

ISSN 1016-9288

제49권 11호

2022년 11월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.49. no.11

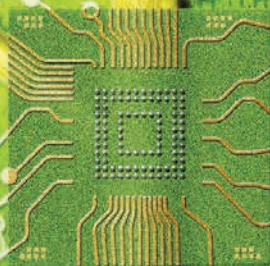
빅 데이터와 인공지능 기술의 활용

- 차세대 인공지능을 위한 비식별화 기술
- 최신 쿼텀 딥러닝 기술 동향
- 인공지능 기술을 활용한 신약개발 과정 혁신
- 딥러닝 기반 Semantic Communications 연구 동향
- 저궤도(LEO) 위성 Mega-Constellation 라우팅 기술 동향



첨단기술로 더 나은 환경을 만듭니다

더 나은 미래를 열어가는 기술
환경문제를 해결하는 기술
반도체의 미래를 준비하는 일
지금, SK하이닉스가 하고 있습니다
We Do **Green** Technology



ICEIC2023

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS,
INFORMATION, AND COMMUNICATION 2023

FEB. 5^(SUN) - 8^(WED) | SHANGRI LA, SINGAPORE

CALL FOR PAPERS

The 22st International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2023) is a forum open to all the participants who are willing to broaden professional contacts and to discuss the state-of-the-art technical topics.

Regular sessions of ICEIC 2023 will include more than 300 oral and poster presentations. In addition, the conference will offer special sessions, invited talks, keynote speeches, and tutorials to cover a broad spectrum of topics on electronics, information, and communication technologies.

IMPORTANT DATES

- Submission of Paper : September 18, 2022
- Notification of Acceptance : October 21, 2022
- Submission of Camera-Ready Paper : November 14, 2022



전자공학회논문지

단편논문 신설 안내

전자공학회논문지에서 단편논문을 신설하여 투고를 받습니다. 기존의 정규논문과 함께 단편논문을 신설하여, 투고 논문 형식의 다변화와 함께 신속한 논문심사 및 게재를 추진하고자 합니다.

논문투고시스템 투고구분 선택

☞ 정규논문(기존) : 긴급 / 일반 중 택일

▶ 단편논문(신설) : 특급

단편논문 양식

☞ 투고규정 : https://www.theieie.org/pages_journal/journal_info.vm

☞ 논문양식 : <https://www.theieie.org/board/?ncode=a008>

* 심사본 : 3쪽 이내, 최종본 : 4쪽 이내

단편논문 심사비 : 10만원/편당

단편논문 게재료 : 게재논문 면당 5만원, 최대 4쪽 이내

☞ 지원 문구 추가 시 10만원 추가

☞ 교신저자가 비회원인 경우 산정된 게재료의 150% 부과

단편논문 심사 기간 : 2주 이내 1차 심사를 원칙으로 함

시 행 : 2022년 10월 이후

35th

Workshop on Image Processing and Image Understanding

영상처리 및 이해에 관한 워크샵

한국컴퓨터비전학회, 한국방송·미디어공학회,
한국멀티미디어학회, 한국정보과학회, 대한전자공학회 및
한국통신학회가 공동으로 주최하는
제35회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵을
2023년 2월 8일부터 10일까지 제주에서 개최합니다.
많은 논문 투고를 부탁드립니다.

IPIU

FEBRUARY 8-10, 2023*Jeju*

논문 모집 분야

영상처리, 영상이해, 패턴인식, 영상부호화, 영상처리용 SW,
컴퓨터비전, 기계학습, 의료영상, 멀티미디어 통신,
멀티미디어 응용, 문자인식 및 관련 분야

Workshop Organizers

자문위원

권영빈 (중앙대)	권인소 (KAIST)	김성대 (KAIST)	김정택 (이화여대)
김춘우 (인하대)	김희율 (한양대)	나종범 (KAIST)	문영식 (한양대)
박래홍 (서강대)	박종일 (한양대)	박현욱 (KAIST)	백준기 (중앙대)
양현승 (KAIST)	이경우 (서울대)	이병욱 (이화여대)	이상욱 (서강대)
이성환 (고려대)	이영렬 (세종대)	이철우 (전남대)	전병우 (성균관대)
정제창 (한양대)	조남익 (서울대)	최윤식 (연세대)	한준희 (POSTECH)
허영 (KERI)	홍기상 (POSTECH)	홍민철 (숭실대)	

조직위원장

윤일동 (한국외대)

조직위원

권기룡 (부경대)	김선주 (연세대)	김창수 (고려대)
박인규 (인하대)	서용덕 (서강대)	송병철 (인하대)
심동규 (광운대)	예종철 (KAIST)	이승용 (POSTECH)
이현우 (ETRI)	임종우 (한양대)	최병호 (KETI)
한보형 (서울대)		

프로그램위원장

이상철 (안화대)

프로그램위원

김승룡 (고려대)	김원준 (건국대)	김태현 (한양대)
민동보 (이화여대)	심현정 (KAIST)	윤국진 (KAIST)
전해곤 (GIST)	최해철 (한밭대)	황영배 (충북대)
황원준 (아주대)	김학구 (중앙대)	임성훈 (DGIST)
홍정은 (인하대)	유석봉 (전남대)	박재식 (POSTECH)
이수찬 (국민대)	박상현 (DGIST)	

제출 일정

- 논문 제출 마감 2022년 12월 15일 (금)
구두/포스터 논문 명시, 구두 논문은 연구책임자 발표 필수
- 심사 결과 통보 2023년 1월 6일 (월)
- 최종 수정 논문 제출 : 2023년 1월 20일 (목)
심사 결과 수정이 필요한 논문의 수정된 논문 제출 기한
- 일반 사전 등록 마감 2023년 2월 3일 (금)

제출 방법

논문은 2~6쪽 분량으로, 논문 작성시 본 워크샵 홈페이지의 논문
모집란에 있는 양식파일 (아래아한글, MS Word)을 다운로드하여
사용하고 작성된 논문을 홈페이지 논문 제출 방법란의 방식에 따라
업로드하여 제출하시기 바랍니다. 논문은 국문 혹은 영문으로 작성
가능합니다.

IEEE DiscoveryPoint Communications(IDPC)



IEEE가 만든 첨단 통신산업 R&D를 위한 All-in-One Platform



IEEE Full-text를
포함한 다양한 양질의
자료 제공



최첨단 연구를 위한
자료, 표준, 공급업체를
위한 솔루션까지
하나의 플랫폼에서
검색가능



5G, 6G, Edge,
Computing, IoT 등
다양한 통신기술
분야의 자료중
전문적으로
선별된 콘텐츠 제공



설계 문제에 대한
솔루션 제공하여
실무 엔지니어에게
최적화

Trial가능,
문의 02-3474-5290
이희진 과장 hjlee@kitis.co.kr
김은진 대리 ejkim@kitis.co.kr



Authorized
Dealer



키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.

CONTENTS

제49권 11호 (2022년 11월)



※ 학회지 11월호 표지 (vol 49, No 11)

회지편집위원회

- 위 원 장 선 우 경 (서울대학교 교수)
- 위 원 김 명 선 (한성대학교 교수)
- 김 영 진 (한국생산기술연구원 박사)
- 김 형 진 (인하대학교 교수)
- 민 경 식 (국민대학교 교수)
- 송 민 협 (한국전자통신연구원 선임)
- 이 덕 진 (전북대학교 교수)
- 이 정 원 (서울대학교 교수)
- 이 철 (동국대학교 교수)
- 정 은 성 (홍익대학교 교수)
- 조 성 재 (가천대학교 교수)
- 황 효 석 (가천대학교 교수)
- 사무국 편집담당
배 기 동 부장
TEL : (02)553-0255(내선 5)
FAX : (02)552-6093
- 학회 홈페이지
<http://www.theieie.org>

학회소식

12 학회소식 / 편집부

특집 : 빅 데이터와 인공지능 기술의 활용

- 17 특집편집기 / 윤석현
- 18 차세대 인공지능을 위한 비식별화 기술 / 나준채, 신원용
- 29 최신 쿼텀 딥러닝 기술 동향 / 김중현, 윤원준, 백한결, 김재평
- 39 인공지능 기술을 활용한 신약개발 과정 혁신 / 김대승, 강근수
- 47 딥러닝 기반 Semantic Communications 연구 동향 / 유한주, 김성국, 채찬병
- 56 저궤도(LEO) 위성 Mega-Constellation 라우팅 기술 동향 / 임정주, 윤지승, 오주현, 박주한, 조성현

인터뷰

67 LG이노텍 / 정철동 사장

회원광장

74 논문지 논문목차

정보교차로

- 76 국내외 학술행사 안내 / 편집부
- 88 특별회원사 및 후원사 명단

2022년도 임원 및 각 위원회 위원

회 수 석 부 회 장 고 문	장	서 승 우 (서울대학교 교수)	권 호 열 (정보통신정책연구원 원장)
	이 혁 재 (서울대학교 교수) - 총괄	김 명 준 (한국전자통신연구원 원장)	박 성 욱 (SK하이닉스(주) 부회장)
	권 오 경 (한국공학한림원 회장)	윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)	천 경 준 (㈜씨젠 회장)
	김 기 남 (삼성전자(주) 회장)		
	김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)		
	안 승 권 (연암공과대학교 총장)		
	전 영 현 (삼성SDI(주) 부회장)		
감 부 회 장	최 창 식 (㈜DB하이텍 부회장)	인 치 호 (세명대학교 교수)	노 원 우 (연세대학교 교수) - 추계 총괄, 국제협력
	이 충 용 (연세대학교 교수)	강 문 식 (강릉원주대 교수) - 학회지 총괄, 교육	심 동 규 (광운대학교 교수) - SPC
	김 종 욱 (고려대학교 교수) - 하계 총괄	이 석 희 (솔리다임 의장) - 산업체	이 재 훈 (유정시스템(주) 대표이사) - 산업체
	백 광 현 (중앙대학교 교수) - AI위원회, 사업		
	노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장) - 연구소		
	이 규 북 (한국전자기술연구원 부원장) - 산학연		
	이 승 호 (한밭대학교 교수) - 지부		
소 사 이 어 티 회 장	황 인 철 (강원대학교 교수) - 학술(CCE-Asia), 정보화 총괄, 회원	김 진 상 (경희대학교 교수) - 반도체소사이어티	송 병 철 (인하대학교 교수) - 인공지능 신호처리소사이어티
	유 명 식 (숭실대학교 교수) - 통신소사이어티	김 은 원 (대림대학교 교수) - 산업전자소사이어티	강 성 원 (한국전자통신연구원 소장)
	황 성 운 (가천대학교 교수) - 컴퓨터소사이어티	김 부 군 (숭실대학교 교수)	김 영 한 (UC San Diego 교수 / 가우스랩스 대표이사)
	유 정 봉 (공주대학교 교수) - 시스템 및 제어 소사이어티	남 궁 선 (㈜유니트론텍 부회장)	손 보 익 (㈜LX세미콘 대표이사)
	강 민 석 (LG이노텍(주) 부사장 CTO)	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)	윤 석 현 (단국대학교 교수)
	김 달 수 (㈜티엘아이 대표이사)	이 동 규 (㈜카카오모빌리티 부사장)	이 상 호 (SK텔레콤(주) CTO)
	김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)	이 재 관 (한국자동차연구원 본부장)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
협 동 부 회 장	김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)	전 선 익 (파이낸셜뉴스 사장)	정 은 승 (삼성전자(주) 사장)
	박 흥 준 (포항공과대학교 교수)	최 승 범 (삼성전자(주) 부사장)	
	송 문 섭 (㈜심택 회장)		
	유 창 동 (한국과학기술원 교수)		
	이 광 업 (서경대학교 교수)		
	이 병 선 (김포대학교 교수)		
	이 승 훈 (서강대학교 교수)		
상 임 이 사	이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)	강 석 주 (서강대학교 교수) - 홍보 총괄	구 본 태 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 학술(하계)
	전 병 우 (상관대학교 교수)	구 본 태 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 학술(하계)	권 현 인 (중앙대학교 교수) - 학술(하계)
	정 준 (㈜솔리드 대표이사)	김 용 신 (고려대학교 교수) - 회원총괄	김 훈 (인천대학교 교수) - 학술(CEC)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	김 영 민 (서울대학교 교수) - AI위원회	김 종 선 (홍익대학교 교수) - 산학연
	최 승 중 (LG전자(주) 부사장)	김 대 석 (삼성전자(주) 마스터) - 교육 총괄	변 대 석 (삼성전자(주) 마스터) - 교육 총괄
	강 명 곤 (한국교통대학교 교수) - 국문논문	선 우 경 (서울대학교 교수) - 학회지	연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장) - 표준화 총괄
	강 제 원 (이화여자대학교 교수) - 사업	이 강 윤 (성균관대학교 교수) - 산학연 총괄	전 세 영 (서울대학교 교수) - 추무 총괄
산 업 체 이 사	권 구 덕 (강원대학교 교수) - 정보화	정 진 곤 (중앙대학교 교수) - 사업 총괄	조 성 현 (한양대학교 교수) - 사업
	김 윤 (서울시립대학교 교수) - 회원	채 영 철 (연세대학교 교수) - 국제협력, 추계	황 진 영 (한국항공대학교 교수) - 홍보
	김 현 (서울과학기술대학교 교수) - 재무	김 동 현 (ICT(주) 대표이사)	김 현 수 (삼성전자(주) 상무)
	김 성 우 (서울대학교 교수) - 추무, 대외협력	우 정 호 (비전넥스트 대표이사)	윤 영 권 (삼성전자(주) 마스터)
	김 익 군 (한국전자통신연구원 본부장) - 사업		
	류 수 정 (사피온코리아 대표이사) - 대외협력 총괄		
	서 창 호 (한국과학기술원 교수) - 사업		
산 업 체 이 사	신 오 순 (숭실대학교 교수) - 국문논문 총괄		
	유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장) - 사업		
	이 정 우 (중앙대학교 교수) - 기획		
	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장) - 학술(CCE-Asia)		
	제 민 규 (한국과학기술원 교수) - 사업		
	차 철 용 (한국전자기술연구원 센터장) - 표준화		
	한 재 호 (고려대학교 교수) - 학술(CCE-Asia 총괄)		
산 업 체 이 사	강 석 판 (LG전자(주) 상무) - 학술(하계)		
	김 태 진 (㈜더즈텍 대표이사)		
	오 의 열 (LG디스플레이(주) 연구위원)		
	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아(주) 대표이사)		

이 사
협 동 이 사

이 상 만 (㈜시스템이트 대표이사)
이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
조 해 정 (삼성물산 그룹장)
최 진 성 (도이치텔레콤 부사장)
함 철 희 (삼성전자㈜ 마스터)
황 정 성 (케이케이테크㈜ 고문)
강 동 우 (홍익대학교 교수) - 사업
고 병 철 (계명대학교 교수) - 학술(하계)
권 기 룡 (부경대학교 교수) - 학술(하계)
권 태 수 (서울과학기술대학교 교수) - 사업
김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무 연구소장) - 학술(하계)
김 성 진 (UNIST 교수) - 사업
김 용 석 (성균관대학교 교수) - 홍보
김 유 철 (LG AI연구원 부부장) - AI위원회
김 중 훈 (고려대학교 교수) - 사업/기획/학술(하계)
박 영 훈 (숙명여자대학교 교수) - 학술(ICEC)
배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 학술(추계)
안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장) - 사업
안 호 군 (한국전자통신연구원 실장) - 사업
오 정 훈 (삼성전자㈜ 마스터) - 회원
이 남 윤 (포항공과대학교 교수) - 사업/기획
이 승 아 (연세대학교 교수) - 국제협력
이 중 호 (숭실대학교 교수) - 국문논문
이 형 민 (고려대학교 교수) - 학술(하계)
장 성 옥 (카카오모빌리티 상무) - AI위원회
정 승 원 (고려대학교 교수) - SPC
차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수) - 정보화
하 정 우 (네이버 AI연구소장) - AI위원회
한 정 환 (충남대학교 교수) - 정보화
함 범 섭 (연세대학교 교수) - 학술(하계)
현 유 진 (DGIST 책임연구원) - 사업
고 승 훈 (광운대학교 교수) - 정보화
권 중 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) - 학술(추계)
김 수 연 (동국대학교 교수) - 학술(하계)
김 용 태 (경북대학교 교수) - 회원
김 형 진 (인하대학교 교수) - 학회지
민 경 식 (국민대학교 교수) - 회원
배 준 성 (강원대학교 교수) - 정보화
백 지 선 (삼성전자㈜ 수석연구원) - 정보화
손 일 수 (서울과학기술대학교 교수) - 국문논문
송 의 현 (한양대학교 교수) - 국문논문
오 윤 호 (성균관대학교 교수) - 국제협력
유 경 장 (삼성전자㈜ 수석연구원) - 회원
윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원) - 사업
이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터) - 산학연
이 주 연 (전주비전대학교 교수) - 학술(추계)
정 방 철 (충남대학교 교수) - 학술(추계)
조 성 인 (동국대학교 교수) - 홍보
지 택 수 (전남대학교 교수) - 학술(하계)
최 응 (숙명여자대학교 교수) - 학술(하계)
최 병 수 (한국전자통신연구원 실장) - 학술(하계)
홍 제 형 (한양대학교 교수) - AI위원회

이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사) - 회원
조 영 민 (SkyMirr CEO)
최 성 민 (㈜해치텍 대표이사)
한 은 혜 (에스에스앤씨㈜ 대표이사)
홍 국 태 (㈜LX세미콘 연구위원)
강 용 성 (와이즈넷 대표이사) - 산학연
구 민 석 (인천대학교 교수) - 국문논문
권 중 기 (한국전자통신연구원 연구전문위원) - 사업
김 경 연 (제주대학교 교수) - 학술(하계)
김 선 옥 (고려대학교 교수) - 회원
김 소 영 (성균관대학교 교수) - 홍보
김 원 중 (한국전자통신연구원 실장) - 표준화
김 주 업 (숙명여자대학교 교수) - 사업
남 기 창 (동국대학교 교수) - 정보화
배 순 민 (KT 소장) - AI위원회
손 기 옥 (국가보안기술연구소 책임연구원) - 산학연
안 상 철 (KIST 책임연구원) - AI위원회
양 준 성 (연세대학교 교수) - 학술(추계)
이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장) - 홍보
이 상 근 (성균관대학교 교수) - 표준화
이 윤 식 (UNIST 교수) - 홍보
이 채 은 (인하대학교 교수) - 홍보
임 동 구 (전남대학교 교수) - 정보화
장 익 준 (경희대학교 교수) - 국제협력
조 현 중 (강원대학교 교수) - 정보화
채 찬 병 (연세대학교 교수) - 기획
한 영 선 (부경대학교 교수) - 학술(추계)
한 태 희 (성균관대학교 교수) - 국문논문
허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 사업
홍 병 우 (중앙대학교 교수) - AI위원회
곽 진 태 (고려대학교 교수) - 학술(추계)
권 준 석 (중앙대학교 교수) - AI위원회
김 영 진 (한국항공대학교 교수) - 홍보
김 주 성 (한밭대학교 교수) - 국제협력
김 형 탁 (홍익대학교 교수) - 학술(하계)
박 성 옥 (강릉원주대학교 교수) - 학술(하계)
배 준 호 (가천대학교 교수) - 표준화
서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장) - 산학연
송 민 협 (한국전자통신연구원 선임연구원) - 학회지
송 준 영 (인천대학교 교수) - 학술(CCE-Aisa)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수) - 학술(하계)
윤 명 국 (이화여자대학교 교수) - 학술(추계)
이 철 (동국대학교 교수) - 학술(하계)
이 정 원 (서울대학교 교수) - 학회지
임 매 순 (한국과학기술연구원 선임연구원) - 사업
정 성 업 (차세대융합기술연구원 선임연구원) - 학술(하계)
좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수) - 표준화
채 주 형 (광운대학교 교수) - 재무
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) - SPC
추 상 혁 (현대자동차 책임매니저) - 정보화
홍 철 호 (중앙대학교 교수) - 산학연

지부장 명단

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

강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
공 성 호 (경북대학교 교수)
김 현 철 (울산대학교 교수)
고 석 준 (제주대학교 교수)
강 윤 희 (백석대학교 교수)
최 명 준 (텔레다인 박사)

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

최 수 일 (전남대학교 교수)
이 문 식 (한국전자통신연구원 실장)
김 대 순 (전주비전대학교 교수)
최 영 규 (한국교통대학교 교수)
백 인 천 (AIJU대학교 교수)
Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위원장	김수중 (경북대학교 명예교수)
부위원장	김도현 (국민대학교 명예교수)
위원	고성재 (고려대학교 교수)
	김덕진 (고려대학교 명예교수)
	김재희 (연세대학교 명예교수)
	박규태 (연세대학교 명예교수)
	박항구 (소암시스템 명예교수)
	성광모 (서울대학교 명예교수)
	이상설 (한양대학교 명예교수)
	이충용 (서울대학교 명예교수)
	임혜숙 (이화여자대학교 교수)
	정정화 (한양대학교 명예교수)

공준진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	구용서 (단국대학교 교수)
김성대 (한국과학기술원 명예교수)	김영권 (건국대학교 명예교수)
나정웅 (한국과학기술원 명예교수)	문영식 (한양대학교 교수)
박성한 (한양대학교 명예교수)	박진옥 (육군사관학교 명예교수)
백준기 (중앙대학교 교수)	서정욱 ((전) 과학기술부 장관)
윤종용 (한국공학교육진흥원 이사장)	이문기 (연세대학교 명예교수)
이재홍 (서울대학교 명예교수)	이진구 (동국대학교 명예교수)
이태원 (고려대학교 명예교수)	임택탁 (한양대학교 명예교수)
전국진 (서울대학교 명예교수)	전홍태 (중앙대학교 명예교수)
홍대식 (연세대학교 교수)	홍승홍 (인하대학교 명예교수)

기획위원회

위원장	이정우 (중앙대학교 교수)	
위원	김중헌 (고려대학교 교수)	이남윤 (포항공과대학교 교수)
	조성재 (가천대학교 교수)	이한림 (중앙대학교 교수)
		채찬병 (연세대학교 교수)

학술연구위원회 – 하계

위원장	김종옥 (고려대학교 교수)		
부위원장	구본태 (한국전자통신연구원 책임연구원)	권혁인 (중앙대학교 교수)	조성현 (한양대학교 교수)
위원	강석판 (LG전자㈜ 상무)	고병철 (계명대학교 교수)	권구락 (조선대학교 교수)
	권기룡 (부경대학교 교수)	김경연 (제주대학교 교수)	김민규 (LG이노텍㈜ 상무/연구소장)
	김수연 (동국대학교 교수)	김용권 (건양대학교 교수)	김중헌 (고려대학교 교수)
	김형탁 (홍익대학교 교수)	문용 (송실대학교 교수)	박성욱 (강릉원주대학교 교수)
	우성민 (한국기술교육대학교 교수)	이승호 (한밭대학교 교수)	이종호 (송실대학교 교수)
	이철 (동국대학교 교수)	이형민 (고려대학교 교수)	정성엽 (차세대융합기술연구원 선임연구원)
	지택수 (전남대학교 교수)	최무한 (경북대학교 교수)	최병수 (한국전자통신연구원 실장)
	최웅 (숙명여자대학교 교수)	한상민 (순천향대학교 교수)	함범섭 (연세대학교 교수)

학술연구위원회 – 추계

위원장	노원우 (연세대학교 교수)		
위원	고한얼 (고려대학교 교수)	곽수영 (한밭대학교 교수)	곽진태 (고려대학교 교수)
	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김진영 (광운대학교 교수)	김형탁 (홍익대학교 교수)
	배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	서성규 (고려대학교 교수)	양준성 (연세대학교 교수)
	윤명국 (이화여자대학교 교수)	이주연 (전주비전대학교 교수)	정방철 (충남대학교 교수)
	채영철 (연세대학교 교수)	한영선 (부경대학교 교수)	

논문편집위원회

위원장	신오순 (송실대학교 교수)		
위원	강명곤 (한국교통대학교 교수)	구민석 (인천대학교 교수)	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)
	김병서 (홍익대학교 교수)	김선용 (건국대학교 교수)	김선용 (건국대학교 교수)
	김소영 (성균관대학교 교수)	김영선 (대림대학교 교수)	박성욱 (강릉원주대학교 교수)
	박종선 (고려대학교 교수)	손일수 (서울과학기술대학교 교수)	송익현 (한양대학교 교수)
	심정연 (강남대학교 교수)	유동훈 (삼성종합기술원 박사)	이윤구 (광운대학교 교수)
	이종호 (송실대학교 교수)	이후진 (한성대학교 교수)	최강선 (한국기술교육대학교 교수)
	한태희 (성균관대학교 교수)	홍민철 (송실대학교 교수)	

국제협력위원회

위원장	채영철 (연세대학교 교수)		
위원	권구덕 (강원대학교 교수)	김주성 (한밭대학교 교수)	오윤호 (성균관대학교 교수)
	이승아 (연세대학교 교수)	장익준 (경희대학교 교수)	

산학연협동위원회

위원장	이강윤 (성균관대학교 교수)	최병호 (한국전자기술연구원 본부장)	
부위원장	김종선 (홍익대학교 교수)	김상훈 (한라대학교 교수)	김익재 (한국과학기술연구원 박사)
위원	강용성 (와이즈넷㈜ 대표이사)	백준호 (퓨리오사 대표이사)	서영호 (광운대학교 교수)
	남상준 (세미파이버 상무)	손기욱 (국가보안기술연구소 책임연구원)	안호균 (한국전자통신연구원 실장)
	서종열 (LG전자㈜ 그룹장)	이승환 (SPRI 실장)	이재규 (삼성전자㈜ 마스터)
	유선우 (SK하이닉스㈜ 팀장)	전종욱 (건국대학교 교수)	정일권 (한국전자통신연구원 본부장)
	이종민 (SK텔레콤㈜ 원장)	홍철호 (중앙대학교 교수)	
	최윤석 (한밭대학교 연구위원)		

회원관리위원회

위원장	김용신 (고려대학교 교수)	김윤 (서울시립대학교 교수)	
위원	김선욱 (고려대학교 교수)	김용태 (경북대학교 조교수)	김혁 (서울시립대학교 교수)
	민경식 (국민대학교 교수)	박동욱 (서울시립대학교 교수)	오정훈 (삼성전자㈜ 마스터)
	유경창 (삼성전자㈜ 수석연구원)	이상훈 (₩웨이브피아 대표이사)	

회지편집위원회

위원장	선우경 (서울대학교 교수)	김영진 (한국생산기술연구원 박사)	김형진 (인하대학교 교수)
위원	김명선 (한성대학교 교수)	송민협 (한국전자통신연구원 선임)	이덕진 (전북대학교 교수)
	민경식 (국민대학교 교수)	이철 (동국대학교 교수)	정은성 (홍익대학교 교수)
	이정원 (서울대학교 교수)	황효석 (가천대학교 교수)	
	조성재 (가천대학교 교수)		

사업위원회

위원장	정진곤 (중앙대학교 교수)	강제원 (이화여자대학교 교수)	김익균 (한국전자통신연구원 본부장)
	서창호 (한국과학기술원 교수)	유찬세 (한국전자기술연구원 센터장)	제민규 (한국과학기술원 교수)
	조성현 (한양대학교 교수)		
위원	강동우 (홍익대학교 교수)	권종기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)	권태수 (서울과학기술대학교 교수)
	김성진 (UNIST 교수)	김주엽 (숙명여자대학교 교수)	김중헌 (고려대학교 교수)
	안광호 (한국전자기술연구원 센터장)	안호균 (한국전자통신연구원 실장)	윤상훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이남윤 (포항공과대학교 교수)	임매순 (한국과학기술연구원 선임연구원)	허재두 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	현유진 (DGIST 책임연구원)		

교육연구위원회

위원장	변대석 (삼성전자㈜ 마스터)	강문식 (강릉원주대학교 교수)	
위원	강명곤 (한국교통대학교 교수)	김훈 (인천대학교 교수)	김지훈 (이화여자대학교 교수)
	동성수 (용인예술과학대학교 교수)	박영우 (TEL 기술총괄)	변영재 (UNIST 교수)
	윤종윤 (₩ 파두 대표이사)	이영택 (ASML 전무)	이후진 (한성대학교 교수)

홍보위원회

위원장	강석주 (서강대학교 교수)	김영진 (한국항공대학교 교수)	김용석 (성균관대학교 교수)
위원	김소영 (성균관대학교 교수)	김형진 (인하대학교 교수)	민경식 (국민대학교 교수)
	김진규 (고려대학교 교수)	이윤식 (UNIST 교수)	이채은 (인하대학교 교수)
	이구순 (파이낸셜뉴스 부국장)	홍성완 (서강대학교 교수)	황진영 (한국항공대학교 교수)
	조성인 (동국대학교 교수)		

표준화위원회

위원장	연규봉 (한국자동차연구원 팀장)	김성동 (서울과학기술대학교 교수)	김원종 (한국전자통신연구원 실장)
부위원장	차철웅 (한국전자기술연구원 센터장)	이상근 (성균관대학교 교수)	정교일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
위원	권기원 (성균관대학교 교수)		
	배준호 (가천대학교 교수)		
	좌성훈 (서울과학기술대학교 교수)		

정보화위원회

위원장	권구덕 (강원대학교 교수)	남기창 (동국대학교 교수)	배준성 (강원대학교 교수)
위원	고승훈 (광운대학교 교수)	임동구 (전남대학교 부교수)	조현종 (강원대학교 교수)
	백지선 (삼성전자₩ 수석연구원)	추상혁 (현대자동차 책임매니저)	한정환 (충남대학교 교수)
	차혁규 (서울과학기술대학교 교수)		

AI위원회

위 원 장	김 영 민 (서울대학교 교수)	김 성 우 (서울대학교 교수)	김 유 철 (LG AI연구원 부문장)
위 원	권 준 석 (중앙대학교 교수)	안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원)	장 성 욱 (카카오모빌리티 상무)
	배 순 민 (KT 소장)	하 정 우 (네이버 AI연구소장)	홍 병 우 (중앙대학교 교수)
	전 세 영 (서울대학교 교수)		
	홍 제 형 (한양대학교 교수)		

지부담당위원회

위 원 장	이 승 호 (한밭대학교 교수)	강 윤 희 (백석대학교 교수)	공 성 호 (경북대학교 교수)
위 원	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	김 현 철 (울산대학교 교수)	이 문 식 (한국전자통신연구원 실장)
	김 대 순 (전주비전대학교 교수)	최 수 일 (전남대학교 교수)	최 영 규 (한국교통대학교 교수)
	고 석 준 (제주대학교 교수)		

선거관리위원회

위 원 장	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)	김 성 우 (서울대학교 교수)	김 용 신 (고려대학교 교수)
위 원	권 혁 인 (중앙대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	
	김 현 (서울과학기술대학교 교수)		

포상위원회

위 원 장	백 준 기 (중앙대학교 교수)	노 원 우 (연세대학교 교수)	이 정 우 (중앙대학교 교수)
위 원	김 종 욱 (고려대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	
	이 종 호 (서울대학교 교수)		
위원 및 간사겸임	전 세 영 (서울대학교 교수)		

재정위원회

위 원 장	서 승 우 (서울대학교 교수)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	박 성 한 (명예회장)
위 원	구 용 서 (단국대학교 교수)	원 제 형 (도교일렉트론코리아㈜ 대표이사)	이 윤 종 ((전) ㈜DB하이텍 부사장)
	박 영 기 ((주)싸인텔레콤 대표이사)	인 치 호 (세명대학교 교수)	홍 대 식 (연세대학교 교수)
	이 혁 재 (서울대학교 교수)		

인사위원회

위 원 장	서 승 우 (서울대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)
위 원	김 성 우 (서울대학교 교수)		
	이 혁 재 (서울대학교 교수)		

JSTS 편집위원회

위 원 장	김 재 준 (서울대학교 교수)	강 인 만 (경북대학교 교수)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)
위 원	강 석 형 (포항공과대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 재 준 (서울대학교 교수)
	김 상 범 (서울대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	김 형 탁 (홍익대학교 교수)
	김 주 성 (한밭대학교 교수)	류 승 탁 (한국과학기술원 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)
	남 일 구 (부산대학교 교수)	박 성 주 (한양대학교 교수)	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	박 성 민 (이화여자대학교 교수)	신 창 환 (성균관대학교 교수)	오 정 우 (연세대학교 교수)
	신 민 철 (한국과학기술원 교수)	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	장 호 원 (서울대학교 교수)
	이 가 원 (충남대학교 교수)	조 성 재 (가천대학교 교수)	조 일 환 (명지대학교 교수)
	정 재 경 (한양대학교 교수)	최 우 영 (서울대학교 교수)	
	차 호 영 (홍익대학교 교수)		

SPC위원회

위 원 장	심 동 규 (광운대학교 교수)	김 영 민 (홍익대학교 교수)	김 원 준 (건국대학교 교수)
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 종 욱 (고려대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)
	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)
	서 영 호 (광운대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)
	정 승 원 (동국대학교 교수)		
	황 인 철 (강원대학교 교수)		

Society 명단

통신소사이터티

회 장	유 명 식 (송실대학교 교수)	이 정 우 (중앙대학교 교수)	윤 석 현 (단국대학교 교수)
부 회 장	허 준 (고려대학교 교수)	김 선 용 (건국대학교 교수)	김 진 영 (광운대학교 교수)
	김 재 현 (아주대학교 교수)	유 명 식 (송실대학교 교수)	오 정 근 (주)ATNS 대표이사)
	김 훈 (인천대학교 교수)		
	최 천 원 (단국대학교 교수)		
감 사	이 재 진 (송실대학교 교수)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수)	김 영 한 (송실대학교 교수)
협 동 부 회 장	김 병 남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김 연 은 (주)브로던 대표이사)	류 승 문 ((사)개인공간서비스협회 수석부회장)
	김 용 석 ((주)답스 대표이사)	김 인 경 (LG전자(주) 상무)	연 철 흘 (LG텔레콤 상무)
	박 용 석 (주)UCT 대표이사)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 부장)	정 진 섭 (이노와이어리스 부사장)
	이 승 호 (주)하이게인 부사장)	이 재 훈 (유정시스템(주) 대표이사)	
	정 현 규 (한국전자통신연구원 부장)		
이 사	김 광 순 (연세대학교 교수)	김 성 훈 (한국전자통신연구원 박사)	김 정 호 (이화여자대학교 교수)
	노 윤 섭 (한국전자통신연구원 박사)	방 성 일 (단국대학교 교수)	서 철 현 (송실대학교 교수)
	성 원 진 (서강대학교 교수)	신 오 순 (송실대학교 교수)	신 오 안 (송실대학교 교수)
	윤 중 호 (한국항공대학교 교수)	윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)	이 중 호 (송실대학교 교수)
	이 재 훈 (동국대학교 교수)	이 호 경 (홍익대학교 교수)	임 종 태 (홍익대학교 교수)
	장 병 수 (이노벨류네트웍스 부사장)	조 성 현 (한양대학교 교수)	조 인 호 (에이스테크놀로지 박사)
	최 진 식 (한양대학교 교수)	허 서 원 (홍익대학교 교수)	
연구회위원장	장 석 호 (건국대학교 교수) - 통신	윤 상 민 (국민대학교 교수) - 미래지능형네트워크	
	조 춘 식 (한국항공대학교 교수) - 마이크로 및 전파전파	이 철 기 (아주대학교 교수) - ITS	
	김 강 욱 (경북대학교 교수) - 군사전자	허 재 두 (한국전자통신연구원 본부장) - 무선 PAN/BAN	
간 사	김 중 현 (고려대학교 교수)		

반도체소사이터티

회 장	김 진 상 (경희대학교 교수)	권 오 경 (한양대학교 교수)	김 영 환 (포항공과대학교 교수)
자 문 위 원	공 준 진 (삼성전자공과대학교 교수)	김 희 석 (청주대학교 교수)	박 종 준 (포항공과대학교 교수)
	김 재 석 (연세대학교 교수)	손 보 욱 (주)X세미콘 대표)	신 윤 승 (반소 전임회장)
	선우명훈 (아주대학교 교수)	우 남 성 (반소 전임회장)	이 승 훈 (서강대학교 교수)
	신 현 철 (한양대학교 교수)	임 형 규 (반소 전임회장)	장 성 진 (삼성전자(주) 부사장)
	임 신 일 (서강대학교 교수)	정 연 모 (경희대학교 교수)	정 항 근 (전북대학교 교수)
	전영현 (삼성SDI(주) 부회장)	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	정 해 식 (Synopsis 사장)	최 기 영 (서울대학교 교수)	최 승 중 (LG전자(주) 부사장)
	조 중 휘 (인천대학교 교수)		
	허 영 (실리콘마이터스 대표이사)		
감 사	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 광 엽 (서경대학교 교수)	
부 회 장	김 동 규 (한양대학교 교수)	안 기 현 (한국반도체산업협회 전무)	이 한 호 (인하대학교 교수)
	이 희 덕 (충남대학교 교수)	최 중 호 (서울시립대학교 교수)	
총 무 이 사	고 형 호 (충남대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 종 선 (고려대학교 교수)	윤 찬 호 (삼성전자(주) 마스터)	황 상 준 (삼성전자 부사장)
편 집 이 사	노 정 진 (한양대학교 교수)	유 창 식 (삼성전자(주) 부사장)	조 성 재 (가천대학교 교수)
	한 태 희 (성균관대학교 교수)		
학 술 이 사	강 진 구 (인하대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)	범 진 욱 (서강대학교 교수)
	변영재 (UNIST 교수)	송 민 규 (동국대학교 교수)	이 병 훈 (포항공과대학교 교수)
	이 승 호 (한밭대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	이 희 덕 (충남대학교 교수)
	인 치 호 (세명대학교 교수)	정 진 군 (전북대학교 교수)	차 호 영 (홍익대학교 교수)
	최 우 영 (연세대학교 교수)	최 창 환 (한양대학교 교수)	
사 업 이 사	강 운 병 (삼성전자(주) 마스터)	공 배 선 (성균관대학교 교수)	공 정 택 (성균관대학교 교수)
	김 동 순 (한국전자기술연구원 PD)	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 시 호 (연세대학교 교수)
	김 용 석 (성균관대학교 교수)	김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)	김 종 선 (홍익대학교 교수)
	백 광 현 (중앙대학교 교수)	변 대 석 (삼성전자(주) 마스터)	손 교 민 (삼성전자(주) 마스터)
	송 윤 호 (삼성전자(주) 전무)	임 낙 용 (한국전자통신연구원 연구위원)	오 정 우 (연세대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	조 태 제 (삼성전자(주) 고문)	최 규 명 (서울대학교 교수)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	최 윤 경 (고려대학교 교수)	최 준 립 (경북대학교 교수)
재 무 이 사	권 기 원 (성균관대학교 교수)	이 성 수 (송실대학교 교수)	
산 학 이 사	김 경 수 (넥스트칩 대표)	김 동 현 (CTK(주) 사장)	김 보 은 (라운텍 사장)
	김 준 석 (ADT 사장)	나 준 호 (주)X세미콘 전무)	손 재 철 (어보브반도체 부사장)
	송 태 훈 (휴인스 사장)	신 용 석 (케이던스코리아 사장)	이 도 영 (옵트레인 사장)
	이윤종 (동부하이텍 부사장)	이 장 규 (텔레칩스 대표)	
	노 원 우 (연세대학교 교수)	문 용 (송실대학교 교수)	
회 원 이 사	김 형 탁 (홍익대학교 교수) - 반도체사 및 재료	김 상 인 (아주대학교 교수) - 광파 및 양자전자공학	
연구회위원장	문 용 (송실대학교 교수) - SoC설계	김 영 진 (한국항공대학교 교수) - RF집적회로	
	정 원 영 (주)태성에스엔이 부본부장) - PCB&Package	김 익 군 (한국전자통신연구원 본부장) - 정보보안시스템	
	장 의 준 (경희대학교 교수) - 내방사선 반도체 설계 및 소재	김 한 구 (삼성전자공과대학교 교수) - ESD/EOS & Latchup	
	노 원 우 (연세대학교 교수) - 인 메모리 컴퓨팅		
협 동 위 원	강 명 곤 (한국고통대학교 교수)	강 석 형 (포항공과대학교 교수)	권 영 수 (한국전자통신연구원 본부장)
	김 수 연 (동국대학교 교수)	김 영 민 (홍익대학교 교수)	김 재 욱 (KIST 그룹장)
	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	류 상 주 (송실대학교 교수)	박 성 정 (건국대학교 교수)
	송 준 영 (인천대학교 교수)	양 준 성 (연세대학교 교수)	오 윤 호 (성균관대학교 교수)
	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)	이 영 주 (포항공과대학교 교수)	이 우 주 (중앙대학교 교수)
	이 문 영 (성균관대학교 교수)	이 형 민 (고려대학교 교수)	전 동 석 (서울대학교 교수)
	전 성 훈 (삼성전자 상무)	정 무 경 (SK 사파온 담당 (임원))	정 율 호 (한국항공대학교 교수)
	제 민 규 (한국과학기술원 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)	채 형 일 (건국대학교 교수)

최 재 혁 (한국과학기술원 교수)
황 태 호 (한국전자기술연구원 센터장)

최 재 혁 (성균관대학교 교수)

한 정 환 (충남대학교 교수)

컴퓨터소사이터

회 장
명 예 회 장

황 성 운 (가천대학교 교수)
신 인 철 (단국대학교 명예교수)
김 형 중 (고려대학교 교수)
안 병 구 (홍익대학교 교수)
김 승 천 (한성대학교 교수)

박 인 정 (단국대학교 명예교수)
홍 유 식 (상지대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)
강 문 식 (강릉원주대학교 교수)

박 춘 명 (한국교통대학교 교수)
허 영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)
안 현 식 (동명대학교 교수)
정 용 규 (울지대학교 교수)

자 문 위 원
감 사
부 회 장

정 교 일 (한국전자통신연구원 책임)
변 영 재 (UNIST 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
최 용 수 (신한대학교 교수)

남 상 업 (국제대학교 교수)
이 후 진 (한성대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
권 호 열 (강원대학교 교수)

윤 은 준 (경일대학교 교수)
조 민 호 (고려대학교 교수)

협동부회장

김 상 욱 (상명대학교 교수)
김 영 학 (산업기술평가관리원 본부장)
이 기 영 (인천대학교 교수)

박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)
우 윤 택 (한국과학기술원 교수)
황 인 정 (명지병원 책임)
김 효 선 (울지대학교 조교)

김 병 서 (홍익대학교 교수)
진 훈 (경기대학교 겸임교수)

총 무 이 사
재 무 이 사
홍 보 이 사
편 집 이 사

정 은 성 (홍익대학교 교수)
노 소 영 (월송출판 대표이사)
이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
진 성 아 (성결대학교 교수)
강 병 권 (순천향대학교 교수)
김 천 식 (세종대학교 교수)
이 찬 수 (영남대학교 교수)

박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)
김 선 욱 (고려대학교 교수)
이 문 구 (김포대학교 교수)
정 해 명 (김포대학교 교수)

기 장 근 (공주대학교 교수)
김 진 홍 (배재대학교 교수)
이 민 호 (경북대학교 교수)
한 규 필 (금오공과대학교 교수)

학 술 이 사

한 태 화 (연세대의료원 팀장)
임 재 규 (명지병원 소장)
한 영 선 (부경대학교 교수)
이 종 규 (조선대학교 교수)
서 민 석 (고려대학교 교수)
박 승 창 (주)유오씨 사장)
유 성 철 (LG히다찌 본부장)
김 대 휘 (주)한국정보통신 대표이사)
서 봉 상 (주)올프랜드 이사)

임 경 원 (대림대학교 교수)
황 석 중 (SK Telecom 박사)
김 명 선 (한성대학교 교수)
한 상 민 (순천향대학교 교수)
차 시 호 (청운대학교 교수)
오 승 훈 (주얼린 대표이사)
조 병 순 (CNCinstrument 사장)
김 은 영 (투와이시스템스 이사)

김 훈 규 (다스파워 이사)
황 재 정 (군산대학교 교수)
고 한 열 (고려대학교 교수)
이 정 선 (울지대학교 교수)
황 진 영 (한양대학교 교수)
송 치 봉 (웨이버스 이사)
조 병 영 (주태진인포텍 전무)
신 동 희 (대보정보통신 부장)

연구위원장

이 학 준 (이노비에스코리아 연구소장)
심 정 연 (강남대학교 교수) - 멀티미디어
윤 은 준 (경일대학교 교수) - 융합컴퓨팅
김 도 현 (제주대학교 교수) - M2M/IoT
황 성 운 (가천대학교 교수) - 인공지능 및 보안
정 은 성 (홍익대학교 교수) - 블록체인

이 재 훈 (유비벨록스모바일 대표이사)
진 훈 (경기대학교 교수) - 휴먼ICT
이 민 호 (경북대학교 교수) - 인공지능/신경망/퍼지
우 윤 택 (한국과학기술원 교수) - 증강현현
김 명 선 (한성대학교 교수) - AI응용

인공지능 신호처리소사이터

회 장
자 문 위 원

송 병 철 (인하대학교 교수)
김 종 욱 (고려대학교 교수)
김 정 태 (이화여자대학교 교수)
김 홍 국 (광주과학기술원 교수)
전 병 우 (성균관대학교 교수)

심 동 규 (광운대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수)
홍 민 철 (송실대학교 교수)

김 창 익 (한국과학기술원 교수)
이 영 렬 (세종대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)

부 회 장
협동부회장

고 병 철 (계명대학교 교수)
예 종 철 (한국과학기술원 교수)
김 남 수 (서울대학교 교수)
한 재 준 (삼성전자(주) 마스터)
이 병 욱 (이화여자대학교 교수)

민 동 보 (이화여자대학교 교수)
김 진 욱 (한국전자통신연구원 그룹장)
김 창 수 (고려대학교 교수)
유 명 호 (인텔리빅스 대표이사)
이 찬 수 (영남대학교 교수)

최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
강 경 진 (LG전자(주) 연구위원)
윤 재 욱 (LG전자(주) 연구위원)
하 정 우 (네이버 AI연구소장)

이 사

지 인 호 (홍익대학교 교수)
강 석 주 (서강대학교 교수)
김 휘 용 (경희대학교 교수)
곽 진 태 (고려대학교 교수)
박 영 경 (이화여자대학교 교수)
배 성 호 (경희대학교 교수)
신 종 연 (광주과학기술원 교수)
오 병 태 (한국항공대학교 교수)
이 범 식 (조선대학교 교수)
이 철 (동국대학교 교수)
전 세 영 (서울대학교 교수)
정 찬 호 (한밭대학교 교수)
최 욱 (인천대학교 교수)

권 기 룡 (부경대학교 교수)
강 정 원 (한국전자통신연구원 박사)
고 영 준 (충남대학교 교수)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
박 철 수 (광운대학교 교수)
서 정 일 (한국전자통신연구원 박사)
심 재 영 (UNIST 교수)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)
이 상 욱 (연세대학교 교수)
임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)
조 성 인 (동국대학교 교수)
최 해 철 (한밭대학교 교수)

최 병 호 (한국전자기술연구원 센터장)
강 제 원 (이화여자대학교 교수)
박 수 영 (한밭대학교 교수)
박 인 규 (인하대학교 교수)
백 종 덕 (연세대학교 교수)
신 지 태 (성균관대학교 교수)
심 현 정 (연세대학교 교수)
이 덕 우 (계명대학교 교수)
이 윤 구 (광운대학교 교수)
장 준 혁 (한양대학교 교수)
정 영 주 (숙명여자대학교 교수)
조 성 현 (포항공과대학교 교수)
한 재 호 (고려대학교 교수)

협 동 이 사

함 범 석 (연세대학교 교수)
강 현 수 (충북대학교 교수)
권 구 락 (조선대학교 교수)
김 용 환 (한국전자기술연구원 선임)
박 조 중 (광운대학교 교수)
양 현 중 (UNIST 교수)
이 상 철 (인하대학교 교수)
염 일 규 (부산대학교 교수)
최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)
한 중 기 (세종대학교 교수)
박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)
홍 성 훈 (전남대학교 교수)
김 휘 용 (경희대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)

황 효 석 (가천대학교 교수)
김 종 민 (강원대학교 교수)
김 기 백 (송실대학교 교수)
박 상 욱 (명지대학교 교수)
서 영 호 (광운대학교 교수)
오 태 현 (포항공과대학교 교수)
이 장 원 (한국항공대학교 교수)
임 재 욱 (제주대학교 교수)
최 종 원 (중앙대학교 교수)
김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
유 양 모 (서강대학교 교수)

구 형 일 (아주대학교 교수)
김 상 호 (성균관대학교 교수)
박 현 진 (성균관대학교 교수)
신 재 섭 (주)픽스트리 대표이사)
이 기 승 (건국대학교 교수)
이 종 설 (한국전자기술연구원 박사)
장 세 진 (한국전자기술연구원 센터장)
최 종 원 (한양대학교 교수)
최 해 광 (세종대학교 교수)
이 창 우 (카톨릭대학교 교수)

감 사
총 무 간 사

한 재 호 (고려대학교 교수)

연구회위원장	이 채 은 (인하대학교 교수) - 영상처리	김 원 준 (건국대학교 교수) - 영상이해
	이 중 호 (서울대학교 교수) - 바이오영상신호처리	황 원 준 (아주대학교 교수) - 딥러닝
	장 길 진 (경북대학교 교수) - 음향 및 음성신호처리	김 성 우 (서울대학교 교수) - 로봇 지능

시스템 및 제어사이어티

회 장	유 정 봉 (공주대학교 교수)	권 중 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	이 경 중 (연세대학교 교수)
부 회 장	김 수 찬 (한경대학교 교수)		
	남 기 창 (동국대학교 교수)		
감 사	김 영 진 (생산기술연구원 박사)	김 영 철 (군산대학교 교수)	
총 무 이 사	김 기 연 (한국산업기술시험원 선임연구원)		김 용 태 (한경대학교 교수)
재 무 이 사	김 준 식 (한국과학기술연구원 박사)	이 윤 재 (위더스텍 이사)	최 영 진 (한양대학교 교수)
학 술 이 사	김 용 권 (건양대학교 교수)	서 성 규 (고려대학교 교수)	
편 집 이 사	남 기 창 (동국대학교 교수)	이 수 열 (경희대학교 교수)	
기 획 이 사	이 덕 진 (전북대학교 교수)	최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)	
사 업 이 사	고 낙 용 (조선대학교 교수)	양 연 모 (금오공과대학교 교수)	이 석 재 (대구보건대학교 교수)
산 학 연 이 사	강 대 희 (유도주 박사)	서 동 혁 (단국대학교 교수)	조 영 조 (한국전자통신연구원 박사)
홍 보 이 사	김 재 욱 (한국한의학연구원 박사)	김 호 철 (울지대학교 교수)	박 재 병 (전북대학교 교수)
	여 회 주 (대전대학교 교수)		
회 원 이 사	권 오 민 (충북대학교 교수)	주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	김 종 만 (전남도립대학교 교수)
	김 지 훈 (전주비전대학교 교수)	문 정 호 (강릉원주대학교 교수)	박 영 진 (경희대학교 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	서 영 석 (영남대학교 교수)	송 철 규 (전북대학교 교수)
	유 재 현 (한경대학교 교수)	이 상 준 (선문대학교 교수)	이 용 귀 (한국전자통신연구원 선임연구원)
	이 태 희 (전북대학교 교수)	이 학 성 (세종대학교 교수)	정 재 훈 (동국대학교 교수)
	최 수 범 (한국과학기술정보연구원 연구원)	류 지 형 (한국전자통신연구원 박사)	최 우 영 (전북대학교 교수)
	한 아 (한국산업기술시험원 선임연구원)		
자 문 위 원	박 중 국 (경희대학교 교수)	서 일 훈 (한양대학교 교수)	김 덕 율 (연세대학교 교수)
	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 교수)	오 창 현 (고려대학교 교수)
	오 상 록 (한국과학기술연구원 분원장)	오 승 록 (단국대학교 교수)	정 길 도 (전북대학교 교수)
	김 영 철 (군산대학교 교수)		
연구회위원장	김 규 식 (서울시립대학교 교수) - 전력전자	한 수 희 (포항공과대학교 교수) - 제어계측	
	남 기 창 (동국대학교 교수) - 의용전자 및 생체공학	정 재 훈 (동국대학교 교수) - 지능로봇	
	이 상 준 (한양대학교 교수) - 회로 및 시스템	이 석 재 (대구보건대학교 교수) - 국방정보 및 제어	
	연 규 봉 (한국자동차연구원 센터장) - 자동차전자	오 창 현 (고려대학교 교수) - 의료영상시스템	
	권 중 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) - 스마트팩토리	정 범 진 (서울과학기술대학교 교수) - 스마트미터링	

산업전자사이어티

회 장	김 은 원 (대림대학교 교수)	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	남 상 업 (국제대학교 교수)
명 예 회 장	강 창 수 (유한대학교 교수)	장 철 (우성정보기술 대표이사)	최 영 일 (조선이공대학교 교수)
	윤 기 방 (인천대학교 교수)	김 병 화 (동원대학교 교수)	김 용 민 (충청대학교 교수)
자 문 위 원	김 대 휘 (한국정보기술 대표이사)	원 영 진 (부천대학교 교수)	이 상 준 (수원과학대학교 교수)
	김 중 부 (인덕대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	조 규 남 (로봇신문 대표이사)
	이 상 회 (동서울대학교 교수)	한 성 준 (아이티센 부사장)	
	진 수 춘 (한백전자 대표이사)		
수 석 부 회 장	고 정 환 (인하공업전문대학 교수)		
상 임 이 사	김 현 (부천대학교 교수)	김 상 범 (폴리텍대학교-대전 교수)	김 영 로 (명지전문대학 교수)
	김 영 선 (대림대학교 교수)	김 윤 석 (상지대학교 교수)	김 태 용 (구미대학교 교수)
	김 태 원 (상지대학교 교수)	동 성 수 (용인송담대학교 교수)	서 병 석 (상지대학교 교수)
	서 춘 원 (K-MY지능정보기술 대표이사)	엄 우 용 (인하공업전문대학 교수)	우 찬 일 (서일대학교 교수)
	원 우 연 (폴리텍대학교-춘천 교수)	윤 중 현 (조선이공대학교 교수)	이 시 현 (동서울대학교 교수)
	장 기 동 (동양미래대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)	
협동상임이사	강 현 석 (로보웬코리아 대표이사)	권 오 병 (넷케이아이 대표이사)	김 세 중 (SJ정보통신 이사)
	김 윤 철 (트라콤 이사)	김 정 석 (오디에이테크놀로지 대표이사)	김 진 선 (청파이엠티 본부장)
	박 현 영 (씨티랩스 대표이사)	서 봉 상 (올로랜드 이사)	성 재 용 (오픈링크시스템 대표이사)
	송 광 현 (복두전자 대표이사)	송 치 봉 (웨이버스 대표이사)	신 동 희 (대보정보통신 이사)
	오 재 곤 (한국정보기술 이사)	유 성 철 (LG히다씨 본부장)	이 승 민 (듀시스템 대표이사)
	이 영 준 (투비콤 대표이사)	장 대 현 (대신정보통신 이사)	전 한 수 (세림티에스지 이사)
	조 병 영 (태진인포텍 대표이사)	조 한 일 (하이제이컨설팅 대표이사)	
이 사	강 동 진 (한국정보통신기능대학교 교수)	강 민 구 (경기과학기술대학교 교수)	강 희 훈 (여주대학교 교수)
	곽 칠 성 (재능대학교 교수)	구 자 일 (인하공업전문대학 교수)	권 오 상 (경기과학기술대학교 교수)
	김 경 복 (경북대학교 교수)	김 남 섭 (서일대학교 교수)	김 덕 수 (동양미래대학교 교수)
	김 덕 영 (부천대학교 교수)	김 영 준 (인하공업전문대학 교수)	김 중 오 (동양미래대학교 교수)
	문 현 욱 (동원대학교 교수)	방 경 호 (명지전문대학 교수)	방 극 준 (인덕대학교 교수)
	배 효 관 (동원대학교 교수)	백 승 철 (우송정보대학교 교수)	변 상 준 (대덕대학교 교수)
	성 홍 석 (부천대학교 교수)	송 정 태 (동서울대학교 교수)	신 용 조 (상지영서대학교 교수)
	신 진 섭 (경민대학교 교수)	심 완 보 (충청대학교 교수)	안 상 수 (명지전문대학 교수)
	오 태 영 (원지전문대학 교수)	윤 승 립 (인하공업전문대학 교수)	원 우 연 (충천폴리텍대학교 교수)
	이 철 (인하공업전문대학 교수)	이 규 희 (상지영서대학교 교수)	이 동 영 (명지전문대학 교수)
	이 상 철 (재능대학교 교수)	이 승 우 (동원대학교 교수)	이 용 구 (한림성심대학교 교수)
	이 정 석 (인하공업전문대학 교수)	이 중 근 (부천대학교 교수)	이 중 성 (부천대학교 교수)
	이 중 용 (광운대학교 교수)	이 중 하 (전주비전대학교 교수)	강 성 석 (영진전문대학교 교수)
	정 석 재 (영진전문대학교 교수)	정 해 명 (김포대학교 교수)	정 환 익 (경북대학교 교수)
	조 경 식 (국제대학교 교수)	주 진 화 (오산대학교 교수)	최 현 식 (충북보건과학대학교 교수)
	최 홍 주 (상지영서대학교 교수)	허 윤 석 (충청대학교 교수)	황 수 철 (인하공업전문대학 교수)
협 동 이 사	고 강 일 (이치테크 대표이사)	김 연 길 (대보정보통신 이사)	신 현 삼 (아이티커머스 이사)
	이 진 우 (글로벌링크 이사)	이 현 성 (프로랩 대표이사)	장 기 웅 (나날에스엠아이 대표이사)
	최 석 우 (한국정보기술 상무)		
감 사	이 병 선 (김포대학교 교수)	이 태 동 (국제대학교 교수)	

제24대 평의원 명단

강명곤 (한국교통대학교 교수)	강문식 (강릉원주대학교 교수)	강민석 (LG노텍 부사장(CTO))
강석주 (서강대학교 교수)	강석판 (LG전자 상무)	강석형 (포항공과대학교 교수)
강성원 (한국전자통신연구원 소장)	강윤희 (백석대학교 교수)	강제원 (이화여자대학교 교수)
강진구 (인하대학교 교수)	고병철 (계명대학교 교수)	고석준 (제주대학교 교수)
고성제 (고려대학교 교수)	고정환 (인하공업전문대학 교수)	고형호 (충남대학교 교수)
공배선 (성균관대학교 교수)	공성호 (경북대학교 교수)	공준진 (삼성전자 마스터/주임교수)
곽진태 (고려대학교 교수)	구민석 (인천대학교 교수)	구본태 (한국전자통신연구원 책임연구원)
구용서 (단국대학교 교수)	권건우 (홍익대학교 교수)	권구덕 (강원대학교 교수)
권기룡 (부경대학교 교수)	권오경 (한국공학한림원 회장)	권오규 (인하대학교 교수)
권종기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	권태수 (서울과학기술대학교 교수)
권혁인 (중앙대학교 교수)	권호열 (정보통신정책연구원 원장)	김경기 (대구대학교 교수)
김광수 (서강대학교 교수)	김광순 (연세대학교 교수)	김규식 (서울시립대학교 교수)
김남 (충북대학교 교수)	김달수 (티엘아이 대표이사)	김대순 (전주비전대학교 교수)
김덕진 (고려대학교 명예교수)	김도현 (국민대학교 명예교수)	김도현 (제주대학교 교수)
김동규 (한양대학교 교수)	김동식 (인하공업전문대학 교수)	김동현 (CTK 대표이사)
김명선 (한성대학교 교수)	김명준 (한국전자통신연구원 원장)	김병서 (홍익대학교 교수)
김봉태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)	김부균 (숭실대학교 교수)	김상완 (서강대학교 교수)
김상태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)	김선용 (건국대학교 교수)	김선욱 (고려대학교 교수)
김성대 (KAIST 명예교수)	김성우 (서울대학교 교수)	김성진 (울산과학기술원 교수)
김소영 (성균관대학교 교수)	김수연 (동국대학교 교수)	김수중 (경북대학교 명예교수)
김수찬 (한경대학교 교수)	김수환 (서울대학교 교수)	김승천 (한성대학교 교수)
김시호 (연세대학교 교수)	김영권 (후레대학교 명예총장)	김영로 (명지전문대학 교수)
김영민 (서울대학교 교수)	김영민 (홍익대학교 교수)	김영선 (대림대학교 교수)
김영재 (해동과학문화재단 이사장)	김영진 (한국항공대학교 교수)	김영진 (한국생산기술연구원 수석연구원)
김영철 (군산대학교 교수)	김영한 (UC San Diego/가우스랩스 교수/대표이사)	김용규 (한국철도기술연구원 수석연구원)
김용석 (성균관대학교 교수)	김용신 (고려대학교 교수)	김원중 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김원준 (건국대학교 교수)	김유선 (LG이노텍 TASK LEADER)	김유철 (LG AI연구원 부문장)
김윤 (서울시립대학교 교수)	김은원 (대림대학교 교수)	김익균 (한국전자통신연구원 본부장)
김재현 (아주대학교 교수)	김재희 (연세대학교 명예교수)	김정범 (강원대학교 교수)
김정호 (이화여자대학교 교수)	김종선 (홍익대학교 교수)	김종욱 (고려대학교 교수)
김주성 (한밭대학교 교수)	김준모 (한국과학기술원 교수)	김지훈 (이화여자대학교 교수)
김진상 (경희대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)	김진태 (건국대학교 교수)
김창수 (고려대학교 교수)	김창익 (한국과학기술원 교수)	김철우 (고려대학교 교수)
김태욱 (연세대학교 교수)	김태진 (더즈텍 대표이사)	김한구 (삼성전자공과대학교 교수)
김현 (서울과학기술대학교 교수)	김현 (부천대학교 교수)	김현수 (삼성전자 상무)
김현철 (울산대학교 교수)	김형준 (한국과학기술연구원 소장)	김형진 (인하대학교 교수)
김형탁 (홍익대학교 교수)	김홍국 (광주과학기술원 교수)	김훈 (인천대학교 교수)
나정웅 (한국과학기술원 명예교수)	남궁선 (유니트론텍 부회장)	남기창 (동국대학교 교수)
남상욱 (서울대학교 교수)	남일구 (부산대학교 교수)	노원우 (연세대학교 교수)
노정진 (한양대학교 교수)	노태문 (한국전자통신연구원 센터장/책임연구원)	동성수 (용인송담대학교 교수)
류수정 (사피온코리아 대표이사)	류승탁 (한국과학기술원 교수)	문병인 (경북대학교 교수)
문영식 (한양대학교 교수)	문용 (숭실대학교 교수)	민경식 (국민대학교 교수)
민동보 (이화여자대학교 교수)	박규태 (연세대학교 명예교수)	박부건 (포항공과대학교 교수)
박성민 (이화여자대학교 교수)	박성욱 (SK하이닉스 부회장)	박성욱 (강릉원주대학교 교수)
박성한 (한양대학교 명예교수)	박수현 (국민대학교 교수)	박영훈 (숙명여자대학교 교수)
박인규 (인하대학교 교수)	박종선 (고려대학교 교수)	박종일 (한양대학교 교수)
박진욱 (육군사관학교 명예교수)	박항구 (소암시스템 회장)	배준성 (강원대학교 조교수)
배준호 (가천대학교 교수)	배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	백광현 (중앙대학교 교수)
백상현 (고려대학교 교수)	백준기 (중앙대학교 교수)	범진욱 (서강대학교 교수)
변대석 (삼성전자 마스터)	변영재 (울산과학기술원 교수)	서승우 (서울대학교 교수)
서정욱 (전 과학기술부 장관)	서창호 (한국과학기술원 교수)	선우경 (서울대학교 교수)
선우명훈 (아주대학교 교수)	성광모 (서울대학교 명예교수)	성원진 (서강대학교 교수)
손교민 (삼성전자 마스터)	손보익 (LX세미콘 대표이사)	손일수 (서울과학기술대학교 교수)
송문섭 (심텍 회장)	송민규 (동국대학교 교수)	송민협 (한국전자통신연구원 선임연구원)
송병철 (인하대학교 교수)	송상현 (중앙대학교 교수)	송준영 (인천대학교 교수)
신오순 (숭실대학교 교수)	신요안 (숭실대학교 교수)	신창환 (고려대학교 교수)
신현철 (광운대학교 교수)	심동규 (광운대학교 교수)	심정연 (강남대학교 교수)
안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원)	안승권 (연암공과대학교 총장)	안현식 (동명대학교 교수)
안호균 (한국전자통신연구원 실장)	양준성 (연세대학교 교수)	엄낙웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
여희주 (대전대학교 교수)	연규봉 (한국자동차연구원 팀장/수석연구원)	예종철 (한국과학기술원 교수)
오상록 (한국과학기술연구원 강릉분원장)	오성근 (아주대학교 교수)	오윤호 (성균관대학교 교수)
오의열 (LG디스플레이 연구위원)	오정훈 (삼성전자 마스터)	우성민 (한국기술교육대학교 교수)
우은택 (한국과학기술원 교수)	우정호 (비전넥스트 대표이사)	원제형 (도쿄엘렉트론코리아 대표이사)
유동훈 (삼성전자 전문)	유명식 (숭실대학교 교수)	유윤섭 (한경대학교 교수)
유정봉 (공주대학교 교수)	유찬세 (한국전자기술연구원 센터장)	유창동 (한국과학기술원 교수)
유창식 (삼성전자 전문)	윤광섭 (인하대학교 교수)	윤명국 (이화여자대학교 교수)

윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
 윤 성 로 (서울대학교 교수)
 윤 중 용 (삼성전자 비상임고문)
 이 광 업 (서경대학교 교수)
 이 규 필 (삼성전자 부사장)
 이 덕 진 (전북대학교 교수)
 이 문 식 (한국전자통신연구원 실장)
 이 상 설 (한양대학교 명예교수)
 이 석 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
 이 성 준 (한양대학교 교수)
 이 승 은 (서울과학기술대학교 교수)
 이 윤 식 (울산과학기술원 교수)
 이 재 성 (고려대학교 교수)
 이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
 이 중 호 (숭실대학교 교수)
 이 주 연 (전주비전대학교 교수)
 이 채 은 (인하대학교 교수)
 이 철 (동국대학교 교수)
 이 태 동 (국제대학교 교수)
 이 한 호 (인하대학교 교수)
 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
 임 매 순 (한국과학기술연구원 선임연구원)
 임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
 장 성 진 (삼성전자 부사장)
 전 동 석 (서울대학교 교수)
 전 세 영 (서울대학교 교수)
 전 흥 태 (중앙대학교 명예교수)
 정 민 수 (라온텍 부사장)
 정 성 업 (차세대융합기술연구원 선임연구원)
 정 원 영 (태성에스엔이 부분부장)
 정 일 권 (한국전자통신연구원 부분부장)
 정 준 (솔리드 대표이사)
 정 해 준 (경희대학교 교수)
 조 남 익 (서울대학교 교수)
 조 성 인 (동국대학교 교수)
 조 중 휘 (인천대학교 교수)
 조 해 정 (삼성물산 그룹장)
 차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)
 천 경 준 (씨젠 회장)
 최 광 표 (삼성전자 마스터)
 최 성 민 (해치텍 대표이사)
 최 승 중 (LG전자 부사장)
 최 우 경 (연세대학교 교수)
 최 재 혁 (한국과학기술원 교수)
 최 진 성 (도이치텔레콤 부사장)
 최 천 원 (단국대학교 교수)
 한 영 선 (부경대학교 교수)
 한 정 환 (충남대학교 교수)
 함 철 희 (삼성전자 마스터)
 현 유 진 (대구경북과학기술원 책임연구원)
 홍 민 철 (숭실대학교 교수)
 홍 인 기 (경희대학교 교수)
 황 성 운 (가천대학교 교수)
 황 인 정 (영지병원 수석연구원)
 황 진 영 (한국항공대학교 교수)

윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)
 윤 영 권 (삼성전자 마스터)
 이 강 윤 (성균관대학교 교수)
 이 규 대 (공주대학교 교수)
 이 남 윤 (고려대학교 교수)
 이 동 규 (카카오모빌리티 부사장)
 이 병 선 (김포대학교 교수)
 이 상 윤 (연세대학교 교수)
 이 석 희 (SK하이닉스 대표이사)
 이 수 민 (한국센터연구소 대표이사)
 이 승 호 (한밭대학교 교수)
 이 인 규 (고려대학교 교수)
 이 재 진 (숭실대학교 교수)
 이 정 우 (중앙대학교 교수)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
 이 천 희 (전) 청주대학교 교수)
 이 중 용 (연세대학교 교수)
 이 태 원 (고려대학교 명예교수)
 이 혁 재 (서울대학교 교수)
 이 희 덕 (충남대학교 교수)
 임 신 일 (서경대학교 교수)
 장 길 진 (경북대학교 교수)
 장 의 준 (경희대학교 교수)
 전 병 우 (성균관대학교 교수)
 전 영 현 (삼성SDI 부회장)
 정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
 정 방 철 (충남대학교 교수)
 정 승 원 (고려대학교 교수)
 정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
 정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
 정 진 곤 (중앙대학교 교수)
 제 민 규 (한국과학기술원 교수)
 조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
 조 성 현 (한양대학교 교수)
 조 진 용 (한국전자기술연구원 센터장/수석연구원)
 진 훈 (경기대학교 교수)
 채 영 철 (연세대학교 교수)
 최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
 최 병 수 (부경대학교 교수)
 최 수 일 (전남대학교 교수)
 최 영 규 (한국교통대학교 교수)
 최 우 경 (숙명여자대학교 교수)
 최 준 립 (경북대학교 교수)
 최 창 범 (한밭대학교 교수)
 최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
 한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
 한 태 희 (성균관대학교 교수)
 허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)
 홍 국 태 (엘엑스세미콘 연구위원)
 홍 승 흥 (인하대학교 명예교수)
 홍 제 형 (한양대학교 교수)
 황 승 훈 (동국대학교 교수)
 황 인 철 (강원대학교 교수)

윤 석 현 (단국대학교 교수)
 윤 일 구 (연세대학교 교수)
 이 경 중 (연세대학교 교수)
 이 규 복 (한국전자기술연구원 부원장)
 이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
 이 문 기 (연세대학교 명예교수)
 이 상 만 (시스메이트 대표이사)
 이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
 이 성 수 (숭실대학교 교수)
 이 승 용 (포항공과대학교 교수)
 이 영 열 (세종대학교 교수)
 이재 관 (한국자동차연구원 본부장)
 이재 훈 (서울대학교 명예교수)
 이정 원 (서울대학교 선임연구원)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)
 이 철 (동국대학교 교수)
 이 중 용 (서울대학교 명예교수)
 이 한 립 (중앙대학교 교수)
 이 형 민 (고려대학교 교수)
 인 치 호 (세명대학교 교수)
 임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
 장 석 호 (건국대학교 교수)
 전 국 진 (서울대학교 명예교수)
 전 선 익 (파이낸셜뉴스 사장)
 전 정 훈 (성균관대학교 교수)
 정 길 도 (전북대학교 교수)
 정 범 진 (한국외국어대학교 교수)
 정 용 규 (울지대학교 교수)
 정 은 승 (삼성전자 사장)
 정 중 문 (연세대학교 교수)
 정 진 곤 (전북대학교 교수)
 조 경 순 (한국외국어대학교 교수)
 조 민 호 (고려대학교 교수)
 조 영 민 (SkyMir CEO)
 조 현 중 (강원대학교 교수)
 차 철 용 (한국전자기술연구원 센터장)
 채 주 형 (광운대학교 교수)
 최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)
 최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)
 최 승 범 (삼성전자 부사장)
 최 용 수 (신한대학교 교수)
 최 윤 석 (한밭대학교 교수)
 최 중 호 (서울시립대학교 교수)
 최 창 식 (DB하이텍 부회장)
 한 동 석 (경북대학교 교수)
 한 재 호 (고려대학교 교수)
 함 범 섭 (연세대학교 교수)
 허 준 (고려대학교 교수)
 홍 대 식 (연세대학교 교수)
 홍 유 식 (상지대학교 교수)
 홍 철 호 (중앙대학교 교수)
 황 원 준 (아주대학교 교수)
 황 인 태 (전남대학교 교수)

사무국 직원 명단

송기원 국장 - 기획, 신규업무, 산학연, 자문/IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 유관기관 등 대외업무 및 업무총괄
 이만순 부장 - 하계학술대회, 주요 운영회의(이사회, 평의원회 및 총회), 총무업무(선거, 공문처리, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wset 등)
 배지영 부장 - 본회 사업, 추계학술대회, 교육, 통신소사이터티, 컴퓨터소사이터티, 인공지능 신호처리소사이터티, 시스템 제어소사이터티, 산업전자소사이터티
 배기동 부장 - SI 관련, 국문지, 학회지, 표준화, 영역 등 기타 지원업무
 변은정 부장 - 재무(본회/소사이터티/연구회), 개인회원 및 특별회원, 홍보(컨텐츠)
 김천일 차장 - 학회 웹사이트 관리, 홍보지원(매체), IIE Forum, 각종 정보화업무 지원, 전산장비 관리 등
 성다희 사원 - 국제학술대회(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 관련기관과 협력(Joint Award 등), JSTS/ SPC 발간

학회소식

2022년도 제6차 상임이사회

제 6차 상임이사회가 10월 14일(금) 17시 ENA 스위트 호텔 2층(서소문동 소재)에서 개최되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 회의 개최 성원

— 제5차 상임이사회는 43명의 상임이사 중 26명의 참여로 성원되었음.

2. 본 학회(각 위원회) 및 소사이어티 보고

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

3. 심의사항 의결

— 신규 개인 회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.
— 학회상 및 해동상 수상자에 대해 원안대로 승인함.
— 2023년도 사업계획 및 예산(안)을 승인함.
— 중소기업기술정보진흥원(TIPA) 스케일업 틱스 사업 협력 방안을 승인함.

4. 기타

우 회원(연세대), 황인철 회원(강원대), 감사로는 인치호 회원(세명대), 백광현 회원(중앙대)이 선출되었다.



서승우 학회장 인사말



차기 회장단 및 감사 인사

2022년 제2차 평의원회 회의

11월 11일(금) 파크 루안(역삼점)에서 제2차 평의원회가 평의원 171명이 참석한 가운데 개최되었다. 이번 회의에서는 연간 사업 추진 보고와 함께 2023년도 사업계획 및 예산(안) 등이 상정되어 의결되었다. 또한 선거관리위원회 주관으로 2023년도 임원을 선출하였으며, 차기 회장으로는 이혁재 회원(서울대), 차기 수석부회장은 이충용 회원(연세대), 선출직 부회장으로는 김종욱 회원(고려대), 노원

2022 WISET 여대학원생 공학연구팀제 결과발표대회 개최

2022 WISET 여대학원생 공학연구팀제 지원사업 결과발표대회가 2022년 10월 14일(금) 한국과학기술회관 SC컨벤션센터 아나이스홀에서 한국여성과학기술인육성재단과 공동주관으로 개최되었다. 결과발표대회에는 연구책임자 등 총 90여명이 참석하였으며, 우수 연구팀에는 고려대학교 전기전자공학부 팀이 선정되었다.



개회사 – 심정연 여성위원장



공학연구팀제 지원사업 결과발표대회

IEEE/IEIE ICCE-Asia 2022 국제학술대회

ICCE-Asia는 대한전자공학회와 국제전기전자학회(IEEE)가 공동으로 개최하는 국제학술대회로서, 최근 우리나라가 세계를 선도하고 있는 AI, 자율주행, 자동차 등에서 소비자 전자공학 기술의 국제화를 목표로 10월 26일(수)부터 28일(금)까지 여수 소노캄 호텔에서 성황리에 개최되었다. 이번 학술행사는 코로나 19로 인해 오프라인과 온라인을 병행하는 하이브리드 형태의 국제학술행사로 진행되었으며, 개최식, 기조강연 및 일부 세션은 유튜브를 통해 생중계되었다. 금년에는 7개국에서 약 180여 편의 논문이 발표되었으며, 황인철 교수(강원대학교)가 General Chair, 한재호 교수(고려대학교)가 Organization Chair, 정일권 박사(ETRI)가 Technical Program Chair로 참여하였다.

첫째 날 10월 26일(수)에는 3개의 튜토리얼과 1개의 키노트, 4개의 구두 세션이 진행되었으며, 둘째 날인 10월 27일(목)에 서승우 학회장과 황인철 교수의 개회사를 통해 학술행사의 공식적인 시작을 알렸다. 개회사 후 온라인으로 The University of Aizu의 Qiangtu ZHAO 교수의 Plenary Talk와 Brno University of Technology의 Martin Drahansky 교수의 Keynote가 진행되었다.

오후에는 특별 세션과 구두 세션에 이어 Google Cloud의 김태형 박사의 튜토리얼과 KIST 김익재 소장의 Plenary Talk 진행되었으며, 저녁에는 Best Paper 시상식과 백준기 명예회장(중앙대학교)의 건배사와 함께 만찬이 진행되었다.

와 함께 만찬이 진행되었다.

마지막 날인 10월 28일(금)에는 특별 세션 및 구두 세션이 진행되었으며, 모든 세션의 마무리와 함께 학술행사가 종료되었다.



Keynote 4 Martin Drahansky(Brno University of Technology)



조직위원회 및 연사 기념 촬영



개회식 및 Plenary Talk



시상식

2022년도 정보 및 제어 학술대회

시스템 및 제어 소사이어티(회장 : 유정봉 교수(공주대)에서는 대한 전기학회와 공동 주최로 10월 19일(수)~22일(토) 평창 알펜시아에서 "정보 및 제어 학술대회"를 개최하였다. 이번 학술대회는 250명이 참석하여 논문을 발표 하였다.



정보 및 제어학술대회 개최모습

제15회 군수용 초고주파부품 워크샵

금년 15회를 맞이하는 "군수용 초고주파부품 워크샵"이 RF집적회로 기술연구회/ 군사전자연구회 공동주최로 10월 31일 더케이 서울호텔에서 개최 진행되었다.

본 워크샵은 군수용 초고주파 시스템, 초고주파 소자 및 부품기술, RF 설계 및 부품 기반기술 등의 군수용 초고주파 핵심 원천기술의 확보 및 국산화를 도모하기 위하여 국내외 여러 연구단체의 공동 주관 하에 초고주파 관련 최고 전문가를 초빙하여 상호간의 기술협력 및 정보교류의 장이 되었다.



군수용 초고주파부품 워크샵 기념촬영

6G 및 레이더 센싱 신호처리 기술 워크숍

사업위원회 (위원장: 이남윤 교수(고려대)에서는 "6G 및 레이더 센싱 신호처리 기술 워크숍"을 11월 4일(금) 온라인 방식으로 개최 진행 되었다. 본 워크숍에서는 6G 및 레이더 및 레이더 통신 통합기술 전체 분야의 전문가를 초청하여 강연되었다. 이를 통해 6G 관련 및 신

허처리 기술 분야 연구자들에게 연구 방향성을 정하는데 큰 도움이 되었으며 80명이 참석하였다.



6G 및 레이더 센싱 신호처리 기술 워크숍 개최 모습

ESD/EOS & Latchup 워크샵 2022

본학회 반도체소사이어티(운영위원장 : 김한구 교수(삼성전자)에서 주최한 "ESD/EOS & Latchup 워크샵 2022"이 11월 4일 온라인으로 개최 진행되었다.

최근 대두되고 있는 기술로 정전기 제어 및 ESD/EOS 관련 불량 방지는 반드시 해결해야 하는 숙제이지만 IC 개발단계에서의 제조/ Test/조립을 시작으로 Module/Set 개발단계에서의 조립/Test 및 이와 관련된 여러 가지 소재들과 각종 장비에 이르기까지 너무나 넓은 분야이기 때문에 대부분의 경우 개개인이 담당하고 있는 분야는 잘 알고 있지만 광범위한 분야를 이해하는 것은 쉽지 않다. 하여, 이번 Workshop을 통하여 향후 학계와 산업계에서 이 분야에 대해서 함께 논의하고 연구할 수 있는 기술협력 및 정보교류의 장이 되었다.



ESD/EOS & Latchup 워크샵 2022 기념촬영

신규회원 가입현황

기간 : 2022년 10월 1일 – 10월 31일

〈정회원〉

이태희(Ansys), 강병주, 이수현(LIG넥스원), 한성일(TODOC), B D Deebak, 이명규, 전용민(가천대학교), 정동화(가톨릭대학교), 양은정(국방과학연구소), 이원재(삼성서울병원), 김은서, 선종현(서울대학교), Ho Quoc Thien(숭실대학교), 조영섭(아이닉스), MDHUMAYUN, MESUT TOKA(아주대학교), 구교인, 김관후(울산대학교), 최종성(이성주식회사), 이가현(이화여자대학교), 정윤아(전남대학교), 이상준(전북대학교), 유기진(주식회사 가이온), 조성태(주식회사 온품), 최형기(중앙대학교), 이종권(청주대학교), 최안식(큐에스아이), 최형태(포항공과대학교), 서준영(포항산업과학연구원), 김윤석(한국공학대학교), 이종훈, 조창윤(한국전자기술연구원), 김문규, 이승환(한화시스템), 김봉상, 이용오(홍익대학교)

이상 36명

〈평생회원〉

주영표(SK하이닉스)

이상 1명

〈학생회원〉

김현웅, 임선호(KAIST), 유위만(가천대학교), 안성호(가톨릭대학교), 박민준, 엄태훈(강원대학교), 김문주, 민병철, 최정식(경북대학교), 김홍일, 문찬영, 임서훈(고려대학교), 강범석, 강시백, 김연호, 박천경, 배규리, 오창대(공군사관학교), 강우일, 김유나, 김현아, 엄호웅(공주대학교), 안윤철, 이종윤, 주상민, 천현준(광운대학교), 김지영, 이지민(국민대학교), 김은비, 이종혁(금오공과대학교), 강선중, 김상현, 김승구, 김정수, 류경봉, 윤채영, 정민수, 정성인, 홍진성(동국대학교), 백창환(디지스트), 윤성현(법무부), 정다예나, 정지훈, 최예지, 현진원(서울과학기술대학교), 김우영, 김준호, 김홍선, 류주혁, 허기영(서울대학교), 유호중(성균관대학교), 고보성, 박소진(세종대학교), 백성규, 조재현, 주희철(숭실대학교), 김호재, 류재학, 문태한, 이상목, 함형빈(아주대학교), tuantng, 서보민, 안가연, 이태윤, 정수안(연세대학교), 김현지(이화여자대학교), 서민지(인제대학교), 염수형(인천대학교), 이재용(인하대학교), 김나라, 조용석(중앙대학교), 류호주(충남대학교), 김민찬(충북대학교), 광도혁(포항공과대학교), 조영선(한국공학대학교), 김정현, 류균석, 이영주, 정산아, 조태영(한국교통대학교), 차가을(한국기술교육대학교), 장준보, 한아영(한국외국어대학교), 김윤동, 변정일(한국항공대학교), 장재호(한림대학교), 길명규, 김동주, 김상윤, 문상

인, 박동우, 연태민, 오세찬, 윤성준, 이정민, 최수형, 한승헌, 황선주, 윤지원(한양대학교)

이상 100명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2022년 10월 15일 ~ 11월 14일)

1. 행사 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
ICEIC 2023 회의	10.21 (16:00)	온라인	- ICEIC 2023 논문 제출 독려 및 프로그램 구성 외
제 5차 선거관리위원회 회의	10.21 (18:00)	학회 회의실	2023년도 수석부회장 및 부회장 후보 등록/ 서류 검토 등

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
본회	2022 WISET 여대학원생 공학연구팀제 결과발표대회	10.14	한국과학기술회관 SC컨벤션센터 아나이스홀
국제학술위원회	ICCE-Asia 2022	10.26-28	여수 소노캄호텔
군사전자연구회, RF집적회로기술연구회	제15회 군수용 초고주파부품 워크샵	10.31	더케이 서울호텔(양재)
시스템 및 제어 소사이어티	2022년도 정보 및 제어 학술대회	10.19-22	평창 알펜시아
사업위원회	6G 및 레이더 센싱 신호처리 기술 워크숍	11.4	온라인 개최
반도체소사이어티	ESD/EOS & Latchup 워크샵 2022	11.4	온라인 개최

빅 데이터와 인공지능 기술의 활용



윤석현 편집위원
(단국대학교)

인공지능 기술의 혁신적 발전에 힘입어 그 활용 분야 또한 다양화되고 있으며 인공지능 기술 자체를 연구하는 사람들 뿐 아니라 다양한 분야의 연구진, 개발자 및 학생들에게도 인공지능 기술의 활용 측면에서 그 저변을 확대해가고 있다. 특히 Python과 Tensorflow, Pytorch 등 일반인도 활용 가

능한 인공지능 구현 툴들이 나오고 Github 등을 통해 사용자들이 직접 개발한 다양한 software들을 자유롭게 사용할 수 있게 되어 이제는 누구나 어느 정도의 프로그래밍 스킬과 해당 분야의 관련지식만 있으면 어렵지 않게 인공지능 기술을 활용하고 구현하고 서비스를 개발할 수 있게 되었다. 본 특집호에서는 이러한 시대적 흐름에 맞춰 인공지능 기술이 어떤 분야에서 어떻게 사용되고 있는지 학계 교수 및 기업 개발자들을 통해 기술 동향과 활용 방법 등에 대해 소개해 보고자 하였다.

본 특집호는 두 편의 인공지능 기술관련 기술 동향과 세편의 인공지능 활용 동향으로 구성하였다. 우선 첫 번째 원고인 “차세대 인공지능을 위한 비식별화 기술”에서는 빅데이터의 시대에 대량의 데이터를 활용 가능하게 하면서 이에 포함된 개인정보는 확인할 수 없도록 비식별화해야 하는 요구에 따라 인공지능 기반의 비식별화 기술에 대한 동향을 소개하고 있으며 두 번째 원고인 “최신 퀀텀 딥러닝 기술 동향”에서는 양자 컴퓨팅 기술의 발전에 힘입어 화두가 되고 있는 퀀텀 기계학습과 퀀텀 딥러닝 기술의 동향에 대해 소개한다.

세 번째 원고 “인공지능 기술을 활용한 신약개발 과정 혁신”은 인공지능을 신약 재개발(repurposing)에 활용하는 기술의 동향을 소개하고 있다. 완전한 신약의 개발은 치료 표적의 탐색, 후보 약물 개발, 동물실험 및 임상실험을 거쳐야 하므로 매우 큰 비용과 시간이 드는 과정이다. 신약 재개발이라 함은 기존에 다른 목적으로 승인된 약물을 새로운 목적으로의 활용 가능성을 확인하는 것으로 비용과 시간을 혁신적으로 줄일 수 있어 현재 많은 국내외 기업들이 이러한 신약 재개발에 뛰어들고 있는 상황이며 본 원고에서는 이와 관련된 인공지능 활용 기술의 동향에 대해 소개한다. 네 번째와 다섯 번째 원고는 인공지능 기술의 통신/네트워크 분야의 활용에 관한 주제로 특히 네 번째 원고 “딥러닝 기반 Semantic Communications 연구 동향”에서는 비트 수준에서의 오류 없는 데이터 전송에 주목하기 보다는 비트 수준에서는 오류가 있더라도 의미론적으로 동일한 데이터의 전송에 주목하여 딥러닝을 통해 보다 나은 소스 코딩방법을 얻을 수 있다는데 주목하여 해당 분야의 기술 동향을 소개한다. 마지막으로 “저궤도(LEO) 위성 Mega-Constellation 라우팅 기술 동향”에서는 실시간으로 LEO mega-constellation의 토폴로지를 표현하는 연구와 DT-DVTR, VN과 TNM을 사용한 기존 라우팅 연구들에 관해 소개하고 관련 기술 및 3GPP 표준 성능 지표, 국외 기업에서 상용 중인 LEO mega-constellation의 주요 규격들을 소개한다.

바쁘신 일정 중에 본 특집호를 위하여 옥고를 보내주신 집필진 여러분께 감사드리며, 본 특집호가 인공지능 기술을 개발하고 활용하는 다양한 분야의 전문가들의 교류와 협력을 위한 계기가 되어 우리나라 IT융합산업의 발전과 경쟁력 강화에 기여할 수 있기를 기원한다.

차세대 인공지능을 위한 비식별화 기술

I. 서론

4차 산업혁명 시대를 이끄는 인공지능 (AI: Artificial Intelligence), 사물인터넷 (IoT: Internet of Things), 클라우드 컴퓨팅 (Cloud Computing) 등의 핵심 기술은 모두 빅데이터를 기반으로 고도화되었다. 빅데이터는 금융, 마케팅, 의료, 환경 등 다양한 분야에서 생성, 수집, 분석, 활용되고 있다. 그러나 다양한 경로로 생성된 빅데이터는 많은 경우 개인정보를 포함하고 있어 데이터를 활용하는 과정에서 민감한 개인정보가 유출될 가능성이 있다. 따라서 개인정보보호와 빅데이터 활용이라는 상충된 목표에 대해 균형 잡힌 정책 및 기술개발이 필요하다.

이에 대한 방안으로 정부는 2016년 범부처 합동으로 ‘개인정보 비식별화 조치 가이드라인’을 발간하고 이를 통해 비식별화 (De-identification) 조치 기법과 적정성 평가 모델을 제시하였다. 그러나 가이드라인에 명시된 개인정보보호 모델은 빅데이터 활용 측면보다 개인정보보호에 중점을 두고 있어 모델 적용 시 정보의 유용성이 낮아지고 시간과 비용 소모가 큰 문제점이 있어 개선에 대한 필요성이 제기되어왔다^[1].

이런 배경으로 2020년 데이터 3법 (개인정보 보호법, 정보통신망법, 신용정보법)이 개정되어 데이터가 특정 개인을 식별할 수 없도록 가명 처리될 경우 개인의 동의 없이도 빅데이터를 자유롭게 활용할 수 있는 법적 근거가 마련되었다. 이에 따라 개인정보의 전부 또는 일부를 삭제하거나 대체함으로써 개인의 신원이 드러나지 않도록 하면서도 해당 데이터의 활용성을 최대한 유지할 수 있도록 하는 개인정보 비식별화 기술에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으며 관련 연구도 활발하게 진행되고 있다. 특히 최근 기계학습 (Machine learning), 딥러닝 (Deep



나 준 채
주식회사 카이로스랩



신 원 용
연세대학교

learning) 등 인공지능 기술의 발전으로 데이터 비식별화 분야에서도 인공지능 기술을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다.

본고에서는 개인정보를 보호하면서도 빅데이터의 활용성을 높이기 위한 개인정보 비식별화 기법과 프라이버시 보호 모델에 대하여 살펴보고, 기계학습, 딥러닝 등을 활용한 차세대 인공지능 기반 개인정보 비식별화와 관련된 신기술을 살펴보고자 한다.

II. 개인정보 비식별화 기법

ISO/IEC 20889는 2018년 11월 제정된 빅데이터에 대한 비식별화 기법과 관련된 국제 표준이다. 이는 <표 1>과 같이 8가지 비식별화 기법과 17가지 세부 기술에 대해 정의하고 있다^[2].

1. 통계 도구

통계 도구 (Statistical tools)는 데이터 전체의 통계적 성질을 이용하여 개인정보를 비식별화하는 기법으로 세부 기술로 표본추출, 총계처리 기술이 있다.

표본추출 (Sampling)은 전체 데이터 가운데 일부 데이터를 추출하고 분석하여 전체 데이터 분석을 대체하는 기술로써 분석 비용을 절감할 수 있으며, 이를 위해 표본 데이터의 대표성을 확보하는 것이 필요하다. 무작위 표본추출, 계통적 표본추출, 층화 표본추출, 집락 표본추출, 임의 표본추출, 계통적 표본추출, 할당 표본추출, 누적 표본추출 등의 세부 방법이 있다.

총계처리 (Aggregation)는 특정 열의 데이터를 하나의 통계 데이터로 대체하는 기술로써 데이터의 활용 목적 및 특성에 따라 평균값, 중간값, 최빈값, 최댓값, 최솟값을 활용할 수 있다.

2. 암호화 도구

암호화 도구 (Cryptographic tools)는 데이터를 암호화하여 비식별화하는 기법으로 실시간 빅데이터 처리에 있어서 데이터를 암호화하고 복호화하는 처리 시간이 늘어나고 시스템의 복잡도가 높아지는 단점이 있다. 결정성

<표 1> ISO/IEC 20889 비식별화 기법^[2]

기법	세부 기술
통계 도구 (Statistical tools)	표본추출 (Sampling)
	총계처리 (Aggregation)
암호화 도구 (Cryptographic tools)	결정성 암호화 (Deterministic encryption)
	순서 보존 암호화 (Order-preserving encryption)
	형태 보존 암호화 (Format-preserving encryption)
	동형암호화 (Homomorphic encryption)
	동형 비밀 분산 (Homomorphic secret sharing)
삭제 기법 (Suppression techniques)	마스킹 (Masking)
	로컬 삭제 (Local suppression)
	레코드 삭제 (Record suppression)
가명 처리 기법 (Pseudonymization techniques)	제시된 세부 기술 없음
해부화 (Anatomization)	제시된 세부 기술 없음
일반화 기법 (Generalization techniques)	라운드 (Rounding)
	상하단 코딩 (Top and bottom coding)
	속성집합을 단일 속성값으로 결합 (Combining a set of attributes into a single attribute)
무작위화 기법 (Randomization techniques)	로컬 일반화 (Local generalization)
	잡음추가 (Noise addition)
	순열 (Permutation)
재현데이터 (Synthetic data)	부분 총계 (Microaggregation)
	제시된 세부 기술 없음

암호화, 순서 보존 암호화, 형태 보존 암호화, 동형암호화, 동형 비밀 분산 기술이 있다.

결정성 암호화 (Deterministic encryption)는 데이터를 암호화할 때 항상 일정한 값의 비식별 데이터가 생성되는 기술로 AES, SEED, RSA, ECC, SHA256 등 대표



〈그림 1〉 형태 보존 암호화 예시^[4]

적인 양방향 암호화 알고리즘과 해시 알고리즘이 결정성 암호화 기술이다.

순서 보존 암호화 (Order-preserving encryption)는 원본 데이터와 암호화 데이터의 순서 정보가 유지되는 기술로써 데이터 암호화로 비식별 성을 확보할 수 있으며, 검색, 정렬 등 데이터 순서 정보에 의존하는 연산의 경우 복호화 없이 암호화된 데이터를 바로 활용할 수 있다^[3]. 하지만, 순서 보존 암호화 시 데이터 순서가 중요한 정보가 되어 비 식별성을 떨어뜨릴 수 있다.

형태 보존 암호화 (Format-preserving encryption)는 원본 데이터와 암호화 데이터의 형태가 유지되는 기술로써 〈그림 1〉과 같이 신용카드 번호나 주민등록번호를 암호화할 경우 암호화 데이터의 형태가 유지되어 기존 시스템과의 호환성을 보장할 수 있다^[4].

동형암호화 (Homomorphic encryption)는 원본 데이터의 연산 결과와 암호화 데이터의 연산 결과가 동일하게 유지되어 비식별화 데이터를 복호화하지 않고도 통계분석이 가능한 기술이다^[5]. 그러나 아직 덧셈과 곱셈 연산만 지원하며 구현 복잡도 및 연산 처리 속도에 문제가 있다.

동형 비밀 분산 (Homomorphic secret sharing)은 원본 데이터 정보를 메시지 공유 알고리즘에 의해 생성된 두 개 이상의 쉼어 (share)로 대체하는 기술이다^[4]. 쉼어는 기밀 사항을 재구성하는 데 사용할 수 있는 하위 집합으로 원본 데이터를 복원하기 위해서는 쉼어를 소유한 사용자가 모두 동의해야만 가능하다.

3. 삭제 기법

삭제 기법 (Suppression techniques)은 〈그림 2〉와 같이 데이터 집합에서 식별 가능성이 높은 특정 항목 데이터 전체 또는 일부를 삭제하여 식별성을 낮추는 기법으로

Name	Age	Address	Disease name
John	35	Munjeong-dong, Songpa-gu, Seoul	hepatitis
David	42	Eoeun-dong, Yuseong-gu, Daejeon	gastritis
Lucy	29	U-dong, Haeundae-gu, Busan	AIDS

Masking	Local suppression	Record suppression	
↓	↓	↓	
Name	Age	Address	Disease name
J**	35	Songpa-gu, Seoul	hepatitis
D**	42	Yuseong-gu, Daejeon	gastritis

〈그림 2〉 삭제 기법 예시

마스킹, 로컬 삭제, 레코드 삭제 기술이 포함된다.

마스킹 (Masking)은 데이터 집합의 특정 항목의 일부 또는 전부를 공백 또는 전각 기호 문자('*', '_' 등)로 대체하여 비식별화하는 기술이다.

로컬 삭제 (Local suppression)는 주소나 날짜 등의 속성 데이터 일부 값을 삭제하여 데이터의 식별성을 낮추는 기술로 삭제 범위에 따라 데이터 활용성이 떨어지거나 비식별화 정도가 낮아질 수 있다.

레코드 삭제 (Record suppression)는 특정 종교나, 희소병 등 식별성이 높거나 민감한 정보에 대해서 데이터 분석에 큰 문제가 되지 않을 때 레코드를 삭제하여 비식별화하는 기술이다.

4. 가명 처리 기법

가명 처리 기법 (Pseudonymization techniques)은 식별 데이터를 가명 데이터로 변경하여 비식별화하는 기법으로 해시 함수 (Hash function), 매핑 테이블 (Mapping table), 임의 생성 등의 기술을 적용할 수 있다. 가명 처리 기법만 사용할 경우 데이터 재식별의 위험성이 크기 때문에 다른 기법과 함께 적용하여 비식별 강도를 높여야 한다.

5. 해부화

해부화 (Anatomization)는 데이터 세트를 식별 가능 정보와 식별성이 없는 정보로 분할하여 비식별화하는 기법으로 데이터를 변경하지 않고 테이블 구조만 변경하기

때문에 재식별 방지를 위하여 각 테이블에 대한 접근 권한 설정이 중요하다.

6. 일반화 기법

일반화 기법 (Generalization techniques)은 특정 데이터를 상위 속성으로 대체하는 비식별 기법으로, 라운딩, 상하단 코딩, 속성집합을 단일 속성값으로 결합, 로컬 일반화 기술 이렇게 네 가지가 있다.

라운딩 (Rounding)은 수치 데이터를 올림, 내림, 반올림 등의 방법으로 일반화하는 기술로 랜덤 라운딩, 제어 라운딩 등의 방법이 있다.

데이터가 정규분포 특성을 보일 때 양 끝단 데이터는 소수이기 때문에 재식별화의 위험성이 크다. 상하단 코딩 (Top and bottom coding)은 이를 방지하기 위하여 범주화 등의 기술을 데이터의 상하단에 적용하여 비식별성을 높이는 기술이다.

속성집합을 단일 속성값으로 결합 (Combining a set of attributes into a single attribute)하는 기술은 문자나 숫자의 공통된 특성을 찾아 상위 개념으로 대체하는 방법으로 데이터 비식별화 시 준 식별자에 대해 분석 목적에 적합한 범위에서 범주화를 진행하거나 다른 속성에 대해 식별성을 낮추기 위해서 사용한다.

로컬 일반화 (Local generalization)는 전체 데이터 가운데 특정 데이터가 특이성으로 인해 식별될 가능성이 높은 경우 특정 데이터에 대해서만 일반화를 적용하는 기술이다.

7. 무작위화 기법

무작위화 기법 (Randomization techniques)은 데이터 속성값을 수정하여 추론을 방지하는 비식별 기술로 잡음 추가, 순열, 부분 총계 기술이 포함된다.

잡음추가 (Noise addition)는 원본 데이터에 임의의 잡음을 추가하여 식별정보 노출을 방지하는 기술이며, 이때 데이터 활용 목적에 따른 잡음의 크기, 연관 칼럼에 대해 동일한 잡음을 추가하는 종방향 일관성, 잡음 크기에 대한 예측 방지 등이 주요한 이슈이다.

순열 (Permutation)은 원본 데이터의 특정 칼럼 데이

터를 임의의 순서로 변경하여 식별성을 낮추는 기술로 데이터의 변형이 매우 크기 때문에 활용성이 떨어질 수 있다.

부분 총계 (Microaggregation)는 특정 데이터 집합의 식별성이 높거나 민감도가 높을 경우 이를 완화하기 위하여 특정 데이터 집합에 대해서만 부분적으로 총계처리를 적용하여 개인을 식별하지 못하게 하는 기술이다. 부분 총계에 적용하는 값은 총계처리와 동일하게 평균값, 중간값, 최빈값, 최댓값, 최솟값을 사용한다.

8. 재현데이터

재현데이터 (Synthetic data)는 데이터의 개인정보 특성을 분석하여 사전에 정의된 통계 데이터 모델을 이용하여 완전히 새로운 데이터를 생성하는 기법으로 합성데이터라고도 한다. 완전 재현, 부분 재현, 하이브리드 재현 등의 방법이 있다.

III. 프라이버시 보호 모델

앞서 살펴본 개인정보 비식별화 기법은 여러 유형의 재식별 공격으로부터 개인정보가 노출될 가능성이 있다. 프라이버시 보호 모델은 개인정보 재식별 위험성을 정량적으로 평가하여 데이터에 비식별화 기법 적용 시 재식별 공격으로부터 안전성을 확보하는 방법이다.

현재까지 연구된 재식별 공격 유형은 레코드 연결 공격, 속성 연결 공격, 테이블 연결 공격, 확률론적 공격이 있으며, 본 장에서는 각 공격 유형에 따른 대표적인 프라이버시 보호 모델을 소개하고자 한다.

1. 레코드 연결 공격

이종의 데이터 레코드를 연결하여 특정 개인의 정보를 식별하는 공격으로 이에 대한 프라이버시 보호 모델로 k-익명성 (k-anonymity), (X, Y)-익명성, 다중 테이블 k-익명성 모델이 알려져 있다.

k-익명성은 전체 데이터에서 동일 속성값을 갖는 레코드를 k개 이상으로 유지하여 특정 개인이 식별될 확률을 $1/k$ 로 낮추는 모델이다^[6]. k 값이 증가한다는 것은 동일

No.	Zip	Age	Sex	Disease
1	15093	25	M	hepatitis
2	15002	21	M	hepatitis
3	15000	28	F	Gastritis
4	15090	22	M	Gastritis
5	13851	45	F	AIDS
6	13852	42	M	hepatitis

<Original data>



No.	Zip	Age	Sex	Disease
1	150**	<30	*	hepatitis
2	150**	<30	*	hepatitis
3	150**	<30	*	Gastritis
4	150**	<30	*	Gastritis
5	1385*	>40	*	AIDS
6	1385*	>40	*	hepatitis

< k=2 De-identification data >

< 그림 3 > k-익명성 적용 예시^[10]

No.	Zip	Age	Sex	Disease
1	150**	<30	*	hepatitis
2	150**	<30	*	hepatitis
3	150**	<30	*	Gastritis
4	150**	<30	*	Gastritis
5	1385*	>40	*	AIDS
6	1385*	>40	*	hepatitis

< k-anonymity data >



No.	Zip	Age	Sex	Disease
1	1509*	=<40	*	hepatitis
4	1509*	=<40	*	Gastritis
5	1385*	>40	*	AIDS
6	1385*	>40	*	hepatitis
2	1500*	=<40	*	hepatitis
3	1500*	=<40	*	Gastritis

< l=2 De-identification data >

< 그림 4 > l-다양성 적용 예시^[10]

속성을 갖는 레코드의 개수가 증가한다는 의미로 비식별화가 용이하다고 할 수 있다. k-익명성은 속성 연결 공격에 취약하며 대표적인 알고리즘으로 Incognito^[7]가 있다.

(X, Y)-익명성 모델^[8]은 원본 데이터에 새로운 준 식별자가 추가되었을 경우 이전에 비식별화된 데이터와 연결해 재식별이 가능한 문제를 해결하기 위하여 k-익명성을 일반화한 모델로서 하나의 속성값 x에 대응하는 y 값의 종류 중 최소수가 k 이상이 될 때, (X, Y)-익명성을 만족한다고 할 수 있다.

데이터가 여러 테이블로 이루어진 경우 다중 테이블이 연결되면서 개인 정보가 노출될 위험이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다중 테이블 k-익명성 모델이 제안되었다^[9]. 특정 개인을 식별할 수 있는 민감 정보를 포함하는 테이블과 준 식별자를 포함한 다중의 테이블을 모두 결합하여 하나의 테이블을 생성할 때 구별되지 않는 k-1 개의 레코드가 있다면 다중 테이블 k-익명성을 만족한다고 할 수 있다. <그림 3>은 k=2 익명성을 만족하는 데이터 비식별화 예이다.

2. 속성 연결 공격

공격자가 공개된 정보나 배경지식을 바탕으로 식별화된 데이터에서 개인정보를 유추해 내는 것을 속성 연결 공격이라 한다. 이를 방지하기 위하여 데이터 민감 속성값의 다양성, 분포, 추론 가능성 등을 이용한 다양한 프라이버시 모델이 제안되었다.

l-다양성 (l-diversity) 모델^[11]은 k-익명성을 만족하는 동질 집합 정보에 대하여 민감 속성값을 l개의 서로 다른 값을 가질 수 있도록 한다. 값이 증가할수록 전체 집합에서 민감 속성값이 다양해져서 프라이버시 침해 대응에 효과적이다. <그림 4>는 l=2 이 다양성을 만족하는 데이터 비식별화 예이다.

l-다양성은 데이터 속성의 쏠림과 유사성 공격에 취약하며 이를 보완하기 위하여 t-근접성 (t-closeness) 모델^[12]이 제안되었다. t-근접성 모델은 모든 동질 집합에 속한 민감 속성의 분포와 전체 테이블의 속성 분포 사이의 거리를 t보다 작게 하여 프라이버시를 보호하는 기술이다. t는 0과 1 사이의 값을 가지며, t가 0에 가까울수록 전체 데이터의 분포와 민감 정보의 분포 차이가 작아져서

	준식별자		민감 정보	
	우편번호	연령	급여 (백만원)	질병
1	476**	2*	30	위궤양
2	476**	2*	40	급성 위염
3	476**	2*	50	만성 위염
4	4790*	≥ 40	60	급성 위염
5	4790*	≥ 40	110	감기
6	4790*	≥ 40	80	기관지염
7	476**	3*	70	기관지염
8	476**	3*	90	폐렴
9	476**	3*	100	만성 위염

<k-익명화, l-다양성 조치 데이터>



	준식별자		민감 정보	
	우편번호	연령	급여 (백만원)	질병
1	4767*	≤ 40	30	위궤양
3	4767*	≤ 40	50	만성 위염
8	4767*	≤ 40	90	폐렴
4	4790*	≥ 40	60	급성 위염
5	4790*	≥ 40	110	감기
6	4790*	≥ 40	80	기관지염
2	4760*	3*	40	급성 위염
7	4760*	3*	70	기관지염
9	4760*	3*	100	만성 위염

<t=0.3 근접성 조치 데이터>

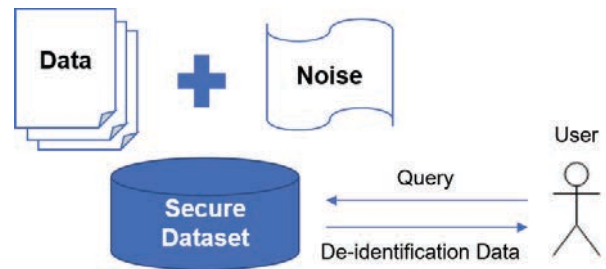
<그림 5> t-근접성 적용 예시^[10]

익명성이 더 강해진다. <그림 5>는 $t=0.3$ 근접성을 만족하는 데이터 비식별화 예이다.

3. 테이블 연결 공격

공격자가 공개된 테이블의 속성을 인지하고 있다면 테이블에 속한 특정 개인을 유추하여 프라이버시가 유출될 수 있다. 이러한 공격을 방어하기 위하여 δ -존재성 (δ -presence) 모델^[13]과 k-존재-비밀 (k-presence-secrecy) 모델^[14]이 제안되었다.

δ -존재성 모델은 공개된 비식별화 데이터와 공격자가 인지하고 있을 데이터 속성을 비교하여 두 데이터 사이의



<그림 6> 차분 프라이버시 모델

연결 확률이 δ 이하가 되도록 수정하여 배포하는 프라이버시 보호 모델이다.

δ -존재성 모델은 공격자가 인지하고 있는 데이터 속성을 배포자가 알고 있다고 가정하기 때문에 현실적이지 못한 부분이 있다. 이를 해결하기 위하여 공격자의 인지 정보를 모르더라도 높은 확률로 개인 데이터 테이블 내에 알고자 하는 개인의 존재 여부를 추론하지 못하도록 방어하는 k-존재-비밀 모델이 제안되었다.

4. 확률론적 공격

확률론적 공격은 공격자가 다수의 질의를 통하여 익명화된 데이터의 민감 속성 정보를 유추할 수 있는 확률을 증가시키는 공격이다. 공격자는 지속적인 공격으로 배경 지식 이상의 정보를 획득하려 하므로 프라이버시 보호 모델은 공격자의 배경지식 증가를 최소화 할 수 있어야 한다. 차분 프라이버시 (Differential privacy) 모델^[15]이 가장 대표적인 모델이다.

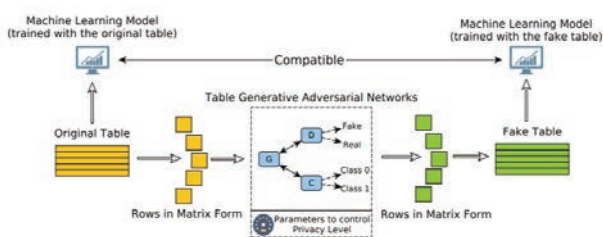
차분 프라이버시는 <그림 6>과 같이 공격자의 질의에 대하여 임의의 잡음을 추가하여 변조된 답변을 제공하므로 일정 수준의 프라이버시를 보장하는 기법이다. 공격자는 응답 데이터에 포함된 잡음으로 인하여 보유한 배경지식으로 개인정보를 식별하기 어려우며, 질의와 답변에 포함되는 잡음은 원본 데이터의 통계적 특성이 왜곡되지 않도록 제어할 수 있기 때문에 원하는 수준의 데이터 유용성을 유지할 수 있다. 이러한 장점으로 인하여 차분 프라이버시 기반 데이터마이닝, 소셜 네트워크 분석, 경로 추적, 클러스터링 등 다양한 분야에 활용 가능하다.

IV. 기계학습 기반 비식별화 연구 동향

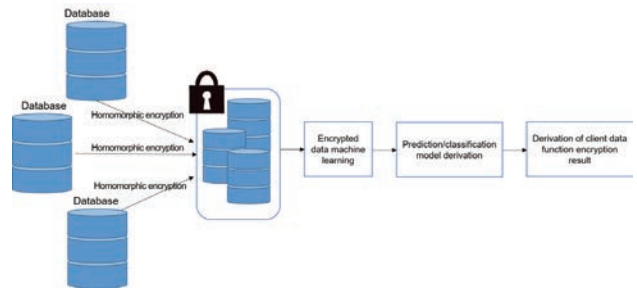
본 장에서는 기계학습을 활용한 개인정보 비식별화 최신 기술을 살펴보고자 한다.

최근 재현데이터 기법에 기계학습을 활용한 모델이 많이 연구되고 있다. 대표적인 재현데이터 생성기술인 GAN (Generative Adversarial Network)이 2014년 소개되었는데^[16], 기존 딥러닝 알고리즘과 달리 적대적 학습 방식으로 스스로 학습하며 대량의 재현데이터를 생성하는 것이 특징이며 음성 신호, 자연어 처리, 영상 등 다양한 분야에 적용하기 위한 기술개발이 진행되고 있다. 특히 개인정보 이슈에 민감한 의료 분야에서 GAN 등을 활용한 합성 의료데이터 생성 기술이 주목받고 있으며, 개인정보 유출 및 데이터 활용 문제를 해결하기 위한 새로운 돌파구로 인식되고 있다. <그림 7>은 Park 외(2018)^[17]가 제안한 GAN 기반 데이터 합성 시스템의 예이다. 시스템은 제안된 GAN 알고리즘을 사용하여 원본 데이터 테이블(노란색)로부터 가짜 데이터 테이블(녹색)을 생성한다. 생성된 가짜 데이터 테이블을 사용하여 훈련된 기계학습 모델은 원본 데이터 테이블을 사용하여 훈련된 기계학습 모델과 동일한 동작을 수행할 수 있다. 즉 GAN 기반 데이터 합성을 통해 두 데이터 모델의 호환성을 만족시킬 수 있다.

동형암호화 기법은 데이터 암호화 이후에도 통계적 특성이 변경되지 않는 특징을 활용하여 동형암호화 데이터를 기계학습에 적용하는 동형기계학습이다^[18]. Cheon 외(2018)^[19]는 <그림 8>과 같이 원본 데이터를 동형암호화하고, 동형암호화된 데이터를 사용하여 예측모형을 유도함으로써 클라이언트의 암호화된 데이터를 함수 암호 기술로 암호화된 예측모형에 적용하여 최종 결과를 얻는 과



<그림 7> GAN 기반 재현데이터 모델 예시^[17]

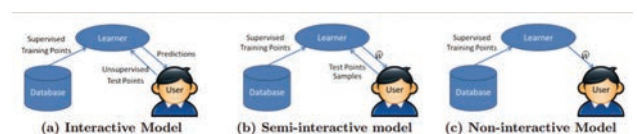


<그림 8> 동형기계학습 모델^[19]

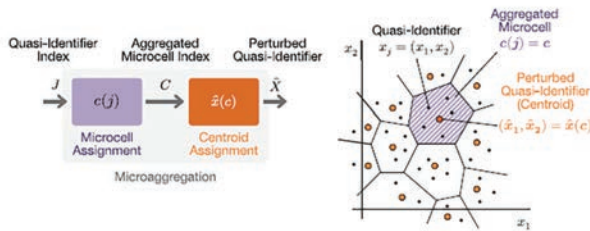
정을 동형기계학습이라 정의하였다. 동형기계학습은 암호화된 데이터를 복호화 없이 사용하기 때문에 개인정보 유출 없이 빅데이터의 활용성을 높일 수 있다.

차분 프라이버시 기법에 기계학습 알고리즘을 적용하는 다양한 연구도 진행되고 있다. 대다수는 차분 프라이버시에 적용되는 잡음을 기계학습 알고리즘을 이용하여 생성하는 연구로 이러한 기술을 객관적 섭동이라고 한다. 객관적 섭동 관련하여 Dwork과 Lei(2009)^[20]는 차분 프라이버시 정규화 목적 함수 최적화 후 잡음을 직접 추가하기 위하여 기계학습을 활용한 선형 회귀 메커니즘 모델을 제안하였다. 또한, Lei(2011)^[21]는 제공된 데이터 세트의 히스토그램 특성을 이용하여 개인정보 손상 없이 통계적 특성이 동일한 합성 데이터 세트를 생성할 수 있는 M-추정기를 제안하였다. Jain과 Thakurta(2013)^[22]는 <그림 9>와 같이 세 가지 모델에 대하여 객관적 섭동 함수를 해석하여 가장 큰 거리를 반복적으로 최소화 및 근사화하여 데이터 세트의 개인정보를 침해하지 않고 정확한 예측 매개 변수를 사용자에게 제공하는 방법을 제안하였다.

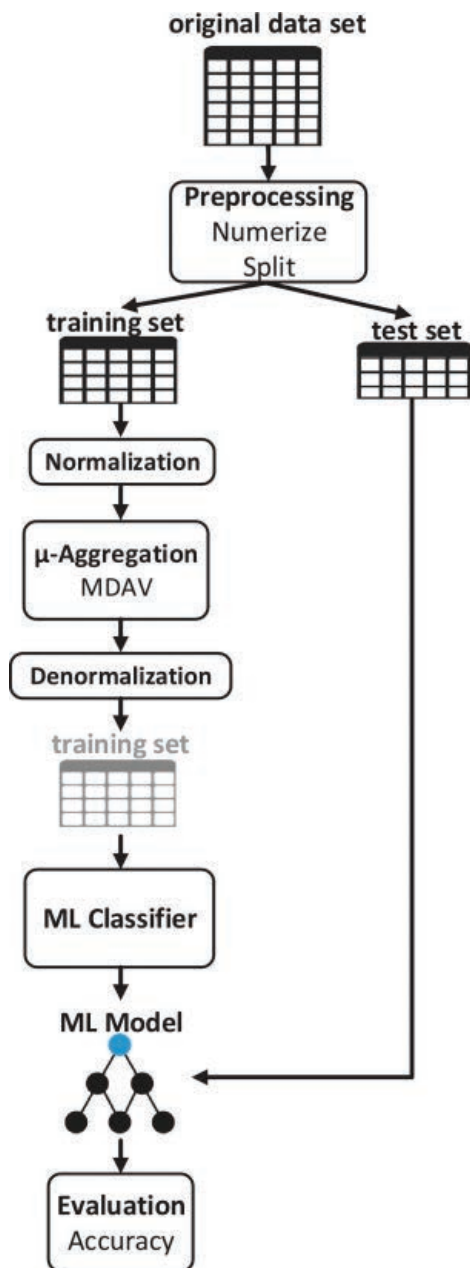
부분 총계 기법에 기계학습 알고리즘을 적용한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 부분 총계 기법은 원본 데이터에 통계적 특성을 반영하여 개인정보의 유출을 최소화하지만, 원본 데이터 변형으로 인한 데이터 활용도 저하 문제가 야기될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하



<그림 9> 기계학습을 활용한 차분 프라이버시 모델 예시^[22]



〈그림 10〉MDAV 알고리즘 기반 k-익명화 부분 총개요^[23]



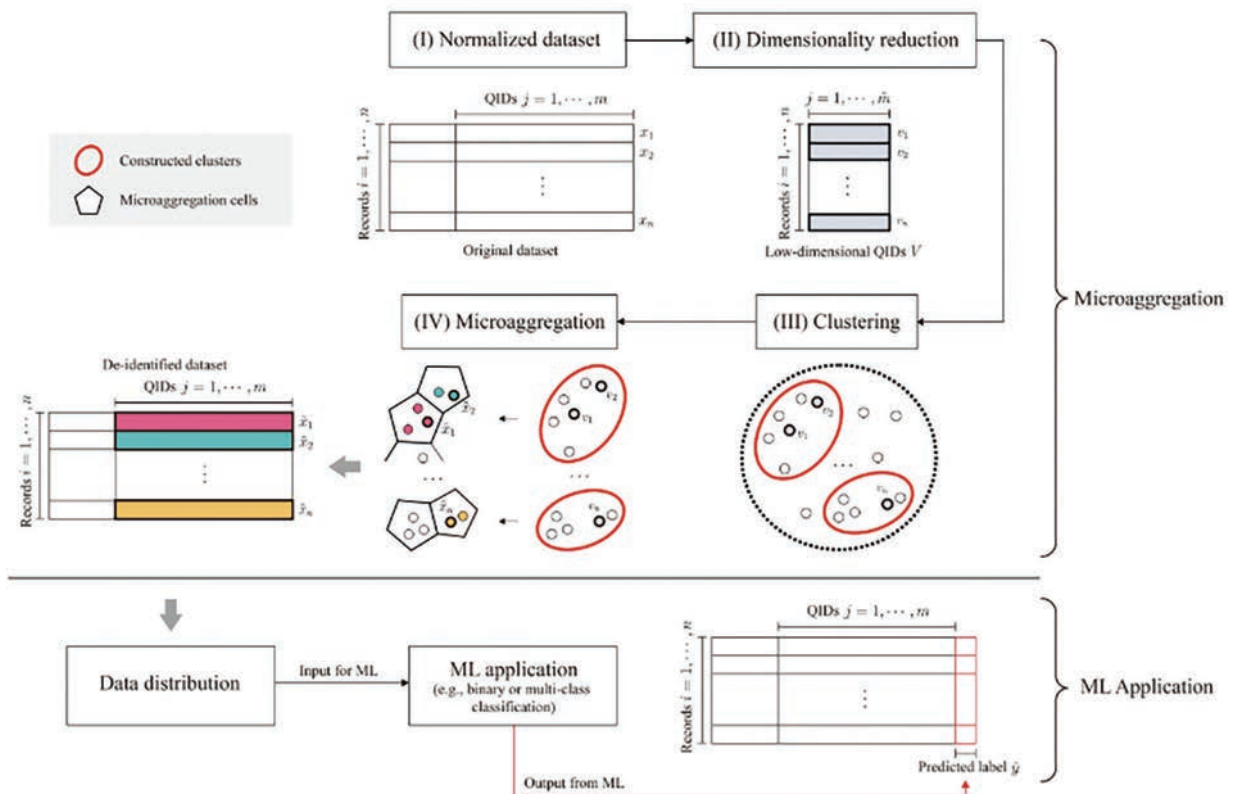
〈그림 10〉MDAV 알고리즘 기반 k-익명화 부분 총 실험 방법론^[23]

여 Rodríguez-Hoyos 외(2018)^[23]는 대표적인 부분 집계 알고리즘인 MDAV (Maximum Distance to Average Vector)에 기계학습 알고리즘을 적용하여 데이터 손실을 최소화하면서 활용성을 높이는 방안을 제안하였다. 〈그림 10〉은 데이터 세트의 주요 속성 튜플을 유클리드 공간의 점으로 표현하였을 때 MDAV 알고리즘을 적용하여 데이터를 익명화하는 방법을 나타낸다. 익명화된 데이터 세트는 〈그림 11〉과 같이 기계학습을 적용하여 데이터의 정확도를 평가할 수 있으며, 원본 데이터의 변형 정도를 측정하여 데이터의 손실을 최소화하면서 활용도를 높일 수 있다. 최근 연구 결과물로 Lee & Shin (2022)^[24]에서는 보다 효과적으로 기계학습 응용 문제를 해결하기 위해 분류/예측 정확도와 같은 유틸리티 (Utility)를 포용한 부분집계 프레임워크가 제안되었다. 원 데이터에 직접 부분집계 기술을 적용하는 기존 방법 대신에, 〈그림 11〉과 같이 차원 축소 (Dimensionality reduction)와 군집화 (Clustering)를 포함하는 전처리 단계를 통해 k-익명성을 보장함과 동시에 효과적으로 데이터 유틸리티를 개선할 수 있는 통합 프레임워크를 제안하였다.

V. 전망과 결론

본고에서는 개인정보를 보호하면서도 가능한 빅데이터의 활용성을 높이기 위한 개인정보 비식별화 기법과 프라이버시 보호 모델에 대하여 알아보았다. ISO/IEC 20889 국제 표준에 정의된 개인정보 비식별화 기법 및 기술에 대하여 살펴보았으며, 4가지 공격 유형별 대표적인 프라이버시 보호 모델을 알아보았다. 또한, 최신 기계학습 등 인공지능 기술과 결합한 비식별화 기술의 연구 동향을 살펴보았다.

데이터 3법이 개정되면서 금융, 통신, 의료 등 다양한 분야에서 빅데이터의 활용이 활발해질 것이며, 일상생활까지 활용범위가 점차 확장될 것으로 예상된다. 컴퓨팅 기술의 발전과 비식별화 알고리즘의 개선으로 민감 정보로 인하여 데이터 활용이 제한된 분야에서도 빅데이터의 활용성이 크게 증대될 것이다.



〈그림 11〉 기계학습 응용을 위한 유틸리티를 포용한 부분 총계^[24]

참 고 문 헌

- [1] Y. M. Kim, "Review of new technologies for personal information de-identification measures: Differential privacy and homogeneous encryption," *CIS Issue Report*, vol. 2, pp. 1–6, Jan. 2018.
- [2] ISO/IEC 20889, *Privacy enhancing data de-identification terminology and classification of techniques*, 2018.
- [3] S. S. Kim, D. H. Kim, and K. T. Kim, Understanding and utilization of de-identification measures for personal information according to the revision of the Data 3-Act, Acorn, 2020.
- [4] Y. S. Park, A Guide to de-identification of Personal Information(2019), Retrieved Jan, 29, 2021, from <http://www.kisa.or.kr>.
- [5] K. Y. Lee, "Trends in personal information protection and management technologies for utilizing big data," *Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 37, no. 01, pp. 32–39, Jan. 2020.
- [6] L. Sweeney, "K-anonymity: A model for protecting privacy," *International Journal on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 557–570, 2002.
- [7] K. LeFevre, J. D. David, and R. Ramakrishnan, "Incognito Efficient full-domain k-anonymity," in *Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp. 49–60, 2005.
- [8] K. Wang and B. C. M. Fung, "Anonymizing sequential release," in *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 414–423, 2006.
- [9] M. E. Nergiz, C. Clifton and A. E. Nergiz, "Multirelational k-anonymity," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 21, no. 8, pp. 1404–1117, Aug. 2009.
- [10] J. H. Kim, "Trends in personal information de-identification technologies and programs for medical data utilization," *Health Industry Brief*, vol. 268, Mar. 2018.
- [11] A. Machanavajjhala, D. Kifer, J. Gehrke, and M. Venkatasubramanian, "l-diversity: Privacy beyond

- k-anonymity," *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, vol. 1, no. 1, pp. 3–es, 2007.
- [12] N. Li, T. Li and S. Venkatasubramanian, "t-closeness: Privacy beyond k-anonymity and l-diversity," in *Proceedings of the IEEE 23rd International Conference on Data Engineering*, pp. 106–115, Jun. 2007.
- [13] M. E. Nergiz, M. Atzori, and C. Clifton, "Hiding the presence of individuals from shared databases," in *Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD '07)*, pp. 665–676, Jun. 2007.
- [14] Y. Yamaoka, K. Itoh, "K-presence-Secrecy: Practical privacy model as extension of k-Anonymity," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E100–D, no. 4, pp. 730–740, Apr. 2017.
- [15] C. Dwork, "Differential privacy," in *Proceedings of the 33rd International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP)*, pp. 1–12, Jun. 2006.
- [16] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, and Y. Bengio, "Generative adversarial nets," in *Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 2672–2680, Jun. 2014.
- [17] N. Park, M. Mohammadi, K. Gorde, S. Jajodia, H. Park, and Y. Kim, "Data synthesis based on generative adversarial networks," in *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 11, no. 10, pp. 1071–1083, July. 2018.
- [18] T. Graepel, K. Lauter, and M. Naehrig, "ML Confidential: Machine learning on encrypted data," in *Proceedings of the 15th International Conference on Information Security and Cryptology (ICISC 2012)*, pp. 1–21, Dec. 2012.
- [19] J. H. Cheon, Y. Euh and J. Y. Kim, "Privacy-preserving finance data analysis based on homomorphic encryption," *Review of Financial Information Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 33–60, Feb. 2018.
- [20] C. Dwork and J. Lei, "Differential privacy and robust statistics," in *Proceedings of the ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 371–380, May. 2009.
- [21] J. Lei, "Differentially private m-estimators," in *Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 361–369, Dec. 2011.
- [22] P. Jain and A. Thakurta, "Differentially private learning with kernels," in *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, pp. 118–126, Jun. 2013.
- [23] A. Rodríguez-Hoyos, J. Estrada-Jiménez, D. Rebollo-Monedero, J. Parra-Arnau and J. Forné, "Does k-anonymous microaggregation affect machine-learned macro trends?," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 28258–28277, May 2018.
- [24] S. Lee and W.-Y. Shin, "Utility-embraced microaggregation for machine learning application," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 64535–64546, Jun. 2022.



나준채

- 2002년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
- 2004년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사
- 2004년 1월 ~ 2008년 4월 (주)KTF 차세대연구소 연구원
- 2008년 5월 ~ 2011년 10월 (주)이든나인 대표이사
- 2012년 9월 ~ 2021년 5월 (주)터치웍스 이사
- 2021년 6월 ~ 현재 (주)카이로스랩 대표이사

〈관심 분야〉

기계학습, 인공지능 교육, 비식별화 기술



신 원 용

- 2002년 2월 연세대학교 기계전자공학부 학사
- 2004년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사
- 2008년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사
- 2009년 5월 ~ 2011년 10월 Harvard University
Postdoctoral Fellow
- 2011년 10월 ~ 2012년 2월 Harvard University
Research Associate
- 2012년 3월 ~ 2019년 2월 단국대학교 컴퓨터학과
조교수/부교수
- 2015년 1월 ~ 2017년 6월 단국대학교
모바일시스템공학과 학과장
- 2017년 6월 ~ 2019년 1월 단국대학교
소프트웨어글로벌협력센터
센터장
- 2019년 2월 ~ 현재 연세대학교 수학교산학부
(계산과학공학) 부교수/교수
- 2022년 9월 ~ 현재 포항공과대학교(인공지능) 겸직교수

〈관심 분야〉

데이터마이닝, 기계학습, 모바일컴퓨팅, 무선네트워크

최신 퀀텀 딥러닝 기술 동향



김 중 현
고려대학교



윤 원 준
고려대학교



백 한 결
고려대학교



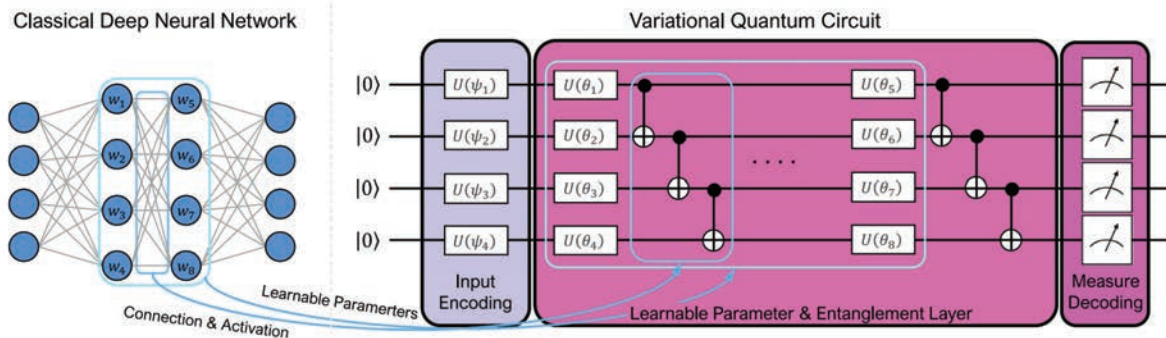
김 재 평
고려대학교

I. 서론

2019년 구글에서 개발한 53큐비트 양자 컴퓨터를 이용하여 기존 슈퍼컴퓨터에서 1만년이 걸릴 문제를 단 3분 20초만에 풀어 화제가 되었다^[1]. 이러한 양자 컴퓨터의 발전에 힘입어, 다양한 양자 알고리즘을 실제 양자 컴퓨터를 활용하여 입증하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 예를 들어, 양자 근사 최적 알고리즘 (QAOA: Quantum Approximate Optimization Algorithm)을 활용하여 Min-cut, Max-cut 등의 조합 최적화 문제를 푸는 방향으로 진행되고 있다^[2-5].

이러한 문제 해결의 원리는 양자 중첩에 있다. 고전 컴퓨터가 사용하는 이진 비트 (bit)와는 다르게, 양자 컴퓨터에서 사용하는 큐비트 (Qubit: Quantum bit)은 0과 1을 동시에 지닐 수 있는 특성이 있으며, 다중 큐비트 시스템에서도 중첩이 가능하여 많은 양의 정보를 동시에 처리할 수 있는 특성이 있다. 10 큐비트가 중첩되어 있다면, 지닐 수 있는 정보의 양은 총 이 되는 원리이다.

본 논문에서는 이러한 큐비트 특성을 활용한 양자 머신 러닝에 대해 논한다. 양자 머신 러닝은 양자 컴퓨팅 플랫폼의 발전에 따라 크게 발전하게 되었다. 2019년 10큐비트 양자 컴퓨터를 일부 클라우드에서만 이용이 가능했지만, 현재 127큐비트 양자 컴퓨터를 클라우드 서비스를 통해 이용이 가능하다. 또한 IBM Quantum 로드맵 2022에 따르면, 2023년까지 1,000 큐비트 컴퓨터 개발, 2026년까지 10만 큐비트 컴퓨터를 개발한다는 내용이 발표되었다. 즉, 양자 잡음이 무시 가능한 스케일 (NISQ: Noise Intermediate-Scale Quantum)의 양자 컴퓨팅 규모를 벗어나, beyond NISQ의 시대가 열리는 것이다. 양자 머신러닝 플랫폼의 비약적 발전이 있었다. 과거, Qiskit 및 Google Cirq (Tensorflow Quantum)만 있었는데, 현재 양자 클라우드와 결합



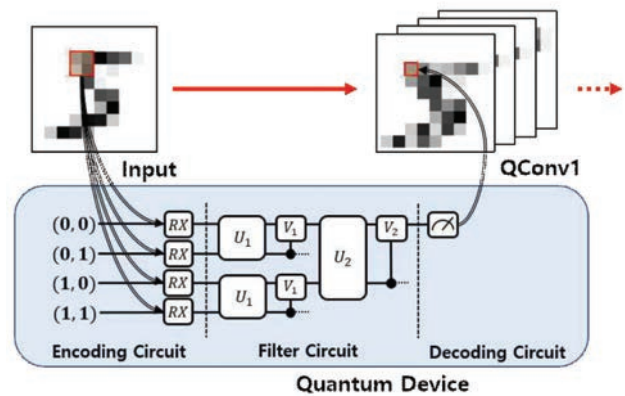
〈그림 1〉 양자 인공지능경망과 고전 인공지능경망의 구조적 차이 ^[14]

하여 사용자의 특성을 고려한 Xanadu의 PennyLane과 TorchQuantum도 출시하였다. 이러한 폭발적인 인프라 구축은 양자 머신 러닝은 이진 분류 모델(Classifier), 이진 생성 모델(Generative model), 단일변수 회귀(Regression) 문제를 넘어서서 고전 컴퓨팅을 활용한 인공지능의 과업인 이미지 분류, 강화학습, 패턴인식 등으로 다양하게 활용되고 있다 ^[6-11].

양자 머신러닝은 변형 양자 회로(VQC: Variational Quantum Circuit)을 최적화하여 목적을 달성하는 방법이며, 문제 설계에 집중하기 보다는 데이터와 레이블로 학습을 시키는 방법 중 하나이다. 시벤코 정리(Universal Function Approximation Theorem)는 선형 연산과 활성화 함수가 존재할 때, 어떠한 연속함수를 근사한다는 정리이다. 양자 머신러닝의 인공지능경망 격인 변형 양자 회로는 모든 연산이 유니터리 연산(Unitary Operation)이며, 모든 유니터리 연산은 선형 연산이고 또한, 양자 측정은 활성화 함수이기 때문에 시벤코 정리를 만족하며, 양자 딥러닝을 가능케 하였다.

양자 딥러닝은 현재 지도 학습, 비지도 학습, 적대적 학습, 강화 학습, 연합 학습 등 다양한 알고리즘에 대해서 연구 되어 왔으며, 회로 단에서의 연구부터 다양한 어플리케이션에 이르기까지 주로 일반적으로 사용되는 뉴럴 네트워크와 동일 파라미터 수를 사용하였을 때 양자 회로를 사용하였을 때 성능이 더 좋다는 점에 착안하여 접근하였다 ^[12-15].

퀀텀 머신러닝의 비지도 학습에 대한 가능성이 입증되면서, 퀀텀 심층 강화학습(QDRL: Quantum Deep



〈그림 2〉 Quantum Convolution ^[7]

Reinforcement Learning)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다 ^[16-20]. 이러한 양자 컴퓨팅 연구의 흐름에 따라, 본 논문에서는 양자 딥러닝에서부터 양자 강화학습, 양자 분산 학습에 이르기까지 다양한 응용 모델들의 연구 발전 방향에 대하여 알아보고, 각각의 성능을 최적화하기 위하여 기연구된 다양한 방법론들에 대하여 알아본다. 이에 더하여, 각각의 응용 모델들이 직면한 문제점들과 발전 가능성을 간략히 논하여, 다가오는 beyond NISQ 시대에 발맞추어 양자 컴퓨팅 연구 방향을 제시한다.

II. 양자 딥러닝

양자 컴퓨터의 발전에 발맞추어 현존하는 많은 딥러닝 알고리즘을 양자 컴퓨팅을 이용하여 최적화하려는 연구들이 진행되었다. 이러한 양자 딥러닝(QDL: Quantum Deep Learning) 연구들은 양자 컴퓨팅과 딥러닝의 접

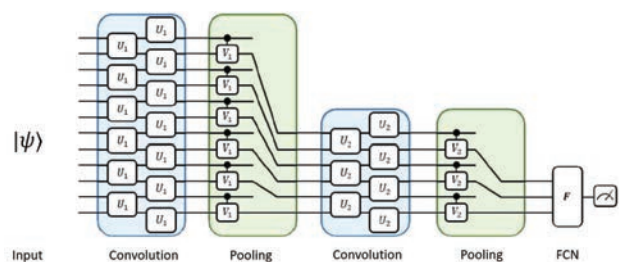
목을 통하여, 딥러닝 연산의 지수적인 속도개선을 이루고자 하였다. 이러한 양자 딥러닝은 기본적으로 양자 컴퓨팅의 기본 유닛인 큐비트 (Qubit)의 변환 연산을 통하여 이루어진다. 양자 딥러닝은 크게 세 과정을 통하여 나타낼 수 있다. 이는 인코딩(Encoding), 양자 회로 내에서의 변환 연산, 측정(Measurement)이다. 이 과정을, 본격적인 양자 딥러닝 연구 근황에 앞서, 간단히 살펴보면 다음과 같다. 우선, 인코딩 단계에서는 기존의 컴퓨팅에서 사용되는 비트(Bit)로 이루어진 데이터를 양자의 큐비트의 상태(State)로 치환하는 과정이 이루어진다. 대표적으로, 기저 인코딩(Basis Encoding), 각 인코딩(Angle Encoding) 등 인코딩 방법을 통하여 데이터를 인코딩한다^[7]. 이후, 서론에서 언급한 유니타리 연산 및 측정을 통하여 최적화하고자 하는 목적 식에 맞게 각각의 유니타리 행렬의 파라미터들을 학습되게 된다. 양자 회로를 지나 온 큐비트를 다시 비트로 변환하기 위해서 측정이 이루어진다. 이후, 측정을 통하여 나온 값을 통하여 기존 인공신경망이 수행하였던 목적을 달성하는 것이 양자 딥러닝의 주요 골자이다.

양자 딥러닝을 실제 상용화하기 위해서 크게 두 가지 접근 방법이 고려되고 있다. 첫째는 VQC의 측정 이후 나온 비트 데이터를 그대로 사용하는 양자 딥러닝 모델이다. 이 경우, 양자 컴퓨터만을 사용하여 학습 및 추론 가능하여 그 활용성이 뛰어나지만, 측정 단계에서 얻을 수 있는 비트 데이터가 한정적이기에 다중 분류 모델(Multi-class Classification)에 사용하기 위해서는 극복해야만 하는 제약이 존재한다. 둘째는 측정 이후 나온 비트 데이터에 인공신경망의 완전 연결 계층(FCN: Fully Connected Layer)을 연결하여 사용하는 하이브리드 양자 모델이다. 이는 완전 연결 계층을 사용함으로써, 다중 분류 모델 등을 사용할 수 있지만, 양자 컴퓨팅의 연산 상에 얻을 수 있는 장점을 최대한으로 이끌 수 없다는 제약이 존재한다. <그림 1>^[14]은 VQC를 이용한 양자 딥러닝 분류 모델과 기존 인공 신경망의 구조적 차이를 나타낸다. 우선, 훈련 데이터 입력값은 VQC를 운용할 수 있도록 인코딩 단계에서 큐비트로 인코딩된다. 이러한 양자 상태는 인공 신경망 역할을 대신할 수 있는 VQC에 전달된

다. 이후, 다양한 유니타리 연산을 통하여 양자 상태가 변환된 후, 측정을 통하여 이진 비트 데이터를 얻게 된다.

이와 같은 VQC 기반 양자 딥러닝을 학습하기 위해서는 병목 현상(Barren Plateaus)을 해결해야 한다. 큐비트가 지수적인 정보를 포함하고 있기에, VQC 내의 큐비트의 개수 증가는 병목 현상을 일으켜, 양자 딥러닝 모델의 학습을 방해하는 요소로 작용한다. 이를 해결하기 위한 다양한 방법 중 대표적으로, 양자 합성 곱 신경망(QCNN: Quantum Convolutional Neural Network)가 제안되었다. <그림 2>는 양자 합성 곱 신경망의 구조를 나타낸다. 양자 합성 곱 신경망은 VQC 구조를 기존 합성 곱 신경망의 필터와 같이 활용하여 인풋 벡터 공간을 이동(Stride)하여 특성 값(Feature)을 추출하도록 설계되었다. 이러한 필터를 양자 합성 곱 필터(Quantum Convolutional Filter)라 하며, 각 단계에서의 측정을 통하여 폴링 연산이 일어나 VQC 고유의 병목 현상을 해결하여 학습을 보장한다. 이러한 양자 합성 곱 신경망의 우수성을 바탕으로 하여 이를 하이브리드 모델로 만들어 다중 분류 모델을 만드는 연구가 이어 진행되었다. <그림 3>은 양자 합성 곱 신경망을 측정하여 나온 이진 비트에 완전 연결 계층을 연결하여 다중 분류를 가능하게 하는 모델 구조를 개괄적으로 나타낸다. 하이브리드 양자 합성 곱 신경망의 연구를 통하여 양자 딥러닝을 통한 다중 분류 모델의 가능성이 확인되었다.

하지만, 이러한 하이브리드 양자 합성 곱 신경망 또한 병목 현상을 회피하기 위해서 입력 큐비트의 개수를 제한하게 되고, 이는 곧 측정에서 얻을 수 있는 특성 값의 제약으로 이어져 분류 모델의 성능 저하로 이어질 수 있다. 이를 해결하기 위하여, 확장성 있는 양자 합성 곱 신경망



<그림 3> 이진비트 양자 QCNN^[24]

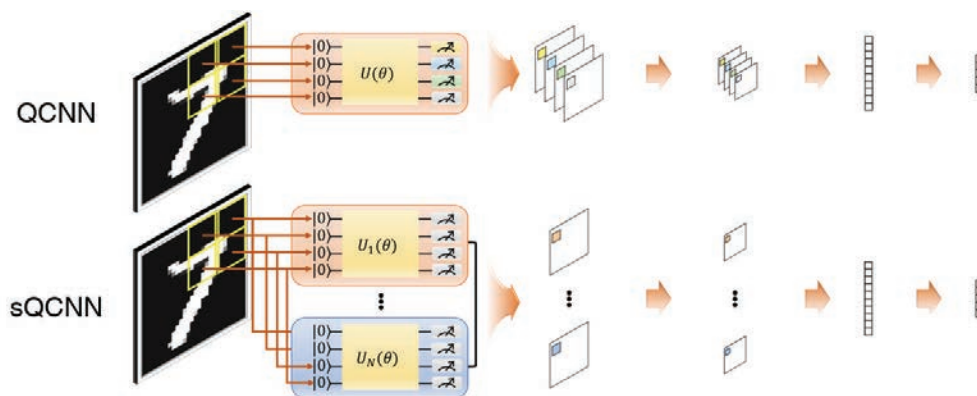
(sQCNN: scalable Quantum Convolutional Neural Network)이 연구되었다.^[18]. 확장성 있는 양자 합성 곱 신경망은 양자 합성 곱 신경망의 특성 값의 개수를 늘려 분류 모델의 성능을 개선하기 위하여, 다양화된 많은 개수의 특성 값을 얻기 위하여 양자 합성 곱 필터의 큐비트의 개수는 동일하게 유지하면서, 양자 합성 곱 필터의 개수를 늘렸다. <그림 4>는 확장성 있는 양자 합성 곱 신경망과 양자 합성 곱 신경망의 구조적 차이를 나타낸다.

III. 양자 심층 강화 학습

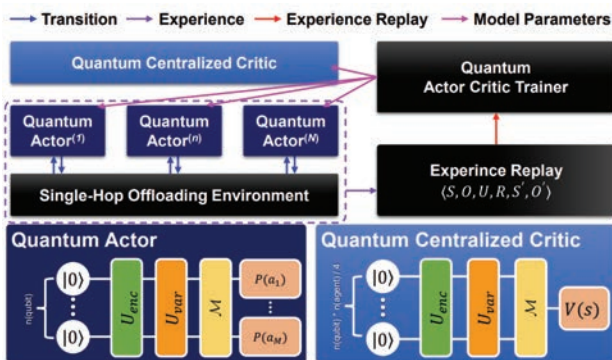
심층 강화 학습 (Deep Reinforcement Learning)은 2010년도 이후에 발전을 거듭하여 통신 및 ICT 분야에서 효율적인 최적화 기법으로 널리 사용되고 있다. 하지만 심층 강화 학습에서도 방대한 계산량을 가진 문제들이 존재하여, 이런 문제들을 풀기 위해서 과도한 자원과 시간이 필요했다. 이런 한계점을 극복하기 위해 양자 컴퓨팅을 사용하는 양자 심층 강화학습 (Quantum Deep Reinforcement Learning)이 새로운 해결 방법으로 관심을 받고 있다. 양자 심층 강화학습은 고전적인 강화학습을 양자 컴퓨팅을 이용하여 구현하는 기법으로, 양자 컴퓨팅의 증강된 연산량을 활용하고자 한다. 양자 심층 강화학습이 어떤 강점을 지니는지 알기 전에 우선 고전적인 심층 강화학습이 어떤 작동 원리를 가지는지 먼저 알아볼 것이다. 일반적으로, 심층 강화학습에서는 인공신경망으로 이루어진 정책(Policy)들이 존재한다. 정책의 목표는 무

한한 상태 정보를 근사화하고, 이를 정책 경사 하강법을 통해 확률적 및 결정적 정책을 학습시킨다. 이 학습된 정책들은 어떠한 시뮬레이션 혹은 실험 환경에 있는 에이전트(Agent)들에게 목표를 달성하기 위한 최적 행동 값을 전달하여, 가장 최적화된 방식으로 목표를 달성할 수 있도록 한다. 심층 강화학습의 장점은 GPU를 지닌 디바이스라면, GPU의 빠른 연산 속도를 사용하여 실시간으로 의사 결정을 내릴 수 있다는 점이다. 의사 결정 속도가 빠른 만큼 실상황에서 무인 이동체 같은 개체들의 효율적인 운용이 가능해진다. 그러나, 강화학습의 정책을 학습시키는 과정에서 매우 많은 연산량을 요구하며, 이에 대한 방안으로 양자 컴퓨팅을 이용한 강화학습에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[25].

양자 강화 학습의 초기 연구는 고전적인 심층 강화학습의 구조를 그대로 사용되 부분적으로 양자 컴퓨팅을 사용하여 구현하는 식으로 진행되었다. 고전적 모델에서 사용되던 인공 신경망은 학습가능한 양자 회로 (Parametrized Quantum Circuit)로 대체하여 사용하였고, 이를 고전적 심층 인공신경망을 함께 혼용하여 A2C 구조의 하이브리드 양자 강화학습을 구현하였다. 일단은 에이전트만 양자 회로를 사용하고 그 외에 최적화 및 크리틱은 고전적 옵티마이저를 이용하여 최적화하는 방법을 모사하였다^[26-28]. 해당 연구에서는 양자 컴퓨팅으로 고전적 인공신경망 정책을 재현하는 방식으로 양자 심층 강화학습을 구현하고자 했으며, 시뮬레이션을 실행해본 결과 양자 심층 강화학습이 동일 파라미터 대비 높은 성



<그림 4> 스케일러블한 QCNN^[18]



〈그림 5〉 양자 멀티에이전트 강화학습^[12]

능을 낸다는 등의 유효성을 검증할 수 있었다. 또한, 양자 컴퓨팅의 고질적인 문제점인 Near Intermediate Scale Quantum (NISQ) 특징으로 인해 이용할 수 있는 큐비트의 개수가 매우 적었기 때문에 정책이 입력으로 받는 큐비트의 개수는 10개 이내로 제한한 상태로 연구가 진행되어왔다. 양자 컴퓨팅의 NISQ 특징은 현존하는 양자 컴퓨팅의 하드웨어 기술이 아직 충분히 발전하지 못해 발생하는 특성이다. 이로 인해 현재의 양자 컴퓨터는 대략 100개 이상의 큐비트가 입력되면 양자 회로를 통해 연산되는 과정에서 대량의 양자 에러가 발생하고 이는 결과에 큰 영향을 미친다. 또한, 양자 컴퓨팅은 아직 연산 도중 양자 오류 수정이 불가능하기 때문에 양자 오류의 문제는 더욱더 증폭된다. 따라서, 사용 가능한 결과를 얻어내기 위해 불가피하게 한정된 큐비트를 사용한다. 큐비트의 개수가 한정되어 있다는 것은 입력할 수 있는 상태 정보의 수가 제한되어 있다는 것이고 이는 모델 성능에 부정적인 영향을 직접적으로 끼친다. 따라서, 이런 제한점을 극복하기 위해서 고전 인공지능망의 오토인코더를 사용하여 입력 정보를 먼저 압축한 뒤에 양자 회로에 입력하는 방식을 도입하기도 하였다.

하지만, 방금 설명하였던 고전-양자 혼합 강화학습에서는 양자 컴퓨팅을 온전히 활용하지 못하였다. Tensorflow-Quantum, PennyLane, Qiskit 등의 라이브러리가 출시됨에 따라, 학습 가능한 양자 회로를 강화학습의 구성 요소(예: 정책, 상태가치함수, 행동가치함수 등)에 적용하면서, 유효성 검증에 대한 내용을 중심으로 연구를 진행하였고, 양자 컴퓨팅만이 달성할 수 있는 특

성에 대한 해석과 방향 제시는 이뤄지지 않았다. 양자 컴퓨팅이라는 분야가 아직 충분히 확립되지 않은 만큼 이미 많은 연구가 진행된 고전적 심층 강화학습의 내용에 큰 의존성을 기반으로 한 연구가 진행되었기 때문에 위와 같은 결과를 낳았다. 그래서 이런 의존성을 극복하고 양자 컴퓨팅만이 달성 가능한 고유한 결과물을 만들기 위한 연구가 진행되었다.

양자 컴퓨팅을 온전히 이용하기 위해 진행된 연구 중 하나는 심층 강화학습 맥락에서 에이전트가 가지는 행동 가치 함수 네트워크를 학습 가능한 파라미터와 관찰 변수 (Observable), 학습 가능한 확률 진폭 조절 변수로 각각 모델링하였다^[5]. 해당 연구에서는 양자 심층 강화학습이 위와 같이 고전적 파라미터들을 양자 컴퓨팅에서 사용되는 값들로 치환하였을 때, 일부 강화학습 환경에서 지니는 상태, 행동, 보상 같은 파라미터들에 대해 기존 컴퓨팅보다 양자 우위가 존재한다는 것을 제시하였다. 그 다음으로는 여러 작업에 적합한 양자 회로를 찾아내기 위한 다양한 연구들도 수행되었다. 예를 들어, 전에는 양자 회로 자체의 학습과 최적화를 중심으로 연구를 하였다면, 한 연구는 양자 회로의 측정을 개선하고자 하였다. 이를 위해 제시된 방법은 바로 양자회로 측정에 적합한 SPSA 옵티마이저를 이용하여 학습하는 것이었다.^[26] 그 외에도, 상태 정보를 양자 회로에 바로 입력하지 않고 큐비트의 개수를 경량화 할 수 있는 re-uploading 기법 및 양자 상태 인코딩 기법에 대한 연구 또한 많이 진행되었다^[27]. 위에 소개한 연구들의 공통점은 초기에 진행되었던 연구들이 제시한 양자 회로 자체의 개선보다는, 양자 컴퓨팅 과정 그 자체의 개선을 이루고자 하였다. 따라서, 양자 회로의 측정 과정 그리고 입력되는 양자 정보의 인코딩 기법 같이 양자 회로에 제한되지 않고 성공적으로 성능을 개선시킬 수 있었다. 이런 연구들은 고전적 강화학습에 구속 받지 않고 양자 컴퓨팅이 지니는 특성에 대하여 깊이 고찰하고 해당 특성을 심층 강화 학습에 적용할 수 있었지만, 아직 더 복잡한 환경(예: 이미지를 받는 Atari2600 등)에서는 기존 고전-양자 혼합 강화학습이 더 좋은 성능을 보이는 등 한계를 보였다^[28].

양자 심층 강화학습이라는 분야는 양자적 특성을 강화

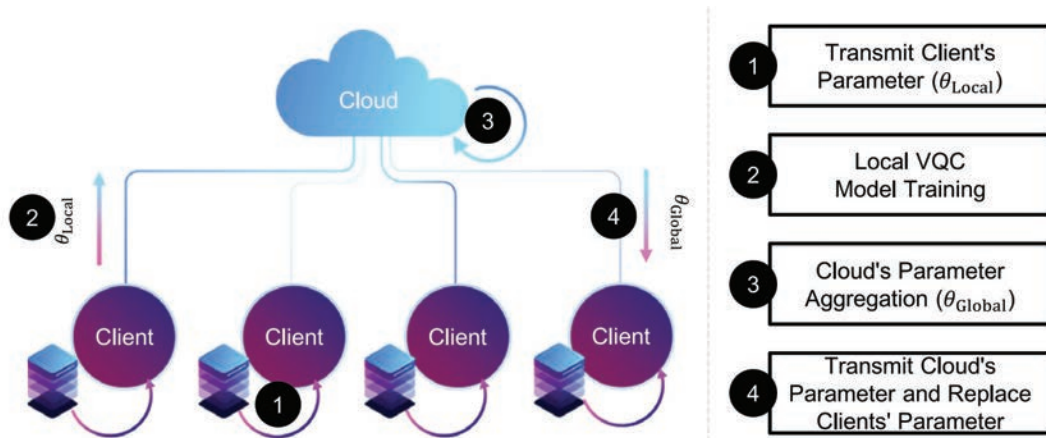
학습의 결합한 지식의 축적으로 이어졌고, 이는 최근 양자 심층 다중 에이전트 강화학습에 대한 연구로 발전하였다. <그림 5>은 양자 심층 다중에이전트 강화학습을 나타낸다. 양자 심층 다중 에이전트 강화학습은 기존의 양자 심층 강화학습과 달리 다수의 에이전트를 사용한다. 이것이 의미하는 바는, 만약 총 N 개의 에이전트가 사용된다고 가정한다면, 단일 에이전트가 사용될 때 필요한 연산량의 N 배의 연산량이 요구된다는 뜻이다 (Naïve한 구현 방법을 사용한다 가정). 또한, 양자 컴퓨팅이 위에서 언급된 NISQ 특성으로 인해 제한된 크기의 입력 상태 정보를 사용해야 한다는 점을 고려한다면, 양자 다중 에이전트 강화학습은 결코 구현하기 쉬운 작업은 아니다. 따라서, 이를 가능케 만들기 위해서 학습에 필요한 큐비트 숫자를 줄이는 강화 학습 기법이 연구되었다^[8]. 해당 연구에서는 큐비트 숫자를 줄이기 위해 중앙학습-탈중앙추론 (Centralized Training Decentralized Execution) 방식의 다중 에이전트 강화학습의 구조를 활용하여 학습의 과정에서 기기에 가해지는 연산 overhead를 최소화하고자 하였다. 추가적으로, 기존에 사용되지 않았던 4변수 밀집 인코딩 기법을 활용함으로써 큐비트의 숫자를 16개에서 4개로 축소시킴과 동시에 정보의 손실량은 최소화시키는 연구를 진행하였다. 해당 연구에서는 다중 에이전트들 간의 협력적인 행동을 이끌어내는데 성공하였다. 그뿐만 아니라, 기존 다중 에이전트 강화학습과 비교했을 때, 확연히 작은 모델과 적은 파라미터를 사용하였음에도 불구하고 제시된 모델은 동등하거나 더 좋은 성능을 낸다는 것을 입증할 수 있었다. 지금까지 고전-양자 혼합 강화학습, 양자 심층 강화학습, 양자 심층 다중 에이전트 강화학습에 대해 소개하였다. 연구가 진행될수록 고전적 강화학습을 모방한 양자 강화학습이 아니라 양자 컴퓨팅의 고유 특성을 많이 고려하여, 양자 컴퓨팅의 고유한 모델을 만들어내는 연구가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 최근 양자 심층학습에 대하여 나아가야 할 방향에 대해 많은 논의가 이뤄지고 있다^[9]. 첫번째 논의점은 양자 컴퓨팅과 고전 강화학습이 만나는 연결고리를 양자 커널 관점에서 분석하고 설계해야 한다는 것이다. 두번째는 양자 옵티마이저에 대한 연구의 필요성이 매우 절실하게 느껴

지고 있다는 점이다. 실제 양자 심층 강화학습에서는 심각한 Barren Plateau의 문제점을 앓고 있다. 이 문제의 큰 원인은 아직 양자 파라미터를 제대로 최적화 할 수 있는 옵티마이저가 존재하지 않고 대부분 고전적 옵티마이저에 의존하고 있기 때문이다. 해당 문제를 해결하기 위해서는 양자 옵티마이저에 대한 충분한 연구가 이뤄져서, 양자 파라미터를 제대로 최적화 할 수 있게 되어야지만 barren plateau를 극복할 수 있을 것이다. 마지막으로, 양자 심층 강화학습에 적합한 양자 게이트에 대한 연구 역시 추후에 많은 연구를 요하는 분야이다.

IV. 양자 분산 학습

딥러닝은 이미 다양한 데이터 처리 작업을 위한 최첨단 기술이 되었지만, 데이터 보안 및 계산 의존도가 높아 데이터 보안 및 계산 과부하 문제가 종종 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 딥러닝 방법에서는 분산학습 기법이 등장하였다. 연합 학습(Federated learning), 스플릿 러닝(Split learning) 등 분산 학습은 의료, 금융 및 안면 인식과 같이 개인 정보에 민감한 데이터를 처리하는 연구 분야에서 특히 유용하며, 민감한 데이터가 증가하는 추세를 고려할 때 양자 분산 학습은 양자 딥러닝 및 분산 학습의 장점을 결합하여 자연스럽게 분화된 연구 분야이다. 양자 분산 학습은 기존 양자 딥러닝의 제한된 큐비트로 인해 양자 컴퓨터의 확장성에 어려움을 겪기 때문에 이진 분류^[18,20,21]와 같은 간단한 작업을 통해 타당성을 입증하였다. 또한 초기 양자 분산 학습은 <그림 6>와 같이 사실상 고전 신경망을 양자 신경망으로 대체하는 방식이었다.

큐비트 제약 조건을 해결하기 위해, Chen et al.^[19]은 처음으로 연합 학습 환경에서 양자-고전 혼합 방식의 인공신경망 방식을 채택하여, 분산하여 학습하는 방식이 제안하였다. 특히, 양자 인공신경망을 사전 훈련된 고전적 인공신경망인 VGG16과 결합하는 것을 고려하였는데, 이는 직접적으로 큐비트 개수의 제약을 완화하기 때문이다. 양자 분산학습에서는 연합 학습에서 널리 사용되는 local gradient를 평균 연산을 취해 global gradient를 얻어내는 FedAvg 알고리즘을 사용하였다^[22].



〈그림 6〉 양자 분산 학습 파이프라인^[14]

또한 양자 분산학습은 서버와 클라이언트 간의 보안 양자 통신 프로토콜을 활용하여 외부 공격으로부터 데이터 보안을 강화하는 방식으로 연구가 진행되었다. 구체적으로, 연합 양자 분산 학습^[13] 및 양자 연합 학습은 블라인드 양자 컴퓨팅^[14]을 적용한 연구로, 연합 학습의 속도 향상 및 학습 시 교환하는 gradient attack으로부터 개인 정보 보호를 달성하기 위한 것이다. 로컬 장치의 개인 데이터를 노출하지 않고 원격 양자 서버를 사용하는 범용 블라인드 양자 계산 프로토콜(UBQC: Universal Blind Quantum Computation Protocols)을 활용한 분산 학습용 양자 프로토콜이 모든 양자 회로, 양자 입력 및 양자 출력에 적용할 수 있기 때문에 양자 분산 학습의 핵심 블라인드 양자 컴퓨팅으로써 활용되고 있다^[23].

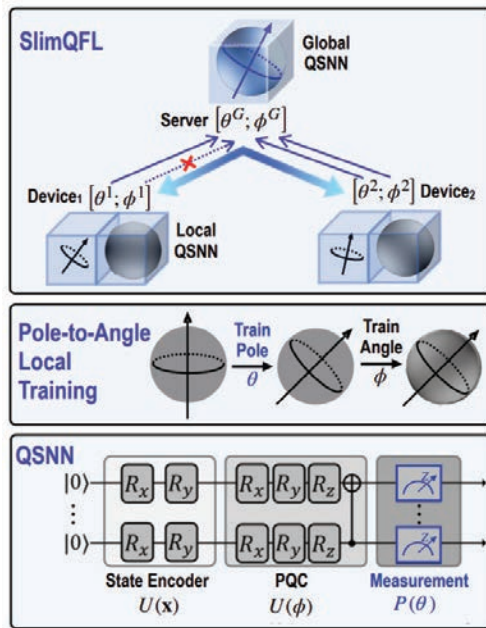
이 밖에도, 최근 연구에서는 〈그림 7〉와 같이 발전된 양자 분산 학습 알고리즘을 무선 통신과 결합한 연구를 하였다^[11,30]. 기 연구와 달리, 해당 연구에서는 VQC 학습과 측정 측 학습으로 분리하였으며, 통신 환경에서 중첩 코딩과 연속 간섭 제거를 채택한 기법이다. 효율적으로 성능을 내기 위해 local 학습에서 pole-to-angle training의 기법을 도입하였는데, 이는 VQC 파라미터 (angle parameter)은 고정하고 측정 측 파라미터 (pole parameter)을 학습한 뒤, 학습된 측에 대해 angle parameter를 다시 학습하는 구조이다. Local 장치는 무선통신 환경에서 angle parameter와 pole parameter를 superposition coding하여 서버로 전송하며 서버

는 successive interference cancellation을 통해 angle parameter와 pole parameter를 순차적으로 복원해내어 global gradient를 얻어낸다. 통신 환경이 좋을 때는 angle parameter와 pole parameter를 모두 받게 되고, 통신 환경이 나쁠 때는 pole parameter만 받게 되는 동적인 무선 통신을 고려한 연구이다.

이번 장에서 양자 분산 학습에 대해 살펴보았다. 많은 기 연구들이 고전 분산 학습에서 차용한 구조를 많이 사용하였으며, 최근에는 양자 통신과 결합한 양자 분산 학습 및 양자 회로의 양자적 특성을 더욱 활용한 연구들이 제안되고 있음을 확인하였다.

V. 전망과 결론

고전 컴퓨팅에서 다루기 힘든 고차원 데이터 처리에 양자 컴퓨팅이 핵심적인 솔루션이 될 수 있다. 또한, 본 논문에서 깊게 다루지 않은 양자 통신 및 양자 블라인드 컴퓨팅 분야는 현재까지 나와 있는 보안 솔루션 중 가장 안전한 솔루션으로 알려져 있다. 양자 인공지능은 아직까지 인공지능에 비해 걸음마 수준이지만, 최근 data reuploading 및 추가 ansatz 활용을 통해 양자 인공지능망의 scalability 이슈에 대해서도 발전이 이루어지고 있다. 딥러닝이 GPU 텐서 연산 및 네트워크 인프라스트럭처가 구축됨에 따라, 디지털 트랜스포메이션을 이룩하게 된 것처럼, 이론적 우위 달성한 양자 컴퓨팅, 양자 통신,



〈그림 7〉 Slimmable Quantum Federated Learning ^[11]

양자 딥러닝 알고리즘이 결합한 양자 기술이 근미래에 현재 처리하기 매우 어렵다고 알려진 Genomic 데이터 처리, 자율 주행 LiDAR 데이터 처리 등에 대해 매우 효율적으로 처리할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] F. Arute et al., Quantum supremacy using a programmable superconducting processor, *Nature*, vol 574, pp.505–510, 2019.
- [2] J. Choi, and J. Kim, A tutorial on quantum approximate optimization algorithm (QAOA): Fundamentals and applications, *Proc. International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2019.
- [3] J. Choi, and J. Kim, A tutorial on quantum approximate optimization algorithm (QAOA): Fundamentals and applications, *Proc. International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2019.
- [4] J Choi, S Oh, and J Kim, The useful quantum computing techniques for artificial intelligence engineers, *Proc. IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2020.
- [5] J Kim, Y Kwak, S Jung, and JH Kim, Quantum scheduling for millimeter-Wave observation satellite constellation, *Proc. IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS)*, 2021.
- [6] Y. Kwak, W.J. Yun, S. Jung, J.-K. Kim, and J. Kim, Introduction to quantum reinforcement learning: Theory and PennyLane-based implementation, *Proc. International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2021.
- [7] S. Oh, J. Choi, and J. Kim, A tutorial on quantum convolutional neural networks (QCNN), *Proc. International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2020.
- [8] Y. Kwak, W.J. Yun, S. Jung, J.-K. Kim, and J. Kim, Introduction to quantum reinforcement learning: Theory and PennyLane-based implementation, *Proc. International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2021.
- [9] Y Kwak, WJ Yun, S Jung, and J Kim, Quantum neural networks: Concepts, applications, and challenges, *Proc. International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2021.
- [10] S Oh, J Choi, JK Kim, and J Kim, Quantum convolutional neural network for resource-efficient image classification: A quantum random access memory (QRAM) approach, *Proc. IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2021.
- [11] WJ Yun, JP Kim, S Jung, J Park, M Bennis, and J Kim, Slimmable quantum federated learning, *Proc. International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2022.
- [12] WJ Yun, Y Kwak, JP Kim, H Cho, S Jung, J Park, and J Kim, Quantum multi-agent reinforcement learning via variational quantum circuit design, *Proc. IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2022.
- [13] J Choi, S Oh, and J Kim, A tutorial on quantum graph recurrent neural network (QGRNN), *Proc. IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2021.
- [14] Y Kwak, WJ Yun, JP Kim, H Cho, J Park, M Choi, S Jung, J Kim, Quantum distributed deep learning architectures: Models, discussions, and applications, *ICT Express*, 2022.

- [15] WJ Yun, J Park, J Kim, Quantum multi-agent meta reinforcement learning, arxiv preprint, 2022.
- [16] J Choi, S Oh, J Kim, Quantum Approximation for Multi-Scale Scheduling, arxiv preprint, 2020.
- [17] H Baek, WJ Yun, J Kim, FV-Train: Quantum convolutional neural network training with a finite number of qubits by extracting diverse features, arxiv preprint, 2022.
- [18] H Baek, WJ Yun, J Kim, Scalable quantum convolutional neural networks, arxiv preprint, 2022.
- [19] S.Y.-C. Chen, S. Yoo, Federated quantum machine learning, Entropy vol. 23, no. 4 2021.
- [20] J.R. McClean, S. Boixo, V.N. Smelyanskiy, R. Babbush, H. Neven, Barren plateaus in quantum neural network training landscapes, Nature Communications, vol. 9, no. 1, pp.1-6, 2018.
- [21] R. Huang, X. Tan, Q. Xu, Quantum federated learning with decentralized data, IEEE Journal of Selected Topics on Quantum Electronics vol. 28 no. 4, pp. 1-10, 2022.
- [22] B. McMahan, E. Moore, D. Ramage, S. Hampson, B.A. y Arcas, Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data, Proc. International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), vol. 54, 2017, pp. 1273-1282.
- [23] O. Gupta, R. Raskar, Distributed learning of deep neural network over multiple agents, JNCA vol. 116, pp. 1-8, 2018.
- [24] I. Cong et al., Quantum Convolutional Neural Networks, arxiv preprint, 2018.
- [25] D. Silver, J. Schrittwieser, K. Simonyan, I. Antonoglou, A. Huang, A. Guez, T. Hubert, L. Baker, M. Lai, A. Bolton, et al., "Mastering the game of go without human knowledge," Nature, vol. 550, no. 7676, pp. 354, 2017.
- [26] S. Y.-C. Chen, C.-H. H. Yang, J. Qi, P.-Y. Chen, X. Ma, and H.-S. Goan, "Variational quantum circuits for deep reinforcement learning," IEEE Access, vol. 8, pp. 141 007-141 024, 2020.
- [27] S. Jerbi, C. Gyurik, S. Marshall, H. J. Briegel, and V. Dunjko, "Variational quantum policies for reinforcement learning," in Proc. Neural Information Processing Systems (NeurIPS), December 2021.
- [28] O. Lockwood and M. Si, "Playing Atari with hybrid quantum-classical reinforcement learning," in Proc. NeurIPS 2020 Workshop on Preregistration in Machine Learning, December 2021, pp. 285-301.
- [29] —, "Reinforcement learning with quantum variational circuit," in Proc. AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE), October 2020.
- [30] M. Schuld and N. Killoran, "Is quantum advantage the right goal for quantum machine learning?" CoRR, vol. abs/2203.01340, 2022.



김중현

- 2004년 2월 고려대학교 컴퓨터학과 학사
- 2006년 2월 고려대학교 컴퓨터학과 석사
- 2014년 8월 미국 USC Computer Science 박사
- 2006년 1월 ~ 2009년 8월 LG전자 CTO부문 연구원
- 2013년 9월 ~ 2016년 2월 미국 인텔 본사 연구원
- 2016년 3월 ~ 2019년 8월 중앙대 컴퓨터공학부 조교수
- 2019년 9월 ~ 현재 고려대 전기전자공학부 부교수

〈관심 분야〉

퀀텀 딥러닝, 심층강화학습, 모빌리티 기술



윤 원 준

- 2021년 2월 고려대학교 공과대학 전기전자공학부 학사
- 2020년 3월 ~ 현재 고려대학교 인공지능 및 모빌리티 연구실 연구원
- 2021년 3월 ~ 현재 고려대학교 공과대학 전기전자공학과 박사과정
- 2022년 6월 ~ 8월 CIPHEROME Inc. 실리콘밸리 연구원

〈관심 분야〉

Quantum Machine Learning, Federated Learning, Artificial Intelligence



김 재 평

- 2023년 2월 고려대학교 공과대학 전기전자공학부 학사
- 2022년 3월 ~ 현재 고려대학교 인공지능 및 모빌리티 연구실 연구원

〈관심 분야〉

Quantum Machine Learning, Federated Learning, Artificial Intelligence



백 한 결

- 2020년 2월 고려대학교 공과대학 전기전자공학부 학사
- 2020년 2월 ~ 2021년 2월 LG전자 연구원
- 2021년 3월 ~ 현재 고려대학교 공과대학 전기전자공학과 박사과정
- 2021년 3월 ~ 현재 고려대학교 인공지능 및 모빌리티 연구실 연구원

〈관심 분야〉

Quantum Machine Learning, Federated Learning, Artificial Intelligence

인공지능 기술을 활용한 신약개발 과정 혁신

I. 서론

인공지능(artificial intelligence, AI), 기계학습(machine learning, ML), 딥러닝(deep learning, DL)은 최근 화두가 되고 있는 키워드로 미디어에서도 쉽게 접할 수 있으며, 다양한 산업 및 연구 분야에 광범위하게 적용되고 있는 기술을 지칭한다. 예를 들면, 스마트폰 카메라의 화질 개선 및 얼굴인식, 자율주행 자동차의 보행자 보호 및 사물 회피, 음성을 텍스트로 변환해 주는 번역 인공지능 기술 등 다양한 영역에서 기존의 기술을 대체하거나 새로운 가능성을 제시하고 있다. 최근에는 키워드만으로 그림을 생성하는 모델(model), 자동 채팅 봇, 코딩을 추천해주는 기술 등 인간의 직업을 직간접적으로 위협하는 인공지능 기술들도 등장하여 무한한 가능성을 보여주고 있다. 이러한 최신 기술들이 가장 적용되기 어려운 분야 중 하나가 생명과학 분야이다. 인간의 지식을 바탕으로 개발한 다양한 최첨단 기술들과는 달리 생명현상은, 지난 수십 년간 다양한 연구가 진행되었음에도 불구하고, 분자(molecule) 단위에서 작동하는 다양한 기전(mechanism)들을 완벽하게 이해하는 것이 불가능하기 때문에 상대적 답보상태에 있다. 이러한 격차를 초래한 가장 중요한 원인은 인간의 기술과 생명현상은 근본적으로 다르기 때문이다. 우리가 실생활에 사용하는 다양한 도구 및 기술 요소 들은 인간이 개발한 것인 반면, 생명체는 그렇지 않기 때문이다. 예를 들면, 인접한 세포(cell) 간 일어나는 다양한 교류(cell-to-cell communication), 이를 가능케 하는 호르몬(hormone)과 같은 신호전달 물질과 이에 의한 세포 내 신호전달(cell signaling) 등, 실상을 면밀히 살펴본다면 과연 인공지능 기술이 생명현상을 이해하는데 적용될 수 있을지 의문이 들 수밖에 없다. 그럼에도 불구하고, 최근 개발된 다양한 분자 프로파일링(molecular profiling) 및 이미지(image) 분석 기술들은, 생



김 대 승
더어젠



강 근 수
단국대학교

명현상을 이해하기 위한 특정 작업(task)을 수행하는 인공지능 모델을 개발하는데 필수적인, 학습 가능한 수준의 데이터를 생산하고 있다. 따라서, 다른 산업과 마찬가지로 생명과학 분야도 다양한 인공지능 모델이 개발되어 광범위한 혁신이 일어날 것으로 예상된다. 실제로 구글(Google)의 딥마인드(DeepMind)가 개발한 알파폴드(AlphaFold)는, 단백질(protein)을 구성하는 기본 단위인 아미노산(amino acid)의 서열 정보만으로 단백질의 3차원 구조(3D structure)를 예측하는 인공지능 모델이다^[1]. 최근 딥마인드는 알파폴드의 예측 성능을 더욱 향상시킨 후, 이를 활용하여, 지구상에 존재하는 생명체에서 발견되는 약 2억 개의 단백질의 구조를 예측한 데이터베이스를 공개하였다(<https://www.deepmind.com/blog/alphafold-reveals-the-structure-of-the-protein-universe>). 이러한 방대한 단백질 구조 예측 데이터는 기초과학에서부터 신약 개발을 아우르는, 생명현상을 연구하는 거의 모든 연구 영역에서 필수적인 정보이기 때문에, 그 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다. 앞으로 다양한 인공지능 기술이 기초과학, 의료, 임상, 신약개발 등의 분야에 적용되어서 생명현상을 이해하는 데 주도적인 역할을 할 것이다. 산업적으로 인공지능 기술이 가장 큰 파급효과를 보일 분야 중 하나는 신약 개발 분야이다. 전통적으로 신약이 개발되어 성공적으로 시판되기 위해서는 천문학적 비용이 투입되며, 막대한 개발 인력이 필요할 뿐만 아니라, 최소 평균 10년 이상의 개발 기간이 소요된다. 하지만 더욱 절망적인 것은 그럼에도 불구하고

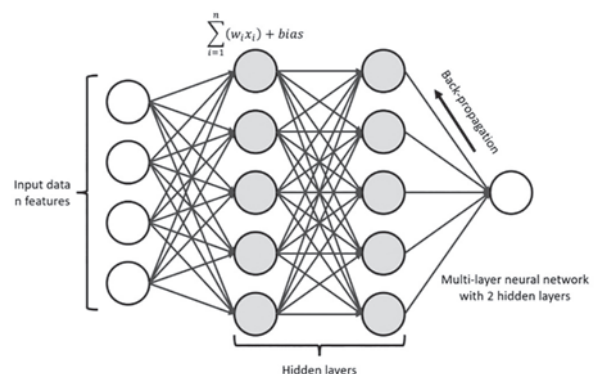
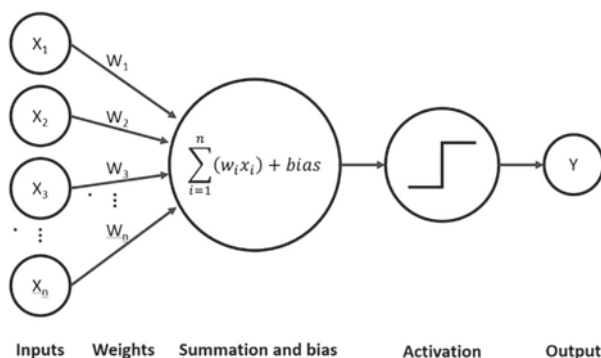
시판까지 도달하는 성공률이 굉장히 낮다는 것이다. 또한, 개발 과정도 매우 복잡하기 때문에 이러한 난제를 인공지능 기술이 단계적으로 해결한다면 신약 개발의 성공률 향상에 크게 이바지할 것으로 기대된다. 최근 화두가 되고 있는 인공지능 기술 기반 신약 개발 혁신에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

II. 생명현상을 이해하는 인공지능 모델 개발을 위한 데이터 구조

1. 인공지능 기술 개요

인공지능(artificial intelligence, AI)은 컴퓨터(computer)와 같은 기계가 경험을 통해 학습하여 인간 수준의 지적 활동을 가능하게 하는 일련의 기술들을 말한다. 인공지능의 하위 개념으로 기계학습(machine learning, ML)과 딥러닝(deep learning, DL)이 있다. 기계학습은 컴퓨터가 경험을 통해서 작업을 향상하는 일련의 기술을 일컬으며, 딥러닝은 인간 신경세포(neuron)의 작동 원리를 모방한 특별한 입출력 구조 기반 인공신경망(neural network)을 사용하는 기계학습의 하위 개념을 말한다(그림 1).

이러한 딥러닝의 초안이 되는 퍼셉트론(perceptron)은 1957년에 처음으로 제안되었지만^[2], 기본적인 신경망조차도 방대한 양의 연산을 필요로 하기 때문에 초기에는 실현 불가능한 기술로 치부되었다. 하지만 최근 딥러닝 알고리즘의 병렬화, 병렬 연산에 최적화된 GPU의 범용



〈그림 1〉 Perceptron(single-layer neural network)과 multi-layer neural network 구조 예시

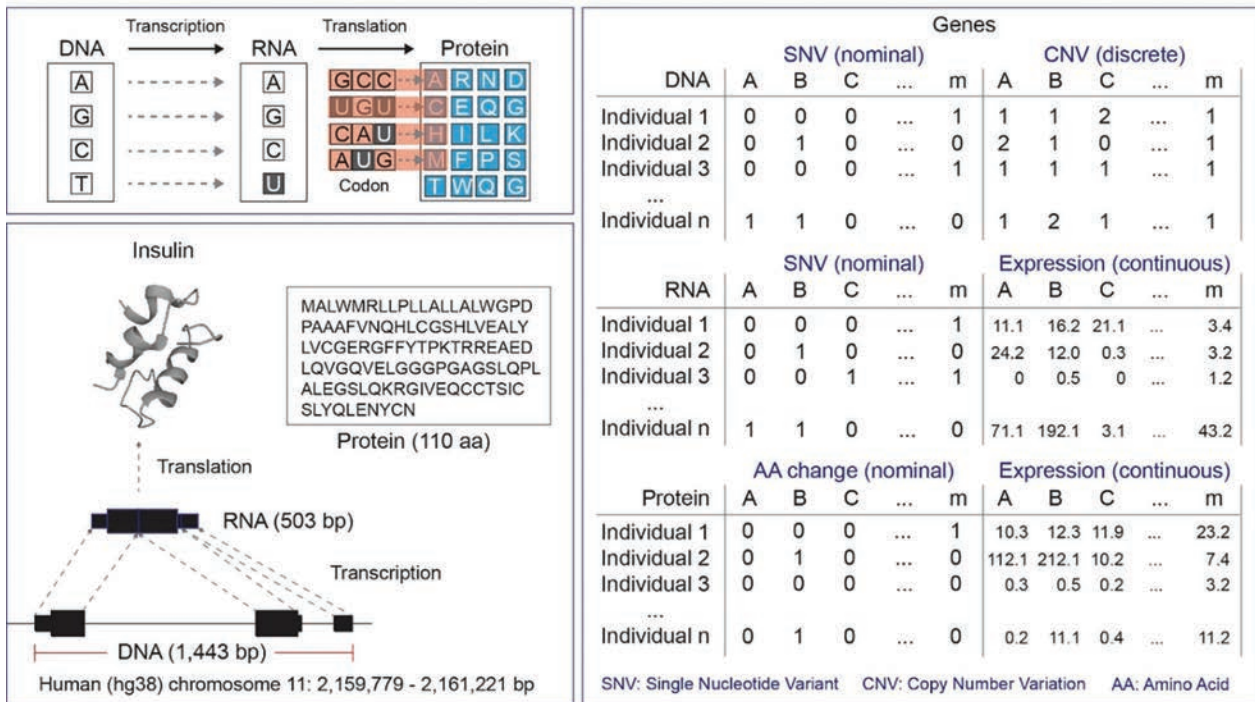


화 및 다양한 혁신적인 알고리즘의 등장으로 인공지능 기술은 대다수의 산업 및 연구 영역의 핵심 기술로 자리매김하였다.

2. 분자 데이터의 종류와 구조

특정 작업을 수행하는 인공지능 모델을 만들기 위해서는 목적에 맞는 대량의 양질의 데이터 확보가 필수적이지만, 생명과학 분야에서는 이러한 데이터 확보가 기술적으로 불가능하였기 때문에 인공지능 기술과의 접점이 거의 없었다. 하지만, 2000년대 초반에 개발된 차세대 염기서열 해독 기술(next-generation sequencing, NGS)과 단백질체(proteomics) 기술의 범용화로, 생명현상의 핵심 요소인 DNA, RNA 혹은 단백질 각 분자의 총체적인 변화를 한 번의 실험으로 측정하는 것이 가능케 되었다. 세포의 상태를 가장 잘 나타내는 분자 지표 중 하나인 RNA는 DNA를 주형(template)으로 복사되며, 단백질은 이러한 RNA를 주형으로 생성된다(그림 2). 즉, DNA를 구성하는 4종류의 뉴클레오타이드(nucleotide)인 아데닌(adenine, A), 구아닌(guanine, G), 사이토신(cytosine, C), 티민(thymine, T)은 티민을 제외하고 그대로 RNA로 복사되며, 이때 티민은 유라실(U)로 대체된다. 이렇게 복사된 RNA는 3개의 염기서열의 조합인 코돈(codon)이 하나의 아미노산(amino acid)과 매칭되기 때문에(예, GCC-알라닌, A; UGU-시스테인, C; CAU-히스티딘, H; AUC-메티오닌, M), 생명현상의 기틀인 이러한 유전 부호(genetic code) 규칙을 따라서 아미노산이 실(string) 형태로 연결된다. 결국, 하나의 유전자의 최종 산물인 단백질은, 유전자를 구성하는 DNA 서열에 의해서 이미 결정되어 있는 것이다. 예를 들면, 인슐린(insulin)은 인간의 유전체(genome-염색체 단위로 나누어져 있는 모든 DNA 서열의 총합) 기준 11번 염색체(chromosome)에 존재하며 전사와 번역과정을 거쳐서 110개의 아미노산 서열로 연결된 단백질이다. 번역과정을 통해서 110개의 아미노산이 연결되면 인슐린 기능을 하기 위한 3차원 골격이 스스로 혹은 다른 단백질의 도움을 받아서 접힘(folding)을 통해서 형성된다(그림 2). 암과 같은 질병에서는, 이러한 DNA 서열에 변화(돌연변이)

가 일어나면, 단백질의 서열 변화까지 유도되는 경우, 질병의 발병 혹은 진행에 관여하는 것으로 알려져 있다. 기존에는 유전자 하나 혹은 돌연변이 서열 하나 단위로 연구를 진행하였지만, NGS 및 단백질체 기술의 개발 및 보급으로 특정 분자 단위(예, DNA, RNA, 혹은 단백질)를 타겟으로 거의 모든 변화를 한 번에 측정하는 것이 가능하다. 따라서, 이러한 프로파일링 실험의 결과는 전처리(preprocessing) 과정을 통해서 매트릭스 형태로 산출된다(그림 2). 주로 DNA 서열 변화는 명목형(nominal) 혹은 이산형(discrete) 데이터로, 반면 RNA나 단백질량(abundance)의 측정 결과는 연속형(continuous) 데이터로 산출된다. 이러한 형태의 프로파일링 결과 데이터는 인공지능 기술을 활용하여 다양한 예측 모델을 생성하기 위한 학습 데이터로 사용하기 용이하다. 다만, 이러한 프로파일링 기술의 발전에도 불구하고, 대단위 시료 확보의 어려움 및 프로파일링 기술의 상대적으로 높은 비용 문제로, 인공지능 모델 개발을 위한 충분한 양의 학습 데이터 확보가 어렵다. 그럼에도 불구하고, 다양한 국제 협력 컨소시엄(consortium) 및 연구자들이 생산한 프로파일링 데이터가 GEO(gene expression omnibus, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/>), ENA(European nucleotide archive, <https://www.ebi.ac.uk/ena/browser/>), PRIDE(proteomics identifications database, <https://www.ebi.ac.uk/pride/archive/>) 등에 공개되어 있다. 이러한 데이터베이스는 주로 원시 데이터(raw data)로 저장되어 있기 때문에 이를 전처리하기 위해서는 생물정보학(bioinformatics) 분석 기술을 활용해야 한다. 최근에는 전처리한 데이터만을 제공하여 활용성을 높인 데이터베이스도 구축되고 있다. 예를 들면, cBioPortal(<https://www.cbioportal.org/>)은 30 종 이상의 암 환자 유래 프로파일링 전처리 데이터 및 시각화 툴을 제공하며, ARCHS4(<https://maayanlab.cloud/archs4/>)는 GEO 등에 공개된 NGS 기반 유전자 발현(RNA-seq) 데이터를 가공하여 매트릭스 형태로 결과를 제공한다. 향후 다양한 대단위 프로파일링 데이터가 지속적으로 축적된다면, 생명현상의 비밀을 인공지능 모델이 밝혀내는 데 일조할 것으로 기대된다.



〈그림 2〉 DNA, RNA, 단백질(protein)의 관계(왼쪽 상단 패널), 인슐린(insulin) 유전자의 전사(transcription) 및 번역(translation) 과정 예시(왼쪽 하단 패널) 및 DNA, RNA, 단백질 변화에 대한 실험 측정 데이터 형태 예시(오른쪽 패널)

III. 인공지능 기술을 활용한 신약개발 과정 혁신 사례

1. 인공지능 기술을 활용한 바이오마커 발굴

바이오마커(biomarker)는 일반적으로 환자의 상태를 나타내는 DNA, RNA, 단백질, 대사 물질 등과 같은 분자 기반 생체 지표(index)를 말한다. 예를 들면, EGFR 유전자의 790번째 아미노산인 티로신(tyrosine, T)의 경우 메티오닌(methionine, M)으로 치환된 형태(T790M 이라 함)가 1세대 EGFR 저해제(inhibitor) 치료를 받는 폐암(lung cancer) 환자에게서 다수 발견되며, 이를 극복하기 위해 T790M을 표적으로 하는 치료제로 오시머티닙(Osimertinib) 등이 개발되었다^[3]. 유방암의 경우 약 20~25%의 환자가 HER2 과발현(over-expression)을 보이며, 이는 HER2 유전자의 증폭(amplification) 혹은 HER2 단백질의 과발현에 기인한다^[4]. 따라서, HER2 과발현을 보이는 환자를 표적으로 trastuzumab, pertuzumab, lapatinib, neratinib 등 다수의 약물이 개

발되었다. 이와 같이, 질병의 발병 및 진행에 핵심적인 역할을 하는 바이오마커를 발굴하고, 이를 표적으로 약물을 개발한다면, 임상 시험에 등록되는 환자를 사전에 선별하여 모집할 수 있기 때문에, 임상시험의 성공 가능성을 높일 수 있다^[5]. 이러한 바이오마커 발굴은 NGS 기술이 널리 사용됨에 따라서 다양한 분석 기술을 토대로 진행되고 있다. 예를 들면, Wx와 Cascaded Wx 바이오마커 발굴 기술은 각각 질병 타겟(target) 및 환자 예후(prognosis) 연관 바이오마커를 발굴하는 인공지능 모델로, 기존의 분석 기술 대비 더 우수한 분류(classification) 성능을 보이는 피쳐(feature - 유전자, 단백질 등)를 선별하는 것이 가능함을 보였다^{[6],[7]}. 이러한 분석 기술이 필요한 이유는, NGS와 같은 프로파일링 기술의 경우 수천에서 수만 단위의 피쳐에 대해서 수치가 측정되기 때문에, 이 중 어떤 피쳐가 중요한지 결정하기 어렵기 때문이다. 다만, 생명현상을 측정한 분자 데이터는 단순히 주어진 피쳐 수치의 높고 낮음을 떠나서 다양하게 서로 연관되어 있기 때문에, 이를 고려하여 바이오마커를 선별하는 인공지능 모



텔이 개발된다면, 향후 더 뛰어난 기술들이 개발되어 활용될 것으로 기대된다. 또한, 더 많은 양질의 데이터가 생산되어 특정 작업을 위한 모델 학습에 사용될 수 있으며, 이를 통해 실험적으로 혹은 임상에서 실제로 검증된 바이오마커 사례가 나온다면, 바이오마커 발굴 기술도 인공지능 기반 모델들이 주류가 될 것이다.

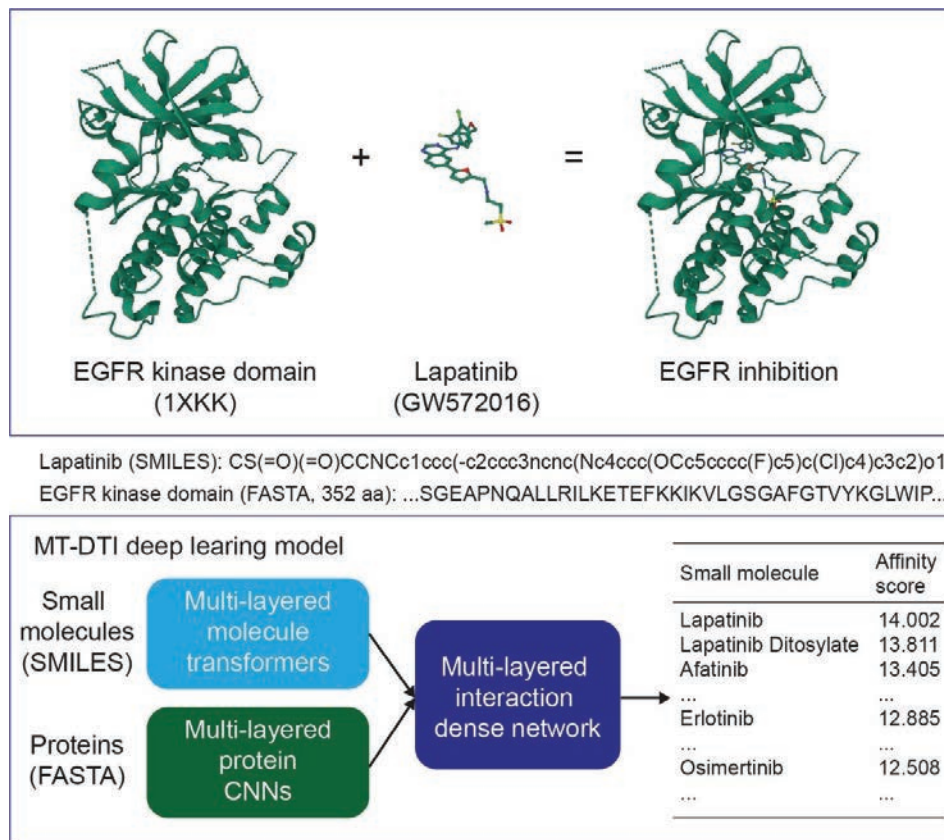
2. 인공지능 기술을 활용한 약물 예측: Drug-Target Interaction

약물(drug)은 일반적으로 특정 바이오마커(단백질, RNA 등)를 표적으로 개발되며, 타겟으로 하는 바이오마커에 결합하여 기능을 저해하거나 활성화시키는 역할을 한다. 신약 개발 과정은 타겟 선정 및 검증(target identification and validation), 약물 발굴 및 최적화(compound screening and lead discovery), 전임상(preclinical development), 임상시험(clinical development) 단계로 나눌 수 있다^[8]. 일반적으로 하나의 신약 개발에는 약 2조원의 비용과 15년의 시간이 소요된다고 알려져 있으며, 그중 전임상 단계까지 대략 75%의 비용이 사용되는 것으로 보고되었다. 타겟 선정 과정은 질병(disease)의 원인 및 기전(mechanism)을 명확하게 규명하는 것이 중요하며, 이를 통해서 올바른 타겟을 선정해야만 이후 막대한 비용, 시간, 노력이 들어가는 신약 개발 과정의 성공률을 높일 수 있다. 첫 단추를 잘못 끼우게 되면 이후의 노력은 물거품이 되기 때문이다. 대부분의 경우 목표로 하는 타겟은 단백질이기 때문에, 이를 저해할 수 있는 약물을 스크리닝(screening)하기 위해서 다양한 in silico 분석 기술(예, virtual screening)이 활용된다. 약물의 종류는 저분자 화합물(small molecule), 생물체 유래 바이오의약품(biologics) 및 ADC(antibody-drug conjugate), PROTAC(proteolysis-targeting chimera) 등 다양하며, 인공지능 기술로 스크리닝하기 가장 적합한 모달리티(modality)는 저분자 화합물이다. 저분자 화합물은 SMILES(simplified molecular-input line-entry system) 형식 등으로 표현되며^[9], ZINC15(<https://zinc15.docking.org/>)과 같은 구매 가능한 저분자 화합

물(약 2억 개 이상) 데이터베이스가 잘 구축되어 있다^[10]. 따라서, 저분자 화합물의 경우 타겟 단백질에 대한 결합력 예측 기술인 DTI(drug-target interaction) 스크리닝도 다른 약물 모달리티에 비해서 상대적으로 용이하다는 장점이 있다.

가장 널리 활용되고 있는 DTI 기술은 타겟 단백질의 3차원 구조(3D structure) 기반 스크리닝으로 다양한 방법론이 활용되고 있다^[11]. 전통적인 신약 개발은 의약화학(medical chemistry) 전문가가 이러한 단백질 구조를 분석하여 약물을 설계하는 방식에 의존하고 있다. 이러한 과정을 컴퓨터 시뮬레이션 기반으로 진행하는 것을 컴퓨터 기반 신약 디자인(computer-aided drug design, CADD)이라고 한다. 컴퓨터 기반 신약 디자인은 크게 구조 기반 신약개발(structure-based drug discovery, SBDD)과 리간드 기반 신약개발(ligand-based drug discovery, LBDD)으로 나눌 수 있는데, 약물-단백질 상호작용의 모든 경우의 수를 계산할 수 없기 때문에 근사값 혹은 생략을 하는 경우가 많으며, 단백질 구조의 존재 유무에 따라서도 결과에 많은 차이를 보이는 한계점도 존재한다. 그럼에도 불구하고, 현재에도 약물 초기 발굴에 광범위하게 사용되는 방법론이다. 예를 들면, EGFR 단백질의 경우, 인산화 효소영역(kinase domain)에 결합하여 EGFR 단백질의 기능을 저해하는 약물을 개발하기 위해서는, 이 영역의 3차원 구조를 정확하게 해독해야 한다. 따라서, 결합 가능한 구조인 결합부위(binding pocket)를 타겟으로 설정하여 CADD 방법으로 약물을 설계할 수 있다. 라파티닙(lapatinib)은 EGFR과 HER2 단백질을 동시에 저해할 수 있는 저분자 화합물로^[12], EGFR의 인산화 효소 영역에 결합함을 CADD 분석을 통해서 확인할 수 있다<그림 3>.

최근 트랜스포머(transformer)^[13]와 같은 인공지능 기술들이 개발되어, 다양한 작업에서 기존의 방법론을 뛰어넘는 우수한 모델들이 지속적으로 보고되고 있다. MT-DTI(molecular transformer drug target interaction model)는 트랜스포머를 DTI 작업에 적용한 최초의 인공지능 모델로, 기존의 DTI 모델보다 더 높은 예측 정확도를 보였다^[14]. MT-DTI 모델은 기존의 CADD 방법과 달



〈그림 3〉 단백질과 약물의 3차원 구조 기반 약물 스크리닝 기술(상단 패널)과 서열 기반 약물 스크리닝 인공지능 기술(하단 패널) 예시

리 단백질의 3차원 구조정보가 필요 없기 때문에, 아미노산 서열이 알려진 모든 단백질을 대상으로 이에 결합하는 저분자 화합물을 예측하는 것이 가능하다(그림 3). MT-DTI는 저분자 화합물에 대한 규칙과 같은 핵심 지식을 학습할 수 있도록, PubChem(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>)의 약 9,700만 개의 화합물에 대해서 사전 학습(pre-train)과 정밀 학습(fine-tuning) 과정을 거쳐 완성된 가장 높은 성능의 시퀀스 기반 약물-단백질 상호작용 예측 모델이다^[14]. 예측이 단시간에 진행되기 때문에 수백만 단위의 저분자 화합물을 대상으로 빠른 스크리닝이 가능하다. 2020년 초 코로나 팬데믹(COVID-19 pandemic)이 본격적으로 확산되기 시작할 때, COVID-19의 원인 바이러스(virus)인 SARS-CoV-2(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2)의 전장 유전체(genome)가 NGS 기술에 힘입어 빠르게 해독되었다. 인공지능 신약개발 스타트업(start-up)

인 디어젠은 단백질의 구조정보 없이 약물 예측이 가능한 MT-DTI 기술로 COVID-19 치료제를 빠르게 예측하였다. 인공지능 기술 기반 약물 재창출(drug repurposing) 전략으로 COVID-19 치료제를 세계 최초로 예측한 결과^[15], 램데시비르(remdesivir)와 리토나비르(ritonavir)가 최상위 약물로 선정되었다. 흥미롭게도 COVID-19 치료제로 미국 FDA에서 승인한 두 약물을 승인 이전에 성공적으로 예측한 것이다. 이 사례는 단백질의 구조 정보를 전혀 학습에 사용하지 않아도, 인공지능 모델이 단백질의 서열정보와 약물에 대한 결합 정도에 대해서 실험적으로 도출한 수치 결과를 분석하여, 약물과 결합을 예측하는데 중요한 피쳐(구조 정보를 포함한)를 내부적으로 인지하고 있음을 의미한다. 향후 알파폴드와 같은 단백질 구조 예측 모델의 장점을 융합한다면, 더욱 향상된 약물 예측 인공지능 모델로 진화할 것으로 기대된다.



3. 인공지능 기술을 활용한 약물 최적화: Lead Optimization

선행 연구와 약물 발굴을 통해서 타겟과 약물의 상호작용이 확인된 선도물질(Hit to lead)이 도출되었다고 하더라도 바로 임상실험에 들어가지 않는다. 발굴한 물질을 다양한 방법으로 최적화하는 선도 물질 최적화(lead optimization) 과정을 최소 2년 이상 수행하면서 다방면으로 평가해야 하기 때문이다. 즉, 도출된 물질을 기반으로 약물이 가져야 하는 특성을 고려하여, 수백 개 이상의 약물을 합성한 후, 엄격한 in vitro 및 in vivo 평가를 통과하는 약물을 선별해야 한다. 최근 생성 적 적대 신경망(generative adversarial network, GAN) 인공지능 기술을 활용하여^[16], 기존의 골격은 최대한 유지하면서, 개발하고자 하는 약물의 특성(예, ADMET – absorption, distribution, metabolism, excretion, toxicity 등)에 맞게 새로운 저분자 화합물을 생성하는 인공지능 모델이 개발되었다^[17]. 이러한 인공지능 모델을 활용한다면, 선도 물질 최적화 과정에 소요되는 막대한 비용 및 시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 방법론 대비 가능성이 높은 선도 물질을 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 신규 약물로 최종적으로 시판되기 위해서는 등록된 특허(intellectual property, IP)를 회피하는 것이 핵심이다. GAN을 활용하여 신규 약물을 생성한다면 이러한 부분도 동시에 해결할 수 있다는 장점이 있다. 새로운 인공지능 모델이 개발되면, 신약 개발 과정에 적용되기까지는 긴 시간이 걸린다. 그럼에도 불구하고, 향후 어떤 신규 인공지능 모델이 어떻게 신약 개발 과정을 혁신할 수 있을지, 인공지능 기술 기반 신약개발 분야의 앞으로의 행보가 기대가 된다.

IV. 맺음말

하나의 신약이 개발되기 위해서는 평균 10년 이상의 긴 여정을 거쳐야 하며, 엄격한 신약 개발 과정들을 성공적으로 통과해야 한다. 선도물질을 성공적으로 도출하였다고 하더라도, 실제 임상에서 어떤 결과가 나올지는 임상 시험을 진행해야만 알 수 있다. 비록, 임상시험의 성공 확

률을 예측하는 인공지능 모델도 개발되고 있지만^[18], 단편적으로 산출된 데이터 기반이기 때문에 활용도가 떨어진다. 신약 개발 과정을 면밀히 살펴보면 인공지능 기술이 혁신할 수 있는 부분이 많음에도 불구하고, 각 과정에서 어떤 부분이 어떻게 진행되는지에 대한 전문적인 지식을 쉽게 알 수 없다는 것, 대단위 실험 데이터를 확보하기 어렵다는 것, 신약 개발 분야에 종사하는 전문가들의 관점에서는 인공지능 기술에 대한 지식 및 신뢰의 부재 등에 의해서 인공지능 모델의 개발 및 활용도가 높지 않다. 또한, 최신 인공지능 모델이 결과를 도출하였을 때 실제 검증을 위한 실험에 들어가는 경우는, 지난 수십 년간 신약 개발에 매진한 전문가들의 고정관념이라는 거대한 벽에 부딪히기 때문에 매우 미미하다. 이렇듯 복합적인 요소에 의해서 인공지능 기술을 활용한 신약 개발 혁신은 아직 초기 단계라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 인공지능 기술은 이미 자율주행 자동차, 키워드로 이미지 생성, 언어 번역 등 다양한 작업에서 기존의 방법론을 뛰어넘는 우수한 성능을 보여주고 있다. 결국, 신약 개발 과정도 인공지능 기술에 의해서 혁신이 일어날 것은 명백한 일이며, 현재 진행형이라 할 수 있다. 앞으로 일어날 인공지능 기술 기반 신약 개발 혁신을 꿈꾸며 지금도 최신 모델을 개발하고 있는 전 세계 연구자들의 행보에 큰 관심이 가는 이유이기도 하다.

참고 문헌

1. Jumper John, et al. "Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold", Nature 2021, 596:583–589
2. Rosenblatt Frank, "The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain", Psychol Rev. 1958, 65:386–408
3. Esencay M, et al. "Biomarker strategy in lung cancer", Nat Rev Drug Discov. 2018, 17:13–14
4. Do-Youn Oh, et al. "HER2-targeted therapies — a role beyond breast cancer", Nat Rev Clin Oncol. 2019, 17:33–48
5. Chi Heem Wong, et al. "Estimation of clinical trial success rates and related parameters", Biostatistics 2018, 20:273–286
6. Sungsoo Park, et al. "Wx: a neural network-based feature



- selection algorithm for transcriptomic data”, Sci Rep. 2019, 9:10500
7. Bonggun Shin, et al. “Cascaded Wx: A Novel Prognosis-Related Feature Selection Framework in Human Lung Adenocarcinoma Transcriptomes”, Front Genet. 2019, 10:662
 8. Jessica Vamathevan, et al. “Applications of machine learning in drug discovery and development”, Nat Rev Drug Discov. 2019, 18:463–477
 9. David Weininger, et al. “SMILES, a chemical language and information system. 1. Introduction to methodology and encoding rules”, J Chem Inf Comput Sci. 1988, 28:31–36
 10. Teague Sterling, et al. “ZINC 15 – Ligand Discovery for Everyone”, J Chem Inf Model. 2015, 11:2324–2337
 11. Brian J. Bender, et al. “A practical guide to large-scale docking”, Nat Protoc. 2022, 17:177
 12. Stephen R. D. Johnston, et al. “Lapatinib: a novel EGFR/HER2 tyrosine kinase inhibitor for cancer”, Drugs Today (Barc). 2006, 42:441–453
 13. Ashish Vaswani, et al. “Attention Is All You Need”, NIPS 2017
 14. Bonggun Shin, et al. “Self-Attention Based Molecule Representation for Predicting Drug-Target Interaction”, PMLR 2019, 106:1–18
 15. Bo Ram Beck, et al. “Predicting commercially available antiviral drugs that may act on the novel coronavirus (SARS-CoV-2) through a drug-target interaction deep learning model”, Comput Struct Biotechnol J. 2020, 18:784–790
 16. Ian J. Goodfellow, et al. “Generative Adversarial Nets”, Communications of the ACM 2020, 63:139–144
 17. Bonggun Shin, et al. “Controlled molecule generator for optimizing multiple chemical properties”, Proceedings of the Conference on Health, Inference, and Learning 2021
 18. Kaitlyn Gayvert, et al. “A data-driven approach to predicting successes and failures of clinical trials”, Cell Chem Biol. 2016, 23:1294–1301



강근수

- 2011년 2월 한국과학기술원 생명과학과 박사 졸업
- 2006년 8월 서강대학교 생명과학과 학사 졸업
- 2020년 3월 ~ 현재 단국대학교 생명과학부 미생물전공 부교수
- 2014년 3월 ~ 2020년 2월 단국대학교 미생물학과 조교수
- 2012년 1월 ~ 2014년 2월 미국국립보건원(NIH) 박사후연구원
- 2011년 3월 ~ 2011년 11월 한국과학기술원 생명과학과 박사후연구원

〈관심 분야〉

생물정보학, 신약개발, 빅데이터, 인공지능



김대승

- 2017년 2월 단국대학교 미생물학과 석사 졸업
- 2014년 7월 단국대학교 응용수학과 학사 졸업
- 2019년 9월 ~ 디어젠 / 융합기술팀 / 연구원
- 2017년 3월 ~ 2019년 8월 테라젠이텍스 바이오연구소 / 생정보부 / 연구원

〈관심 분야〉

인공지능, 신약개발, 생물정보학, 빅데이터

딥러닝 기반 Semantic Communications 연구 동향

I. 서론

인터넷의 발달과 트래픽의 폭증으로 인해 통신 시스템에 요구되는 데이터 대역폭이 점점 증가하고 있다. 특히 B5G/6G 시대에는 XR, 홀로그램 등 실감형 콘텐츠가 많은 트래픽을 차지할 것으로 예상되는데, 이들 서비스는 보다 나은 사용자 경험을 위해 높은 데이터 전송량과 낮은 지연 시간이라는 모순적인 요구 조건을 동시에 충족해야 하는 특징이 있다. 이러한 도전적인 성능 목표치를 달성하기 위해 보다 넓은 대역폭을 확보하려는 노력이 지속되고 있으나, 낮은 주파수 대역에서의 대역폭 부족 문제로 인해 점점 더 높은 주파수 대역을 활용하려다 보니 전파의 강한 직진성으로 인한 심한 경로 손실이나, 많아지는 안테나 개수로 인한 RF 체인의 복잡도 증가 등의 다양한 문제에 직면하고 있는 상황이다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 한 가지 방법은 스펙트럼 효율성을 보다 높이는 것이다. 지금까지의 통신 시스템은 JPEG 등의 전통적 소스 코딩 방법과 LDPC, 터보 코드 등의 채널 코드를 조합하여 구성되어 있는데, 이는 소스 코딩과 채널 코딩을 분리하는 것이 성능 면에서 최적이라는 클라우트 새년의 separation theorem에 기반하고 있다. 따라서 지금까지의 연구는 주로 소스 코딩과 채널 코딩을 각각 개선하는 방식으로 이루어졌으며, 소스 코딩 분야에서 딥러닝 기반의 이미지 압축을 통해 압축 효율을 크게 높이는 연구 등이 제안된 바 있다.



유한주
연세대학교

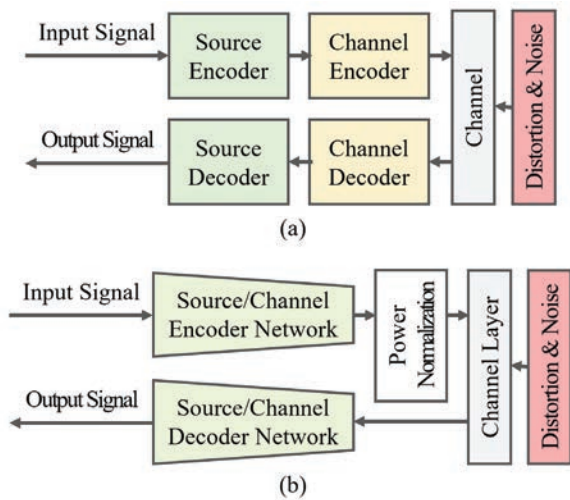


김성국
연세대학교



채찬병
연세대학교

그러나 최근에는 새년의 separation theorem에서 다시 벗어나 소스 코딩과 채널 코딩을 동시에 최적화함으로써 성능 향상을 얻으려는 시도가 등장하였다. 새년의 separation theorem은 무한히 긴 코드 길이, ergodic한 채널 등 실제 채널과는 상이한 가정을 하고 있기 때문에 오히려 separation theorem에서 벗어나 두 과정을 동시에 수행한다면



〈그림 1〉 (a) 기존 통신의 시스템 다이어그램과
(b) semantic 통신의 시스템 다이어그램

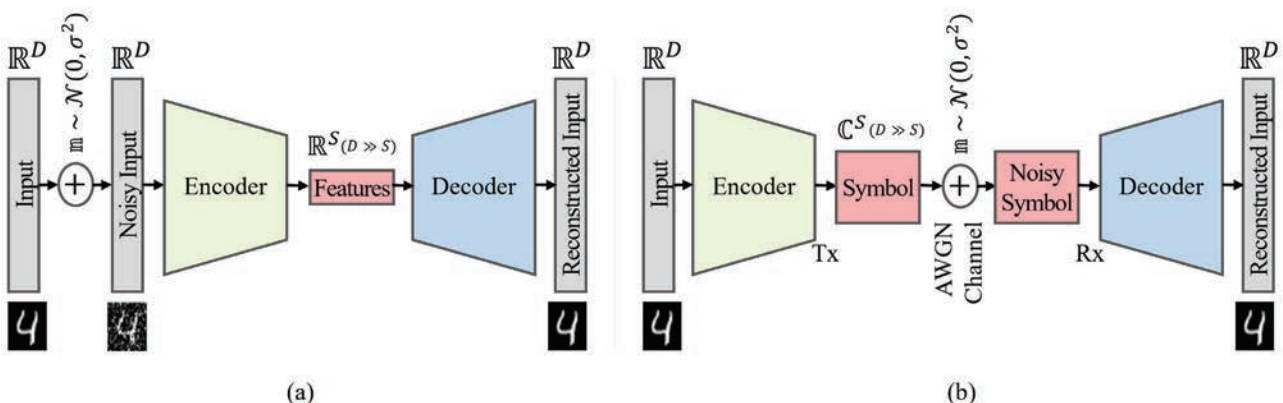
실제 채널 환경에서 더 나은 통신 효율을 달성할 수 있다는 것이다.

이러한 연구는 소스 코딩과 채널 코딩을 동시에 수행해야 하는 특성상 수식이나 알고리즘을 통해 풀기 어려우므로 주로 딥러닝 기반의 연구가 이루어지고 있으며, semantic communications 또는 deep joint source-channel coding의 이름으로 불린다. 본 원고에서는 semantic communications으로 명칭을 통일해서 사용할 예정이다.

Semantic communications는 그 이름에서도 알 수 있

듯 소스-채널 코딩을 함께 최적화하는 측면 외에도 다른 목표를 가지고 있는데, 바로 비트의 오류가 없는 통신 개념에서 벗어나 의미의 오류가 없는 통신의 개념으로 확장해 나가는 것이다. 이를 가장 잘 나타내는 핵심 표어는 “동일한 의미를 전달하되, 그것이 반드시 비트 단위로 일치할 필요는 없다”인데, 디코딩된 내용이 의미론적으로 원본 메시지와 동일하다면, 그것의 표현이 일정 부분 다르더라도 무방하다는 것이다. 이는 자연어의 동의어, 유의어 개념을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다. 만약 ‘해’라는 단어를 보냈을 때 디코딩된 결과가 ‘태양’이었다면, 기존 통신에서는 잘못된 정보가 전송된 것이므로 재전송하거나 정보를 인코딩하기 위해 더 많은 비트를 사용해야 한다. 그러나 semantic 통신에서는 이 경우 의미론적으로 동일한 내용이 전달되었으므로 올바른 정보가 전달된 것으로 본다. 역시 의미적인 유사성을 전통적인 신호 처리 방법으로 파악하는 데에는 어려움이 있으므로, 해당 측면의 연구 역시 주로 딥러닝을 통해 이루어지고 있다.

해당 관점에서 보았을 때, semantic communications라는 이름은 전송할 데이터의 앞뒤 문맥 및 의미론적 분석을 통해 전송될 데이터의 양을 줄이거나 오류가 생긴 데이터를 복구한다는 측면, 즉 딥러닝을 통한 보다 나은 소스 코딩에 초점을 두고 있다고 볼 수 있다. 반면 deep joint source-channel coding의 경우 딥러닝을 통해 소스 코딩과 채널 코딩을 동시에 최적화함으로써 각



〈그림 2〉 (a) Denoising autoencoder와 (b) 이미지 semantic 통신 시스템의 다이어그램 비교

1) 본 기고는 [1]의 연구를 기반으로 작성되었음.

각을 따로 수행했을 때보다 더 우수한 성능을 보일 수 있다는 점에 집중하는 이름이다. 일반적으로 semantic communications라는 명명은 기존의 의미론적 소스 코딩이 존재하지 않았던 텍스트, 음성 신호 등의 전송과 관련된 연구에서 사용하는 경향이 있으며, deep joint source-channel coding은 이미지 또는 동영상 분야에서 사용하는 경향이 있으나 자주 혼용되기도 한다.

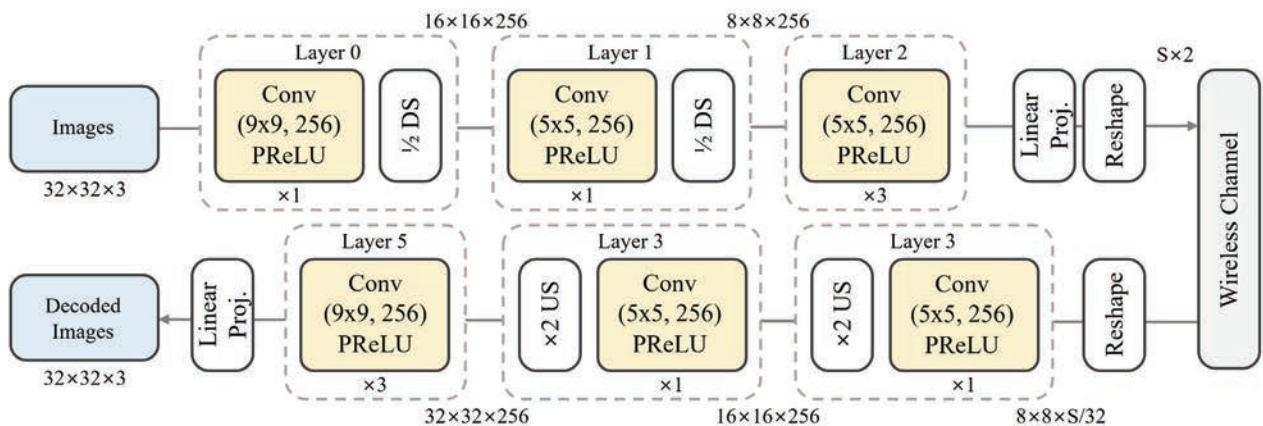
II. Semantic Communications

〈그림 1〉은 기존 통신 시스템과 semantic 통신 시스템의 블록 다이어그램을 각각 나타낸 것으로, 소스-채널 인코더/디코더, 모듈레이션 블록이 각각 분리되어 있는 기존 통신 시스템과 달리 semantic 통신 시스템은 하나의 인코더 네트워크가 소스 코딩-채널 코딩-모듈레이션을 한 번에 수행하고, 디코더는 다시 심볼에서부터 입력 신호까지의 변환을 한 번에 수행하게 된다.

이러한 semantic 통신 시스템은 오토인코더 구조에 기초하고 있는데, 오토인코더란 주어진 입력을 보다 더 작은 차원으로 축소한 feature로 인코딩하고, 다시 그 feature들로부터 원본 입력을 복원하도록 훈련받은 뉴럴 네트워크를 뜻한다. 이렇게 훈련받은 오토인코더 네트워크는 이러한 학습 과정에서 원본 데이터의 핵심 부분만을 추출하는 방법을 학습하게 된다. 대표적인 오토인코더의 활용 예시로는 이미지 노이즈 제거를 위해 활용되는

denoising autoencoder가 있는데 〈그림 2 (a)〉, 해당 오토인코더는 노이즈가 낀 이미지를 입력으로 받아 차원 축소 및 복원을 수행함으로써 노이즈가 없는 깨끗한 이미지를 생성하도록 훈련된 뉴럴 네트워크이다. 해당 시스템은 딥러닝을 적용하지 않은 전통적인 디노이징 방법들과 비교했을 때 보다 우수한 성능을 보임이 알려져 있다. Denoising autoencoder를 네트워크의 입력 부분에 랜덤 노이즈가 섞이는 오토인코더라고 본다면, semantic 통신 시스템은 네트워크의 입력이 아니라 입력의 차원이 가장 많이 줄어든 네트워크의 중간 부분에 노이즈가 섞이는 오토인코더라고 볼 수 있다 〈그림 2 (b)〉. 때문에 단순히 입력의 핵심 정보만을 추출해내고 복원하면 되는 일반적인 오토인코더와 달리, semantic 통신 시스템은 입력에서 핵심 정보를 추출하면서도 노이즈에 강한 feature를 추출하도록 학습해야 한다.

이러한 특징 때문에 semantic 통신 시스템은 해당 시스템이 잘 동작하도록 훈련된 특정 데이터 도메인에서만 잘 동작하며, 그 이외 데이터에 대해서는 전혀 통신을 수행할 수 없다는 단점이 있다. 또한 학습을 통해 입력 데이터의 차원을 축소했다가 다시 복원해내는 구조의 특성상 복원된 정보와 원본 입력이 일부 차이가 있는 손실 압축 형태를 띠는 것도 특징이다. 이는 기존의 통신 시스템이 어떠한 비트열에 대해서도 오류 없이 전송하는 것을 목표로 하며, 해당 비트열의 효율적 생성은 별도의 소스 코딩에 맡겼던 것과 구분된다. 따라서 semantic 통신



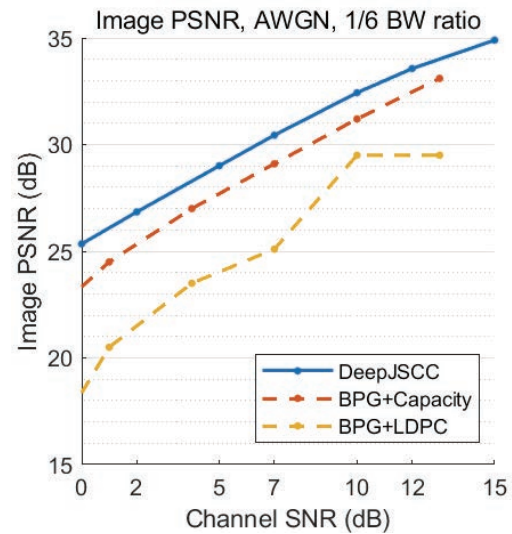
〈그림 3〉 일반적인 이미지 semantic 통신 시스템의 뉴럴 네트워크 구조도

시스템은 기존의 통신 시스템 전체를 대체하기보다는 자율주행 차량의 주행 영상, AR 및 VR 콘텐츠, 음성 통화 등 특정 종류의 데이터(동영상, 음성 등)만을 전송하면서도 그 의미가 동일하다면 전송된 데이터와 원본 데이터가 일부 차이가 있어도 무방한 경우에 사용될 수 있을 것이다. 최근 AWGN 채널 하에서 semantic 통신 시스템과 최신 이미지 소스 코딩 방법인 BPG + perfect channel coding을 비교했을 때 semantic 통신 시스템이 복원된 이미지 품질 면에서 더 나은 결과를 보여준 연구 결과가 있는 만큼, 위와 같은 상황에서 semantic 통신 시스템을 적용한다면 보다 나은 통신 효율을 달성할 수 있을 것이다. 특히 semantic 통신 시스템은 낮은 SNR 영역에서 기존 시스템보다 크게 좋은 성능을 보이는 경향이 있는데, 이를 발전시킨다면 통신 채널이 좋지 않은 경우에도 재전송 횟수를 크게 줄일 수 있을 것이다. 차세대 통신에서는 VR 콘텐츠 등에서의 몰입감 있는 사용자 경험을 위해 통신 지연 시간이 최소화될 것이 요구되는 만큼, 이러한 semantic 통신 시스템을 통해 차세대 통신에 요구되는 높은 데이터 전송 속도와 낮은 지연 시간이라는 두 마리 토끼를 모두 잡을 수 있을 것으로 기대된다. 다음 장에서는 이러한 semantic 통신 시스템이 어떤 입력 도메인에 대해 연구되고 있는지, 그 구현 방법 및 특징, 발전 방향은 무엇인지 등 연구 동향에 대해서 소개하려고 한다.

III. Semantic Communications 연구 동향

1. 이미지 분야

최근 딥러닝 연구가 가장 활발하게 이루어지는 분야가 이미지 분야인 만큼, 딥러닝을 기반으로 하고 있는 semantic 통신 역시 이미지를 대상으로 한 연구가 주류이다. 소스 코딩과 채널 코딩을 동시에 수행하는 semantic 통신의 특성상 이미지 분야의 semantic 통신 연구는 주로 이미지 압축 분야에서 연구되는 뉴럴 네트워크 구조를 차용하여 이루어지고 있는데, 이때 이미지 처리에 강점을 보임이 잘 알려져 있는 convolutional neural network (CNN)이 인코더 및 디코더로 주로 사용



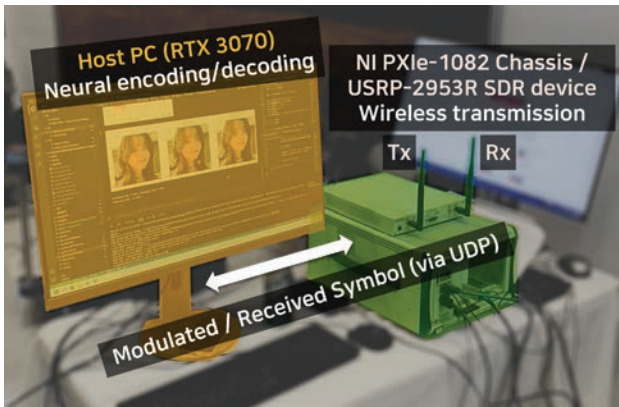
〈그림 4〉 Bandwidth ratio=1/6일 때 SNR에 따른 이미지 semantic 통신 시스템 (DeepJSCC)과 기존 BPG+LDPC 시스템의 전송 이미지 품질 비교 ^[1]

된다.

이때 입력 이미지는 비트 단위로 이루어진 반면, 인코딩된 심볼은 연속적인 값을 가지는 복소수 심볼이므로 기존 소스 코딩 간 비교처럼 비트 단위의 압축률 비교가 어렵다. 따라서 일반적으로 bandwidth ratio라는 값을 이용해서 압축률을 비교하고 있는데, 이는 입력 이미지 M 을 $M \subseteq \mathbb{R}^k$ 인 k 차원 실수 벡터로 보고 변환된 심볼 X 를 $X \subseteq \mathbb{C}^n$ 인 n 차원 복소수 벡터로 보았을 때 k/n 을 나타낸 것이다. 예를 들어 입력 이미지가 32×32 크기의 RGB 컬러 이미지이고, 인코더에서 해당 이미지가 개의 복소수 심볼로 매핑된다면 해당 semantic 통신 시스템의 bandwidth ratio는 $512/(32 \times 32 \times 3) = 1/6$ 이 된다. 이미지 semantic 통신 시스템의 성능 평가는 일반적으로 bandwidth ratio, 채널 SNR에 따른 이미지 PSNR (peak source-noise ratio) 또는 SSIM (structural similarity index metric)을 측정하는 방식으로 진행되는 데, 이때 PSNR은 복원된 이미지 $\hat{X}$ 와 원본 이미지 X 사이의 평균 왜곡을 측정하는 지표로써 다음과 같이 계산되고, 단위는 dB를 사용한다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{1^2}{(X - \hat{X})^2}$$

SSIM은 ^[2]에서 소개된 인간의 인지 능력을 고려한 이



〈그림 5〉 [8]에서 시연한 USRP SDR 플랫폼 기반 이미지 semantic 통신 시스템

이미지 평가 지표로, 인간이 이미지의 구조 변화에 보다 민감하다는 점에 착안해 이미지의 밝기 (luminance), 대비 (contrast), 구조 (structure)를 모두 고려해 이미지 유사도를 계산하는 방식이다.

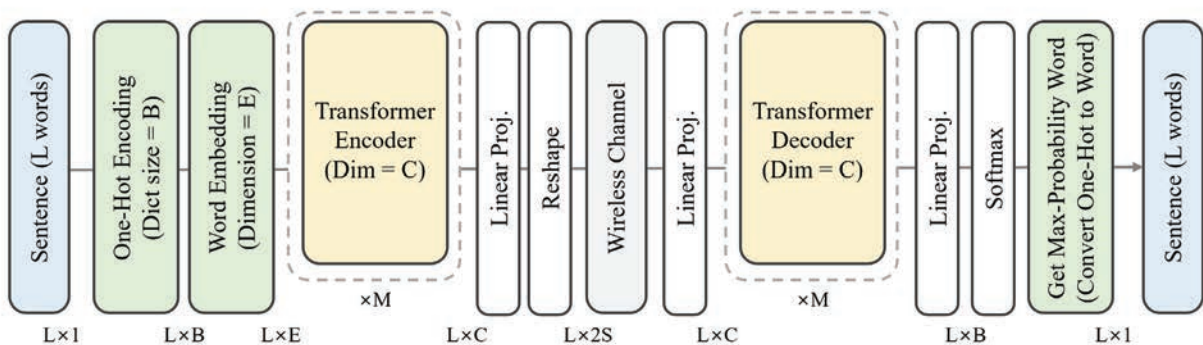
이미지 semantic 통신을 다룬 최초격 논문은 [3]로, 인코더 및 디코더에 5×5 크기의 필터를 가진 CNN을 사용하였으며, 채널을 모사하기 위해 랜덤 가우시안 노이즈 또는 rayleigh 등의 채널 페이딩을 더해 주는 훈련 불가능한 (non-trainable) 레이어를 인코더 바로 뒤쪽에 추가한 형태를 띠고 있다.

〈그림 4〉는 AWGN 채널에서 해당 시스템과 기존 BPG (소스 코딩) + LDPC (채널 코딩)을 조합한 시스템 간의 전송된 이미지 품질을 비교한 것으로, semantic 통신 시스템 (DeepJSCC)가 BPG+LDPC는 물론 BPG+capacity (perfect channel code 가정)까지도 전 영역에서 앞섬을

확인할 수 있다.

해당 논문 이후의 이미지 semantic 통신 시스템에 관한 연구는 크게 1) 아키텍처 변경을 통한 이미지 품질 개선, 2) 실제 통신 시스템에 적용할 수 있도록 하드웨어 한계, 네트워크 훈련 비용 등을 고려한 시스템 개선, 3) OFDM 등 기존 통신 기술을 semantic 통신에 적용하는 연구 등이 있다. 1)에 해당하는 연구로는 [4], [5] 등이 있는데, [4]의 경우 이미지 압축 분야에서의 선행 논문 [6]을 따라 아키텍처를 개선하고, 전체 네트워크 구조에 피드백 루프를 추가함으로써 기존 시스템이 약점을 보였던 높은 bandwidth ratio 및 SNR 구간에서의 큰 성능 향상을 이끌어냈으며, [5] 역시 Swin Transformer [7] 등의 CNN을 대체하는 최신 아키텍처의 적용과 이미지 압축 분야에서 자주 사용되는 hyperprior 개념을 도입하여 전체 시스템 성능을 향상시킨 바 있다.

2)에 해당하는 논문으로는 [9], [10], [11] 등이 있다. 기존의 semantic 통신 시스템이 동일 채널 하에서도 SNR이 변화하면 다시 훈련되어야 한다는 단점이 있는데, [9]는 이에 착안하여 네트워크의 입력으로 SNR 값을 넣어 이미지 인코딩 및 디코딩 네트워크를 학습해 하나의 네트워크 만으로도 채널 SNR에 따라 서로 다른 품질로 이미지를 압축해 심볼을 전송할 수 있게 구성하였다. 또 semantic 통신 시스템의 경우 훈련 과정에서 부동 소수점 방식의 계산을 활용하므로 인코더를 통해 생성된 심볼이 매우 높은 precision을 가지거나, 생성된 심볼의 PAPR이 매우 큰 등 실제 통신 하드웨어를 고려하지 않고 훈련이 진행되는 문제가 있다. 따라서 [10]은 기존의 QAM 과 같은 모



〈그림 6〉 일반적인 텍스트 semantic 통신 시스템의 뉴럴 네트워크 구조도

둘레이션 방식처럼 보낼 수 있는 심볼의 종류가 이산적으로 결정되어 있을 때의 환경에서 이미지 semantic 통신 시스템을 훈련시켜 기존의 BPG+LDPC 시스템보다 유사하거나 더 나은 성능을 기록할 수 있음을 보였으며, [11]은 생성된 심볼의 PAPR을 제한하기 위해 clipping, loss 함수의 활용 등 다양한 방법을 제시하고 그 중 clipping의 성능 저하가 가장 적음을 주장하였다. 또 [8]처럼 USRP 기반의 SDR 플랫폼을 이용하여 이미지 semantic 통신 시스템 프로토타입을 제작하고, 이를 기반으로 실제 통신 환경에서도 이미지 semantic 통신 시스템이 잘 동작함을 보인 연구도 존재한다. 3)에 해당하는 연구에는 [12]가 있는데, 해당 연구에서는 semantic 통신 시스템의 심볼에 OFDM을 적용함으로써 이를 적용하지 않았을 때보다 multipath fading 환경에서 더 좋은 성능을 보일 수 있음을 보고하였다. 이외에도 [13]처럼 이미지에서 더 나아가 동영상 전송하는 semantic 통신 시스템을 제안하는 연구가 진행되었으며, 해당 연구에서는 H.264 코덱과 LDPC를 조합한 시스템보다는 더 낮고, 가장 최신 코덱인 H.265 코덱과 LDPC를 조합한 시스템과도 비슷한 성능을 보일 수 있음을 보여 주었다.

2. 텍스트 및 음성 신호 분야

텍스트 전송 역시 semantic 통신 시스템에서 중요하게 연구되고 있는 분야 중 하나이다. 전통적인 소스 코딩 방식에서도 일정 부분 문맥을 감안한다고 볼 수 있는 이미지 및 비디오 분야와 달리, 텍스트의 경우 자연어를 처리해야 하는 특성상 전통적인 방법으로는 문맥을 고려한 소스 코딩이 어려운 한계가 있었다. 그러나 딥러닝의 발달과 BERT [14] 등 대형 자연어 처리 모델의 등장으로 인해 자연어에서 문맥, 문법 등 다양한 구조를 분석하는 것이 가능해졌고, 이에 따라 해당 정보를 활용하여 보다 적은 정보량으로 의미상 동일한 내용을 전달하고자 하는 것이 텍스트 분야의 semantic 통신 시스템이라고 할 수 있다.

텍스트 semantic 통신 시스템 역시 기존의 자연어 처리 (natural language processing) 분야의 딥 러닝을 활용하는 형태로 구성된다. <그림 6>에서 볼 수 있듯, 텍스트 semantic 통신 시스템은 일반적으로 주어진 문장에서

부터 단어 사전 (dictionary)를 생성하고, 해당 사전을 이용해 주어진 문장을 one-hot vector 형태로 변경한다. 이때 one-hot vector 형태의 표현은 지나치게 큰 차원을 가지며, 대부분의 경우 0의 값을 가지는 sparse한 벡터이기 때문에 이를 보다 의미 있는 저차원의 벡터로 변경해 주어야 한다. 해당 과정을 word embedding이라고 부르며, 이의 대표적인 방법으로는 word2vec [15] 등이 있다. Word embedding을 거치고 난 문장은 image semantic 통신과 유사하게 인코더, 채널, 디코더를 거쳐 다시 원본 문장과 유사한 문장으로 복호화된다. 이때 인코더, 디코더는 자연어처리 분야에서 널리 사용되는 recurrent neural network (RNN)이나 Transformer 아키텍처가 주로 사용된다.

자연어는 같은 의미도 동의어 등으로 다르게 표현할 수 있는 특징이 있기 때문에, 단어가 정확하게 일치하는지를 검사하는 손실 함수인 cross entropy 등으로는 ‘동일한 의미’를 전달하도록 네트워크를 학습하기 어렵다. 자연스럽게 텍스트 semantic 통신에서는 어떤 방법을 사용하여 네트워크가 문장의 의미를 학습하도록 할 것인지, 또 텍스트 semantic 통신 시스템이 복호화해낸 문장과 원본 문장의 의미론적 일치도를 나타내기 위해 어떤 지표를 사용할 것인지에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

예를 들어 [16]에서는 문장 복원 성능을 평가하는 지표로 전통적인 WER (word error rate) 외에도 BLEU score [17]을 사용할 것을 주장하였다. BLEU (bilingual language evaluation understudy) score란 본래 기계 번역의 품질을 측정하기 위해 제안된 지표로, 주어진 문장 (기계 번역된 문장)에서 사용된 특정 단어가 정답 문장들 (인간이 번역한 문장들)에서 얼마나 자주 사용되었는지를 점수로 나타낸 지표이다. 즉 기계가 선택한 단어를 실제 사람도 많이 선택해 번역했다면 기계가 선택한 단어는 유의어로서 실제 문장의 뜻을 잘 반영한다고 보는 셈이다. 그런데 이러한 지표들은 미분 불가능한 방식으로 계산되기 때문에 딥 러닝의 손실 함수로 곧바로 사용하기 어렵다. 따라서 [16]에서는 이러한 지표를 사용하여 네트워크를 훈련시키기 위해 강화 학습을 사용할 것 역시 제안하였으며, 이를 통해 기존 cross entropy loss 대비 5%

정도의 BLEU score 성능 증가를 보였다.

^[18]에서는 단어 단위의 일치 여부를 검사하는 전통적인 cross entropy loss를 사용하는 대신, 뉴럴네트워크를 이용해 두 문장의 mutual information 계산을 approximation하여 사용함으로써 네트워크가 보다 더 의미를 잘 학습하도록 하는 구조를 제안하였다. 해당 모델의 우수성을 보이기 위해 해당 논문에서는 BERT similarity를 사용하였는데, 이때 BERT similarity는 널리 사용되고 있는 강력한 자연어 처리 딥러닝 모델인 BERT를 활용한 것으로, 만약 두 문장이 의미적으로 비슷하다면 각 문장을 BERT가 처리한 결과 역시 유사할 것이라는 가정에서 만들어진 평가 방법이다. 해당 방법에서는 두 문장의 의미적 유사성을 파악하기 위해 BERT로 각 문장을 인코딩해 나온 두 개의 벡터 간 유사성을 비교하게 된다. 해당 논문에서는 5bit fixed length coding + reed-solomon codes를 적용한 전통적 텍스트 전송 방법과 제안한 시스템을 비교하였고, BERT similarity에서 약 1.5배 정도의 성능 향상을 보였다. 이외에도 ^[19]의 경우 CNN을 활용하여 최초의 음성 신호 semantic 통신 시스템을 제안하였는데, 8-bit PCM + Turbo codes를 적용한 기존 시스템 대비 2배 정도의 PESQ (perceptual evaluation of speech distortion, 인간의 인지를 고려한 음성 품질 평가 지표) 성능 향상을 보였다.

IV. 전망 및 결론

최근 수년간 많은 분야에서 딥러닝이 가져온 눈부신 성과 덕분에, 이제 거의 모든 연구 분야에서 딥러닝은 피할 수 없는 시대의 흐름이 되었다. 통신도 이 흐름에서 예외가 아니어서, AI는 6G의 성능 향상을 가져다 줄 핵심 요소 중 하나가 될 것으로 기대받고 있으며, 3GPP 등 각종 통신 관련 표준화 단체에서도 AI 및 머신 러닝의 적용에 대한 초기 논의를 시작한 바 있다.

Semantic 통신은 통신 시스템에 딥 러닝을 적용하는 대표적인 연구 분야로써, XR/VR 콘텐츠의 전송이나 통신을 이용한 원격 제어, 자율주행차의 주행 영상 전송 등 통신 데이터의 종류가 정해져 있고, 높은 속도 및 낮은 지

연시간을 동시에 달성해야 하는 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 다만 훈련된 상황 이외의 동작을 담보할 수 없고, 한 가지 데이터만을 보낼 수 있다는 특성상 기존의 통신 전체를 대체하기보다는 특정 데이터 전송 용도에 특화된 전송망으로써의 역할을 수행할 것이다. 가령 하나의 기지국 내에 1) 이미지/비디오, 2) 텍스트 semantic 통신 시스템과 3) 기존의 전통적 무선 통신 시스템을 모두 갖추고, 전송된 데이터의 종류에 따라 각각 다른 시스템을 활용하여 통신 효율을 높이는 방법을 생각할 수 있다. 딥러닝 분야에서 활발히 연구되고 있는 multimodal 심층 신경망을 활용한다면 하나의 semantic 통신 시스템이 여러 개의 데이터를 지원하도록 발전할 수도 있을 것이다.

또한 semantic 통신 연구는 학문 간 경계를 허물어 통신 분야와 보다 다양한 분야가 교류하도록 도움을 줄 수 있을 것이다. 가령 이미지 압축 등 소스 코딩은 통신 분야와 비교적 거리가 있는 분야였으나, 앞으로는 semantic 통신에서 좋은 성능을 보인 아키텍처를 사용해 딥러닝 기반 소스 코딩을 개선하는 등의 일이 가능해질 것이다. 자연어 처리 분야의 최신 연구 결과를 이용해 통신 시스템을 개선하는 등 타 분야의 연구가 통신 시스템 개선에 보다 밀접한 연관을 맺을 수 있음도 물론이다.

Semantic 통신은 현재 매우 초기 단계의 연구가 이루어지고 있으며, 신생 분야인 만큼 타 분야에 비해 비교적 많은 연구 주제가 남아 있는 상황이다. 또 통신, 소스 코딩, 컴퓨터 비전, 자연어 처리 등 다양한 분야가 한데 어우러진 특성상 다양한 분야의 연구자들이 어렵지 않게 접근할 수 있다. 이번 연구 동향 소개를 계기로 앞으로 semantic 통신 분야에서 더 많은 한국인 연구자들을 만날 수 있기를 바란다.

참고 문헌

- [1] H. Yoo, Dai, L. Dai, S. Kim, C.-B. Chae, "On the Role of VIT and CNN on Semantic Communications", *Manuscript in Preparation*, 2022.
- [2] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, and E. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE*



- Trans. on Image Proc.*, vol. 13, no. 4, pp. 600–612, 2004.
- [3] E. Boursoulatz, D. B. Kurka, and D. Gunduz, "Deep joint source-channel coding for wireless image transmission," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 5, no. 3, pp. 567–579, 2019.
- [4] D. B. Kurka and D. Gunduz, "Deepjscc-f: Deep joint source-channel coding of images with feedback," *IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory*, vol. 1, no. 1, pp. 178–193, 2020.
- [5] J. Dai *et al.*, "Nonlinear transform source-channel coding for semantic communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2022.
- [6] J. Balle, V. Laparra, and E. P. Simoncelli, "End-to-end optimized image compression," in *International Conference on Learning Representations*, 2017.
- [7] Z. Liu *et al.*, "Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows," in *Proc. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2021.
- [8] H. Yoo *et al.*, "Demo: Real-Time Semantic Communications with a Vision Transformer," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2022.
- [9] J. Xu *et al.*, "Wireless image transmission using deep source channel coding with attention modules," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 32,4 (2021): 2315–2328.
- [10] T. Tung, *et al.*, "DeepJSCC-Q: Channel Input Constrained Deep Joint Source-Channel Coding," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2022.
- [11] Y. Shao and D. Gunduz, "Semantic Communications with Discrete-time Analog Transmission: A PAPR Perspective," *arXiv preprint arXiv:2208.08342*, 2022.
- [12] M. Yang, C. Bian, and H. S. Kim, "Deep joint source channel coding for wireless image transmission with OFDM," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2021.
- [13] T.-Y. Tung and D. Gunduz, "Deepwive: Deep-learning-aided wireless video transmission," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 40, no. 9, pp. 2570–2583, 2022.
- [14] J. Devlin *et al.*, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," in *Proceedings of NAACL-HLT*, 2019.
- [15] T. Mikolov *et al.*, "Efficient estimation of word representations in vector space," in *International Conference on Learning Representations*, 2013.
- [16] K. Lu *et al.*, "Rethinking modern communication from semantic coding to semantic communication," *IEEE Wireless Communications*, 2022.
- [17] K. Papineni *et al.*, "Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation," in *Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 2002.
- [18] H. Xie, Z. Qin, G. Y. Li, and B.-H. Juang, "Deep learning enabled semantic communication systems," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 69, pp. 2663–2675, 2021.
- [19] Z. Weng and Z. Qin, "Semantic communication systems for speech transmission," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 39, no. 8, pp. 2434–2444, 2021.



유한주

- 2021년 연세대학교 글로벌융합공학부 학사
- 2021년 ~ 현재 연세대학교 글로벌융합공학부 석/박사 통합과정 재학

〈관심 분야〉

Semantic communications, Vision Transformer, Computer Vision



김성국

- 1997년 서울대 컴퓨터공학과 학사
- 1999년 서울대 컴퓨터공학과 석사
- 2005년 미국 미시건 대학교 컴퓨터공학 박사
- 2005년 ~ 2007년 미국 Xerox 연구소 Research Staff
- 2007년 ~ 2011년 미국 Google Research & Infrastructure, Software Engineer
- 2011년 ~ 현재 연세대 글로벌융합공학부 교수

〈관심 분야〉

기계 학습, 데이터 사이언스, 클라우드 컴퓨팅



채찬병

- 2008년 미국 텍사스오스틴대 전기·컴퓨터공학과 박사
- 2008년 ~ 2009년 하버드대학 박사 후 연구원
- 2009년 ~ 2011년 미국 벨연구소 책임연구원
- 2017년 ~ 2019년 미국 스탠포드 대학교 방문교수
- 2011년 ~ 현재 연세대학교 언더우드특훈교수
- 현재 IEEE Fellow, IEEE T-MBMC EiC, 한국공학한림원 일반 회원

〈관심 분야〉

무선네트워크, 분자통신시스템

저궤도(LEO) 위성 Mega-Constellation 라우팅 기술 동향

I. 서론



임 정 주
한양대학교



윤 지 승
한양대학교



오 주 현
한양대학교



박 주 한
한양대학교



조 성 현
한양대학교

위성통신 서비스는 지상망으로 서비스 제공이 힘든 도서, 산간 및 해양 지역을 위주로 활용된다^[1]. 종래의 위성통신 서비스는 주로 적도면 상공 36,000km에서 공전하는 정지궤도(geostationary orbit, GEO) 위성을 통해 제공되었다. GEO 위성은 단 3개의 위성만으로 극지방을 제외한 지구 전체에 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 GEO 위성은 약 300~500ms 지연시간을 가져 도심에서 제공되는 지상망보다 높은 지연시간을 갖는다. 따라서 정지궤도 위성 서비스는 지상망으로 서비스가 힘든 도서 산간 지역 위주로 서비스를 제공한다^[2].

GEO 위성이 가지는 긴 지연시간을 해결하기 위한 대안으로 상공 2,000km 이하에서 공전하는 저궤도 위성(low earth orbit, LEO)이 있다^[3]. 저궤도 위성 통신 서비스의 대표적 사례로 모토로라의 이리듐(Iridium)프로젝트와 퀄컴(Qualcomm)의 글로벌스타(Globalstar)가 있다^[4]. 이에 더하여 최근 SpaceX 팰컨(Falcon) 9 위성 발사체 재사용 기술과 OneWeb의 저궤도 위성 생산 공정 단축을 통해 다수의 저궤도 위성을 궤도에 배치할 수 있는 기술이 확보되었다. SpaceX와 OneWeb을 포함한 민간 기업들은 향후 더욱 다양한 위성 통신 서비스 제공을 위해 더 많은 저궤도 위성을 발사할 예정이며, 이 수백, 수천 개의 위성

으로 구성된 네트워크는 LEO mega-constellation을 형성하게 될 것으로 예측된다. [5].

LEO mega-constellation이란 수백, 수천 개의 저궤도 위성을 통해 저지연, 광대역, 글로벌 서비스를 지상 사용자에게 제공할 수 있는 저궤도 군집 위성단이다 [6]. LEO mega-constellation은 정지궤도 위성이 제공하지 못하는 양극 지방에 서비스를 제공할 수 있으며, 4세대 이동통신급의 지연율인 20~30ms와 10Mbps의 전송 속도 제공이 가능하다 [7]. 더불어 수천 개의 위성이 지구 전역을 서비스하는 글로벌 커버리지를 통해 인구가 밀집된 도심부터 도서, 산간 및 해양까지 서비스할 수 있다.

Mega-constellation을 구성하는 저궤도 위성은 약 7.5km/s의 속도로 88~120분의 빠른 공전 속도와 좁은 빔 커버리지를 가져 지속해서 서비스 환경이 달라지는 특성을 가진다 [8]. 만약 트래픽 요청 시점과 트래픽 수신 시점의 네트워크 토폴로지가 달라진다면 진행 중인 트래픽이 목적지가 아닌 다른 곳으로 라우팅 되어 서비스 제공에 장애를 초래할 가능성이 있다.

사용자가 원활한 서비스를 받기 위해서는 시간에 따라 변하는 가변 토폴로지와 가변 토폴로지로 인해 발생하는 가변 위성간 링크(inter satellite link, ISL) 연결을 고려한 라우팅 프로토콜이 필요하다 [9]. 기존의 지상망에서 사용되는 라우팅 프로토콜은 고정된 노드(라우터)를 대상으로 라우팅 알고리즘이 설계되었다. 그러나 위성망은 네트워크 구성 노드들이 높은 이동성을 가지고 있어 지상망의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용하기 어렵다. 즉 원활한 위성 네트워크 서비스 제공을 위해서는 가변 토폴로지를 가지는 저궤도 위성망에 적합한 라우팅 프로토콜 기술 개발이 요구된다 [10].

저궤도 위성망의 라우팅을 지원하기 위해 가변 토폴로지를 고정 토폴로지로 변환하는 연구들이 먼저 진행되어 왔다 [11-12]. <그림 1>은 가변 토폴로지를 고정 토폴로지로 변환하는 기존 방법들을 보이고 있다. 첫 번째로 특정 시각의 위성 토폴로지를 저장하여 저장된 토폴로지 에서 라우팅을 수행할 수 있는 discrete time-dynamic virtual topology routing(DT-DVTR) 방식이 연구되었다. 두 번째로 지구 전체를 위성의 빔 크기로 나누어 모든

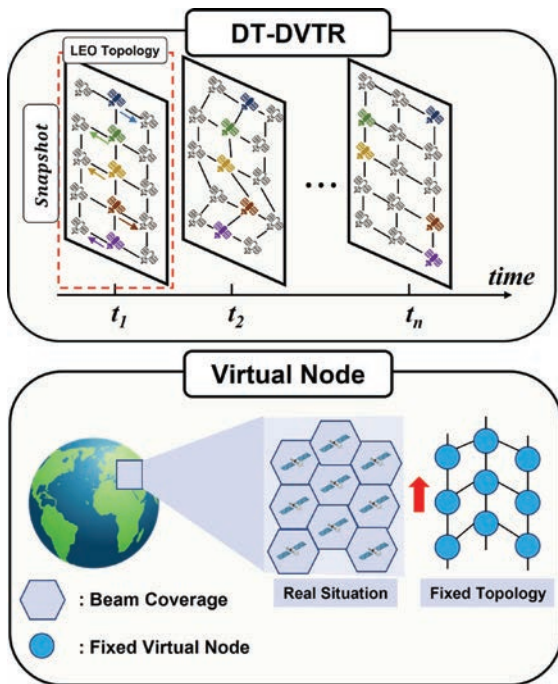
영역별로 고정된 가상의 위성 노드를 배치하여 라우팅을 수행할 수 있는 Virtual Node(VN) 방식이 연구되었다. 두 가지 방식 모두 가변 토폴로지 문제와 그로 인해 발생하는 시간-변동 ISL 연결을 다룰 수 있어 기존 라우팅 알고리즘 연구에 범용적으로 사용되는 라우팅 토폴로지 형성 기법이다. 그러나 고정 토폴로지 변환 라우팅 기법들은 시변적 토폴로지인 위성 망에 발생, ISL 연결 실패를 감지할 수 없어 저궤도 위성망의 연결 지속성을 감소시킨다. 따라서 사용자에게 신뢰성 있는 서비스를 제공하기 위해서는 실제 mega-constellation 토폴로지의 실시간 가변성을 반영한 라우팅 토폴로지 형성 기법에 관한 연구가 필요하다.

LEO mega-constellation 토폴로지의 실시간 가변성을 고려한 대표적인 라우팅 기술로 Temporal Netgrid Model(TNM)이 제안되었다 [13]. TNM 방식은 가상의 정육면체인 넷그리드(netgrid)로 지구를 분할한다. 각각의 넷그리드는 위성의 출입을 기록하여 라우팅 시 위성의 실시간 움직임을 반영할 수 있다. TNM은 라우팅 시 토폴로지가 변경되어도 패킷 손실률이 감소하여 신뢰성 있는 라우팅 알고리즘을 적용할 수 있다.

본 논문에서는 실시간으로 LEO mega-constellation의 토폴로지를 표현하는 연구를 소개하고, 위성간 멀티홉 라우팅 프로토콜 개발에 필요한 주요 시스템 파라미터 및 관련 기술들을 정리하고 소개한다. 2장에서는 LEO mega-constellation의 표현 방식, LEO mega-constellation을 구성하는 위성의 3GPP 표준 성능 지표, 국외 기업에서 상용 중인 LEO mega-constellation의 주요 파라미터들을 소개한다. 3장에서는 DT-DVTR, VN과 TNM을 사용한 기존 라우팅 연구들에 관해 소개한다. 4장에서는 전망과 결론을 서술한다.

II. LEO mega-Constellation과 3GPP NTN 표준 분석

2장에서는 실시간으로 표현 가능한 토폴로지를 구성하기 위한 LEO mega-constellation의 파라미터들에 대해 소개한다. 먼저 LEO mega-constellation을 표현하기



〈그림 1〉 DT-DVTR과 Virtual Node 모식도

위한 대표적 모델인 Walker 모델을 소개한다. 그리고 3GPP NTN 표준을 통해 LEO mega-constellation을 구성하는 위성 통신 표준 성능 지표를 알아본다. 마지막으로 국외 기업에서 상용되는 LEO mega-constellation을 소개한다.

2.1 LEO Walker Constellation

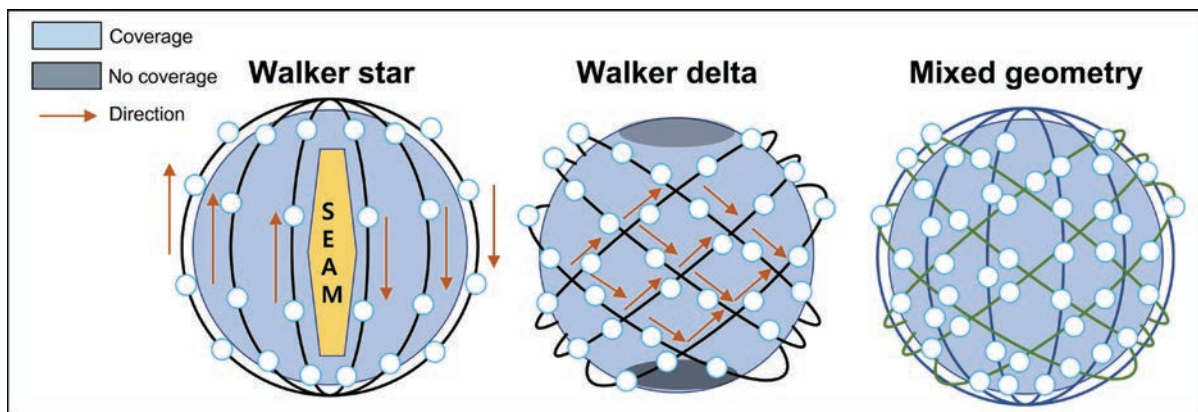
LEO Walker Constellation이란 Walker가 제안한 세 가지(star, delta, mixed-geometry)의 LEO

Constellation을 의미한다^[14]. 해당 모델들은 〈그림 2〉와 같이 표현된다.

Walker-star의 경우 각 위성의 궤도가 적도면으로부터 약 90° 에 근접한 constellation 모델로써 Iridium에서 사용하는 모델이다. Walker-star 모델은 양 극지방을 모든 궤도가 통과하며 양 극지방에서는 모든 궤도의 위성이 서로 반대 방향으로 이동하여 상대 속도가 매우 빨라진다. 상대속도가 빨라진 양 극지방에서는 ISL 연결이 불가능하다. 또한 북극점으로 진행하는 위성궤도와 남극점으로 진행하는 위성궤도간의 ISL 연결 또한 불가능하다. 이때 ISL 연결이 불가능한 부분을 seam이라고 한다. Seam이 존재하는 영역은 ISL을 직접 연결할 수 없어 라우팅 시 많은 홉이 소요되며 이로 인해 종단 간 지연 시간이 늘어나게 된다.

Walker-delta는 적도면으로부터 위성궤도가 약 $50 \sim 55^\circ$ 에 근접한 constellation 모델로써 Walker-star 모델보다 많은 위성을 궤도에 배치시킬 수 있다. Walker-delta 모델 또한 Walker-star 모델과 같이 진행 방향이 북쪽과 남쪽인 위성 궤도에서 상대속도가 증가하지만 ISL seam 영역이 발생하지는 않는다. 그러나 Walker-delta 모델은 Walker-star 모델과 달리 양 극지방을 통과하지 않으므로 양극단에 대한 서비스를 제공할 수 없다는 단점이 존재한다.

Mixed-geometry는 Walker-star와 Walker-delta를 동시에 사용하여 글로벌 커버리지를 구축하는 방식이다. 극지방에 대한 서비스는 Walker-star 모델을 사용



〈그림 2〉 Walker-Constellation의 세 종류

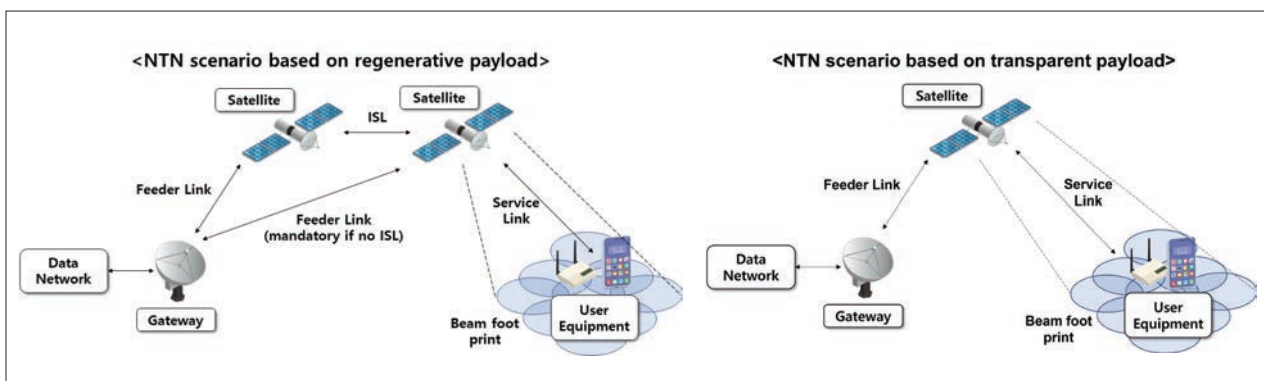
하며, 동시에 Walker-delta 모델을 사용하여 극지방이 아닌 지역의 Mega Constellation을 형성하는 모델이다. 글로벌 커버리지를 형성할 수 있는 가장 최적의 방법이지만 Walker-star, delta 모델의 상호운용을 위한 ISL 연결 선택이 어려워 향후 이를 보완할 수 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2.2 3GPP NTN 표준 분석

본 절에서는 LEO mega-constellation을 구성하는 각 위성의 표준 성능 지표를 알아보기 위해 3GPP NTN 표준에서 다루는 저궤도 위성의 표준 명세에 대해 살펴본다. 3GPP Release-16에서는 NTN(non-terrestrial network)에서 New Radio(NR)를 지원하기 위한 위성의 표준 성능을 정의하고 있다^[15]. <그림 3>에서와 같이 NTN에서의 저궤도 위성은 지상 게이트웨이와 feeder link를 통해 연결된다. Feeder link로 연결된 위성은 스스로 또는 ISL을 통해 연결된 다른 저궤도 위성을 통해 service link로 연결된 사용자에게 5G 서비스를 제공한다. <그림 3>은 feeder link 연결 및 ISL 링크 형성 단계를 나타낸다. 저궤도 위성은 transparent 위성과 regenerative 위성으로 나뉜다. NTN을 기반으로 하는 NG-RAN (Next Generation-Radio Access Network)에서 transparent 위성은 무선 주파수 필터링과 주파수 변환 및 증폭 기능을 수행한다. Regenerative 위성은 컴퓨팅 연산을 담당하는 on-board 기능을 사용하여 기지국과 같은 역할을 수행한다. Regenerative 위성은 transparent 위성과 달리 ISL 연결이 가능하다.

3GPP NTN은 저궤도 위성을 사용하여 5G 서비스를 사용자에게 제공하기 위한 네 개의 시나리오 A, B, C, D를 상정하고 있다. 시나리오 A는 GEO 위성을 transparent 위성으로 사용하며, B는 GEO 위성을 regenerative 위성으로 사용하는 시나리오이다. 시나리오 C는 LEO 위성을 transparent 위성으로 사용하며, D는 LEO 위성을 regenerative 위성으로 사용한다. 시나리오 C와 D는 LEO 위성의 빔 고정 여부에 따라 다시 C 1, 2와 D 1, 2로 나뉜다. 시나리오 C와 D에 사용되는 저궤도 위성의 세부 파라미터는 표 1과 같다. 파라미터들의 최대, 최소값은 위성을 사용한 서비스를 제공하기 위한 지표를 나타낸다. LEO를 사용한 시나리오 C와 D에서의 최대 빔 직경은 1,000km 이다. 위성의 빔 직경에 따라 서비스 범위가 달라져 글로벌 커버리지를 구축하기 위한 최소 위성의 수가 결정된다. 최소 고도 각은 10° 이며 위성 and 지상 간의 서비스를 위한 지상과 위성 간의 최소 각도를 의미한다. 최소 고도 각에서 위성과 연결할 수 있는 최대 거리는 1,932km로써 최소 고도각과 함께 ISL 연결을 설정할 수 있는 중요한 파라미터이다. 최대 왕복 지연 시간은 transparent 위성의 경우 단말-위성, 위성-게이트웨이를 포함하지만 regenerative 위성은 오직 서비스 링크만을 고려하여 약 10~20ms 정도의 차이를 가진다. 최대 지연 시간은 위성이 위치한 천체로부터 지상까지의 거리와 빔 직경의 가장자리에 있는 지역까지의 시간의 차이이다. 높은 고도일수록 빔의 직경이 넓어져 지연시간이 높아진다.

3GPP NTN 시나리오 파라미터는 멀티홉 라우팅 연구



<그림 3> 위성의 종류에 따른 NTN 시나리오



〈표 1〉 Reference scenario parameter GEO & LEO

	GEO	LEO
NTN scenario	A and B	C and D
Altitude	35,786 km	600~1,200 km
Max beam footprint size	3,500 km	1,000 km
Minimum elevation angle	10° both link	10° for both link
Max distance between satellite and user equipment at min elevation angle	40,581 km	1,932 km (600 km altitude) 3,131 km (1,200 km altitude)
Max Round Trip delay	Scenario A 541.46 ms	Scenario C
		25.77 ms (600km)
		41.77 ms (1,200 km)
	Scenario B 270.73 ms	Scenario D
		12.89 ms (600 km)
		20.89 ms (1,200 km)
Max differential delay	10.3 ms	3.12s (600km)
		3.18 ms (1,200 km)

에 필요한 ISL 연결성을 구성하기 위한 성능 지표를 제공한다. ISL 연결성이란 ISL이 연결될 수 있는 위성 간 최소 각도, 위성 간 최대 거리, 연결할 위성의 개수 등을 고려한 ISL 연결 여부를 뜻한다. ISL 연결 여부에 따라 실제 constellation과 상이한 토폴로지가 구성될 수 있으므로 ISL 연결성은 LEO mega-constellation을 구성할 때 고려되어야 하는 중요한 요소 중 하나이다.

2.3. 국외 기업의 LEO mega-constellation

본 절에서는 국외 기업에서 상용 중인 실제 LEO mega-constellation에 대해 소개한다.

2.3.1. Starlink

SpaceX의 Starlink는 2018년 3월 29일 총 4,425개의 non-geostationary orbit(NGSO) 위성을 Ku 밴드와

Ka 밴드에서 운용할 수 있도록 연방 통신 위원회(federal communications commission, FCC)로부터 승인을 받았다. SpaceX phase 1의 초기 단계에서는 위성 궤도 기울기 53°로 Walker-delta와 유사한 constellation을 갖는다. 총 72개의 위성궤도와 궤도당 22개의 위성을 배치시켰다. 또한 Walker-delta 모델을 사용함에 따라 극지방의 서비스가 불가하여 이후 phase 2부터 궤도 경사 90° 이상인 위성궤도를 배치하여 mixed-geometry 모델로 운용할 계획이다^[16-18].

2.3.2. Kuiper

Amazon의 Kuiper는 2020년 총 3,236개의 위성을 궤도에 올리는 것을 FCC로부터 승인 받았다. Kuiper는 총 세 개의 궤도 표면 (Orbital Shell)에 위성을 배치시킬 계획이다. 첫 번째 orbital shell은 상공 590km, 궤도경사 33°, 28개의 위성궤도에 궤도당 28개의 위성을 배치시키며, 두 번째는 상공 610km, 궤도경사 42°에 36개의 위성궤도에 궤도당 36개의 위성을 배치시킨다. 마지막 세 번째는 상공 630km, 궤도경사 51.9°, 34개의 위성궤도에 궤도당 34개의 위성을 배치할 계획이다. Kuiper도 SpaceX와 같이 Walker-delta로 구성되어 극지방의 서비스가 불가능하다. 대신 Walker-delta 모델을 통해 인구 밀집 지역에 보다 집중된 서비스를 제공할 것으로 보인다^[19].

2.3.3. TeleSat

TeleSat은 phase 1, 2로 나누어 constellation을 구성할 계획을 세웠다. Phase 1은 SpaceX, Kuiper보다 조금 이른 2017년 11월 3일 117개의 위성을 사용하는 constellation을 FCC로부터 승인 받았으며, 이후 298개로 조정되었다. Phase 2에서는 총 1373개의 위성을 추가로 승인 받으며 총 1671개의 위성을 승인 받았다. TeleSat은 상공 1,015km에 궤도 경사 98.98°를 갖는 Walker-star 모델과 상공 1,325km에 궤도 경사 50.88°를 갖는 Walker-delta 모델을 상호 운용 할 계획이다^[20-21].

〈표 2〉 위성 constellation 별 궤도 특성

System	altitude (km)	inclination (°)	planes (n)	satellites per plane (n)	the number of satellites (n)
Starlink	550	53	72	22	1,584
Kuiper	630	51.9	17	34	578
Telesat	1,015	98.98	6	13	298
	1,325	50.88	20	11	
OneWeb	1,200	87.9	12	49	716
	1,200	55	8	16	

2.3.4. OneWeb

OneWeb은 TeleSat과 유사하게 2개의 phase로 나누어 constellation을 구성했다. Phase 1에서는 716개의 위성을 승인 받았으며, phase 2에서는 6,372개의 위성이 추가되었다. OneWeb은 phase 1, 2 모두 동일하게 상공 1,200km에서 운용하며 각 87.9°, 55°의 궤도경사로 운용된다. 극지방을 지나는 Walker-star모델은 12개의 위성궤도에 궤도당 49개의 위성을 배치하여 글로벌 커버리지를 형성하는 것에 집중하였으며, Walker-delta 모델은 8개의 위성궤도에 궤도당 16개의 위성을 배치하였다. OneWeb은 초기 단계에서는 ISL을 사용하지 않도록 계획되었다. 이후 제출된 FCC 문서에 의하면 시스템 운용에 따라 유동적으로 사용할 계획이라고 명시하였다^[22-24].

〈표 2〉에서 보이는 바와 같이 대부분의 상용되는 저궤도 위성 서비스는 극지방에 서비스가 가능한 Walker-star 모델과 함께 인구 밀집 지역을 집중해서 서비스할 수 있는 Walker-delta 모델을 같이 사용한 mixed-geometry를 사용한다. 실제 상용 중인 LEO mega-constellation처럼 글로벌 서비스를 제공하기 위해서는 Walker-star와 delta를 동시 운용해야 한다.

III. 저궤도 위성망 라우팅 기술 소개

3장에서는 멀티홉 라우팅을 위해 고정 토폴로지를 생

성하는 DT-DVTR, VN 방식과 실시간으로 표현 가능한 토폴로지를 생성하는 TNM 방식을 소개하며, 해당 방식들을 사용한 기존 라우팅 연구들에 대해 소개한다.

3.1 가상 토폴로지 생성 기법

기존 라우팅 연구들은 서론에서 소개한 Discrete Time-Dynamic Virtual Topology Routing(DT-DVTR) 방식과 Virtual Node(VN) 방식을 범용적으로 사용하고 있다. 먼저 DT-DVTR 방식은 위성이 궤도를 공전하며 생기는 주기적인 특성을 활용한다. 공전주기를 특정 시간으로 나누어 그 시각의 토폴로지를 고정하여 스냅샷으로 저장한다. 예를 들어 공전주기가 100분일 경우 1분 단위로 스냅샷을 저장하여 총 100개의 스냅샷이 저장된다. 스냅샷이 저장되는 시점의 토폴로지는 고정되어 1분간 유지된다. 이 방식을 통해 주기적으로 움직이는 위성망 토폴로지를 스냅샷 주기마다 고정된 토폴로지로 사용할 수 있다. 하지만 스냅샷 사이의 토폴로지 변경과 ISL 변경 및 ISL 연결 실패 등과 같은 실시간 상황을 고려할 수 없다는 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 스냅샷의 주기를 줄여 많은 스냅샷을 저장할 경우, 스냅샷을 저장하는데 많은 용량이 필요하여 저궤도 위성의 저장 공간에 많은 부하를 일으킨다.

VN 방식은 위성의 이동성에 따라 기존 위성이 담당하던 트래픽을 후속 위성으로 이전하는 핸드오버가 발생한다. 핸드오버 시 현재 담당하고 있는 영역의 헤더(header)-위성 이후에 해당 영역을 담당할 후속(successor)-위성에게 링크 정보와 라우팅 정보를 전송한다. VN 방식은 지구 전체를 정적인 가상 토폴로지로 상정하여 가변 토폴로지 문제를 다룰 수 있다. 또한 위성 간 핸드오버를 통해 지속적으로 ISL 정보를 공유하여 인접 위성의 링크 장애 발생을 탐지할 수 있다. 그러나 수천 개의 위성이 공전하는 LEO mega-constellation에서는 위성의 핸드오버 주기가 매우 짧아져 링크 정보 교환 시 시그널링 오버헤드가 증가할 수 있다.

Temporal Netgrid Model(TNM) 방식은 정육면체 모양의 넷그리드로 지구 전체를 분할한다. 넷그리드에 위성이 출입하는 시간을 기록하여 넷그리드의 좌표와 함께 넷

그리드 테이블에 저장한다. 이때 자원한계를 고려하여 해시-맵 메모리 주소 할당 방식을 사용한다.

3.2 라우팅 기술 소개

3.2.1 Link State 기반 알고리즘

Link State 기반 알고리즘은 위성을 연결하는 ISL의 정보를 통해 라우팅을 진행하는 알고리즘이다. 이웃하거나 공통된 특징을 갖는 위성들끼리 ISL 정보 교환을 통해 모든 위성이 전체 위성망의 전역 정보(global view)를 얻는 것이 특징이다. ^[25]에서는 DT-DVTR 방식을 사용하여 스냅샷에서의 ISL 지연시간을 사전에 계산한다. 사전에 계산된 ISL 지연시간을 바탕으로 링크 실패/회복 정보를 탐지하며, 예상 지연 시간과 실제 시간 차이가 클 경우 링크 실패로 탐지하여 링크 정보를 플러딩(flooding)한다. 플러딩 된 정보를 기반으로 위성망 전체의 링크 정보를 갱신하며 위성망 전체 정보를 습득한다. 지속적인 플러딩을 통해 토폴로지의 신뢰성을 상승시키며 토폴로지와 링크 변화에 따른 라우팅 실패 확률을 줄일 수 있다. ^[26]에서는 인접한 위성 간의 주기적인 정보교환을 통해 링크 정보와 토폴로지 정보를 취득한다. 취득한 정보를 통해 출발지부터 목적지까지의 홑 수, 동일 궤도 간 위성 링크 수와 다른 궤도 간 위성 링크 수를 결정한다. 라우팅 경로를 결정할 때 동일 궤도 간 위성 링크를 우선 활용하며 동일 궤도 간 위성 링크를 활용할 수 없을 경우 다른 궤도 간 위성 링크를 사용한다. 또한 라우팅 경로에 양 극 지방이 포함되어 있을 경우 동일 궤도 간 위성 링크를 최우선으로 사용한다. 해당 알고리즘은 출발지부터 목적지까지 가능한 모든 경로의 ISL이 동일 궤도인지 다른 궤도 인지만을 활용한다. 따라서 토폴로지의 형태와 상관없이 ISL의 궤도 정보만을 통해 라우팅이 가능하다는 장점이 존재한다. ^[27]에서는 지상망에서 사용되는 대표적인 link state 알고리즘인 OSPF(open shortest path first) 방식을 사용하여 OPSPF(orbit prediction shortest path first)라는 새로운 알고리즘을 제안하였다. OPSPF 알고리즘은 위성의 이동성 때문에 발생하는 정기적인 토폴로지 변화로 라우팅 테이블을 갱신하지 않는다. 반대로 링

크 실패 회복과 같은 비정규적인 토폴로지 변화는 이웃하는 위성들이 공유하는 링크 정보를 통해 판단한다. 비정규적인 토폴로지 변화가 발생했을 경우 기존의 라우팅 테이블과 비교하여 라우팅 테이블을 즉각 갱신한다. OPSPF는 비정규적으로 일어나는 토폴로지 변화에만 반응하여 각 위성들의 라우팅 테이블 갱신 빈도를 낮추어 시그널링 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

Link state를 기반으로 하는 라우팅 알고리즘은 지속적인 링크 간 정보교환을 통하여 네트워크의 전역 정보(global view)를 얻는데 효율적이다. 그러나 지속적인 정보교환은 라우팅 테이블의 잦은 갱신을 일으켜 라우팅 오버헤드를 증가시킨다.

3.2.2 Load balancing 및 QoS 기반 알고리즘

Load balancing 및 QoS(Quality of Service) 기반 알고리즘은 link state 기반 알고리즘에서는 다루지 않은 네트워크의 부하 분산 및 사용자 요구사항에 중점을 둔 라우팅 알고리즘이다. 라우팅 시 발생하는 부하 분산을 목적으로 하며 QoS는 사용자의 요구 서비스에 따라 다른 성능 지표를 가진다. ^[28]에서는 트래픽이 많이 발생하는 지역을 고부하 지역(heavy load zone), 트래픽이 덜 발생하는 지역을 저부하 지역(light load zone)으로 나누어 라우팅을 진행한다. 먼저 저부하 지역은 일반적인 라우팅과 동일하게 최단 거리를 계산하여 진행한다. 고부하 지역은 저부하 지역에서 진행된 경로 세트를 저장하여 최소 신장 트리를 구한 후 고부하 지역에 적용시킨다. 해당 알고리즘은 인구 밀집 지역에 트래픽을 분산시켜 최적의 라우팅 경로를 설정한다. ^[29]에서는 위성 간 멀티홉 라우팅에서 특정 링크에 생기는 부하를 감소시키기 위해 다중 경로를 통해 데이터를 전송하는 방식이다. 네트워크 코딩 방식을 기반으로 인코딩 된 배치 데이터를 분산시켜 보내 혼잡도가 높은 링크의 부하를 분산시킨다. 분산되어 보내진 인코딩 배치 데이터는 No-Stop-Wait acknowledgement(ACK) 방식을 통해 데이터가 성공적으로 디코딩 될 수 있도록 한다. 분산 처리된 데이터 패킷은 복수의 링크 경로를 통해 전송되어 특정 링크의 부하를 효과적으로 방지한다. ^[30]에서는 Ant-Colony 방식

을 사용하여 부하 분산을 진행한다. Forwarding path에는 forwarding ant를 배치하여 해당 논문에서 제안하는 state transition rule을 따라 다음 홉을 선택한다. 성공적으로 전송된 데이터의 path를 backward path로 다시 진행하며 진행된 경로에 backward ant를 배치한다. 배치된 backward ant는 forward ant가 남긴 페로몬을 진행된 경로의 경로 혼잡도에 따라서 페로몬을 조절한다. 경로 혼잡도가 높은 경우 페로몬을 감소시키며, 경로 혼잡도가 낮은 경우 페로몬을 증가시킨다. Forwarding ant와 backward ant가 서로 경로 혼잡도를 조정하며 최적의 다음 홉을 찾을 수 있도록 한다.

저궤도 위성망에서 전 지구적으로 발생하는 무작위 트래픽을 실시간으로 사용자 요구사항에 맞게 서비스하기 위해서는 부하 분산은 필수적이다. 그러나 최근 발표된 논문들의 저궤도 위성 모델은 DT-DVTR과 VN기반의 고정 토폴로지를 사용하여 실시간으로 발생하는 위성 장애, ISL 연결 실패를 탐지하지 못한다. 실시간으로 발생하는 트래픽을 처리하기에 고정 토폴로지 방식은 한계가 존재한다.

3.2.3 Temporal Netgrid Model 기반 알고리즘

TNM 기반 알고리즘은 위성의 출입 시간과 넷그리드의 좌표가 저장된 넷그리드 테이블을 사용하여 홉 단위로 라우팅을 진행한다. 먼저 라우팅 경로를 수립하기 전 비콘(beacon) 프로토콜을 사용하여 이웃하는 위성들의 통신 가능 여부를 확인한다. 통신 가능 위성은 이웃 위성으

로 간주되며 라우팅 최단 경로 수립 시 가장 먼저 탐색되는 위성이다. TNM 방식은 기존 고정 토폴로지 방식과 달리 time-continuous 방식으로 라우팅을 진행하여 위성의 실시간 이동성을 반영할 수 있다. 위성의 이동성이 반영되어 라우팅 시 위성이 이동하여 토폴로지가 변경되어도 넷그리드 테이블을 참조하여 라우팅을 진행한다. 따라서 고정 토폴로지 방식과 다르게 패킷 손실률이 낮아지며 라우팅 경로 재설정이 필요하지 않아 위성의 라우팅 신뢰성이 상승한다. TNM 모델은 기존 DT-DVTR 및 VN 방식과 달리 라우팅 알고리즘을 위해 스냅샷과 가상의 노드를 생성하지 않는 특성을 가진다.

3.3 라우팅 기술 비교 분석

본 절에서는 3.2 에서 소개한 라우팅 기술에 대해 비교 분석한다. 표 3은 각 라우팅 알고리즘의 특징을 비교 분석하고 있다.

TNM 기반 라우팅 모델을 제외한 라우팅 알고리즘들은 모두 DT-DVTR 방식으로 토폴로지를 형성하였다. Link state 방식을 사용한 알고리즘들은 ISL 장애탐지 및 회복을 수행하여 네트워크 토폴로지 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 그러나 주기적인 ISL 정보교환으로 인해 시그널링 오버헤드가 증가한다. Load balancing 및 QoS 방식을 사용한 알고리즘들은 지역 및 링크 트래픽 혼잡도를 사용하여 네트워크 전체의 부하 분산을 효과적으로 수행할 수 있다. 그러나 네트워크 토폴로지의 장애 탐지 및 회복을 수행할 수 없어 네트워크 토폴로지 변화에 취약하다. 또

〈표 3〉 라우팅 알고리즘 비교

라우팅 알고리즘	토폴로지 형성	라우팅 결정 지표	오버헤드	장애 탐지/회복
[25]	DT-DVTR	링크 정보	높음	가능
[26]	DT-DVTR / VN	링크 정보	높음	가능
[27]	DT-DVTR	링크 정보	중간	가능
[28]	DT-DVTR	지역 트래픽 혼잡도	낮음	불가능
[29]	DT-DVTR	링크 트래픽 혼잡도	낮음	불가능
[30]	DT-DVTR	링크 트래픽 혼잡도	낮음	불가능
[13]	TNM	인접 넷그리드 링크 혼잡도	중간	불가능

한 DT-DVTR 방식을 사용한 라우팅 알고리즘들은 모두 스냅샷 사이에서 발생하는 토폴로지 변화에 대응할 수 없다는 단점이 존재한다. 반면에 TNM 방식은 가변 토폴로지를 정적 토폴로지로 변환하지 않아 위성의 움직임을 반영할 수 있다. TNM 모델은 위성의 constellation이 변화하거나 위성의 수가 변경되어도 넷그리드 단위로 라우팅을 진행하여 LEO mega-constellation에 적합한 라우팅 알고리즘이다. 그러나 라우팅 수행 시 하나의 ISL 연결만을 수립하여 동시에 발생하는 여러 지역의 트래픽 요청에 부하 분산을 할 수 없다.

IV. 전망과 결론

저궤도 위성 통신은 LEO mega-constellation을 형성하며 기존의 지상망이 제공하기 어려운 도서, 산간 지역에 4G급의 서비스를 제공할 수 있고, 정지궤도 위성이 서비스 불가능한 극지방까지 서비스가 가능하여 글로벌 커버리지를 형성한다. 그러나 LEO mega-constellation을 구성하는 저궤도 위성은 빠른 이동성을 가져 지속적으로 서비스 지역이 변하는 특성을 가진다. 서비스 요구 지역까지 정확한 라우팅을 진행하기 위해서는 저궤도 위성의 빠른 이동성을 고려한 라우팅 알고리즘의 연구가 필요하다. 기존 연구된 라우팅 알고리즘들은 DT-DVTR과 VN 방식을 사용하여 저궤도 위성망의 가변 토폴로지를 정적 토폴로지로 치환하였다. DT-DVTR과 VN 방식은 위성망의 글로벌 커버리지를 제공함과 동시에 라우팅의 편리함을 제공한다. 그러나 시간에 따른 위성의 이동성을 고려하지 않아 상용되고 있는 다양한 LEO mega-constellation에 적용할 수 없으며 신뢰성 있는 라우팅을 제공할 수 없다. 따라서 향후 B5G(beyond 5G) 또는 6G 시스템에서 보편적이고 다양한 위성통신 서비스 제공을 위해서는 저궤도 위성망의 토폴로지를 실제 위성망과 같이 time-continuous 한 방식으로 표현할 수 있는 TNM 모델과 같은 연구가 지속적으로 필요하며, 부하분산과 QoS 만족을 위한 라우팅 알고리즘의 연구도 필수적으로 수행되어야 할 것으로 예상된다.

사 사 (Acknowledgement)

본 연구 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 출연금 등으로 수행하고 있는 한국전자통신연구원의 3차원 공간 네트워크 기술 개발/3차원 공간 위성통신 기술 개발 (과제번호 No.2021-0-00847)의 위탁연구과제의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] B. G. Evans, P. T. Thompson, G. E. Corazza, A. Vanelli-Coralli and E. A. Candrea, "1945-2010: 65 Years of Satellite History From Early Visions to Latest Missions," in Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 11, pp. 1840-1857, 2011.
- [2] J. Takei and J. Murai, "Satellite communication on the Internet: its history and the technology," Symposium on Applications and the Internet Workshops, pp. 3-7, 2003.
- [3] L. You, K. -X. Li, J. Wang, X. Gao, X. G. Xia and B. Ottersten, "Massive MIMO Transmission for LEO Satellite Communications," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 8, pp. 1851-1865, 2020.
- [4] C. E. Fossa, R. A. Raines, G. H. Gunsch & M. A. Temple, "An overview of the Iridium (R) low Earth orbit (LEO) satellite system," In Proceedings of the IEEE 1998 National Aerospace and Electronics Conference NAECON 1998, Celebrating 50 Years, Cat No. 98CH36185, pp. 152-159, 1998.
- [5] FCC Report, "SES-LIC-20201023-01173," SpaceX Services Inc, <https://fcc.report/IBFS/SES-LIC-20201023-01173>, 2020.
- [6] Q. Chen, G. Giambene, L. Yang, C. Fan and X. Chen, "Analysis of Inter-Satellite Link Paths for LEO Mega-Constellation Networks," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 3, pp. 2743-2755, 2021.
- [7] F. Bastia, C. Bersani, E. A. Candrea, S. Cioni, G. E. Corazza, M. Neri and A. Vanelli-Coralli, "LTE adaptation for mobile broadband satellite networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, pp.1-13, 2009.
- [8] Y. Su, Y. Liu, Y. Zhou, J. Yuan, H. Cao and J. Shi, "Broadband LEO Satellite Communications: Architectures and Key Technologies," in IEEE Wireless Communications, vol. 26, no.

- 2, pp. 55–61, 2019.
- [9] B. Jianjun, L. Xicheng, L. Zexin and P. Wei, "Compact explicit multi-path routing for LEO satellite networks," IEEE, HPSR 2005 Workshop on High Performance Switching and Routing, pp. 386–390, 2005.
- [10] Q. Chen, J. Guo, L. Yang, X. Liu and X. Chen, "Topology Virtualization and Dynamics Shielding Method for LEO Satellite Networks," in IEEE Communications Letters, vol. 24, no. 2, pp. 433–437, 2020.
- [11] M. Werner, "A dynamic routing concept for ATM-based satellite personal communication networks," IEEE journal on selected areas in communications, vol. 15(8), pp. 1636–1648, 1997.
- [12] E. Ekici, I. F. Akyildiz and M. D. Bender, "A distributed routing algorithm for datagram traffic in LEO satellite networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 9, no. 2, pp. 137–147, 2001.
- [13] J. Li, H. Lu, K. Xue and Y. Zhang, "Temporal netgrid model-based dynamic routing in large-scale small satellite networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68(6), pp. 6009–6021, 2019.
- [14] J. G. Walker, "Satellite constellations," Journal of the British Interplanetary Society, vol. 37, pp. 559–571, 1984.
- [15] 3GPP TR 38.821 V16.1.0, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)"
- [16] FCC Report, "SAT-LOA-20161115-00118," Space Exploration Holdings LLC, <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20161115-00118>, 2016.
- [17] FCC Report, "SAT-MOD-20181108-00083," Space Exploration Holdings LLC, <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20181108-00083/1569860>, 2018.
- [18] FCC Report, "SAT-MOD-20190830-00087," Space Exploration Holdings LLC, <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20190830-00087/1877671>, 2019.
- [19] FCC Report, "SAT-LOA-20190704-00057," Kuiper Systems LLC, <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20190704-00057>, 2019.
- [20] FCC Report, "SAT-PDR-20161115-00108," Telesat Canada, <https://fcc.report/IBFS/SAT-PDR-20161115-00108/1158531>, 2016.
- [21] FCC Report, "SAT-MPL-20200526-00053," Telesat Canada, <https://fcc.report/IBFS/SAT-MPL-20200526-00053>, 2020.
- [22] FCC Report, "SAT-LOI-20160428-00041," WorldVu Satellites Limited, <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOI-20160428-00041>, 2016.
- [23] FCC Report, "SAT-MPL-20200526-00062," WorldVu Satellites Limited, <https://fcc.report/IBFS/SAT-MPL-20200526-00062>, 2020.
- [24] FCC Report, "SAT-MPL-20210112-00007," WorldVu Satellites Limited, <https://fcc.report/IBFS/SAT-MPL-20210112-00007>, 2021.
- [25] H. Yan, Q. Zhang and Y. Sun, "A novel routing scheme for LEO satellite networks based on link state routing." In 2014 IEEE 17th International Conference on Computational Science and Engineering, pp. 876–880, 2014.
- [26] L. Zhang, F. Yan, Y. Zhang, T. Wu, Y. Zhu, W. Xia and L. Shen, "A routing algorithm based on link state information for leo satellite networks," In 2020 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps, pp. 1–6, 2020.
- [27] T. Pan, T. Huang, X. Li, Y. Chen, W. Xue and Y. Liu, "OPSPF: orbit prediction shortest path first routing for resilient LEO satellite networks," In ICC 2019–2019 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1–6, 2019.
- [28] W. Liu, Y. Tao and L. Liu, "Load-balancing routing algorithm based on segment routing for traffic return in LEO satellite networks," IEEE Access, 7, pp. 112044–112053, 2019.
- [29] F. Tang, H. Zhang and L. T. Yang, "Multipath cooperative routing with efficient acknowledgement for LEO satellite networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 18(1), pp. 179–192, 2018.
- [30] X. Deng, S. Zeng, L. Chang, Y. Wang, X. Wu, J. Liang and C. Fan, "An Ant Colony Optimization-Based Routing Algorithm for Load Balancing in LEO Satellite Networks," Wireless Communications and Mobile Computing, 2022.



임정주

- 2022년 2월 인하공업전문대학 컴퓨터정보공학과 학사
- 2022년 3월 ~ 현재 한양대학교 인공지능융합학과 석사과정

〈관심 분야〉

LEO satellite Communication and Deep Learning



박주한

- 2017년 2월 한양대학교 ERICA 컴퓨터공학과 학사
- 2017년 3월 ~ 현재 한양대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

〈관심 분야〉

LEO mega constellation and Space-air-ground integrated Network



윤지승

- 2020년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2020년 3월 ~ 현재 한양대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

〈관심 분야〉

Next-Generation Cellular Communications (6G) and Internet of Things (IoT)



조성현

- 1995년 2월 한양대학교 전자계산학과 학사
- 1997년 2월 한양대학교 전자계산학과 석사
- 2001년 8월 한양대학교 전자계산학과 박사
- 2009년 9월 ~ 2012년 8월 경상대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2012년 9월 ~ 현재 한양대학교 컴퓨터학부 교수
- 2001년 9월 ~ 2005년 12월 Samsung Advanced Institute of Technology Senior Engineer
- 2006년 1월 ~ 2006년 10월 삼성전자정보통신연구소 MAC Part leader
- 2006년 10월 ~ 2008년 2월 Stanford University Visiting Researcher
- 2020년 1월 ~ 2020년 12월 대한전자공학회 통신연구회 위원장
- 2020년 1월 ~ 현재 대한전자공학회 상임이사 / 한국통신학회 집행이사

〈관심 분야〉

Beyond 5G communications, satellite communications, software defined networks, and deep learning for communication systems



오주현

- 2019년 2월 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2022년 3월 ~ 현재 한양대학교 인공지능융합학과 석사과정

〈관심 분야〉

Next-Generation Cellular Communications (6G) and Internet of Things (IoT)



LG이노텍

정철동 사장

LG이노텍의 과거

Q LG이노텍의 이노텍이 이노베이션과 테크놀로지의 합성어라고 인터넷에서 봤습니다. 맞는지요?

네, 그렇습니다. LG이노텍의 사명은 ‘Innovation + Technology’의 합성어로, ‘혁신기술’로 세계 시장을 선도하고 고객경험을 혁신해 나가는 글로벌 소재·부품 기업입니다. 물론 모든 기업들이 Innovation을 추구합니다. 그러나 우리 회사가 주력으로 하고 있는 소재·부품 쪽은 경쟁이 매우 치열하기 때문에 “Innovation” 하지 않으면 살아남기가 힘든 사업입니다. 그렇기 때문에 사명에까지 ‘혁신’의 정신을 담게 되었습니다.

Q LG이노텍의 인재상을 찾아보니 LG WAY에 대한 신념과 실행력을 겸비한 인재라고 되어 있습니다. 여기서 LG WAY라는 것은 무엇을 말하는 것이지요?

LG Way는 LG 고유의 경영 철학이면서 LG의 전 임직원이 지키고 실천하는 사고와 행동의 기반입니다. LG Way는 경영 이념인 ‘고객을 위한 가치 창조’와 ‘인간존중의 경영’을 LG의 행동방식인 정도경영으로 실천하여 LG의 비전인 ‘일



등 LG'를 달성하는 것을 의미합니다.

LG Way를 함께 실천해 나갈 수 있는 인재상을 좀 더 자세히 말씀드리자면, '꿈과 열정을 가지고 세계 최고에 도전하는 사람', '팀워크를 이루며 자율적이고 창의적으로 일하는 사람', '고객을 최우선으로 생각하고 끊임없이 혁신하는 사람', '꾸준히 실력을 배양하여 정정당당하게 일하는 사람'이라고 할 수 있습니다.

Q 일상에서 만나는 완제품으로 LG이노텍을 접하기가 어렵습니다. LG이노텍은 주로 어떤 제품을 생산하고 있나요?

LG디스플레이하고만 비교를 해봐도, 많은 분들이 LG디스플레이가 '디스플레이'를 만드는 회사라는 것을 다 압니다. 그런데 안타깝게도 우리 회사는 회사 이름만 보고는 무엇을 생산하는 회사인지가 대중들에게 잘 와 닿지 않습니다. 하지만, 여러분들의 일상속에서도 LG이노텍의 제품은 이미 많이 찾아보실 수 있습니다. 예를 들어 많은 분들이 사용하는 스마트폰 카메라 모듈은 LG이노텍이 글로벌 시장 점유율 1위입니다. 이와 같이 LG이노텍은 1970년 대한민국 최초의 종합 전자부품 기업으로 설립되어 현재 모바일, 디스플레이, 반도체, 자동차, IoT 영역에서 독보적인 핵심 기술력과 품질을 입증하며 다양한 소재부품을 글로벌 고객사에 공급하고 있습니다.

Q 홈페이지를 찾아보니 LG이노텍은 '광학솔루션, 기판소재, 전장부품, 전자부품'의 4개 사업분야로 나뉘어져 있다고 나옵니다. 얼핏 보면 4개의 사업 분야가 연관성이 낮아 보이는데 한 기업체내에서 이렇게 성격이 다른 사업을 진행하게 된 계기는 무엇일까요?

LG이노텍은 소재·부품관련 차별화된 기술을 갖춘 기업입니다. 반도체와 디스플레이의 소재를 개발하고 차량, 모바일, 가전의 부품을 생산하는데요, 각 기술이 별개의 것들이 아니라 기반 기술을 통해 여러가지 어플리케이션 별로 발전한 것이기에 사업적 연관성이 오히려 높습니다.

LG이노텍이 보유한 핵심기반기술은 14개로 이 중에서 사업 공통의 핵심 기술은 광학소재기술, 광학설계기술, 소재가공기술, 통신기술, 전력변환·저장기술, 전자기에너지변환기술로 6개입니다. 이 기술들의 조합으로 여러가지 어플리케이션이 만들어지는 것입니다.

이러한 핵심 기술이 적용된 카메라 모듈, 통신용 반도체 기판, 테이프 서브스트레이트, 포토마스크는 글로벌 1위로서의 기술력을 인정받고 있습니다. 초정밀, 고집적, 초미세, 초슬림 등은 LG이노텍의 핵심 기술 키워드라고 할 수 있습니다.

즉, 앞으로 14개 핵심기반기술의 조합으로 만들어지는 어플리케이션에 따라 기존 4개 사업분야 외에 새로운 사업분야도 신설될 수 있으며, LG이노텍은 'Innovation'이라는 사명처럼 주력 사업에 멈추지 않고, 미래의 성장을 위해 끊임 없는 변화와 발전방향을 모색하는 기업입니다.

Q 그렇다면, 혹시 현재 생각하고 계시는 새로운 사업을 여쭙봐도 되는지요?

지금 현재 신사업으로 생각하고 있는 것은 플립칩-볼그리드어레이(FC-BGA) 사업으로 내년부터 본격적으로 시작할 계획을 가지고 있습니다. 그 외에 우리 회사는 미래 사업 아이템을 찾기 위해서 크게 2가지 전략을 가지고 있습니다. 첫번째는 미국이나 이스라엘의 테크벤처(Tech Venture)같은 기업들을 찾아가서 미래 신기술을 적극적으로 찾는 전략입니다. 그리고 두번째는 현재 우리가 사업하고 있는 영역, 즉 14개 핵심기반기술의 인접 기술 확장 측면으로 관

련 기업의 M&A 등을 통해서 미래 신사업을 준비하는 전략을 가지고 있습니다. 앞으로도 우리 회사는 무궁무진한 변화의 가능성을 가지고 있는 기업입니다.

LG이노텍의 현재

Q LG이노텍 사업 부분에서 전자공학 전공자 채용에 관심이 있으실지요? 만일 있다면 어떤 분야의 공부를 한 학생들이 지원을 하면 선발이 될까요?

LG이노텍은 모바일, 디스플레이, 각종 가전에서 자동차에 이르기까지 다양한 분야의 전자부품을 개발, 생산하고 있으며 지속적인 차별화 기술 개발, 융복합화를 추진하고 있습니다. 이를 위해 신호처리, 통신, 반도체, 전자회로, 제어, AI 등 다양한 전자공학 기술 연구와 응용이 필요함에 따라 전자공학을 전공한 많은 인재들이 함께 일하고 있습니다.

이와 함께 LG이노텍 부품의 개발, 생산 및 전 업무 영역에서 AI의 적용이 점차 확대되면서 빅데이터, 시뮬레이션, 머신 러닝 등 AI 알고리즘 및 코딩 역량을 보유한 전자공학 전공자들의 수요가 계속 높아지고 있습니다.

Q LG이노텍이 추구하는 조직문화 지향점은 구성원의 자부심(PRIDE)이 넘치는 회사라고 홈페이지에서 보았습니다. 이것이 일하기 좋은 기업으로 선정된 것과 연관이 있을까요?

LG이노텍은 지난해 GPTW코리아로부터 ‘2021 일하기 좋은 일터’ 인증을 획득한 데 이어, 올해 ‘대한민국 일하기 좋은 기업’ 종합대상에 선정됐습니다. 수상 배경에는 LG이노텍 고유의 조직문화 혁신 프로젝트인 ‘PRIDE 활동’이 있습니다. PRIDE는 ‘자부심’을 뜻하는 동시에 자부심을 위한 핵심 요소를 의미합니다.

회사의 성장과 비전(Performance), 처우와 보상(Reward), 맞춤형 근무 형태 및 제도(Individualization), 일하는 방식과 시스템(Dynamics), 전문가로 성장(Expertise)이 해당됩니다. LG이노텍은 각 핵심 요소에 따른 다양한 PRIDE 활동을 활발히 지속해오고 있으며, 이를 통해 ‘나는 LG이노텍의 구성원인 것이 자랑스럽다’라는 질문에 대한 긍정 응답률이 70%(20년 12월)에서 87%(22년 5월)로 17%p가량 높아졌습니다.

임직원들도 변화를 체감하고 있는 것으로 생각합니다. 실제로 LG이노텍은 선택적 근로시간제(주 40시간), 시차 출퇴근, 재택근무 등 다양한 근무제도를 두고 있으며 업계 최초로 거점오피스를 마련하는 등 임직원에게 맞춤형 업무환경을 지원하고 있습니다. 휴가를 원하는 때에 자유롭게 쓸 수 있는 점도 젊은 구성원들에게 좋은 변화로 받아들여진 것 같습니다.

LG이노텍은 「글로벌 No.1 소재·부품기업」이라는 비전을 전 임직원이 함께 참여하여 만들고, 공유하고 있습니다. 이러한 비전 실현은 구성원의 자부심에서 시작된다고 생각합니다. 구성원이 회사에 자부심을 가질 때 일에 열정적으로 몰입하게 되고, 차별화된 가치 제공으로 고객 경험을 혁신할 수 있기 때문입니다.

이를 통해 회사는 시장의 기대를 뛰어 넘는 실적과 성장을 이룰 수 있고 구성원은 더 큰 자부심을 느낄 수 있습니다. 이와 같은 선순환을 위해 지난 2020년부터 구성원의 자부심을 높이는 PRIDE활동을 추진한 결과, 의미 있는 성과를 만들어가고 있다고 생각합니다.



Q 최근 기사를 통해 LG이노텍이 6년 연속 동반성장지수 최우수 평가를 받았다는 내용을 보았습니다. 대표님께서 LG이노텍과 협력사의 상생 원동력이 무엇이었다고 생각하시나요

LG이노텍은 고객사 뿐만 아니라 협력사의 목소리를 듣는 데에도 많은 노력을 기울이고 있습니다.

지난해 7월부터 고객의 Pain Point를 청취하기 위한 CPPM(Customer Pain Point Management)이라는 시스템을 운영하고 있습니다. 올 3월부터는 협력사 애로사항을 적극 수렴하기 위한 VOS(Voice of Supplier)라는 창구를 신설했습니다. 이와 함께 협력사에 금융, 경영, 기술 등 다방면의 지원 활동을 지속 전개하고 있습니다.

저는 임직원들에게, “지금보다 한 단계 더 나아가 협력사를 존중하고 진정성 있는 협력으로 신뢰를 쌓아 달라”고 강조하고 있습니다. 협력사가 어려움을 겪는 부분을 우리가 정확히 파악해 도움을 주는 것이 지원 효과를 높일 수 있기에, 진정성이 있는 소통이 매우 중요하다는 생각입니다.

협력사도 주도적인 활동으로 경영 능력을 높이고 기술과 품질을 향상해 경쟁력 있는 제품을 공급하는 것이 LG이노텍과 상호 지속적인 성장을 하는 길이라고 생각합니다. 서로가 각자의 자리에서 최선을 다해 경쟁력을 높이고자 노력할 때, 진정한 ‘상생’이 이뤄질 수 있을 것입니다.

LG이노텍의 미래

Q 2022년 LG이노텍이 카메라 모듈 사업의 성장에 힘입어 연간 최대 실적을 경신하고 있다는 신문 기사를 보았습니다. 광학솔루션, 기판소재, 전자부품 사업의 미래 전망은 어떻게 보고 계신지요.

광학솔루션사업은 스마트폰 중심에서 AR·VR, 메타버스, 자동차 등의 애플리케이션으로 점차 적용 영역을 확대하며 지속 성장할 것입니다. 기판소재사업은 통신용 기판 외에도 PC/서버, 통신/네트워크에 쓰이는 고성능 반도체 기판

시장이 폭발적인 성장을 하고 있습니다(예 FC-BGA). 이와 함께 전장부품사업도 전기차 및 자율주행차 시장이 확대되면서 차량용 통신·카메라 모듈과 전기차용 파워 등이 빠르게 성장할 것으로 전망됩니다.

LG이노텍은 사업영역에 있어 핵심사업에 기반해 제품 적용분야를 넓히는 수평적 확장과 모듈을 구성하는 핵심부품 및 소재로 사업분야를 확대하는 수직적 확장을 두 축으로 미래 성장 동력을 적극 발굴해 나가고 있습니다. 수평적 확장으로는 AR·VR/차량/IoT용 3D센싱모듈 등으로 제품 적용 분야를 넓혀가고 있으며, 수직적 확장에서는 렌즈, 액츄에이터 등 카메라 모듈용 부품의 핵심기술 내재화에 주력하고 있습니다.

Q 사업을 보면 전장 부품 사업부가 있는데 LG이노텍이 전기자동차 완제품 시장에 직접 뛰어드실 계획이 있으실까요?

그럴 계획은 없습니다. 저희는 핵심 고객에 대한 사업 확장에 보다 집중할 계획입니다. LG이노텍이 잘 할 수 있는 사업, 수익을 창출할 수 있는 사업, 고객에게 더 높은 가치를 제공할 수 있는 사업에 역량을 집중하겠습니다.

Q LG이노텍이 2030년까지 사용 전력을 모두 재생에너지로 전환하고 2040년에는 탄소배출을 '제로(0)화'하는 탄소중립을 이뤄내겠다고 발표했다는 신문 기사를 보았습니다. 이와 관련해서 LG이노텍이 어떤 전략을 가지고 있는 것인지요?

LG이노텍은 2030년까지 국내외 사업장에서 사용하는 전력의 100%를 재생에너지에서 확보한다는 방침입니다. 이를 위해 국내 사업장은 태양광 발전 설비 도입을 확대해 나갈 계획입니다. 또한 재생에너지 발전 업체로부터 직접 전력을 구매하는 '전력거래계약(PPA, Power Purchase Agreement)', 한국전력에 추가 요금을 내고 재생에너지로 생산한 전기를 공급받는 '녹색 프리미엄' 제도 등을 활용할 예정입니다.

국내 뿐만 아니라 베트남, 인도네시아 등 해외사업장도 재생에너지 사용을 늘려 나갈 것입니다. 이와 함께 '폐기물





매립 제로(ZWTL, Zero Waste to Landfill) 인증 확대, 업무용 차량 100% 무공해 차량으로 전면 교체 등 탄소감축을 위한 다양한 활동을 지속 실행해 나가고 있습니다.

Q 만일 LG이노텍이 인터넷 검색어 1위에 오른다면, 어떤 연관검색어로 오르고 싶은지요?

‘고객경험 혁신 기업, LG이노텍’이면 좋겠습니다. 혁신기술과 철저한 품질의 제품으로 고객사에 신뢰를 주고, 나아가 고객경험을 혁신하는 기업으로서 검색어 1위에 오르면 영광일 것 같습니다. 고객경험 혁신을 가장 잘하는 기업, 그래서 고객이 제일 먼저 찾는 기업이 되면 좋겠습니다.

LG이노텍은 제품 사양, 규격 등 고객사 주문에만 충실하던 과거 방식에서 벗어나 고객사의 사업 여정을 단계별로 살펴 LG이노텍만이 제공할 수 있는 차별화된 경험을 주기 위해 노력하고 있습니다. 고객경험 혁신은 B2B기업의 지속 성장의 원동력이라고 생각합니다. 고객이 가장 먼저 찾고 신뢰하는 회사를 만들기 위해 고객사를 중심에 둔 제품을 기획, 개발, 양산하는데 전사 역량을 집중해 나가겠습니다.

LG이노텍의 대표이사, 정철동



Q 오늘 인터뷰를 진행하면서 대표님의 경영철학을 대표하는 단어 한 개만 찾으라고 하면 ‘소통’인 것 같습니다. 즉, 대표님께서 조직 구성원 뿐 아니라, 협력사와의 관계에서도 끊임없이 그들의 의견을 듣는 것을 중요하게 여기기 때문에 ‘대한민국 일하기 좋은 기업’과 ‘동반성장지수 최우수평가’라는 성적표를 LG이노텍이 받은 것이 아닐까 생각합니다. 그러나 이렇게 회사 내외부 관계자의 의견을 듣는 것이 사실 기업 대표로서는 어려운 일일 수도 있는데, 대표님은 어떻게 이런 소통을 지속할 수 있으신 것이지요?

‘참는’ 것이지요. (웃음) 사실 저도 성격이 매우 급한 사람입니다. 그런데 그러지 않기 위해서 ‘노력’하는 것입니다. 다른 예이지만, 사실 회사 내부에서 회의를 할 때도, CEO인 제가 ‘이렇게 하면 되지’ 라고 먼저 의견을 낼 수도 있습니다. 그런데 그렇게 한번 하고 나면, 이후에 미팅에 참석한 사람들은 “당연히 의사결정은 CEO가 하겠지”라고 생각할 수가 있습니다. 그래서 저는 가급적이면 먼저 저의 의견을 말하는 것은 참고, 듣고 기다려주려고 노력합니다. (웃음) 사실 실제 사안별 전문가는 우리 구성원들이고, CEO인 저는 전문가가 아니라 경영자입니다. 즉, 제일 의사결정을 잘 할 수 있는 사람들은 우리 회사의 구성원들이라고 생각합니다.

Q 그럼 대표님께서 생각하시는 이상적인 CEO는 어떤 모습 인지가 궁금합니다.

제가 예전에 외국에서 근무를 한 적이 있습니다. 그때 인도네시아인 상사와 같이 일한 적이 있는데, 그 외국인 상사가 여러 의견과 고성(高聲)이 오가는 미팅자리에서 본인이 화를 낼 법한 상황이었는에도 ‘나 화났어’라는 감정을 배제한 한 마디로 자신의 의견을 표현하는 것을 보고 신선한 충격을 받았습니다. 사실 그때만 해도 저 역시 80~90년대 한국 기업인들의 리더십을 많이 봐왔었고, 저도 그런 리더십의 소유자였습니다. 그 상사를 보고 난 후, 저의 리더십이 바뀐 것 같습니다. 이 후, 다시 한국에서 생활을 하게 되었고, 여전히 강인한 추진력을 앞세운 불도저 식의 리더십을 가진 분들이 CEO가 되는 것을 보면서, ‘아, 나는 경영자가 되지 못하겠구나’라는 생각을 했습니다. (웃음) 제가 생각하기에 우리나라의 기업 문화도 많이 바뀌고 있기 때문에, 본인의 생각과 철학을 담은 CEO의 리더십은 다양한 형태를 가질 수 있고 한 가지 정답은 없다고 생각합니다.

Q 대표님, 오늘 귀한 시간 내주셔서 정말 감사드립니다. “LG이노텍”이라는 회사를 알게 된 소중한 시간이었던 것 같습니다.

네, 저도 많은 분들께 LG이노텍을 소개할 수 있는 자리를 마련해 주셔서 감사했습니다. LG이노텍을 미래 세대들과 함께 훌륭한 회사로 만들어갈 수 있으면 좋겠습니다.

논문지 논문목차

전자공학회 논문지 제 59권 11호 발행

통신 분야

[통신]

- 저궤도 IoT 위성통신 환경에서 LoRa 신호 검출을 위한 도플러율 추정 기법 연구
주정석

[마이크로파 및 전파전파]

- Bulk Current Injection 시뮬레이션을 이용한 Power Electric 모듈 검증 및 최적화 연구
김양현, 서철현

[군사전자]

- 레이더경보수신기용 CD대역 진폭비교 방향탐지 정확도 측정 시스템 개발
현예지, 최남우, 최혁재, 조원택, 김성훈

반도체 분야

[SoC 설계]

- 8K UHD 이미지를 실시간으로 처리하는 고성능 안개 제거 회로 설계
황준상, 이효연, 조정순

컴퓨터 분야

[인공지능, 신경망 및 퍼지시스템]

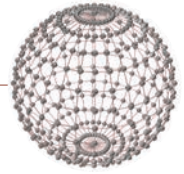
- 다중목적 보상함수가 개선된 강화학습 기반 NAS
임철순, 김명선

[M2M/IoT]

- 수중 노이즈 상황에서의 기하학 기반 적외선 통신 채널 모델
발카시나 스베틀라나, 황아리, 이진영, 염선호, 박수현

[인공지능 및 보안]

- 유전 데이터의 안전한 공유를 위한 로컬 차분 프라이버시 기반 사용자 비식별화 기법
엄하은, 박영훈



인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

- 내재 요소 및 재조명을 이용한 얼굴 그림자 제거
김수정, 이상철

[영상 이해]

- 딥러닝과 넷지 이론 기반의 위변조 방지 기술을 적용한 출석 인증 시스템
라이언, 여동훈, 황병일, 김동주, 서영주, 황도경
- 스켈레톤 기반 사람 행동 인식을 위한 대조 그래프 컨볼루션 네트워크
이경현, 고병철, 남재열

시스템 및 제어 분야

[제어계측]

- 전열교환기의 풍량과 IAQ의 상관관계 추정 연구
최민혁, 김명옥, 이수영, 한경현

[의용전자 및 생체공학]

- 염소 이온(Cl-) 검출을 위한 ITO FET 센서
김대훈, 송광섭

2021년 추계종합학술대회 우수논문

- 고령자 전전두엽에서 측정된 2채널 ERP 신호처리 및 적용
배장한, 김중일, 김재욱

국 내 외 학 술 행 사 안 내

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

>>2022년 12월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 01. - 12. 02.	2022 IEEE 3rd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)	Fez, Morocco	https://www.amirs.ma/icecocs2022/
12. 01. - 12. 03.	2022 6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)	Coimbatore, India	http://icoeca.org/2022/
12. 01. - 12. 02.	2022 IFAC Workshop on Cyber-Physical Human Systems (CPHS)	Houston, Texas, USA	https://www.cphs2022.org/
12. 01. - 12. 02.	2022 6th SLAAI International Conference on Artificial Intelligence (SLAAI-ICAI)	Event Format: Virtual	https://slaai.lk/ica/2022/
12. 01. - 12. 03.	2022 IEEE 7th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)	MANGALORE, India	https://icraie.nitk.ac.in/
12. 01. - 12. 03.	2022 5th International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE)	Bhubaneswar, India	https://www.cineconf.org/
12. 01. - 12. 03.	2022 8th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)	Event Format: Virtual	http://www.jit.ac.in/jit/ICSC/
12. 01. - 12. 03.	2022 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)	Bangalore, India	http://icwite.ieeebangalore.org/
12. 01. - 12. 04.	2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)	Boracay Island, Philippines	https://www.hnicem.org/
12. 02. - 12. 04.	2022 Global Congress on Electrical Engineering (GC-ElecEng)	Valencia, Spain	https://mosharaka.net/?Area=Conferences&Page=CongSite&Cong=39
12. 02. - 12. 04.	2022 International Conference on Emerging Trends in Electrical, Control, and Telecommunication Engineering (ETECTE)	Lahore, Pakistan	http://etecte.uol.edu.pk/
12. 02. - 12. 03.	2022 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST)	Mumbai, India	https://sites.google.com/somaiya.edu/ieee-icast-2022/home
12. 02. - 12. 04.	2022 IEEE 16th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID)	Xiamen, China	https://asid.xmu.edu.cn/
12. 02. - 12. 03.	2022 IEEE 1st International Conference on Data, Decision and Systems (ICDDS)	Bangalore, India	http://icdds.org/
12. 02. - 12. 05.	2022 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)	Event Format: Virtual	https://conf.ewdtest.com/
12. 02. - 12. 04.	2022 14th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)	Phnom Penh, Cambodia	http://skimanetwork.org/
12. 03.	2022 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB)	Event Format: Virtual	https://www.ieeespmb.org/2022/
12. 03. - 12. 04.	2022 IEEE 2nd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNC)	Tumkur, Karnataka, India	http://icmnc.com/index.php
12. 03. - 12. 05.	2022 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IoE)	Hadhramaut, Yemen	https://ritechs.org/conferences/ITSS-IoE2022
12. 04. - 12. 08.	GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference	Rio de Janeiro, Brazil	https://globecom2022.ieee-globecom.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	Singapore, Singapore	https://ieeessci2022.org/
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (ISPEC)	Perth, Australia	https://attend.ieee.org/ispec-2022/
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)	Hung Hom, Hong Kong	https://www.tale2022.org/
12. 04. - 12. 06.	2022 14th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)	Al-Khobar, Saudi Arabia	http://cicn.in/
12. 04. - 12. 08.	2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)	Rio de Janeiro, Brazil	https://globecom2022.ieee-globecom.org/
12. 04. - 12. 07.	2022 International Conference on Microelectronics (ICM)	Casablanca, Morocco	https://ieeicm2022.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE Micro- and Nanoengineering in Medicine Conference (MNMCM)	Kapolei, Hawaii, USA	https://ieeembsconf.wpengine.com/
12. 05. - 12. 06.	2022 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)	Langkawi, Kedah, Malaysia	https://attend.ieee.org/pecon-2022/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)	Seattle, Washington, USA	https://acm-ieee-sec.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)	Houston, Texas, USA	http://2021.rtss.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE International Conference on Smart Data Services (SMDS)	Barcelona, Spain	https://conferences.computer.org/services/2022/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE Eighth International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)	Naples, Italy	https://www.bigmm.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)	Italy	https://www.ieee-ism.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 Sixth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)	Italy	https://www.ieee-irc.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)	Jinghong, China	http://robio2022.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE 5th International Conference on Image Processing Applications and Systems (IPAS)	Genova, Italy	https://ipas.ieee.tn/
12. 05. - 12. 09.	2022 International Conference on Field-Programmable Technology (ICFPT)	Hong Kong	https://fpt22.hkust.edu.hk/
12. 05. - 12. 06.	2022 IEEE 9th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://oes.ieeemy.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE/ACS 19th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://www.aiccsa.net/AICCSA2022/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE 22nd International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS)	Guangzhou, China	https://qrs22.techconf.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE 22nd International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C)	Guangzhou, China	https://qrs22.techconf.org/
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC)	Cancun, Mexico	https://cdc2022.ieeecss.org/
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE 6th Southern Power Electronics Conference (SPEC)	Nadi, Fiji	https://alloracucina.com.au/
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)	Las Vegas, Nevada, USA	https://ieeebibm.org/BIBM2022/
12. 07. - 12. 09.	2022 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.iecbes.org/
12. 07. - 12. 09.	2022 IEEE/ACIS 23rd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)	Taichung, Taiwan	https://acisinternational.org/conferences/snpe-2022/
12. 07. - 12. 10.	2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.ieem.org/public.asp?page=index.asp

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 07. - 12. 09.	2022 20th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)	Pilsen, Czech Republic	https://mechatronika.fel.cvut.cz/
12. 07. - 12. 09.	2022 International Conference on Emerging Technologies in Electronics, Computing and Communication (ICETEC)	Jamshoro, Sindh, Pakistan	https://icetec.muet.edu.pk/
12. 07. - 12. 09.	2022 TRON Symposium (TRONSHOW)	Tokyo, Japan	https://tronshow.org/index-e.html
12. 07. - 12. 08.	2022 5th International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS)	Dubai, United Arab Emirates	https://icspis.com/
12. 07. - 12. 09.	2022 Picture Coding Symposium (PCS)	San Jose, California, USA	https://2022.picturecodingsymposium.org/
12. 07. - 12. 08.	2022 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICCWS)	Islamabad, Pakistan	https://www.nccs.pk/conference/ICCWS-2022-home
12. 07. - 12. 09.	2022 ITU Kaleidoscope: Extended reality – How to boost quality of experience and interoperability (ITU K)	Accra, Ghana	https://www.itu.int/en/ITU-T/academia/kaleidoscope/2022/Pages/default.aspx
12. 08. - 12. 10.	2022 IEEE 50th Semiconductor Interface Specialists Conference (SISC)	San Diego, California, USA	https://www.ieeesisc.org/
12. 08. - 12. 09.	2022 Datacom School and Conference	Event Format: Virtual	https://datacomsc.com/
12. 08. - 12. 09.	2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)	Chennai, India	https://icpects2022.com/
12. 08. - 12. 09.	2022 5th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)	Event Format: Virtual	https://isriti.utdi.ac.id/
12. 08. - 12. 10.	2022 IEEE 21st International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC)	Toronto, Ontario, Canada	https://easychair.org/conferences/?conf=ieeeiccc22
12. 09. - 12. 10.	2022 4th International Conference on Artificial Intelligence and Speech Technology (AIST)	Delhi, India	https://www.aist2022.com/
12. 09. - 12. 10.	2022 11th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)	Moradabad, India	http://www.smart2022.tmu.ac.in/
12. 09. - 12. 10.	2022 IEEE 3rd International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET)	Mysuru, India	https://www.temsmetviet.com/
12. 09. - 12. 11.	2022 2nd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI)	Singapore, Singapore	http://www.raai.net/index.html
12. 09. - 12. 11.	2022 IEEE 4th International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)	Taichung, Taiwan	http://www.icaceh.asia/
12. 09. - 12. 11.	2022 7th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research (ICMERR)	Krakow, Poland	http://www.icmerr.com/
12. 09. - 12. 12.	2022 IEEE 8th International Conference on Computer and Communications (ICCC)	Chengdu, China	http://www.iccc.org/
12. 09. - 12. 10.	2022 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)	Bandung, Indonesia	https://apwimobconf.org/
12. 09. - 12. 11.	2022 International Conference on High Performance Big Data and Intelligent Systems (HDIS)	Tianjin, China	https://www.hdis.world/
12. 10. - 12. 11.	2022 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR)	Event Format: Virtual	https://www.bitsathy.ac.in/events/STCR-2022/
12. 10. - 12. 11.	2022 IEEE Calcutta Conference (CALCON)	Kolkata, India	https://ewh.ieee.org/r10/calcutta/calcon2022/index.html
12. 10. - 12. 12.	2022 8th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)	Kunming, China	http://icsai.sei.ynu.edu.cn/
12. 11. - 12. 12.	2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS)	Event Format: Virtual	http://www.ictocs.com/
12. 11. - 12. 14.	2022 IEEE International Conference on Emerging Electronics (ICEE)	Bangalore, India	https://ieee-icee.org/
12. 12. - 12. 15.	2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)	Nassau, Bahamas	https://icmla-conference.org/icmla22/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 12. - 12. 16.	2022 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON)	Bangalore, India	https://www.ieeemapcon.org/
12. 12. - 12. 13.	2022 International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM)	Tokyo, Japan	http://www.semiconportal.com/issm/
12. 12. - 12. 14.	2022 5th International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)	Marrakech, Morocco	http://www.commnet-conf.org/
12. 12. - 12. 15.	2022 International Conference on Maintenance and Intelligent Asset Management (ICMIAM)	Anand, India	https://irma.ac.in/conference/icmiam-2022/overview
12. 12. - 12. 14.	2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)	Event Format: Virtual	https://aivr.science.uu.nl/
12. 12. - 12. 14.	2022 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)	Riyadh, Saudi Arabia	https://saudi-sg.com/e/
12. 12. - 12. 13.	2022 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)	Islamabad, Pakistan	https://fit.edu.pk/
12. 12. - 12. 16.	2022 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2022)	Wellington, New Zealand	https://www.cpem2022.nz/
12. 12. - 12. 14.	2022 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)	Event Format: Virtual	http://edaps.org/
12. 13. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	Bangkok, Thailand	https://www.2022.cloudcom.org/
12. 13. - 12. 15.	2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)	Cairo, Egypt	http://mepcon.edu.eg/
12. 13. - 12. 15.	2022 International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)	Pudukkottai, India	http://www.icacrs.com/
12. 13. - 12. 15.	2022 13th International Renewable Energy Congress (IREC)	Hammamet, Tunisia	https://irec-conference.com/
12. 13. - 12. 16.	2022 21st International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS)	Salt Lake City, Utah, USA	https://www.powermems.org/
12. 13. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP)	Suzhou, China	http://vcip2022.org/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)	Jaipur, India	https://pedes2022.com/
12. 14. - 12. 16.	2022 IEEE 2nd International Conference on Intelligent Reality (ICIR)	Event Format: Virtual	https://icir.ieee.org/
12. 14. - 12. 16.	2022 IEEE 28th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)	Nanjing, China	http://ieee-icpads.net/2022/
12. 14. - 12. 16.	2022 3rd International Conference on Innovations in Computer Science & Software Engineering (ICONICS)	Karachi, Pakistan	http://www.nediconics.com/
12. 14. - 12. 16.	2022 18th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN)	Guangzhou, China	https://ieee-msn.org/2022/
12. 14. - 12. 16.	2022 Asian Hardware Oriented Security and Trust Symposium (AsianHOST)	Singapore, Singapore	http://asianhost.org/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 8th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)	Event Format: Virtual	https://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cic/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 4th International Conference on Cognitive Machine Intelligence (CogMI)	Event Format: Virtual	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cogmi/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 4th International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems, and Applications (TPS-ISA)	Event Format: Virtual	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/tps/2022/calls.html
12. 14. - 12. 15.	2022 International Conference on Electrical Engineering and Sustainable Technologies (ICEEST)	Event Format: Virtual	https://conferences.uet.edu.pk/iceest/2022/
12. 14. - 12. 16.	2022 Eighth Indian Control Conference (ICC)	Chennai, India	https://controlsociety.org/icc/
12. 14. - 12. 16.	2022 OITS International Conference on Information Technology (OCIT)	Bhubaneswar, India	https://www.oits-icit.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE 3rd International Conference on VLSI Systems, Architecture, Technology and Applications (VLSI SATA)	Bangalore, India	https://www.vlsi-sata.in/
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)	Event Format: Virtual	https://punecon.org/
12. 15. - 12. 17.	2022 7th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)	Zhanjiang, China	http://www.icrc.org/
12. 15. - 12. 18.	2022 4th International Conference on System Reliability and Safety Engineering (SRSE)	Guangzhou, China	http://www.srse.org/index.html
12. 15. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)	Event Format: Virtual	https://icmlant.com/
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE 2nd International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (ISSSC)	Gunupur, Odisha, India	http://ieee-issc.in/
12. 15. - 12. 16.	2022 3rd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC)	Ankara, Turkey	https://iisec.tbakademi.org.tr/2022/
12. 15. - 12. 16.	2022 3rd International Conference on Communication, Computing and Industry 4.0 (C2I4)	Event Format: Virtual	https://sites.google.com/cmrit.ac.in/c2i4-2022/conference
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON)	Kollam, India	https://iprecon.org/
12. 16. - 12. 17.	2022 International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering (ICARCE)	Event Format: Virtual	https://www.icarce.com/
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE 5th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)	Chongqing, China	http://www.imcec.org/
12. 16. - 12. 18.	2022 4th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEEET)	Shanghai, China	https://www.ceedt.org/
12. 16. - 12. 19.	2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Chengdu, China	http://www.ieeeiciea.org/2022/
12. 16. - 12. 17.	2022 4th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)	Greater Noida, India	http://www.icac3n.in/
12. 16. - 12. 17.	2022 4th International Symposium on Smart and Healthy Cities (ISHC)	Shanghai, China	http://ishc2022.iaast.cn/
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE 5th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE)	Xi'an, China	http://www.icece.net/
12. 17. - 12. 2022 .	2022 IEEE 10th Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)	Malacca, Malaysia	https://sites.google.com/view/icspc/home
12. 17. - 12. 20.	2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	Kyoto, Japan	https://bigdataieee.org/BigData2022/index.html
12. 17. - 12. 18.	2022 Human-Centered Cognitive Systems (HCCS)	Shanghai, China	http://hccs.gaasnetwork.org/
12. 17. - 12. 19.	2022 IEEE 6th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)	Durgapur, India	https://www.catcon2022.com/
12. 17. - 12. 18.	2022 4th International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)	Dhaka, Bangladesh	http://www.fse.green.edu.bd/sti-2022/
12. 17. - 12. 19.	2022 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)	Event Format: Virtual	http://www.swinflow.org/confs/2022/ispa/
12. 17. - 12. 20.	2022 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)	Toyama, Japan	http://web.tuat.ac.jp/~deng/ICAMechS2022/icamechs2022.html
12. 17. - 12. 18.	2022 15th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)	Hangzhou, China	http://iukm.zju.edu.cn/iscid/index.html
12. 18. - 12. 22.	2022 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (ISES)	Warangal, India	https://ieee-ises.org/2022/
12. 18. - 12. 21.	2022 IEEE 29th International Conference on High Performance Computing, Data, and Analytics (HiPC)	Bengaluru, India	https://hipc.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)	Marietta, Georgia, USA	https://honet-ict.org/
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://rfm2022.apmttemc.org/
12. 19. - 12. 20.	2022 10th International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications, and Computations (JAC-ECC)	Alexandria, Egypt	https://ejust.edu.eg/
12. 19. - 12. 22.	2022 IEEE 15th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc)	Penang, Malaysia	https://mcsoc-forum.org/
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE 21st International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (IUCC/CIT/DSCI/SmartCNS)	Chongqing, China	http://iucc2022.cqupt.edu.cn/index.html
12. 20. - 12. 22.	2022 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)	Ho Chi Minh City, Vietnam	https://rivf2022.hufit.edu.vn/
12. 20. - 12. 22.	2022 International Conference on Computer and Applications (ICCA)	Cairo, Egypt	http://icca-conf.net/
12. 21. - 12. 22.	2022 2nd International Conference on New Technologies of Information and Communication (NTIC)	Event Format: Virtual	http://ntic22.centre-univ-mila.dz/
12. 21. - 12. 23.	2022 IEEE Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)	Gwalior, India	http://iatmsi.iitm.ac.in/
12. 21. - 12. 23.	2022 26th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)	Sakon Nakhon, Thailand	https://kuse.csc.ku.ac.th/icsec2022
12. 22. - 12. 23.	2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE)	Event Format: Virtual	https://ismode.unkris.ac.id/
12. 22. - 12. 23.	2022 International Conference on Artificial Intelligence and Data Engineering (AIDE)	Karkala, India	http://aide2022.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 2nd International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies (CISCT)	Dehradun, India	https://cisct.geu.ac.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology (CCET)	Bhopal, India	https://ccet.sageuniversity.edu.in/
12. 23. - 12. 25.	2022 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)	Bangalore, India	https://smartgencon.org/
12. 23. - 12. 24.	2022 International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI)	Greater Noida, India	http://iccsai.in/
12. 23. - 12. 25.	2022 12th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)	Guangzhou, China	http://iccsai.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 Fourth International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)	Bengaluru, India	http://ccip2022.jssateb.ac.in/index.html
12. 26. - 12. 27.	2022 IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)	Event Format: Virtual	https://icsecc.president.ac.id/
12. 26. - 12. 27.	2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)	Mandya, India	http://www.pesceconference.in/
12. 27. - 12. 29.	2022 5th International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA)	Cairo, Egypt	https://2022.iccsa.org/
12. 27. - 12. 29.	2022 International Conference on Mechanical Engineering and Power Engineering (MEPE)	Wuhan, China	http://www.mepe.org/index.html
12. 28. - 12. 29.	2022 18th International Computer Engineering Conference (ICENCO)	Cairo, Egypt	http://icenco2022.eng.cu.edu.eg/
12. 28. - 12. 30.	2022 International Conference on Recent Trends in Microelectronics, Automation, Computing and Communications Systems (ICMACC)	Hyderabad, India	http://ieee-icmacc.org/
12. 28. - 12. 29.	2022 8th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)	Behshahr, Iran	http://www.icspis.ir/
12. 28. - 12. 29.	2022 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)	Chickballapur, India	https://www.ickecs.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
01.03. - 01.05.	2023 International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE)	Bhubaneswar, India	https://kiit.ac.in/event/2nd-international-conference-on-power-electronics-and-energy-icpee-2023/
01.03. - 01.05.	2023 17th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)	Seoul, Korea (South)	http://imcom.org/
01.03. - 01.08.	2023 15th International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS)	Bangalore, India	https://www.comsnets.org/
01.04. - 01.05.	2023 International Multi-disciplinary Conference in Emerging Research Trends (IMCERT)	Karachi, Pakistan	http://indus.edu.pk/imcert-2023/
01.05. - 01.07.	2023 International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)	Bengaluru, India	http://icoici.org/2023/
01.05. - 01.06.	2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)	Bhilai, India	http://icaect.com/
01.06. - 01.08.	2023 6th World Conference on Computing and Communication Technologies (WCCCT)	Chengdu, China	http://www.wccct.org/
01.06. - 01.08.	2023 7th International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences (ICMSS)	Wuhan, China	http://www.icmss.org/
01.06. - 01.08.	2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	Las Vegas, Nevada, USA	https://icce.org/2023/
01.08. - 01.11.	2023 IEEE 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)	Las Vegas, Nevada, USA	https://ccnc2023.ieee-ccnc.org/
01.08. - 01.12.	2023 36th International Conference on VLSI Design and 2023 22nd International Conference on Embedded Systems (VLSID)	Hyderabad, India	https://vlsid.org/
01.10. - 01.12.	2023 15th International Conference on Computer Research and Development (ICCRD)	Hangzhou, China	http://www.iccrd.org/index.html
01.11. - 01.14.	2023 International Conference on Information Networking (ICOIN)	Bangkok, Thailand	http://www.icoi.org/main.php
01.13. - 01.15.	2023 11th International Conference on Nano and Materials Science (ICNMS)	Singapore, Singapore	http://www.icnms.org/
01.15. - 01.18.	2023 IEEE Conference on Advances in Magnetism (AIM)	Moena, Italy	https://www.aim2023.com/
01.15. - 01.20.	2023 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)	Washington, District of Columbia, USA	https://ieee-isgt.org/
01.16. - 01.19.	2023 28th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	Tokyo, Japan	https://www.aspdac.com/aspdac2023/
01.16. - 01.18.	2023 Future of Educational Innovation-Workshop Series Data in Action: Digital Ecosystem and Emerging Tools for Education	Monterrey, Mexico	https://educationalinnovation2023.mx/
01.18. - 01.20.	2023 Third International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP)	Bangkok, Thailand	https://ica-symp-2023.ecti-thailand.org/
01.19. - 01.20.	2023 13th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)	Noida, India	https://www.amity.edu/aset/confluence2023/
01.19. - 01.20.	2023 3rd International Conference on Intelligent Communication and Computational Techniques (ICCT)	Jaipur, India	https://icct.co.in/
01.19. - 01.20.	2023 IEEE 7th Global Electromagnetic Compatibility Conference (GEMCCON)	Nusa Dua, Indonesia	http://www.gemcon2023bali.org/
01.20. - 01.21.	2023 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)	Kolkata, India	http://iccece.com/
01.20. - 01.22.	2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)	Goa, India	http://iconat.org/
01.20. - 01.21.	2023 5th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)	Navi Mumbai, India	http://www.icnte.fcrit.ac.in/
01.20. - 01.21.	2023 Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA)	Ernakulam, India	http://accthp.fisat.ac.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
01.22. - 01.25.	2023 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.22. - 01.25.	2023 100th ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.arftg.org/
01.22. - 01.25.	2023 IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.22. - 01.25.	2023 IEEE Space Hardware and Radio Conference (SHaRC)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.22. - 01.25.	2023 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNeT)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.22. - 01.25.	2023 IEEE 23rd Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF)	Las Vegas, Nevada, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.23. - 01.26.	2023 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)	Orlando, Florida, USA	https://rams.org/
01.23. - 01.25.	2023 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)	Tirunelveli, India	http://icssit.com/2023/
01.23. - 01.25.	2023 IEEE Applied Sensing Conference (APSCON)	Bengaluru, India	https://2023.ieee-apscon.org/
01.24. - 01.25.	2023 International Conference on Frontiers of Engineering and Applied Sciences (ICFEAS)	Taxila, Pakistan	https://icfeas.org/
01.26. - 01.27.	2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)	Bangkok, Thailand	http://cymaen.org/
01.27. - 01.29.	2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)	Greater Noida, India	https://www.glbitm.org/aisc-23/
01.27. - 01.28.	2023 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)	Bengaluru, India	http://iitcee-conference.org/index.html
01.27. - 01.29.	2023 International Conference on Machine Intelligence for GeoAnalytics and Remote Sensing (MIGARS)	Hyderabad, India	https://migars.org/
01.29. - 01.31.	2023 IEEE 3rd International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA)	Shenyang, China	http://www.icpeca.org/
01.30. - 02.01.	2023 18th Wireless On-Demand Network Systems and Services Conference (WONS)	Madonna di Campiglio, Italy	http://2023.wons-conference.org/

>>2023년 2월

02.01. - 02.03.	2023 Fourth International Symposium on 3D Power Electronics Integration and Manufacturing (3D-PEIM)	Miami, Florida, USA	http://www.3d-peim.org/
02.01. - 02.03.	2023 IEEE 17th International Conference on Semantic Computing (ICSC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-icsc.org/
02.02. - 02.04.	2023 9th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)	Shenzhen, China	http://www.icmre.org/
02.02. - 02.04.	2023 Third International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)	Coimbatore, India	http://icaise.in/2023/
02.03. - 02.04.	2023 International Conference on Intelligent Systems, Advanced Computing and Communication (ISACC)	Silchar, India	http://www.isacc.in/
02.07. - 02.09.	2023 IEEE 2nd International Conference on AI in Cybersecurity (ICAIC)	Houston, Texas, USA	https://icaic.gyancity.com/
02.08. - 02.10.	2022 OPJU International Technology Conference on Emerging Technologies for Sustainable Development (OTCON)	Raigarh, Chhattisgarh, India	http://www.opjuieeeetc.in/
02.08. - 02.09.	2023 8th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM)	Mazandaran, Babol, Iran	http://ictem.ir/
02.10. - 02.11.	2023 11th International Conference on Internet of Everything, Microwave Engineering, Communication and Networks (IMECON)	Jaipur, India	https://iemecon2023.uem.edu.in/?post=203
02.10. - 02.12.	2023 2nd International Conference on Mechatronics and Electrical Engineering (MEEE)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	http://www.meee.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02.10. - 02.12.	2023 9th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	http://www.icara.us/
02.10. - 02.11.	2023 International Conference on Recent Trends in Electronics and Communication (ICRTEC)	Event Format: Virtual	http://nie.ac.in/icrttec22/index.html
02.10. - 02.11.	2023 IEEE 3rd International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET)	Mysuru, India	https://www.temsmetviet.com/
02.10. - 02.12.	2023 International Conference on Power, Instrumentation, Energy and Control (PIECON)	Aligarh, India	http://www.piecon2023.org/
02.11. - 02.12.	2023 4th International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT)	Kottayam, India	http://icitiit23.iitkottayam.ac.in/
02.13. - 02.14.	2023 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)	College Station, Texas, USA	https://tpec.engr.tamu.edu/
02.13. - 02.16.	2023 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)	Jeju, Korea (South)	http://www.bigcomputing.org/
02.15. - 02.18.	2023 27th International Conference on Information Technology (IT)	Zabljak, Montenegro	http://www.it.ac.me/eng/
02.19. - 02.22.	2023 25th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)	Pyeongchang, Korea (South)	https://icact.org/
02.20. - 02.22.	2023 4th International Conference on Advancements in Computational Sciences (ICACS)	Lahore, Pakistan	http://sites.uol.edu.pk/icacs23/
02.20. - 02.23.	2023 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)	Dubai, United Arab Emirates	https://hct.ac.ae/en/events/aset-2022/
02.20. - 02.22.	2023 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)	Honolulu, Hawaii, USA	http://www.conf-icnc.org/2023/
02.20. - 02.23.	2023 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)	Bali, Indonesia	http://icaaic.org/
02.20. - 02.22.	2023 11th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)	Gangwon, Korea (South)	https://brain.korea.ac.kr/bci2023/
02.21. - 02.24.	2023 15th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)	Phuket, Thailand	http://kst.buu.ac.th/2023/
02.22. - 02.24.	2023 Fifth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)	Erode, India	http://icecct.com/
02.22. - 02.24.	2023 15th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)	Lisbon, Portugal	https://icaart.scitevents.org/
02.23. - 02.26.	2023 National Conference on Communications (NCC)	Guwahati, India	https://event.iitg.ac.in/ncc2023/
02.23. - 02.25.	2023 7th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)	Erode, India	http://icocmc.com/2023/
02.23. - 02.25.	2023 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)	Chittagong, Bangladesh	https://webs.cuet.ac.bd/ecce/
02.24. - 02.26.	2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)	Changchun, China	http://www.eebda.org/
02.24. - 02.26.	2023 9th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR)	Wuhan, China	http://eecr.org/index.html
02.24. - 02.26.	2023 IEEE 6th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)	Chongqing, China	http://www.itnec.org/
02.24. - 02.25.	2023 IEEE International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)	Raichur, India	https://iciccs.in/index.php
02.24. - 02.26.	2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA)	Nanjing, China	https://iciccs.in/index.php
02.25. - 02.27.	2023 13th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE)	Tokyo, Japan	http://www.cpeee.net/index.html
02.25. - 03.01.	2023 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA)	Montreal, Quebec, Canada	https://hpca-conf.org/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02.25. - 03.01.	2023 IEEE/ACM International Symposium on Code Generation and Optimization (CGO)	Montreal, Quebec, Canada	https://conf.researchr.org/home/cgo-2023

>>2023년 3월

03.01 - 03.03	2023 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)	Pune, India	https://escioit.org/
03.02 - 03.03	2023 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)	Champaign, Illinois, USA	https://www.peci.ece.illinois.edu/
03.02 - 03.04	2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)	Tuticorin, India	http://icears.com/2023/
03.03 - 03.05	2023 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)	Sydney, Australia	http://www.iccae.org/
03.03 - 03.04	2023 6th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)	Mathura, India	https://www.gla.ac.in/iscon2023/index.html
03.03 - 03.04	2023 19th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)	Kedah, Malaysia	https://sites.google.com/view/asprg-cspa/home
03.03 - 03.05	2023 International Conference on Robotics and Automation in Industry (ICRAI)	Peshawar, Pakistan	https://icrai2023.org/
03.03 - 03.05	2023 2nd International Conference for Innovation in Technology (INOCON)	Bangalore, India	http://inoconf.org/
03.04 - 03.11	2023 IEEE Aerospace Conference	Big Sky, Montana, USA	https://www.aeroconf.org/
03.05 - 03.09	2023 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)	San Diego, California, USA	https://www.ofcconference.org/en-us/home/
03.05 - 03.07	2023 IEEE 3rd International Symposium on Joint Communications & Sensing (JC&S)	Seefeld, Austria	https://jcns-symposium.org/
03.06 - 03.09	2023 IEEE Underwater Technology (UT)	Tokyo, Japan	http://www.ut2021.org/
03.06 - 03.07	2023 International Conference on Advances in Electronics, Control and Communication Systems (ICAECCS)	BLIDA, Algeria	https://www.univ-blida.dz/icaeccs23/
03.06 - 03.09	2023 26th Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks and Workshops (ICIN)	Paris, France	https://www.icin-conference.org/
03.08 - 03.09	2023 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)	Event Format: Virtual	http://www.ictas.org/
03.09 - 03.11	2023 SICE International Symposium on Control Systems (SICE ISCS)	Kusatsu, Japan	http://iscs2023.sice-ctrl.jp/
03.09 - 03.10	2023 Argentine Conference on Electronics (CAE)	Cordoba, Argentina	http://eamta.ar/
03.10 - 03.12	2023 7th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)	Singapore, Singapore	http://www.icgea.org/
03.11	2023 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)	Laurel, Maryland, USA	https://ewh.ieee.org/conf/stem/index.html
03.11 - 03.12	2023 IEEE IAS Global Conference on Renewable Energy and Hydrogen Technologies (GlobConHT)	Male, Maldives	http://globconht.org/
03.12 - 03.15	2023 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	http://ieee-isgt-me.org/
03.13 - 03.17	2023 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW)	Reno, Nevada, USA	https://electricalsafetyworkshop.com/
03.13 - 03.17	2023 IEEE 20th International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)	L'Aquila, Italy	https://icsa-conferences.org/2023/
03.13 - 03.16	2023 18th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)	Stockholm, Sweden	https://humanrobotinteraction.org/2023/
03.14 - 03.16	2023 International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA)	Uttarakhand, India	http://icidca.com/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03.14 - 03.16	2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications	Moscow, Russia	http://media-publisher.ru/en/2023-on-board/
03.15 - 03.17	2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)	East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina	https://infoteh.etf.ues.rs.ba/indexe.php
03.15 - 03.17	2023 10th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)	New Delhi, India	http://bvicam.ac.in/indiacom/
03.15 - 03.16	2023 International Conference on Communication Technologies (ComTech)	Rawalpindi, Pakistan	http://conferences.mcs.nust.edu.pk/comtech2023/cfp.html
03.15 - 03.16	2023 6th International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)	Lahore, Pakistan	https://icece.kics.edu.pk/2023/
03.15 - 03.17	2023 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)	Loughborough, United Kingdom	https://www.imagovenues.co.uk/icm2023/
03.15 - 03.16	2023 International Conference on IT Innovation and Knowledge Discovery (ITIKD)	Manama, Bahrain	https://itikd.ahlia.edu.bh/
03.15 - 03.17	2023 Winter Summit on Smart Computing and Networks (WSSCoN)	Chennai, India	http://www.wisscon.in/
03.15 - 03.17	2023 IEEE 15th International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS)	Mexico City, Mexico	https://www.isads2023.org/
03.16 - 03.18	2023 IEEE 12th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)	Chongqing, China	http://www.iceit.org/
03.16 - 03.18	2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)	Moscow, Russia	http://reepe.mpei.ru/IEEE/Pages/default.aspx
03.17 - 03.18	2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)	Coimbatore, India	https://icaccs.sece.ac.in/
03.17 - 03.18	2023 International Conference on Device Intelligence, Computing and Communication Technologies, (DICCT)	Dehradun, India	https://dicct.geu.ac.in/
03.17 - 03.18	2022 International Conference on Digital Management, Information Systems and Technologies (DMIST)	Shenyang, China	http://www.icdmist.com/
03.18 - 03.20	2023 3rd International conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)	VIJAYAWADA, India	https://www.aisp.in/
03.18 - 03.20	2023 11th International Conference on Information and Education Technology (ICIET)	Fujisawa, Japan	http://www.iciet.org/
03.19 - 03.23	2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)	Orlando, Florida, USA	http://www.apec-conf.org/
03.20 - 03.22	2023 6th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT)	Lisbon, Portugal	https://ciot.dnac.org/
03.20 - 03.22	2023 International Conference on Information Technology, Applied Mathematics and Statistics (ICITAMS)	Al-Qadisiya, Iraq	https://qu.edu.iq/ICITAMS/
03.20 - 03.24	2023 IEEE 20th International Conference on Software Architecture (ICSA)	L'Aquila, Italy	https://icsa-conferences.org/2023/
03.21 - 03.23	2023 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC)	Manchester, United Kingdom	https://isplc2023.ieee-isplc.org/
03.21 - 03.24	2023 Data Compression Conference (DCC)	Snowbird, Utah, USA	https://www.cs.brandeis.edu/~dcc/
03.21 - 03.24	2023 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)	Taipa, Macao	https://saner2023.must.edu.mo/
03.22 - 03.24	2023 57th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)	Baltimore, Maryland, USA	https://ciiss.jhu.edu/
03.23 - 03.26	2023 Young Professionals Virtual Control Conference (YPVCC)	Event Format: Virtual	http://ypvcc2023.ieeecss.org/
03.23 - 03.25	2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)	Bucharest, Romania	http://www.atee.pub.ro/atee2023/
03.23 - 03.25	2023 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS)	Erode, India	http://icscds.com/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03.23 - 03.26	2023 5th Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)	Chengdu, China	http://www.aeees.org/
03.23 - 03.24	2023 10th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)	Noida, India	https://www.amity.edu/spin2023/
03.24 - 03.25	2023 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)	Mysore, India	https://www.bhtc-2023.ieeebangalore.org/
03.24 - 03.25	2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)	Singapore, Singapore	http://smarttech-conference.org/2023/
03.24 - 03.25	2023 Somaiya International Conference on Technology and Information Management (SICTIM)	Mumbai, India	https://simsr.somaiya.edu/en/conference/SICTIM
03.24 - 03.26	2023 3rd International Conference on Computer, Control and Robotics (ICCCR)	Shanghai, China	http://www.icccr.org/
03.26 - 03.29	2023 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)	Glasgow, United Kingdom	https://wcnc2023.ieee-wcnc.org/
03.26 - 03.31	2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)	Florence, Italy	https://www.eucap2023.org/
03.27 - 03.31	2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon)	Sochi, Russia	https://smartindustrycon.ru/index-eng.html
03.27 - 03.30	2023 35th International Conference on Microelectronic Test Structure (ICMTS)	Tokyo, Japan	http://icmts.if.t.u-tokyo.ac.jp/icmts.if.t.u-tokyo.ac.jp_8080/index.html
03.29 - 03.31	2023 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)	Venice, Italy	http://www.esars-itec.eu/
03.29 - 03.31	2023 25th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)	Moscow, Russia	http://dspa-conf.org/pages/home

The Magazine of the IEIE

특별회원사 명단

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)디비하이텍	최창식	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)에어포인트	백승준	대전광역시 유성구 테크노2로 187, 204호(용산동, 미건테크노월드 2차)	042-484-5460	http://www.airpoint.co.kr
(주)와이솔	염상덕	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	구현모, 박종욱	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍(주)	정철동	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자(주)	조주완, 배두용	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	이웅상, 벤델레코츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤(주)	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스(주)	박정호, 이석희	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버(주)	한성숙	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	임헌문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djt.or.kr
도요일렉트론코리아(주)	원제형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
리얼텍코리아 주식회사	팅치창	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.cpm/en
비전테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
삼성전자(주)	한종희	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	02-1588-3366	https://www.samsung.com
스카이칩스	이강윤	수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 85511호	031-299-6848	http://www.skaichips.co.kr
스테코(주)	박영우	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨(주)	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmc.com
오토아이티(주)	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템(주)	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr
정보통신정책연구원	권호열	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
(주)LX세미콘	손보익	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
(주)더텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
(주)만도	정몽원, 조성현, 김광현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2997	www.mando.com
(주)빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
(주)스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
(주)시스메이트	이상만	대전시 유성구 유성대로 1184길 41	042-486-6135	http://www.sysmate.com
주식회사 뷰웍스	김후식	경기도 안양시 동안구 부림로 170번길 41-3	070-7011-6161	https://www.vieworks.com
(주)실리콘마이터스	허염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconitus.com
(주)싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 별말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
(주)싸인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
(주)솔리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 솔리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
(주)와이솔	염상덕	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
(주)코클리어닷컴에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
(주)크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://www.cressem.com
(주)텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터화관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
(주)티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
(주)티엘아이	김달수	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
(주)해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 40, 스타기업관 207호	043-715-9034	http://www.haechitech.com
중소벤처기업진흥공단	김학도	경상남도 진주시 동진로 430	055-751-9380	www.kosmes.or.kr
케이케이테크(주)	다케시게신이치, 황정성	경기도 안성시 대덕면 무능로132	031-678-1586	http://www.k-kttech.co.kr
코어인사이트(주)	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈매치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
한국알박(주)	김선길	경기도 평택시 청북읍 한산길5	031-683-2922	http://www.ulvackora.co.kr
한국인터넷진흥원	이원태	서울시 송파구 중대로 135 (가락동) IT벤처타워	02-405-5118	http://www.kisa.or.kr
한국전기연구원	명성호	경남 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)	055-280-1114	http://www.keri.re.kr
한국전자기술연구원	김영삼	경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)	031-789-7000	http://www.keti.re.kr
한국전자통신연구원	김명준	대전시 유성구 가정로 218	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한화시스템(주)	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템(주)	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스(주)	조성환	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차(주)	정의선, 하연태	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아(주)	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아(주)	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아(주)	MIYOSHI KEITA	경기도 성남시 분당구 정자일로 155, 엔16층(정자동, 분당우산타워)	031-725-4201	https://www.hitachi-hightech.com

박사학위 논문초록 게재 안내

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

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

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130

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

사무국 회지담당자앞

E-mail : biz@theieie.org

TEL : (02)553-0255(내선 5)

FAX : (02)552-6093



대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 <월간>

제49권 제11호(통권 제462호)

The Magazine of the IEIE

2022년 11월 20일 인쇄

2022년 11월 25일 발행

발행및

편집인

인쇄인

발행인

(사) 대한전자공학회

한림원(주)

사 단 법 인 대 한 전 자 공 학 회

회장 서 승 우

대표 김 흥 중

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

TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)552-6093

E-mail : ieie@theieie.org

Homepage : http://www.theieie.org

씨티은행 102-53125-258



2022년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

2022년도 회원 연회비는 2021년과 동일함을 알려드리며, 아직 2022년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서서는 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해연도에 한합니다.

◆ 2022년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.

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

2. 논문지(eBook) 제공

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

3. 회비의 납부방법

신용카드(홈페이지 전자결제) 및 계좌이체(한국씨티은행, 102-53125-258)를 이용하여 학회 연회비, 심사비 및 논문게재료가 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 : 2022년 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)

6. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 변은정 부장(회원담당)

Tel : 02-553-0255(내선 1번) / E-mail : edit@theieie.org

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



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

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

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

상세한 사항은 로그인 없이 모든 정보와 이용이 가능한 홈페이지를 참조바랍니다.



해동일본기술정보센터
HAEDONG JAPAN TECHNOLOGY INFORMATION CENTER
http://hjt看.ac.kr

08826 서울특별시 관악구 관악로 1,
서울대학교 공과대학 35동
전화 : 02-880-8279



https://www.facebook.com/snuhjt看



http://blog.naver.com/hjt看2010



카카오톡 오픈채팅@HJTIC 브리핑룸

주간브리핑의 무료 이메일 구독을 원하시면,
'hjt看@snu.ac.kr'에 '구독'으로 신청.

카카오톡으로 매일의 기사까지 받아 보시려면,
'오픈채팅@HJTIC브리핑룸' 가입 (pw:2016)