sept. 2015, pp. 376-379.

[11] W. Wu, R. B. Staszewski, and J. R. Long, "A 56.4-to-63.4 GHz multi-rate all-digital fractional-N RF PLL for FMCW radar applications in 65 nm CMOS," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 49, no. 5, pp. 1081-1096, May 2014.

[12] E. Thaller et al., "A K-band 12.1-to-16.6GHz subsampling AD RF PLL with 47.3fsrms jitter based on a stochastic flash TDC and coupled dual-core DCO in 16nm FinFET CMOS," in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2021, pp. 451-453.

[13] D. Turker et al., "A 7.4-to-14GHz RF PLL with 54fsrms jitter in 16nm FinFET for integrated RF-data-converter SoCs," in

Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2018, pp. 378-380.

[14] J. Kim et al., "A 76fsrms jitter and -40 dBc integrated-phase-noise 28-to-31GHz frequency synthesizer based on digital subsampling RF PLL using optimally spaced voltage comparators and background loop-gain optimization," in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, San Francisco, Feb. 2019, pp. 258-259

윤지섭

• 2025년 2월 강원대학교 IT대학 전기전자공학과 학사
• 2025년 3월 ~ 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 석사과정

〈관심 분야〉
Low-jitter RF frequency synthesizer, High-speed memory interface circuits.

황인철

• 1993년 2월 고려대학교 공과대학 전자전산공학과 학사
• 1995년 8월 고려대학교 전자공학과 석사
• 2000년 2월 고려대학교 전자공학과 박사
• 2000년 10월 ~ 2001년 10월 미국 Univ. of Illinois, Ubrana-Champaign, Coordinated Science Lab. 연구원
• 2001년 11월 ~ 2007년 2월 삼성전자 RF개발팀 TL
• 2007년 3월 ~ 현재 강원대학교 전기전자공학과 교수
• 2013년 1월 ~ 현재 IEEE Senior Member

〈관심 분야〉
Low-jitter RF frequency synthesizer, High-speed serial interface circuits, Digitally-controlled PMIC(LDO, DCDC)

문제철

• 2006년 2월 숭실대학교 정부통신전자공학부 학사
• 2008년 2월 숭실대학교 전자공학과 석사
• 2008년 1월 ~ 2019년 5월 Silicon Motion Company (FCI), Principal Reserch Engineer
• 2019년 6월 ~ 2021년 9월 Dialog Semiconductor, Principal RF/Analog Design Engineer
• 2021년 9월 ~ 2024년 5월 Renesas Electronics, Radio Design Team Lead
• 2024년 6월 ~ 현재 슈프림마이크로코리아, Senior Staff RF/Analog Design Engineer

〈관심 분야〉
High performance PLL/Frequency Synthesizer, Wireless system (Wi-Fi, BLE), RF/Analog calibration, High-speed serial interface, Power management and analog circuit design for SoC.

In-Band Full Duplex Radio를 위한 RF영역 자기간섭신호 제거 기술 동향

박승영
강원대학교

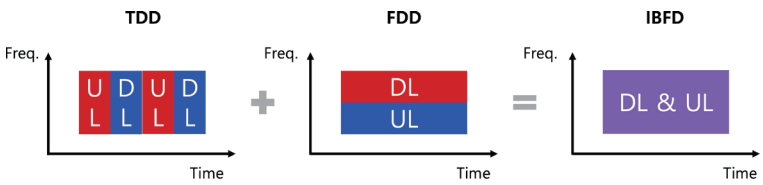
지민구
강원대학교

Ⅰ. 서 론

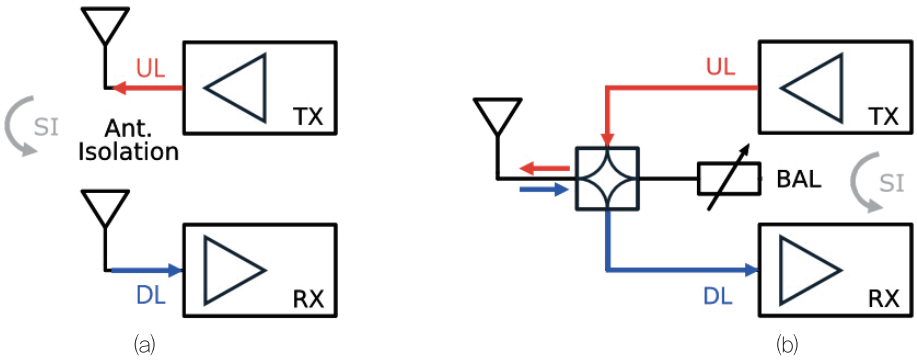
최근 스마트폰, 태블릿, 사물인터넷(IoT) 디바이스의 광범위한 보급과 맞물려 온라인에서 생성되고 소비되는 데이터의 양이 전례 없이 증가하고 있어, 통신 네트워크에 막대한 부담이 가해지고 있다[1]. 한정된 무선 자원을 고려할 때, 이를 보다 효율적으로 활용하기 위해 6G 같은 차세대 네트워크의 도입이 시급한 상황이다.

1. IBFD 기술의 등장

기존의 TDD(Time Division Duplex)와 FDD(Frequency Division Duplex) 방식은 송신과 수신신호를 시간이나 주파수로 분리해 자기간섭(Self-Interference, SI)을 최소화하도록 설계되었으나, 한정된 스펙트럼 자원을 최대한 활용하기에는 한계가 있다[2]. 이를 극복하기 위해 IBFD(In-Band Full-Duplex) 시스템이 제안되었는데, DL(Downlink)과 UL(Uplink) 데이터를 같은 주파수 대역에서 동시에 전송하여 스펙트럼 효율을 극대화할 수 있다고 한다[3-5]. 〈그림 1〉은 TDD, FDD와 IBFD 시스템의 스펙트럼 효율을 비교하고 있으며, 이를 통해 현재 통신 네트워크 용량을 잠재적으로 두 배로 늘릴 수 있음을 예상할 수 있다[6][7]. 그러나, IBFD 시스템 구현의 가장 큰 난관은 동일 주파수 대역 내에서 상대적으로 매우 큰 송신신호에 의해 수신신호



〈그림 1〉 TDD, FDD 및 IBFD 시스템의 스펙트럼 효율 비교



〈그림 2〉 TX/RX를 별도의 안테나로 분리하는 방식 (a)과 단일 안테나를 사용하는 방식 (b)

의 수신을 방해받는 SI 문제이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 SI를 완화할 수 있는 혁신적 기술이 필요하다.

2. IBFD를 위한 RF SIC

IBFD 시스템의 원활한 동작을 위해서는 TX(Transmitter)에서 RX(Receiver)로 누출되는 강한 SI 신호를 극도로 억제하고 제거해야 한다. 이는 RF(Radio Frequency) 영역뿐만 아니라 Analog 및 Digital 영역에서도 이루어져야 한다[5][8].

〈그림 2(a)〉는 TX와 RX를 각각 별도의 안테나로 수행하는 IBFD 시스템 구조를, (b)는 단일 안테나로 동시에 송수신하는 구조를 보여준다. 소형 디바이스에서는 단일 안테나를 사용하는 공유 방식인 (b) 구조가 선호되므로, TX와 RX 신호를 효과적으로 분리하기 위해 EBD(Electrical Balance Duplexer)나 Circulator와 같은 전용 프론트엔드가 필수적이다[4][9-12]. 특히, EBD는 하이브리드 트랜스포머와 밸런스 네트워크를 결합해 신호를 분리 및 결합하여 RF SI를 감소시킨다. 구체적으로, 네트워크 임피던스를 안테나 임피던스와 매칭하기 위해 네트워크의 캐패시터 뱅크를 미세 조정하여 TX-RX 격리도를 최대화 한다[10][13].

여기에서는, IBFD 시스템의 핵심 문제 중 하나인 RF SI 제거를 위한 기존 기법들을 소개하고, 이들이 가진 한계를 설명한다. 이후 장에서는 IBFD 시스템의 구조와 EBD의 역할, 그리고 EBD 내 임피던스 매칭 최적화를 위한 선행 연구들을 자세히 살펴본다.

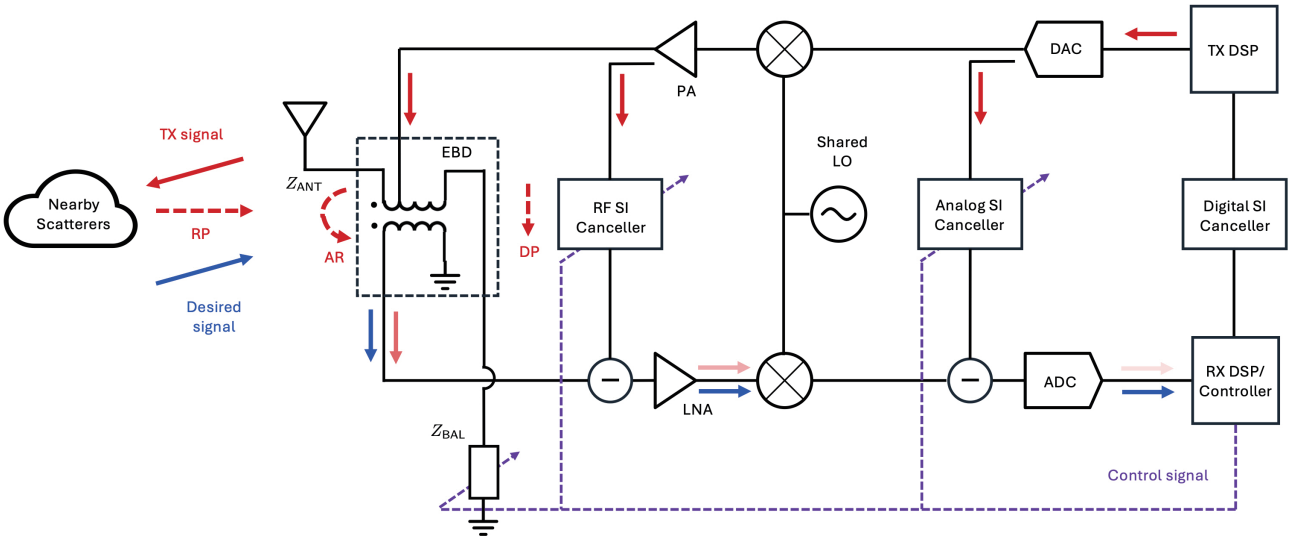
Ⅱ. IBFD 시스템 개요

1. 단일 안테나 IBFD 시스템

〈그림 3〉은 EBD가 결합된 단일 안테나 IBFD 시스템의 기본 구조를 보여주며, 이 구조에는 RF, Analog, Digital SIC(Self-Interference Canceller)가 포함되어 있다. 이 그림에서 EBD를 통해 TX에서 RX로 이어지는 직접 경로(Direct Path, DP) 신호와 안테나와 인터페이스 간 임피던스 매칭 문제로 인한 안테나 반사(Antenna Reflection, AR) 경로 신호가 존재한다[14].

DP와 AR 신호는 SI의 가장 주된 구성 요소이며, 여기에 주변 산란체에 의한 다중 경로 반사(Reflection Path, RP) 신호가 추가된다. 상대적으로 정적인 DP 신호와는 달리, 주변 환경에 영향을 받는 동적인 AR과 RP 신호는 적응 알고리즘을 이용한 제거가 필요하다[15]. 이때, 일반적으로 Digital 도메인에서 SI 채널의 스펙트럼을 측정하고 이를 기반으로 EBD와 RF/Analog/Digital SIC를 수행한다.

〈그림 3〉으로부터 안테나와 밸런스 네트워크가 EBD의 하이브리드 트랜스포머에 연결됨을 알 수 있다. 이러한 구조를 통해, EBD는 밸런스 네트워크의 임피던스를 안테나 임피던스와 매칭시켜 SI를 제거하는 방식으로 동작한다. 이때, 밸런스 네트워크의 임피던스는 네트워크 내부의 캐패시터 뱅크를 구성하는 가변 캐패시터의 캐패시턴스 값을 미세 조정하여 조정한다[16]. 또한, EBD를 통해 완벽하게 SI를 제거할 수 없으므로, 추가적으로 Analog 및 Digital SIC를 적용한다[17][18].



〈그림 3〉 단일 안테나 IBFD 시스템 블록도

2. MIMO IBFD 시스템

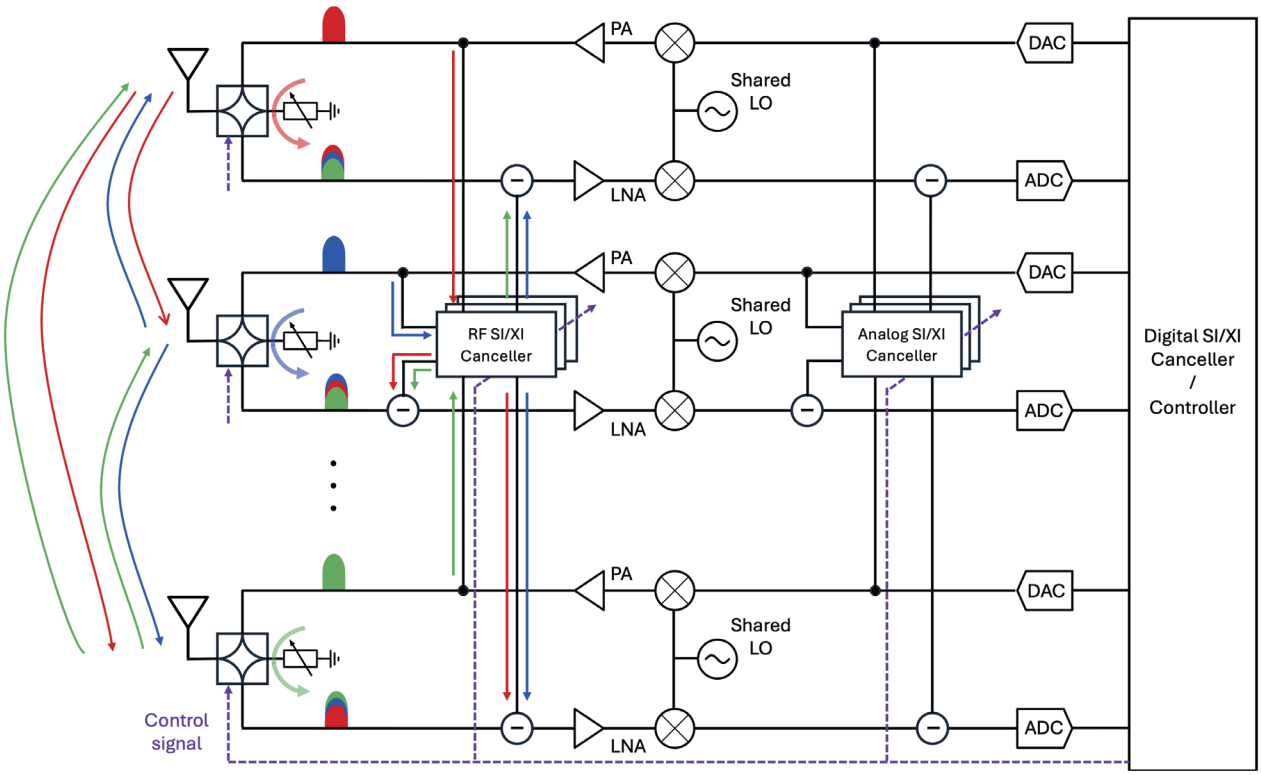
6G와 같은 차세대 무선 네트워크에서는 IBFD 기능을 MIMO(multiple input multiple output) 시스템에 결합하여 물리 계층에서 데이터 전송 속도와 스펙트럼 효율을 크게 높일 수 있을것으로 기대된다[19]. 그러나 MIMO 시스템에 IBFD를 결합하려면, 각 TX에서 그에 대응되는 RX로 전달되는 간섭과 모든 TX와 RX 쌍 간의 XI(cross interference) 라는 두 가지 주요 SI에 대응해야 한다.

〈그림 4〉는 N개의 안테나를 갖는 MIMO-IBFD 시스템을 보여준다. 이 그림으로부터, 각 TX에서 해당 RX로 발생하는 SI와, 서로 다른 안테나 간의 XI를 동시에 제거해야함을 알 수 있다. 즉, N2개의 SIC를 필요로 하므로 전체적인 시스템의 복잡도를 크게 높이는 문제가 발생한다[6][14][20]. 또한, SI는 상대적으로 정적인 DP 신호와 동적으로 변화하는 AR 및 RP 신호로 구성되어 있으므로, RF/Analog/Digital SIC에서는 각각의 계수를 적응적으로 조정해야 하므로 수렴 시간이 매우 커진다는 문제가 존재한다. 이러한 구현상의 복잡성 때문에 실제 구현된 MIMO IBFD 시스템에서는 보통 두개의 안테나를 사용하였다[8][20-22].

안테나 수가 증가함에 따라 SIC의 복잡성이 증가하자, 이를 줄이기 위한 다양한 구조가 제안되었다. 대표적인 방법으로는 Null-Space Projection, Orthogonal Subspace[23-25], Antenna Subset Selection[26][27], Zero-Forcing Beamforming[28][29], Joint TX RX Beam Selection[30][31], MMSE(Minimum Mean Squared Error) Filter 기법[32-34] 등이 있다.

ISAC(Integrated Sensing and Communication)는 무선 통신과 센싱 기능을 하나의 통합된 프레임워크로 결합한 신개념 패러다임으로, 6G와 같은 차세대 네트워크의 효율성과 기능성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다[10][35][36]. ISAC는 IBFD 기술을 이용하여 송수신을 동시에 수행할 수 있어 통신과 센싱 작업을 동일한 주파수 자원에서 효과적으로 수행할 수 있다. 다만, ISAC의 구현은 현재 단일 안테나 IBFD 시스템에 머무르고 있어, MIMO 구성에서 제공할 수 있는 높은 데이터 전송률과 스펙트럼 효율의 잠재력을 충분히 실현하지 못하고 있다[10][37][38].

또한, IBFD 기술은 massive MIMO 시스템으로 확장되어, 다양한 무선 네트워크 구조에서 그 활용 가능성을 입증하고 있다[19]. 예를 들어, 다중 안테나 기지국과 단일 안테나 사용자를 갖는 구성을 고려할 수 있다. 이 경우, 단말기는 UL 훈련 신호를 전송하고 기지국은 SIC를 수행하여 지속적으로 각 사용자의 채널 상태를 갱신하고 이를 이용해 산출된 DL 프리코딩 행렬을 이용해 DL 신호를 전송한다. 또한, 사용자는 SIC를 수행하여 이를 수



〈그림 4〉 MIMO IBFD 시스템 블록도

신한다[39-41].

그러나, 이러한 기법들은 이상적인 RF/Analog SIC가 적용되었다는 가정 하에 Digital 영역에서의 SIC 기법을 제안하였다는 한계가 존재한다. 즉, 여전히 RF/Analog SIC의 구현 복잡도 및 수렴 시간 문제는 해결되지 않았으며 이는 MIMO IBFD 시스템 구현에 있어 가장 큰 장애물이다.

Ⅲ. RF SIC 관련 연구

1. 적응 알고리즘 기법

이 장에서는 단일 안테나 IBFD 시스템에서 EBD 밸런스 네트워크의 임피던스를 조정하기 위해 사용된 적응 알고리즘 기법들을 소개한다.

이들 기법들 중 하나로, 가변 캐패시터와 인덕터로 구성된 트리플-π 밸런스 네트워크에 대한 임피던스 매칭 기법이 제안되었다[9]. 전체 시스템 대역에서 실측된 안테나 임피던스 값들에 대하여, TX-RX 격리도를 최소화하는 MMSE 최적화를 수행하였다. 이때, 가변 캐패시턴스가 조정되는 값의 범위에 제한없다는 가정하에 최적화를 수행하였다. 그러나, 이 기법에서는 전체 대역에 걸쳐 적분을 이용해 TX-RX 격리도를 최소화하였으므로 현실적이지 않다는 한계가 있다.

직교 검색 기법을 이용해 하이브리드 링 커플러 타입의 EBD에서 TX-RX 격리도를 최적화하는 기법이 제안되었다[42]. 이 방식은 밸런스 네트워크 포트에서 반사 계수를 조절하기 위해 두 개의 전압 제어 가변 저항기의 전압을 제어하는 방식이다. 구체적으로, Smith 차트의 I-Q 평면에서 단 두 번의 스윕(하나는 I축, 다른 하나는 Q축)을 통해 안테나와 밸런스 네트워크의 반사 계수를 정렬해 단일 최적점을 찾는다. 이러한 방식은 튜닝 과정을 단순화하고 디지털 제어 방식에서 일반적으로 요구되는 계산 및 메모리 부담을 줄여주지만, 목표 주파수에 대한 최적점을 찾는 방식으로 전체 시스템 대역에 걸친 TX-RX 격리도 최적화를 고려하지 않았다.

이 방식을 확장하여 PIN 다이오드로 제어되는 밸런스

네트워크의 임피던스를 조정하는 저복잡도 제어 기법이 제안되었다[43]. 이 기법은 두 개의 RF 전력 검출기를 이용해 커플러의 송신 및 수신 포트에서 전력을 측정하여 TX-RX 격리도를 측정하였다. 처음에는 기존 방식과 같이 스윕 모드를 채택하다가, 최적점을 확인하면 미세 조정을 수행하는 트랙 모드로 전환된다. 이러한 연속적인 임피던스 조정은 통신 중단을 최소화하면서 실시간으로 TX-RX 격리를 최적화할 수 있다고 한다. 다만, 이 방식도 전체 시스템 대역이 아닌 단일 주파수에 대한 최적점만을 고려하였다는 한계가 있다.

EBD 시스템의 밸런스 네트워크의 임피던스를 4개의 8비트 디지털 제어 캐패시터 뱅크를 사용하여 조정하는 방식이 제안되었다[16]. 이 방식은 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 이용하여, 약 40억 개의 생성가능한 캐패시터 뱅크 조합 중 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 를 최소화하는 최적의 조합을 찾는다. PSO는 무작위로 생성된 입자 집단을 기반으로 각 입자가 자신의 최적 위치와 전체 집단의 최적 위치 정보를 활용하여 속도와 위치를 지속적으로 업데이트함으로써 최적 해에 수렴하는 전역 최적화 기법이다[44]. 그러나, 이 기법은 초기 입자 집단의 구성에 따라 수렴 속도가 크게 차이가 나는 한계가 존재한다.

ATU(Antenna Tuning Unit)와 밸런스 네트워크를 구성하는 가변 캐패시터와 인덕터를 조정하여 임피던스를 매칭하는 기법이 제안되었다[13]. 이 기법에서는 0에서 3V 사이의 전압을 10단계로 나누어 제어 전압을 정밀하게 조절하여 캐패시턴스와 인덕턴스 값을 미세 조정할 수 있게 했고, DLS(Dithered Linear Search) 알고리즘을 이용하여 ATU와 밸런스 네트워크 간의 임피던스 매칭을 수행하여 RSSI를 최소화하는 제어 전압 조합을 찾음으로써 TX-RX 격리도를 최적화 하였다.

DLS 알고리즘은 후보 해를 반복적으로 개선하여 특정 목적 함수의 최적 값을 찾는 경사 하강법 기반의 방법이다[45]. 이 알고리즘은 탐색 과정 중 제어 계수 벡터에 미세한 섭동을 추가하여 탐색 공간 중 일부를 측정한 후, 각 파라미터에 추가된 섭동과 목적 함수 값 간의 상관관계를 이용해 경사를 추정하고 제어 계수를 갱신한다. 이를 통해 DLS 알고리즘은 제어 계수를 반복적으로 갱신하여 최적 해에 점진적으로 수렴한다. 즉, 수렴에 매우 긴 시간이 필요하다는 한계가 있다.

DLS 방식의 중요한 장점은 임피던스 매칭 회로의 내부 구조를 알 필요 없이, 입력인 제어 계수 조합과 이에 대응되는 출력인 RSSI만으로 최적화를 수행할 수 있다는 것이다. 이러한 장점을 이용하여 Tapped Delay Line으로 구성된 RF SIC의 계수 조정이 가능함을 보였으나 이 또한, 매우 긴 수렴시간이 필요하다는 한계가 있다[46].

2. 신경망 기법

이 장에서는 수렴 시간 문제를 극복하기 위해 사용된 신경망 기법들을 소개한다.

IBFD 시스템에서 VM(Vector Modulator) 기반의 RF SIC의 성능 향상을 위해 신경망을 적용하는 기법이 제안되었다[47-49]. 이 기법은 RF SIC에 신경망을 적용한 최초의 사례이다. SI 채널의 스펙트럼이 입력되면, 신경망은 VM의 제어를 위한 초기 계수 값을 결정하고, 이후 DLS 알고리즘을 통해 이를 미세 조정하였다.

이 기법은 신경망의 초기 계수 값 추정 능력과 DLS의 미세 조정 기능을 결합하여, 무작위로 초기값을 설정하는 방법[50]보다 빠르고 정확하게 VM의 제어 계수를 추정할 수 있음을 하드웨어를 이용한 실험을 통해 입증하였다. 다만, 이 연구에서는 신경망이 VM의 초기 계수값 결정에만 활용되었기 때문에, 신경망의 잠재력을 전 과정에 걸쳐 충분히 활용하지는 못한 것으로 보인다. 또한, 하드웨어 기반의 채널 Emulator을 이용해 2개 경로(즉, 직접 경로와 반사경로)로 한정된 SI 채널만을 이용하여 실험을 수행하였으므로 실제 SI 채널환경에서의 성능을 검증할 필요가 있다.

EBD의 임피던스 매칭을 최적화하기 위한 신경망 기반 기법이 제안되었다[51]. 이 기법은 캐패시터 뱅크의 제어 비트 조합을 조정하여 TX-RX 격리도를 최적에 근접하는 수준으로 향상시켰다. 제안된 신경망 모델은 다양한 캐패시터 뱅크의 제어 비트 조합으로 구성된 방대한 탐색 공간 내에서 후보 조합의 확률을 효율적으로 산출하고, 상위 k개의 후보만을 선택함으로써 탐색 공간을 크게 축

소하여 임피던스 매칭 과정을 빠르게 수행할 수 있다. 시뮬레이션 결과, 이 기법은 최적에 가까운 TX-RX 격리 성능(평균 격리 손실 0.18dB 이내)을 달성함으로써 그 효과를 입증하였다. 특히, 특정 캐패시터 뱅크 구조에서 전체 탐색 공간을 약 43억 개에서 256개로 축소함으로써 빠른 수렴을 가능하게 하였다. 다만, 이 연구에서는 안테나 임피던스를 시뮬레이션을 통해 수집하였고, 밸런스 네트워크를 구성하는 캐패시터 뱅크 또한 기생소자가 존재하지 않는 이상적인 회로로 가정하였기에 실제 하드웨어에서의 성능을 검증할 필요가 있다.

Ⅳ. 결론

여기서는 IBFD 통신 시스템에서 발생하는 RF 영역 SI 문제를 해결하기 위한 다양한 기법들을 종합적으로 검토하였다. 전통적인 TDD 및 FDD 방식의 한계를 극복하기 위해 IBFD 기술이 제안되었지만, 송신신호가 수신신호에 미치는 간섭 문제는 여전히 극복해야 할 중요한 과제로 남아 있다.

기존의 적응 알고리즘 기반 기법들(예: MMSE, DLS, PSO 등)은 각 기법마다 장단점이 있으나, 전체 대역폭에서 최적의 격리를 달성하는 데 한계가 있거나, 수렴 시간의 문제가 있다. 이에 반해, 신경망을 활용한 접근법은 후보 구성의 탐색 공간을 크게 축소시킴으로써 빠르고 안정적인 임피던스 매칭을 가능하게 한다. 최근 제안된 신경망 기반 기법들은 IBFD 시스템의 RF SI 제거 성능을 상당히 향상시킬 수 있음을 보여주었으나, 실제 환경에서의 성능 검증과 하드웨어 구현 측면에서는 추가적인 연구가 필요하다.

앞으로 IBFD 시스템의 상용화와 차세대 네트워크 도입을 위해서는, 실시간 환경 변화에 빠르게 대응할 수 있는 RF SI 제거 기술의 지속적인 개선이 요구된다. 또한, 신경망 기반 기법의 성능과 계산 복잡도를 더욱 최적화하고, 실제 무선 채널과 하드웨어 조건을 반영한 연구가 수행되어야 한다. 여기에서 다룬 다양한 기법과 연구 동향은 향후 IBFD 시스템의 효율적인 구현 및 발전을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00221494).

참고문헌

[1] V. K. Quy et al., "Innovative Trends in the 6G Era: A Comprehensive Survey of Architecture, Applications, Technologies, and Challenges," IEEE Access, vol. 11, pp. 39824-39844, Apr. 2023.

[2] S. K. Sharma et al., "Dynamic Spectrum Sharing in 5G Wireless Networks with Full-Duplex Technology: Recent Advances and Research Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 1, pp. 674-707, Jan.-Mar. 2018.

[3] T. Zhang et al., "A 1.7 to 2.2GHz Full-Duplex Transceiver System with >50dB Self-Interference Cancellation over 42MHz Bandwidth," in Proc. IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, CA, Feb. 2017, pp. 314-315.

[4] N. Reiskarimian et al., "Highly-Linear Integrated Magnetic-Free Circulator-Receiver for Full-Duplex Wireless," in Proc. IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, CA, Feb. 2017, pp. 316-317.

[5] T. Chen et al., "A Survey and Quantitative Evaluation of Integrated Circuit-based Antenna Interfaces and Self-Interference Cancellers for Full-Duplex," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 2, pp. 1753-1776, Jul. 2021.

[6] D. Bharadia et al., "Full Duplex Radios," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 43, no. 4, pp. 375-386, Aug. 2013.

[7] A. Sabharwal et al., "In-Band Full-Duplex Wireless: Challenges and Opportunities," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, Sep. 2014.

[8] B. Smida et al., "In-Band Full-Duplex: The Physical Layer," Proceedings of the IEEE, vol. 112, no. 5, pp. 433-462, May

2024.

[9] L. Laughlin et al., "Electrical Balance Isolation for Flexible Duplexing in 5G Mobile Devices," in Proc. IEEE International Conference on Communication Workshop, London, United Kingdom, Jun. 2015, pp. 1071—1076.

[10] S. A. Hassani et al., "In-Band Full-Duplex Radar-Communication System," IEEE Systems Journal, vol. 15, no. 1, pp. 1086—1097, Mar. 2021.

[11] P. Kang and J. Han., "Dual-Band CMOS RF Front-End Employing an Electrical-Balance Duplexer and N-path LNA for IBFD and FDD Radios," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 7, pp. 3528—3539, Jul. 2021.

[12] K. Shi et al., "Design and Analysis of an Electrical Balance Duplexer with Independent and Concurrent Dual-Band TX-RX Isolation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 57, no. 5, pp. 1385—1396, May 2022.

[13] E. Manuzzato et al., "Digitally-Controlled Electrical Balance Duplexer for Transmitter-Receiver Isolation in Full-Duplex Radio," in Proc. European Wireless Conference, Oulu, Finland, May 2016, pp. 210-217.

[14] K. E. Kolodziej, In-Band Full-Duplex Wireless Systems Handbook. Norwood, MA: Artech House, 2021.

[15] K. E. Kolodziej et al., "In-Band Full-Duplex Technology: Techniques and Systems Survey," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 67, no. 7, pp. 3025—3041, Jul. 2019.

[16] T. Vermeulen et al., "Real-Time RF Self-Interference Cancellation for In-Band Full Duplex," in Proc. IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks, Stockholm, Sweden, Oct. 2015, pp. 275-276.

[17] L. Laughlin et al., "A Widely Tunable Full Duplex Transceiver Combining Electrical Balance Isolation and Active Analog Cancellation," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, Glasgow, United Kingdom, May 2015, pp. 1—5.

[18] L. Laughlin et al., "Passive and Active Electrical Balance Duplexers," IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs, vol. 63, no. 1, pp. 94-98, Jan. 2016.

[19] B. Smida et al., "Full-Duplex Wireless for 6G: Progress Brings New Opportunities and Challenges," IEEE Journal On Selected Areas in Communications, vol. 41, no. 9, pp. 2729—2750, Sep. 2023.

[20] M. B. Dastjerdi et al., "Analysis and Design of a Full-Duplex Two-Element MIMO Circulator-Receiver with High TX Power Handling Exploiting MIMO RF and Shared-Delay Baseband Self-Interference Cancellation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 54, no. 12, pp. 3525—3540, Dec. 2019.

[21] Z. Zhang et al., "Full Duplex 2×2 MIMO Radios," in Proc. International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, Hefei, China, Oct. 2014, pp. 1—6.

[22] G. Yang et al., "2×2 MIMO In-Band Full Duplex Radio Front-End with Two-Stage Passive Suppression and Four Three-Tap RF cancellers," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 72, no. 1, pp. 851-859, Jan. 2024.

[23] E. Everett et al., "Softnull: Many-Antenna Full-Duplex Wireless via Digital Beamforming," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 12, pp. 8077—8092, Dec. 2016.

[24] N. M. Gowda and A. Sabharwal, "Jointnull: Combining Partial Analog Cancellation with Transmit Beamforming for Large-Antenna Full-Duplex Wireless Systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 17, no. 3, pp. 2094—2108, Mar. 2018.

[25] S. Kim et al., "Performance Analysis of Self-Interference Cancellation in Full-Duplex Massive MIMO systems: Subtraction versus Spatial Suppression," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 22, no. 1, pp. 642—657, Jan. 2023.

[26] Z.~Mobini et al., "New Antenna Selection Schemes for Full-Duplex Cooperative MIMO-NOMA systems," IEEE Transactions on Communications, vol. 70, no. 7, pp. 4343-4358, Jul. 2022.

[27] N. Zarifeh et al., "Full-Duplex Femto Base-Station with Antenna Selection: Experimental Validation," IEEE Access,

vol. 7, pp. 108781—108794, Aug. 2023.

[28] M. Mohammadi et al., "Uplink/Downlink Rate Analysis and Impact of Power Allocation for Full-Duplex Cloud-RANs," IEEE Transactions on Wirelss Communications, vol. 17, no. 9, pp. 5774—5788, Sep. 2018.

[29] R. Sultan et al., "Joint Transmitter-Receiver Optimization and Self-Interference Suppression in Full-Duplex MIMO Systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 7, pp. 6913—6929, Jul. 2021.

[30] G. C. Alexandropoulos et al., "New Antenna Selection Schemes for Full-Duplex Cooperative MIMO-NOMA systems," in Proc. IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, Atlanta, GA, May 2020, pp. 1—5.

[31] I. P. Roberts et al., "STEER: Beam Selection for Full-Duplex Millimeter Wave Communication Systems," IEEE Transactions on Communications, vol. 70, no. 10, pp. 6902—6917, Oct. 2022.

[32] M. A. Islam et al., "A Unified Beamforming and A/D Self-Interference Cancellation Design for Full Duplex MIMO Radios," in Proc. IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Istanbul, Turkey, Sep. 2019, pp. 1—7.

[33] H. Iimori et al., "MIMO Beamforming Schemes for Hybrid SIC FD Radios with Imperfect Hardware and CSI," IEEE Transactions on Wirelss Communications, vol. 18, no. 10, pp. 4816—4830, Oct. 2019.

[34] G. C. Alexandropoulos, "Low Complexity Full Duplex MIMO Systems: Analog Canceler Architectures, Beamforming Design, and Future Directions," ITU Journal on Future and Evolving Technologies, vol. 2, no. 2, pp. 109—127, Dec. 2021.

[35] F. Liu et al., "Integrated Sensing and Communications: Toward Dual-Functional Wireless Networks for 6G and Beyond," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 40, no. 6, pp. 1728—1767, Jun. 2022.

[36] S. P. Chepuri et al., "Integrated Sensing and Communications with Reconfigurable Intelligent Surfaces: From Signal Modeling to Processing," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 40, no. 6, pp. 41—62, Sep. 2023.

[37] C. B. Barneto et al., "Full-Duplex OFDM Radar with LTE and 5G NR Waveforms: Challenges, Solutions, and Measurements," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 67, no. 10, pp. 4042—4054, Oct. 2019.

[38] S. D. Liyanaarachchi et al., "Optimized Waveforms for 5G-6G Communication with Sensing: Theory, Simulations and Experiments," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 12, pp. 8301—8315, Dec. 2021.

[39] J. Mirza et al., "On the Performance of Multiuser MIMO Systems Relying on Full-Duplex CSI Acquisition," IEEE Transactions on Communications, vol. 66, no. 10, pp. 4563—4577, Oct. 2018.

[40] M. A. Islam et al., "Simultaneous Downlink Data Transmission and Uplink Channel Estimation with Reduced Complexity Full Duplex MIMO Radios," in Proc. IEEE International Conference on Communications Workshops, Dublin, Ireland, Jun. 2020, pp. 1—6.

[41] M. A. Islam et al., "Simultaneous Data Communication and Channel Estimation in Multi-User Full Duplex MIMO Systems," in Proc. Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 2020, pp. 1—5.

[42] T.-L. Hsu et al., "Electrical Balance Duplexer as In-Band Full-Duplex Antenna Interface with Fast Orthogonal Searching Methodology," in Proc. European Microwave Conference, London, United Kingdom, Apr. 2022, pp. 71—74.

[43] J. Winkelhake et al., "Low-Complexity Control of an Electrical-Balance Duplexer," in Proc. European Microwave Conference, Berlin, Germany, Sep. 2023, pp. 158—161.

[44] R. Eberhart and J. Kennedy, "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory," in Proc. International Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, Oct. 1995, pp. 39—43.

[45] A. C. Carusone and D. A. Johns, "Analog Filter Adaptation Using a Dithered Linear Search Algorithm," in Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Phoenix–Scottsdale, AZ, May 2002, pp. 269—272.

[46] K. E. Kolodziej et al., "Multitap RF Canceller for In–Band Full–Duplex Wireless Communications," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 6, pp. 4321–4334, Jun. 2016.

[47] K.~E. Kolodziej et al., "Machine Learning for Accelerated IBFD Tuning in 5G Flexible Duplex Networks," in Proc. IEEE/MTT–S International Microwave Symposium, Los Angeles, CA, Aug. 2020, pp. 691—694.

[48] K. E. Kolodziej et al., "RF Canceller Tuning Acceleration Using Neural Network Machine Learning for In–Band Full–Duplex systems," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 2, pp. 1158—1170, May 2021.

[49] K. E. Kolodziej et al., "Neural Network Tuning for Analog–RF Self–Interference Cancellation," in Proc. IEEE/MTT–S International Microwave Symposium, Atlanta, GA, Jun. 2021, pp. 673—676.

[50] K. E. Kolodziej et al., "Adaptive Learning Rate Tuning Algorithm for RF Self–Interference Cancellation," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 3, pp. 1740–1751, Mar. 2021.

[51] H. Kim et al., "Fast Electrical Balance Duplexer Tuning Using Neural Networks for RF Self–Interference Cancellation in In–Band Full–Duplex Systems," IEEE Access, vol. 12, pp. 151805–151824, Oct. 2024.

박승영

- 1997년 2월 고려대학교 공과대학 전파공학과 학사
- 1999년 2월 고려대학교 통신시스템학과 석사
- 2002년 8월 고려대학교 전파통신공학과 박사
- 2002년 9월 ~ 2003년 3월 고려대학교 BK21 박사후연구원
- 2003년 4월 ~ 2005년 12월 삼성종합기술원 책임연구원
- 2006년 1월 ~ 2007년 2월 미국 퍼듀대학교 박사후연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 강원대학교 전기전자공학과 교수

〈관심 분야〉
Wireless Communication, Internet Security, V2X, Deep Learning

지민구

- 2025년 2월 강원대학교 IT대학 전기전자공학과 학사
- 2025년 3월 ~ 현재 강원대학교 BIT의료융합학과 전기전자융합공학전공 석사과정

〈관심 분야〉
Deep Learning, Embedded Systems

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

논문지 논문목차

전자공학회 논문지 제 62권 5호 발행

반도체 분야

[SoC 설계]

컴퓨터 분야

[멀티미디어]

인공지능 신호처리 분야

[음향 및 신호처리]

시스템 및 제어 분야

[회로 및 시스템]

산업전자 분야

[신호처리 및 시스템]

국내외학술행사안내

국 · 내외에서 개최되는 각종 학술대회/전시회를 소개합니다.
게재를 희망하시는 분은 간략한 학술대회 정보를 이메일로 보내주시면 게재하겠습니다.
연락처: ieie@theieie.org

〉〉2025년 6월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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 (RAIIE)	Zhenjiang, China	https://www.raiie.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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.vlsisymposium.org/
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://mecoconference.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://lifememberscconference.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 (ISoIRS)	Chengdu, China	https://www.isoirs.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.15. - 06.20.	2025 IEEE 23nd 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/
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 (ISAEECE)	Xi'an, China	https://www.isaeece.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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-summeri/
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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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://cpsi2k24.com/
06.27. - 06.28.	2025 International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech)	Ruse, Bulgaria	http://www.compsystech.org/
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.oeccpsc2025.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
07.04. - 07.06.	2025 4th International Conference on Robotics, Artificial Intelligence and Intelligent Control (RAIIC)	Chengdu, China	https://www.raiic.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 (TENSYMP)	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 (SPSympo)	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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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/ieeeap-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/ieeeap-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 (EEEIC / 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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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://ieeeaitest.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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
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://icocmc.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-temscon-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.icccn.org/icccn25/
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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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)	Reykjavík, 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-ihtc.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.neesconf.com/
08.15. - 08.17.	2025 International Conference on Energy Technology and Electrical Engineering (ETEE)	Shenyang, China	https://www.ic-etee.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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.mgmu.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)	Taicang, 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://acscrg.com/iccsce2025/
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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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 (ICAIET)	Bhubaneswar, India	https://scse.xim.edu.in/news-events/icaiet-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?

〉〉2025년 9월

09.01. - 09.04.	2025 IEEE 36th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)	Istanbul, Turkiye	https://pimrc2025.ieee-pimrc.org/
09.01. - 09.04.	2025 Energy Conversion Congress & Expo Europe (ECCE Europe)	Birmingham, United Kingdom	https://www.ecce-europe.org/2025/
09.01. - 09.05.	2025 IEEE 20th International Symposium on Electrets (ISE)	Shimane, Japan	http://www.ieeeise2025.org/
09.01. - 09.05.	2025 IEEE 33rd International Requirements Engineering Conference (RE)	Valencia, Spain	https://conf.researchr.org/home/re-2025
09.01. - 09.03.	2025 International Conference on Computing and Communications (COMPUTINGCON)	Talegaon, India	https://computingcon.org/
09.01. - 09.06.	2025 Nineteenth International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials)	Amsterdam, Netherlands	https://congress.metamorphose-vi.org/
09.01. - 09.04.	2025 Sixth International Conference on Intelligent Data Science Technologies and Applications (IDSTA)	Varna, Bulgaria	http://idsta-conference.org/2025/
09.01. - 09.04.	2025 International Conference on Intelligent Computing, Communication, Networking and Services (ICCNS)	Varna, Bulgaria	http://iccns-conference.org/2025/
09.01. - 09.04.	2025 IEEE 102nd Vehicular Technology Conference (VTC2025-Fall)	Chengdu, China	https://events.vtsociety.org/vtc2025-fall/
09.01. - 09.05.	2025 IEEE 33rd International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)	Valencia, Spain	https://conf.researchr.org/home/RE-2025
09.01. - 09.04.	2025 International Conference on Cybersecurity and AI-Based Systems (Cyber-AI)	Varna, Bulgaria	http://cyber-ai.org/
09.02. - 09.04.	2025 International Conference on Sustainable Technologies for Humanity and Smart World (HSWTech)	Pune, India	https://mitwpu.edu.in/ieee-conference
09.02. - 09.05.	2025 IEEE International Conference on Cluster Computing Workshops (CLUSTER Workshops)	Edinburgh, United Kingdom	https://clustercomp.org/2025/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
09.02. - 09.05.	2025 European Conference on Mobile Robots (ECMR)	Padova, Italy	https://ecmr2025.dei.unipd.it/
09.02. - 09.03.	2025 9th International Conference On Electrical, Electronics And Information Engineering (ICEEIE)	Mataram, Indonesia	https://iceeie.um.ac.id/
09.03. - 09.04.	2025 3rd International Conference on Recent Advances in Information Technology for Sustainable Development (ICRAIS)	Manipal, India	https://conference.manipal.edu/ICRAIS2025/
09.04. - 09.05.	2025 International Conference on Electronics and Computing, Communication Networking Automation Technologies (ICEC2NT)	Pune, India	http://icec2nt.com/index.php
09.05. - 09.07.	2025 2nd International Conference on Circuits, Power and Intelligent Systems (CCPIS)	Bhubaneswar, India	https://ccpis.in/
09.05. - 09.06.	2025 7th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)	Mathura, India	https://www.gla.ac.in/iscon2025/
09.07. - 09.11.	2025 XXXV International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)	Sozopol, Bulgaria	https://metrology-bg.org/
09.08. - 09.12.	2025 33rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)	Palermo, Italy	https://eusipco2025.org/
09.08. - 09.13.	2025 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)	Auckland, New Zealand	https://conf.researchr.org/home/icsme-2025
09.08. - 09.09.	2025 IEEE Industrial Electronics and Applications Conference (IEACon)	Kota Kinabalu Sabah, Malaysia	https://ieeeieacon.org/
09.08. - 09.10.	2025 IEEE International Conference on Cyber Humanities (IEEE-CH)	Florence, Italy	https://www.ieee-ch.org/
09.08. - 09.12.	2025 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)	Palermo, Italy	https://www.iceaa-offshore.org/
09.08. - 09.12.	2025 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)	Palermo, Italy	https://www.iceaa-offshore.org/
09.08. - 09.10.	2025 IEEE Conference on Telepresence	Leiden, Netherlands	https://conf.telepresence.ieee.org/
09.08. - 09.09.	2025 International Conference on Applied Electronics (AE)	Pilsen, Czech Republic	https://www.appel.zcu.cz/
09.08. - 09.11.	2025 IEEE European Solid-State Electronics Research Conference (ESSERC)	Munich, Germany	https://www.esserc2025.org/
09.08. - 09.11.	2025 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)	Avignon, France	https://cns2025.ieee-cns.org/
09.08. - 09.10.	2025 ACM/IEEE 7th Symposium on Machine Learning for CAD (MLCAD)	Mountain View, California, USA	https://mlcad.org/symposium/2025/
09.08. - 09.11.	2025 IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB)	Osaka, Japan	https://ijcb2025.ieee-biometrics.org/
09.08. - 09.09.	2025 IEEE 16th International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)	Wien, Austria	https://scitope.com/coginfocom25/
09.09. - 09.12.	2025 2nd International Conference on Integration of Computational Intelligent System (ICICIS)	Lohegaon, India	https://ieee-icicis.in/
09.09. - 09.11.	2025 IEEE 14th International Conference on Engineering Education (ICEED)	Kuching, Sarawak, Malaysia	http://enter.uitm.edu.my/iceed/
09.09. - 09.11.	2025 IEEE 8th International Conference on Electrical, Electronics, and System Engineering (ICEESE)	Kuching, Malaysia	http://enter.uitm.edu.my/iceese/
09.09. - 09.12.	2025 IEEE 10th Optoelectronics Global Conference (OGC)	Shenzhen, China	https://www.ipsogc.org/
09.10. - 09.12.	2025 International Conference on Responsible, Generative and Explainable AI (ResGenXAI)	Bhubaneswar, India	https://www.resgenxai.co.in/
09.10. - 09.11.	2025 IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology (SENNANO)	Selangor, Malaysia	https://sensors-nano.ieeemy.org/conference/
09.10. - 09.12.	2025 Fifteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU)	Busan, Korea (South)	http://www.icmu.org/icmu2025/
09.10. - 09.12.	2025 Immersive and 3D Audio: from Architecture to Automotive (I3DA)	Bologna, Italy	https://www.i3da2025.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
09.10. - 09.13.	2025 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)	Santa Clara, California, USA	https://attend.ieee.org/istas-2025/
09.10. - 09.13.	2025 17th Electrical Engineering Faculty Conference - Energetics and Efficiency (BulEF)	Varna, Bulgaria	http://ef-conference.tu-sofia.bg/
09.10. - 09.11.	2025 IEEE 2nd International Conference on Communication Engineering and Emerging Technologies (ICoCET)	Putrajaya, Malaysia	https://sites.google.com/unimap.edu.my/icocet-2025/home
09.10. - 09.12.	2025 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)	Bursa, Turkiye	http://asyu.inista.org/
09.12. - 09.13.	2025 5th International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)	MANDYA, India	http://icerect.com/
09.13. - 09.14.	2025 IEEE International Conference on Industrial Technology & Computer Engineering (ICITCE)	Penang, Malaysia	https://sites.google.com/view/ieeeicitce2025
09.14. - 09.17.	2025 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)	Manchester, United Kingdom	https://ceidp.org/
09.14. - 09.17.	2025 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)	Anchorage, Alaska, USA	https://2025.ieeeicip.org/
09.14. - 09.19.	2025 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD)	Lodz, Poland	https://www.nusod.net/
09.14. - 09.18.	2025 AIAA DATC/IEEE 44th Digital Avionics Systems Conference (DASC)	Montreal, Quebec, Canada	https://2025.dasconline.org/
09.14. - 09.17.	2025 20th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)	Kraków, Poland	https://2025.fedcsis.org/
09.14. - 09.16.	2025 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Asia Pacific (TEMSCON-ASPAC)	Bangkok, Thailand	https://2025.aspac-temscon.com/%20(under%20construction
09.15. - 09.18.	2025 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)	Utrecht, Netherlands	https://2025.ieee-ius.org/
09.15. - 09.19.	2025 IEEE AUTOTESTCON	National Harbor, Maryland, USA	https://2025.autotestcon.com/
09.15. - 09.18.	2025 25th European Microelectronics and Packaging Conference & Exhibition (EMPC)	Grenoble, France	https://empc2025.org/
09.15. - 09.18.	2025 IEEE International Conference on e-Science (e-Science)	Chicago, Illinois, USA	http://www.escience-conference.org/2025/
09.15. - 09.16.	2025 Interdisciplinary Conference on Electrics and Computer (INTCEC)	Chicago, Illinois, USA	https://www.intcec.org/
09.16. - 09.19.	2025 IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL)	Prague, Czech Republic	https://icdl2025.fel.cvut.cz/
09.16. - 09.17.	2025 International Conference on Computing and Applied Informatics (ICCAI)	Medan, Indonesia	https://ocs.usu.ac.id/ICCAI/ICCAI2025
09.16. - 09.19.	2025 International Symposium on Computer Science and Educational Technology (ISCSET)	Ulaanbaatar, Mongolia	https://www.iscset-conf.org/
09.16. - 09.18.	2025 IEEE International Symposium on Consumer Technology (ISCT)	Denpasar, Bali, Indonesia	https://isct.ctsoc.id/
09.16. - 09.18.	2025 XXXIV International Scientific Conference Electronics (ET)	Sozopol, Bulgaria	https://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/?konf=24
09.16. - 09.18.	2025 28th International Workshop on Smart Antennas (WSA)	Erlangen, Germany	https://www.wsa2025.fau.de/
09.17. - 09.20.	2025 IEEE 7th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)	Kremenchuk, Ukraine	http://mees.ieee.org.ua/
09.17. - 09.19.	2025 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)	Poznan, Poland	https://spaconference.org.pl/
09.17. - 09.18.	2025 IEEE International Conference on Next-Gen Technologies of Artificial Intelligence and Geoscience Remote Sensing (EarthSense)	Hyderabad, India	https://attend.ieee.org/earthsense-2025/
09.17. - 09.18.	2025 International Mobile, Intelligent, and Ubiquitous Computing Conference (MIUCC)	Cairo, Egypt	http://miucc.miuegypt.edu.eg/
09.17. - 09.19.	2025 3rd International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI)	Coimbatore, India	http://icicpi.com/2025/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
09.18. - 09.20.	2025 Third International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech)	Pune, India	https://www.vit.edu/I4Tech2025/
09.18. - 09.20.	2025 First International Conference on Intelligent Computing and Communication Systems (CICCS)	Bengaluru, India	http://iccs2025.jssateb.ac.in/
09.18. - 09.19.	2025 IEEE International Conference on Compute, Control, Network & Photonics (ICCCNP)	Bangalore, India	https://attend.ieee.org/icccnp-2025/
09.18. - 09.19.	2025 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)	Changzhou, China	http://icus.c2.org.cn/
09.18. - 09.20.	2025 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)	Split, Croatia	https://2025.softcom.fesb.unist.hr/
09.18. - 09.21.	2025 International Conference on Education Technology and Computers (ICETC)	Barcelona, Spain	https://www.icetc.org/
09.19. - 09.20.	2025 2nd Asia Pacific Conference on Innovation in Technology (APCIT)	MYSORE, India	https://apcit.in/
09.19. - 09.21.	2025 International Conference on Intelligent Equipment and Industrial Design (IEID)	Hangzhou, China	https://www.icieid.org/
09.19. - 09.21.	2025 8th International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA)	Xi'an, China	https://cs.xatu.edu.cn/iccnea25/index.html
09.19.	2025 IEEE WIE International Leadership Summit - Region 4 (WIE ILS- Twin Cities)	Twin Cities, Minnesota, USA	https://wie.ieee.org/news-events/conferences/international-leadership-summits/
09.19. - 09.21.	2025 IEEE 5th International Conference on Control Theory and Applications (ICoCTA)	Chengdu, China	https://www.icocta.org/
09.19. - 09.21.	2025 4th International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT)	Yi Chang, China	http://www.2025aicit.com/
09.19. - 09.22.	2025 5th International Conference on Intelligent Technology and Embedded Systems (ICITES)	Huzhou, China	https://www.icites.net/
09.19. - 09.21.	2025 8th International Conference on Robotic Systems and Applications (ICRSA)	Wuhan, China	https://www.icrsa.org/
09.19. - 09.21.	2025 8th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP)	Xi'an, China	https://www.icsp.org/
09.19. - 09.22.	2025 7th International Conference on Circuits and Systems (ICCS)	Huzhou, China	https://www.iccs.org/
09.19. - 09.21.	2025 International Conference on Unmanned Systems and Technology (UST)	Guangzhou, China	https://www.ic-ust.com/
09.19. - 09.21.	2025 5th International Conference on Artificial Intelligence, Automation and High Performance Computing (AIAHPC)	Hefei, China	https://www.aiahpc.org/
09.20. - 09.26.	2025 IEEE International Test Conference (ITC)	San Diego, California, USA	https://www.itctestweek.org/
09.21. - 09.23.	2025 IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)	Beijing, China	https://attend.ieee.org/mmsp-2025/
09.21. - 09.26.	2025 31st International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV)	Chengdu, China	https://isdeiv2025.org/
09.21. - 09.24.	2025 20th International Conference on PhD Research in Microelectronics and Electronics (PRIME)	Taormina, Italy	https://prime-conference.org/
09.21. - 09.24.	2025 SBFoton International Optics and Photonics Conference (SBFoton IOPC)	São Pedro/SP, Brazil	https://conference2025.sbfoton.org.br/
09.22. - 09.25.	2025 IEEE IAS Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC)	Dallas, Texas, USA	https://ieeepcic.com/
09.22. - 09.23.	2025 20th European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC)	Utrecht, Netherlands	https://www.eumw.eu/
09.22. - 09.24.	2025 IEEE 4th International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES)	Beijing, China	https://attend.ieee.org/ieses-2025/
09.23. - 09.25.	2025 IEEE World Forum on Public Safety Technology (WF-PST)	Orlando, Florida, USA	https://ieee-wfpst.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
09.23. - 09.25.	2025 55th European Microwave Conference (EuMC)	Utrecht, Netherlands	https://www.eumw.eu/
09.23. - 09.26.	2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	Osaka, Japan	http://www.ieee-gcce.org/2025/index.html
09.23. - 09.26.	2025 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E)	Rennes, France	https://conferences.computer.org/IC2E/2025/
09.24. - 09.26.	2025 22nd European Radar Conference (EuRAD)	Utrecht, Netherlands	https://www.eumw.eu/
09.24. - 09.26.	2025 7th International Conference on Renewable Energy for Developing Countries (REDEC)	Beirut, Lebanon	http://www.redeconf.org/
09.24. - 09.26.	2025 Sixth International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)	Zouk Mosbeh, Lebanon	https://www.ndu.edu.lb/actea/home
09.24. - 09.26.	2025 31st International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC)	Naples, Italy	https://therminic2025.eu/
09.24. - 09.26.	2025 IEEE 15th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)	Bucharest, Romania	https://amps2025.ieee-ims.org/
09.24. - 09.26.	2025 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)	Istanbul, Turkiye	https://www.iceee.org/
09.24. - 09.26.	2025 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)	Dubrovnik, Croatia	https://www.edpe2025.fer.hr/
09.25. - 09.26.	2025 International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG)	Darmstadt, Germany	https://biosig.de/
09.26. - 09.27.	2025 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)	Bangalore, India	http://icwite-2025.ieeebangalore.org/
09.26. - 09.28.	2025 10th International Seminar on Computer Technology, Mechanical and Electrical Engineering (ISCME)	Yantai, China	https://www.is-cme.com/
09.26. - 09.28.	2025 3rd Asian Aerospace and Astronautics Conference (AAAC)	Nanjing, China	https://www.aaac.net/index.html
09.26. - 09.28.	2025 2nd International Conference on Communication, Information and Digital Technologies (CIDT)	Singapore, Singapore	http://www.iccidt.org/
09.26. - 09.28.	2025 2nd International Conference on Machine Learning, Pattern Recognition and Automation Engineering (MLPRAE)	Jinan, China	https://www.mlprae.com/
09.27. - 09.29.	2025 IEEE 8th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)	Dalian, China	http://www.iciscae.org/
09.27. - 09.29.	2025 8th International Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE)	Beijing, China	https://www.repe.net/
09.27. - 09.28.	2025 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference (NKCon)	Hubballi, India	https://nkcon2025.ieeenkss.org/
09.27. - 09.28.	2025 IEEE International Conference on Advances in Computing Research On Science Engineering and Technology (ACROSET)	INDORE, India	https://acroset.in/
09.28. - 09.30.	2025 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE)	Aswan, Egypt	https://www.ieee-cpere.org/
09.29. - 10.02.	2025 IEEE PES/IAS PowerAfrica	Cairo, Egypt	https://ieee-powerafrica.org/
09.29. - 10.03.	2025 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems Companion (ACSOS-C)	Tokyo, Japan	https://conf.researchr.org/home/acsos-2025
09.29. - 10.03.	2025 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS)	Tokyo, Japan	https://conf.researchr.org/home/acsos-2025
09.30. - 10.02.	2025 IEEE 10th Workshop on the Electronic Grid (eGRID)	Glasgow, United Kingdom	https://2025.ieee-egrid.org/
09.30. - 10.02.	2025 IEEE History of Electrotechnology Conference (HISTELCON)	Bonn, Germany	http://www.2025.ieee-histelcon.org/

〉〉2025년 10월

10.01. - 10.03.	2025 Artificial Intelligence for Business (AIxB)	Laguna Hills, California, USA	https://www.aixb.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10.01. - 10.03.	2025 Artificial Intelligence x Humanities, Education, and Art (AIxHEART)	Laguna Hills, California, USA	https://www.aixheart.org/
10.01. - 10.02.	2025 2nd International Conference on Innovations in Engineering, Science and Technology for Sustainable Development (ICEST)	Male', Maldives	http://icest.mnu.edu.mv/
10.01. - 10.03.	2025 Conference on AI, Science, Engineering, and Technology (AIxSET)	Laguna Hills, California, USA	https://www.aixset.org/
10.01. - 10.03.	2025 International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)	Oulu, Finland	http://cc.oulu.fi/~ulce/icnsc2025/index.html
10.04. - 10.10.	2025 IEEE 8th Congress on Information Science and Technology (CiSt)	Marrakech, Morocco	http://www.ieee-congress.org/cist25/
10.04.	2025 IEEE 15th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://sites.google.com/view/icset-malaysia/home
10.05. - 10.08.	2025 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)	Vienna, Austria	https://www.ieeesmc2025.org/
10.05. - 10.09.	2025 9th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR)	Matsue, Japan	https://apsar2025.ce.t.kyoto-u.ac.jp/index.php
10.05. - 10.08.	2025 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)	Vitoria, Brazil	https://cobep2025.ufes.br/
10.06. - 10.10.	2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)	Kharkiv, Ukraine	http://khpiweek.ieee.org.ua/
10.06. - 10.10.	2025 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)	Raleigh, North Carolina, USA	https://conf.researchr.org/home/vlhcc-2025
10.06. - 10.08.	2025 IEEE 22nd International Conference on Mobile Ad-Hoc and Smart Systems (MASS)	Chicago, Illinois, USA	https://ieeemass2025.github.io/ieeemass2025/
10.06. - 10.08.	2025 7th International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA)	Coimbatore, India	https://icidca.com/2025/
10.06. - 10.10.	MILCOM 2025 - 2025 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)	Los Angeles, California, USA	http://milcom2025.milcom.org/
10.06. - 10.08.	2025 6th International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol)	Ayia Napa, Cyprus	https://www.kios.ucy.ac.cy/systol25/
10.07. - 10.09.	2025 IEEE Secure Development Conference (SecDev)	Indianapolis, Indiana, USA	https://secdev.ieee.org/2024/home
10.07. - 10.11.	2025 International Semiconductor Conference (CAS)	Sinaia, Romania	https://www.imt.ro/cas/
10.08. - 10.10.	2025 IEEE 4th International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET)	New Delhi, India	https://temsmet2025.org/
10.08. - 10.10.	2025 IEEE Latin American Electron Devices Conference (LAEDC)	Guadalajara, Mexico	https://attend.ieee.org/laedc-2025/
10.08. - 10.10.	2025 Black Issues in Computing Education (BICE)	Miami, Florida, USA	https://www.bicesymposium.org/
10.09. - 10.13.	2025 IEEE 12th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)	Birmingham, United Kingdom	https://attend.ieee.org/dsaa-2025/
10.09. - 10.11.	2025 14th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)	Bucharest, Romania	http://www.atee.upb.ro/atee2025/
10.09. - 10.10.	2025 66th International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS)	Riga, Latvia	https://itms.rtu.lv/
10.10. - 10.11.	2025 2nd Asian Conference on Intelligent Technologies (ACOIT)	KOLAR, India	https://www.acoit.in/
10.10. - 10.12.	2025 Global Reliability and Prognostics and Health Management Conference (PHM-Xian)	Xian, China	https://icphm.org/
10.10. - 10.11.	2025 International Conference on Emerging Technologies in Electronics and Green Energy (ICETEG)	MYSORE, India	http://iceteg.jsstuniv.in/
10.11. - 10.12.	2025 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)	Beijing, China	https://ieee-icirt.org/2025/
10.12. - 10.15.	2025 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS)	Phoenix, Arizona, USA	https://bcicts.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10.12. - 10.15.	2025 IEEE 20th Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC)	Delhi, India	https://ieeenmdc.org/nmdc-2025/
10.12. - 10.15.	2025 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)	Tahoe City, California, USA	https://waspaa.com/
10.12. - 10.15.	2025 IEEE International Communications Energy Conference (INTELEC)	Houstin, Texas, USA	https://2025.ieee-intelec.org/
10.12. - 10.14.	2025 IEEE International Symposium on Workload Characterization (IISWC)	Irvine, California, USA	https://iiswc.org/iiswc2025/
10.12. - 10.14.	2025 IEEE 30th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)	Tempe, Arizona, USA	http://camad2025.ieee-camad.org/
10.12. - 10.15.	2025 8th International Advanced Research Workshop on Transformers (ARWtr)	BAIONA, Spain	http://arwtr2025.webs.uvigo.es/
10.12. - 10.15.	2025 IFIP/IEEE 33rd International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC)	Puerto Varas, Chile	https://asic-chile.cl/vlsisoc/
10.12. - 10.15.	2025 30th Microoptics Conference (MOC)	Utsunomiya, Japan	https://moc2025.com/
10.13. - 10.16.	2025 IEEE 34th International Conference on Microelectronics (MIEL)	Nis, Serbia	https://miel.elfak.ni.ac.rs/
10.13. - 10.17.	2025 European Data Handling & Data Processing Conference (EDHPC)	Elche, Spain	https://atpi.eventsair.com/edhpc-2025/
10.13. - 10.17.	2025 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)	San Antonio, Texas, USA	https://site.ieee.org/iccst/
10.13. - 10.16.	2025 IEEE 50th Conference on Local Computer Networks (LCN)	Sydney, Australia	https://www.ieeelcn.org/
10.13. - 10.16.	2025 Fourteenth International Conference on Image Processing, Theory, Tools & Applications (IPTA)	Istanbul, Turkiye	https://ipta-conference.com/ipta25/
10.14. - 10.17.	2025 IEEE 12th International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)	Madrid, Spain	https://icelie.org/
10.14. - 10.17.	2025 7th International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA)	Durbovnic, Croatia	https://bcca-conference.org/2025/
10.14. - 10.17.	2025 3rd International Conference on Intelligent Metaverse Technologies & Applications (iMETA)	Durbovnic, Croatia	https://imeta-conference.org/2025/
10.14. - 10.17.	2025 IEEE 7th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)	Pereira, Colombia	https://ccac2025.com/
10.14. - 10.17.	2025 3rd International Conference on Federated Learning Technologies and Applications (FLTA)	Dubrovnik, Croatia	https://flta-conference.org/flta-2025/flta-2025/
10.14. - 10.16.	2025 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)	Halifax, Nova Scotia, Canada	https://attend.ieee.org/wisee-2025/
10.14. - 10.17.	2025 16th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)	São Sebastião, Brazil	https://induscon.org/
10.14. - 10.17.	2025 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)	Quebec City, Quebec, Canada	https://mwp2025.org/en
10.15. - 10.22.	2025 IEEE 70th Holm Conference on Electrical Contacts (HLM)	San Antonio, Texas, USA	https://ieee-holm.org/
10.15. - 10.16.	2025 IEEE 9th International Conference on Software Engineering & Computer Systems (ICSECS)	Pekan, Pahang, Malaysia	https://icsecs.umpsa.edu.my/index.php/en/
10.15. - 10.18.	2025 IEEE 20th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)	Lviv, Ukraine	http://csit.ieee.org.ua/
10.15. - 10.17.	2025 International Conference on Communications, Computing, Cybersecurity, and Informatics (CCCI)	Hangzhou, China	http://ccci.udg.edu/
10.15. - 10.17.	2025 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)	Pattaya, Thailand	http://icpei.net/2025/
10.15. - 10.17.	2025 International Symposium on Accreditation of Engineering and Computing Education (ICACIT)	Chiclayo, Peru	http://icacit.org.pe/symposium/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10.15. - 10.17.	2025 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)	Waterloo, Ontario, Canada	https://epec2025.ieee.ca/
10.15. - 10.17.	2025 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH)	Vienna, Austria	http://media-publisher.eu/conference-emctech/call-for-papers/
10.15. - 10.16.	2025 1st IEEE International Conference on Crisp & Soft Computing in AI, Modeling and Control (CSC-AIMC)	Debrecen, Hungary	https://scitope.com/control/
10.16. - 10.19.	2025 5th International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)	Zanzibar, Tanzania	https://www.iceccme.com/
10.16. - 10.18.	2025 IEEE International Conference on Geoinformation Science and Communication Technology (GSCT)	Shanghai, China	https://www.gsctconf.com/
10.17. - 10.18.	2025 2nd International Conference on Software, Systems and Information Technology (SSITCON)	Tumkur, India	https://ssitcon.in/
10.17. - 10.19.	2025 6th International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)	Shanghai, China	https://www.icbaie.net/
10.17. - 10.18.	2025 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER)	Mangalore, India	http://www.ieee-discover.org/
10.17. - 10.19.	2025 5th International Conference on Electrical Engineering and Mechatronics Technology (ICEEMT)	Shenzhen, China	https://www.iceemt.org/
10.17. - 10.19.	2025 6th International Conference on Machine Learning and Computer Application (ICMLCA)	Shenzhen, China	https://www.icmlca.org/
10.18. - 10.20.	2025 IEEE Conference on Dependable and Secure Computing (DSC)	Taipei, Taiwan	https://dsc2025.conf.nycu.edu.tw/
10.18. - 10.22.	2025 58th IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO)	Seoul, Korea (South)	https://microarch.org/
10.19. - 10.23.	2025 IEEE Energy Conversion Conference Congress and Exposition (ECCE)	Philadelphia, Pennsylvania, USA	https://www.ieee-ecce.org/2025/
10.19. - 10.25.	2025 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	Hangzhou, China	https://irmv.sjtu.edu.cn/iros2025/
10.19. - 10.22.	2025 IEEE 34th Conference on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS)	Milpitas, California, USA	https://www.epeps.org/
10.19. - 10.20.	2025 IEEE International Symposium on Emerging Metaverse (ISEMV)	Honolulu, Hawaii, USA	https://ieee-isemv.org/
10.20. - 10.23.	2025 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)	Valletta, Malta	https://ieee-isgt-europe.org/
10.20. - 10.21.	2025 International Conference BIOMDLORE	Vilnius, Lithuania	https://www.biomdlore.lt/
10.20. - 10.22.	2025 International Conference on Intelligent Data Analytics and Sustainable Systems (IDASS)	Qingdao, China	https://idass2025.scievent.com/
10.20. - 10.22.	2025 21th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)	Marrakesh, Morocco	http://www.wimob.org/wimob2025/
10.20. - 10.22.	2025 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)	Glasgow, United Kingdom	http://ictmod-conference.com/
10.20. - 10.22.	2025 17th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)	Bangkok, Thailand	https://icitee2025.it.kmitl.ac.th/
10.20. - 10.22.	2025 IEEE International Conference on Device Technologies for Diversified Applications (DTDA)	Sendai, Miyagi Prefecture, Japan	https://ieee-dtda.org/
10.21. - 10.24.	2025 IEEE 8th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)	Kyiv, Ukraine	https://msnmc.ieee.org.ua/
10.21. - 10.23.	2025 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)	Barcelona, Spain	https://www.dfts.org/
10.21. - 10.24.	2025 IEEE 16th International Conference on ASIC (ASICON)	Kunming, China	http://www.asicon.org/
10.21. - 10.24.	2025 IEEE 36th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)	São Paulo, Brazil	https://issre.github.io/2025/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10.22. - 10.24.	2025 17th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)	Nis, Serbia	http://www.telsiks.org.rs/
10.22. - 10.24.	2025 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)	Singapore, Singapore	https://www.apsipa2025.org/wp/
10.22. - 10.24.	2025 22nd International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)	Marbella, Spain	https://icinco.scitevents.org/
10.22. - 10.24.	2025 IEEE 7th International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)	Yinchuan, China	http://www.iccasit.org/
10.22. - 10.24.	2025 International Conference on Power Engineering and Electrical Technology (PEET)	Shiga, Japan	https://icpeet.com/
10.22. - 10.24.	2025 International Conference on Electrical Systems & Automation (ICESA)	Troyes, France	http://icesa.ma/
10.24. - 10.25.	2025 International Conference on Communication, Computer, and Information Technology (IC3IT)	Mandya, India	http://mysururoyal.org/ieeecon-2025/
10.24. - 10.26.	2025 9th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI)	Qingdao, China	http://www.ascl.jlu.edu.cn/vci/cvci2025/Home.htm
10.24. - 10.26.	2025 IEEE 4th International Conference on Computing, Communication, Perception and Quantum Technology (CCPQT)	Ordos, China	https://www.ccpqt.org/
10.24. - 10.26.	2025 IEEE 6th Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)	Bangalore, India	http://globeconf.org/
10.24. - 10.25.	2025 International Conference on Circuits, Controls and Communications (CCUBE)	Bangalore, India	https://ccube25.com/
10.24. - 10.26.	2025 International Conference on Algorithms, Data Mining, and Information Technology (ADMIT)	Chengdu, China	http://www.admit2025.net/
10.24. - 10.26.	2025 17th International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)	Chengdu, China	https://www.icsps.org/index.html
10.24. - 10.26.	2025 8th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE)	Xi'an, China	https://www.rcae.net/
10.27. - 10.31.	2025 Annual Conference Magnetism and Magnetic Materials (MMM)	West Palm Beach, Florida, USA	https://2025-joint.magnetism.org/
10.27. - 10.30.	2025 14th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)	Vienna, Austria	http://www.icrera.org/
10.27. - 10.31.	2025 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)	Fukuoka, Japan	https://www.isap2025.org/
10.27. - 10.30.	TENCON 2025 - 2025 IEEE Region 10 Conference (TENCON)	Kota Kinabalu, Malaysia	https://ieeemy.org/tencon2025/
10.27. - 10.30.	2025 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)	Flic-en-Flac, Mauritius	https://radiosociety.org/radio2025/
10.27. - 10.29.	2025 IEEE 43rd International Conference on Computer Design (ICCD)	Richardson, Texas, USA	http://www.iccd-conf.com/home.html
10.27. - 10.29.	2025 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)	Coventry, United Kingdom	https://ieee-itss.org/conf/icves/
10.27. - 10.30.	2025 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)	Paris, France	https://www.isncc-conf.org/
10.28. - 10.31.	2025 IEEE International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS)	Kyoto, Japan	https://icsos2025.ieee-icsos.org/
10.28. - 10.31.	2025 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA)	Valence, France	https://2025.ieee-rfid-ta.org/
10.28. - 10.29.	2025 IEEE Nordic Circuits and Systems Conference (NorCAS)	Riga, Latvia	https://events.tuni.fi/norcas/
10.28. - 10.30.	2025 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)	Valparaíso, Chile	https://chilecon2025.pucv.cl/
10.28. - 10.29.	2025 Global Conference on Sustainable Energy and Net-Zero Emissions (SENZE)	Hail, Saudi Arabia	https://conferences.uoh.edu.sa/Conference/SENZE'25

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10.28. - 10.31.	2025 IEEE 37th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD)	Bonito, Mato Grosso do Sul, Brazil	https://sbac-pad2025.ufms.br/
10.28. - 10.30.	2025 10th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)	Coimbatore, India	http://icoecs.org/2025/
10.29. - 10.31.	2025 International Conference on Electrical, Electronics, and Computer Science with Advance Power Technologies - A Future Trends (ICE2CPT)	Jamshedpur, India	https://ice2cpt.com/
10.29. - 10.31.	2025 IEEE International Workshop on Sport, Technology and Research (STAR)	Trento, Italy	https://www.ieee-star.org/
10.31. - 11.02.	2025 IEEE 4th International Conference on Mechatronics and Intelligent Transportation Engineering (ICMITE)	Wuhan, China	https://www.matconf.net/
10.31. - 11.02.	2025 6th International Conference on Computer Communication and Network Security (CCNS)	Nanjing, China	https://www.icccns.org/

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
(주)자람테크놀로지	백준현	경기도 성남시 분당구 성남대로925번길 41, 파인벤처빌딩 2층	031-776-6701	https://www.zaram.com
KT	김영섭	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍㈜	문혁수	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자㈜	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,벤델레괴츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤㈜	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스㈜	곽노정	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버㈜	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
도쿄일렉트론코리아(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
리얼텍코리아 주식회사	창텅치	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.com
비젼테크	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㈜	전영현	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㈜	최기환	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨㈜	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmed.com
오토아이티㈜	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템㈜	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
㈜LX세미콘	이윤태	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com
㈜넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
㈜더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
HL만도㈜	조성현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2114	https://www.hlmando.com/
㈜빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
㈜스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
㈜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
㈜실리콘마이터스	허염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconmitus.com
㈜싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 벌말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
㈜싸인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
㈜쏠리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 쏠리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
㈜유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
㈜코클리어닷에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
㈜크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://wwww.cressem.com
㈜텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터회관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
㈜티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
㈜티엘아이	홍세경	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
㈜해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 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-ktech.co.kr
코어인사이트㈜	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈마치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
하나마이크론(주)	이동철	충남 아산시 음봉면 연암율금로 77	041-423-7777	https://hanamicron.com/
한국알박㈜	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㈜	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템㈜	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스㈜	정의선, 이규석	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차㈜	정의선, 장재훈, 이동석	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아㈜	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아㈜	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아㈜	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	생년월일	년 월 일
	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
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 〈월간〉 제52권 제5호(통권 제492호) The Magazine of the IEIE

2025년 5월 20일 인쇄
2025년 5월 25일 발행

발행및 편집인 **(사) 대한전자공학회** **회장 백 광 현**
인쇄인 **한림원(주)** **대표 김 흥 중**
발행인 **사단법인 대 한 전 자 공 학 회**
(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 회원님께서는 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(수협, 1010-2165-2458)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 곽새롬 서기(회원담당)
Tel : 02-553-0255(내선 3번) / E-mail : edit@theieie.org

SK

SK하이닉스가 만드는 AI 시대의 길

한계를 뛰어넘는 기술로
AI의 새로운 미래를 그려 갑니다

Full Stack AI Memory Provider

We Do Technology
첨단기술의 중심, 더 나은 세상을 만듭니다

SK hynix