ISSN 1016-9288
제50권 11호
2023년 11월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

인공지능을 위한 컴퓨팅 기술 연구 소개

- 효율적인 인공지능을 위한 특성 선택 기술 조사 분석
- 인공지능 연산 가속을 위한NUCA의 선제적 마이그레이션 정책
- 강건한 멀티레벨 PCM 기반 심층 신경망을 위한 동적 패턴 인식 인코딩 기술
- 거대인공신경망 처리를 위한 프로세서-메모리 융합 반도체

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


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
We Do Technology
첨단기술의 중심, 더 나은 세상을 만듭니다
SK hynix

LG전자

[멀티 Vi]

24.7% 줄어드는 소비 전력!

날씨, 공간, 상황을 정확히 분석해서 최적의 에너지 효율을 찾아내는

국내 최초 AI엔진

LG WHISEN 시스템에어컨 MULTI V.i

NET 신기술 인증 | 한국표준협회 AI+ 인증

• 시스템에어컨 구입/제품문의: 1544-8777 • 서비스 문의: 1544-7777 • www.lge.co.kr/kr/business

• 국내 시스템에어컨 최초 AI+(에이아이플러스) 인증 획득, KSA 한국표준협회, 인증번호 AIM-0013, 유효기간 2021-03-17~2023-03-16 • AI+ 인증은 국내 유일의 인공지능 품질인증으로, 소프트웨어 품질 국제표준(ISO/IEC 25023 및 25051)과 품질경영시스템 국제표준(ISO 9001)을 기반으로 인공지능 기술이 적용된 제품과 서비스의 신뢰성, 안전성 등 품질을 증명 • NET(New Excellent Technology) 신기술 인증 획득, 한국산업기술진흥협회, 인증번호 제1345호, 유효기간 2021-09-29~2024-09-28 • NET 인증은 한국산업기술진흥협회가 우수한 신기술에 부여하는 인증으로, 현장학습 엔진을 장착한 AI기반 시스템에어컨 제어 기술 인증 • 쾌적구간 도달속도 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전 시 쾌적구간에 평균 28.5%(10.9~55.6%) 빠르게 도달 • 사용되는 소비전력 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전에 의한 소비전력 평균 24.7%(9~38.2%, 3시간 누적) 절감
• 시험장소: LG전자 창원 스마트 파크2 주택환경 챔버 실험실(38평(125㎡), 13.3m X 9.4m(층고 2.7m)), 와이즈 스톤(WISESTONE) 시험 진행 • 시험조건 : KS B 15042, 냉방 표준(35℃/40%), 난방표준(7℃/87%) 및 냉방 장마철(27℃/78%) 조건을 추가하여 3가지 조건에서 진행 • 시험일시 : 21.02.15~21.03.17 • 대상모델 : MULTI V 57kw AI 엔진 장착 모델

ICEIC 2024

International Conference on Electronics, Information, and Communication 2024

JAN. 28(SUN) - 31(WED) 2024 | TAIPEI, TAIWAN

CALL FOR PAPERS

The 23rd International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2024) 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 2024 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 10, 2023
- **Notification of Acceptance** : October 13, 2023
- **Submission of Camera-Ready Paper** : November 12, 2023

Organized by The Institute of Electronics and Information Engineers (IEIE)

IEIE IEEE

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

IEIE | 대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

IEEE DiscoveryPoint Communications(IDPC)

IEEE
DiscoveryPoint
for Communications

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 컨텐츠 제공	설계 문제에 대한 솔루션 제공하여 실무 엔지니어에게 최적화

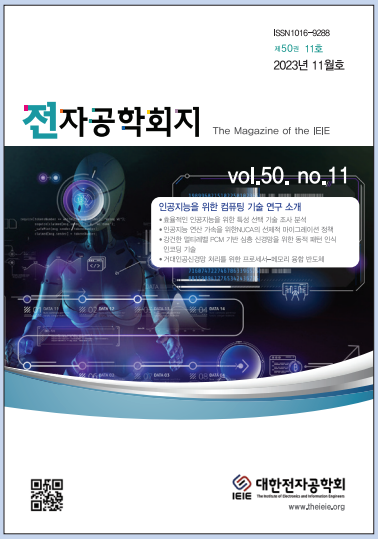
Trial가능,
문의 02-3474-5290
이희진 과장 hjlee@kitis.co.kr

IEEE | Authorized Dealer

키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.
www.kitis.co.kr / T. 02 3474 5290

CONTENTS

제50권 11호 (2023년 11월)



※ 학회지 11월호 표지 (vol 50. No 11)

학회소식

특집 : 인공지능을 위한 컴퓨팅 기술 연구 소개

회원광장

정보교차로

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

2023년도 임원 및 각 위원회 위원

회 장 이 혁 재 (서울대학교 교수)

수석부회장 이 충 용 (연세대학교 교수) – 총괄 / AI

고 문
권 오 경 (한양대학교 석좌교수)
김 기 남 (삼성전자 종합기술원 회장)
박 성 욱 (SK하이닉스㈜ 부회장)
신 희 동 (한국전자기술연구원 원장)
윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)
천 경 준 (㈜씨젠 회장)
권 호 열 (강원대학교 교수)
김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
방 승 찬 (한국전자통신연구원 원장)
안 승 권 (연암공과대학교 총장)
전 영 현 (삼성SDI㈜ 부회장)
최 창 식 (㈜DB하이텍 부회장)

감 사
백 광 현 (중앙대학교 교수) – ITC-CSCC
인 치 호 (세명대학교 교수)

부 회 장
강 문 식 (강릉원주대학교 교수) – 교육 / 표준화
노 원 우 (연세대학교 교수) – 하계 및 추계학술 총괄 / 국문논문
류 수 정 (㈜사피온코리아 대표이사) – 회원 / 여성
이 승 호 (한밭대학교 교수) – 지부
이 재 관 (한국자동차연구원 소장) – 산학연
정 영 모 (한성대학교 교수) – 홍보 총괄 / 정보화 / 학회지
김 종 옥 (고려대학교 교수) – 국제협력 / ICCE-Asia / 영문논문
노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장) – 연구소
심 동 규 (광운대학교 교수) – SPC 영문지
이 용 욱 (한화시스템 부사장) – 산학연
이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사) – 산학연
황 인 철 (강원대학교 교수) – 사업 / 대외협력

소사이어티 회장
유 명 식 (숭실대학교 교수) – 통신
최 용 수 (신한대학교 교수) – 컴퓨터
김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원) – 시스템 및 제어
김 진 상 (경희대학교 교수) – 반도체
송 병 철 (인하대학교 교수) – 인공지능신호처리
김 은 원 (대림대학교 교수) – 산업전자

협동부회장
강 민 석 (LG이노텍㈜ 부사장)
김 강 태 (삼성전자㈜ 부사장)
김 부 균 (숭실대학교 교수)
김 영 한 (UC San Diego / 가우스랩스 대표이사)
김 후 식 (㈜뷰웍스 대표이사)
손 보 익 (㈜LX세미콘 대표이사)
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
유 창 동 (한국과학기술원 교수)
이 동 규 (㈜카카오모빌리티 부사장)
이 서 규 (한국팹리스산업협회 회장)
이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)
전 선 익 (파이낸셜뉴스 회장)
정 은 승 (삼성전자㈜ 고문)
강 성 원 (한국전자통신연구원 부원장)
김 달 수 (㈜티엘아이 대표이사)
김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
남 궁 선 (㈜유니트론텍 부회장)
송 문 섭 (㈜심텍 회장)
오 윤 제 (정보통신기획평가원 PM)
이 광 엽 (서경대학교 교수)
이 병 선 (김포대학교 교수)
이 장 규 (㈜텔레칩스 대표이사)
전 병 우 (성균관대학교 교수)
정 준 (㈜쓸리드 대표이사)

상 임 이 사
강 명 곤 (한국교통대학교 교수) – 회원
구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장) – 하계학술
권 혁 인 (중앙대학교 교수) – 국제협력(ITC-CSCC)
김 수 연 (동국대학교 교수) – 홍보
김 원 종 (한국전자통신연구원 실장) – 표준화
김 중 헌 (고려대학교 교수) – 사업
김 지 훈 (이화여자대학교 교수) – 기획
김 현 (서울과학기술대학교 교수) – 총무
류 현 석 (서울대학교 교수) – 교육(산업체)
선 우 경 (서울대학교 교수) – 회원 총괄
양 준 성 (연세대학교 교수) – 학회지
유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원) – 사업 총괄
이 채 은 (인하대학교 교수) – 총무 총괄
전 세 영 (서울대학교 교수) – AI
제 민 규 (한국과학기술원 교수) – 사업
최 기 창 (서울대학교 교수) – 산학연
최 재 혁 (서울대학교 교수) – 홍보
강 석 주 (서강대학교 교수) – 재무
권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 국제협력(ICCE-Asia)
김 동 순 (세종대학교 교수) – 대외협력(정책)
김 용 신 (고려대학교 교수) – 국제협력 총괄(ICCE-Asia)
김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장) – 사업
김 재 준 (서울대학교 교수) – JSTS 영문지
김 철 우 (고려대학교 교수) – 사업
김 훈 (인천대학교 교수) – 대외협력 총괄
변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터) – 교육 총괄
손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터) – 산학연
연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장) – 산학연 총괄
이 남 윤 (고려대학교 교수) – 사업
장 익 준 (경희대학교 교수) – 하계학술
정 진 곤 (중앙대학교 교수) – 국문논문
조 성 현 (한양대학교 교수) – 정보화
최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장) – 산학연
한 재 호 (고려대학교 교수) – 추계학술

산업체이사
강 석 판 (LG전자㈜ 상무)
김 녹 원 (㈜딥엑스 대표이사)
김 태 진 (㈜더즈텍 대표이사)
배 순 민 (㈜케이티 연구소장)
우 정 호 (비전넥스트㈜ 대표이사)
윤 영 권 (삼성전자㈜ 마스터)
이 상 만 (고려대학교 교수)
이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
조 영 민 (SkyMirr CEO)
천 이 우 (㈜넥스트칩 연구소장)
고 용 남 (하나마이크론㈜ 전무)
김 동 현 (ICTK㈜ 대표이사)
김 현 수 (삼성전자㈜ 상무)
오 의 열 (LG디스플레이㈜ 연구위원)
원 제 형 (도쿄일렉트론코리아㈜ 대표이사)
이 도 훈 (국가보안기술연구소 부소장)
이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)
이 수 인 (㈜텔레칩스 상무)
조 혜 정 (삼성물산㈜ 상무)
최 성 민 (㈜해치텍 대표이사)

	한 은 혜 (에스에스앤씨㈜ 대표이사)
	홍 국 태 (㈜LX세미콘 연구위원)
이 사	고 병 철 (계명대학교 교수) – 학술(하계)
	권 기 룡 (부경대학교 교수) – 학술(하계)
	김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무) – 산학연
	김 성 우 (서울대학교 교수) – 대외협력
	김 유 철 (LG AI연구원 부문장) – AI
	김 재 욱 (한국과학기술연구원 선임연구원) – 학술(하계)
	박 성 정 (건국대학교 교수) – 국제협력
	백 종 덕 (연세대학교 교수) – AI
	심 현 정 (한국과학기술원 교수) – AI
	안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원) – AI
	원 용 욱 (명지대학교 교수) – 학술(추계)
	윤 종 윤 (㈜파두 사장) – 교육
	이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장) – 홍보
	이 창 우 (가톨릭대학교 교수) – 홍보
	임 동 구 (전북대학교 교수) – 정보화
	장 지 원 (연세대학교 교수) – 학회지
	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO) – AI
	정 해 준 (경희대학교 교수) – 국문논문
	차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수) – 정보화
	최 광 성 (한국전자통신연구원 실장) – 대외협력
	최 정 욱 (한양대학교 교수) – 학회지
	하 태 준 (광운대학교 교수) – 학술(추계)
	한 정 환 (충남대학교 교수) – 정보화
	한 태 희 (성균관대학교 교수) – 국문논문
	황 진 영 (한국항공대학교 교수) – 홍보
협 동 이 사	구 민 석 (인천대학교 교수) – 기획
	권 경 하 (한국과학기술원 교수) – 사업
	김 대 영 (순천향대학교 교수) – 호서지부
	김 사 혁 (KISDI 책임연구원) – 대외협력
	김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 학술(추계)
	김 형 진 (인하대학교 교수) – 회원
	민 경 식 (국민대학교 교수) – 회원
	박 성 욱 (강릉원주대학교 교수) – 강원지부
	배 준 호 (가천대학교 교수) – 표준화
	서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장) – 산학연
	송 준 영 (인천대학교 교수) – 홍보
	신 세 운 (UNIST 교수) – 사업
	안 진 호 (호서대학교 교수) – 학회지
	유 경 창 (삼성전자㈜ 수석연구원) – 회원
	유 호 영 (충남대학교 교수) – 대전 · 충남지부
	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원) – 사업
	이 권 형 (LG전자㈜ 책임연구원) – 대외협력
	이 왕 상 (경상국립대학교 교수) – 부산 · 경남 · 울산지부
	이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터) – 산학연
	이 지 훈 (전북대학교 교수) – 전북지부
	임 승 찬 (한경국립대학교 교수) – 국문논문
	정 민 채 (세종대학교 교수) – 국문논문
	정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장) – 학술(하계)
	정 재 용 (인천대학교 교수) – 학회지
	채 관 엽 (삼성전자㈜ 마스터) – 국제협력
	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) – SPC 영문지
	최 웅 (숙명여자대학교 교수) – 회원
	추 상 혁 (현대자동차㈜ 책임매니저) – 정보화
	함 철 희 (삼성전자㈜ 마스터)
	권 구 덕 (강원대학교 교수) – 기획
	권 태 수 (서울과학기술대학교 교수) – 정보화
	김 선 욱 (고려대학교 교수) – 교육
	김 소 영 (성균관대학교 교수) – SPC 영문지
	김 윤 (서울시립대학교 교수) – 기획/회원
	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수) – 교육
	배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 학술(추계)
	변 영 재 (UNIST 교수) – 교육
	안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장) – 대외협력
	안 호 균 (한국전자통신연구원 실장) – 사업
	윤 상 민 (국민대학교 교수) – 학술(추계)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수) – SPC 영문지
	이 영 택 (ASML 전무) – 교육
	이 형 민 (고려대학교 교수) – 대외협력
	장 성 욱 (㈜카카오모빌리티 부사장) – AI
	전 동 석 (서울대학교 교수) – 학술(하계)
	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장) – 산학연
	조 성 재 (이화여자대학교 교수) – 기획
	채 영 철 (연세대학교 교수) – 회원
	최 영 규 (인하대학교 교수) – 학술(하계)
	하 정 우 (네이버 AI연구소장) – AI
	한 동 국 (국민대학교 교수) – 사업
	한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 국제협력
	허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 사업
	황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장) – 학술(하계)
	권 건 우 (홍익대학교 교수) – 학술(하계)
	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) – 학술(추계)
	김 범 현 (한양대학교 교수) – 정보화
	김 시 준 (강원대학교 교수) – 사업
	김 정 석 (가천대학교 교수) – 국제협력
	류 성 주 (서강대학교 교수) – 학술(하계)
	박 관 서 (연세대학교 교수) – 학술(추계)
	배 준 성 (강원대학교 교수) – 정보화
	서 민 재 (가천대학교 교수) – 기획/홍보
	송 익 현 (한양대학교 교수) – 회원
	송 철 (DGIST 교수) – 학술(추계)
	심 용 (중앙대학교 교수) – 홍보
	오 윤 호 (고려대학교 교수) – 학술(추계)
	유 동 훈 (디사일로 연구소장) – 회원
	윤 명 국 (이화여자대학교 교수) – AI
	윤 희 인 (UNIST 교수) – 홍보
	이 성 학 (경북대학교 교수) – 대구 · 경북지부
	이 인 영 (조선대학교 교수) – 광주 · 전남지부
	이 정 원 (서울대학교 교수) – 회원/사업
	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원) – 사업
	장 지 수 (삼성전자㈜ PE) – 사업
	정 방 철 (충남대학교 교수) – 정보화
	정 완 영 (한국과학기술원 교수) – 홍보
	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장) – 표준화
	채 주 형 (광운대학교 교수) – 총무
	최 병 수 (부경대학교 교수) – 교육
	추 민 성 (한양대학교 교수) – 학술(하계)/홍보
	황 원 준 (아주대학교 교수) – AI

지부장 명단

강 원 지 부	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	광주 · 전남지부	최 수 일 (전남대학교 교수)
대구 · 경북지부	공 성 호 (경북대학교 교수)	대전 · 충남지부	김 철 영 (충남대학교 교수)
부산 · 경남 · 울산지부	고 진 환 (경상대학교 교수)	전 북 지 부	이 주 연 (전주비전대학교 교수)
제 주 지 부	고 석 준 (제주대학교 교수)	충 북 지 부	조 문 규 (한국교통대학교 교수)
호 서 지 부	강 윤 희 (백석대학교 교수)	일 본	백 인 천 (AIZU대학교 교수)
미 국	최 명 준 (텔레다인 박사)	러 시 아 지 부	Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위 원 장	김 도 현 (국민대학교 명예교수)		
부 위 원 장	박 항 구 (소암시스텔 회장)		
위 원	고 성 제 (고려대학교 교수)	공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	구 용 서 (단국대학교 교수)
	김 성 대 (한국과학기술원 명예교수)	김 수 중 (경북대학교 명예교수)	김 영 권 (건국대학교 명예교수)
	김 재 희 (연세대학교 명예교수)	나 정 웅 (한국과학기술원 명예교수)	문 영 식 (한양대학교 교수)
	박 규 태 (연세대학교 명예교수)	박 성 한 (한양대학교 명예교수)	박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)
	백 준 기 (중앙대학교 교수)	서 승 우 (서울대학교 교수)	서 정 욱 ((전) 과학기술부 장관)
	성 굉 모 (서울대학교 명예교수)	윤 종 용 (한국공학교육인증원 이사장)	이 문 기 (연세대학교 명예교수)
	이 상 설 (한양대학교 명예교수)	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)	이 진 구 (동국대학교 명예교수)
	이 충 웅 (서울대학교 명예교수)	이 태 원 (고려대학교 명예교수)	임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
	임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)	전 국 진 (서울대학교 명예교수)	전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)
	정 정 화 (한양대학교 명예교수)	천 경 준 (씨젠 회장)	홍 대 식 (연세대학교 교수)
	홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)		

기획위원회

위 원 장	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)		
부 위 원 장	조 성 재 (이화여자대학교 교수)		
위 원	권 구 덕 (강원대학교 교수)	구 민 석 (인천대학교 교수)	서 민 재 (가천대학교 교수)
	김 윤 (서울시립대학교 교수)		

학술연구위원회 – 하계

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)		
부 위 원 장	장 익 준 (경희대학교 교수)	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)	
위 원	고 병 철 (계명대학교 교수)	권 건 우 (홍익대학교 교수)	권 기 룡 (부경대학교 교수)
	김 윤 (서울시립대학교 교수)	김 재 욱 (KIST 그룹장)	류 성 주 (서강대학교 교수)
	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)	양 준 성 (연세대학교 교수)	이 종 호 (숭실대학교 교수)
	전 동 석 (서울대학교 교수)	정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장)	최 민 석 (경희대학교 교수)
	최 영 규 (인하대학교 교수)	최 정 욱 (한양대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)
	황 태 호 (한국전자기술연구원 본부장)		

학술연구위원회 – 추계

위 원 장	노 원 우 (연세대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	
위 원	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김 진 영 (광운대학교 교수)
	박 관 서 (연세대학교 교수)	배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	송 철 (DGIST 교수)
	오 윤 호 (고려대학교 교수)	원 용 욱 (명지대학교 교수)	윤 상 민 (국민대학교 교수)
	하 태 준 (광운대학교 교수)		

논문편집위원회

위 원 장	정 진 곤 (중앙대학교 교수)		
부 위 원 장	정 해 준 (경희대학교 교수)		
위 원	강 성 복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	강 제 원 (이화여자대학교 교수)	공 규 열 (한성대학교 교수)
	권 구 덕 (강원대학교 교수)	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김 기 연 (한국산업기술시험원 박사)
	김 명 선 (한성대학교 교수)	김 상 범 (한국폴리텍대학교 교수)	김 선 용 (건국대학교 교수)
	김 영 로 (명지전문대학교 교수)	김 영 선 (대림대학교 교수)	김 태 환 (한국항공대학교 교수)
	김 학 구 (중앙대학교 교수)	심 규 성 (한경대학교 교수)	유 재 준 (UNIST 교수)
	임 민 중 (동국대학교 교수)	임 승 찬 (한경국립대학교 교수)	정 민 채 (세종대학교 교수)
	조 성 인 (동국대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)	

국제협력위원회

위 원 장	김 용 신 (고려대학교 교수)	김 종 옥 (고려대학교 교수)	
부 위 원 장	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)	
위 원	김 정 석 (가천대학교 교수)	박 성 정 (건국대학교 교수)	채 관 엽 (삼성전자㈜ 마스터)
	최 웅 (숙명여대 교수)	한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)	

대외협력위원회

위 원 장	김 훈 (인천대학교 교수)	
부 위 원 장	김 성 우 (서울대학교 교수)	연 규 봉 (한국자동차연구원 책임연구원)

위 원	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 사 혁 (KISDI 책임연구원)	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)
	김 형 준 (한국전자통신연구원 센터장)	안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장)	이 권 형 (LG전자㈜ 책임연구원)
	이 형 민 (고려대학교 교수)	최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)	한 상 욱 (삼성전자㈜ 책임연구원)
	황 성 운 (가천대학교 교수)		

산학연협동위원회

위 원 장	연 규 봉 (한국자동차연구원 실장)		
위 원	김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무)	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)	서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장)
	손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터)	이 용 욱 (한화시스템 부사장)	이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
	이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터)	이 재 훈 (유정시스템 대표이사)	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
	최 기 창 (서울대학교 교수)	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	

회원관리위원회

위 원 장	선 우 경 (서울대학교 교수)		
부 위 원 장	강 명 곤 (한국교통대학교 교수)		
위 원	김 윤 (서울시립대학교 교수)	김 형 진 (인하대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)
	배 종 호 (국민대학교 교수)	송 익 현 (한양대학교 교수)	유 경 창 (삼성전자㈜ 수석연구원)
	유 동 훈 (디사일로 연구소장)	이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)	이 정 원 (서울대학교 교수)
	채 영 철 (연세대학교 교수)	최 웅 (숙명여자대학교 교수)	

회지편집위원회

위 원 장	양 준 성 (연세대학교 교수)		
위 원	박 관 서 (연세대학교 교수)	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	안 진 호 (호서대학교 교수)
	윤 석 현 (단국대학교 교수)	장 지 원 (연세대학교 교수)	정 재 용 (인천대학교 교수)
	최 정 욱 (한양대학교 교수)	한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)	허 준 (고려대학교 교수)

사업위원회

위 원 장(총괄)	유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원)		
위 원 장	김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)	김 중 헌 (고려대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)
	선 우 경 (서울대학교 교수)	이 남 윤 (고려대학교 교수)	제 민 규 (한국과학기술원 교수)
위 원	권 경 하 (한국과학기술원 교수)	김 시 준 (강원대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)
	신 세 운 (UNIST 교수)	안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이 정 원 (서울대학교 교수)	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)	장 지 수 (삼성전자㈜ PE)
	한 동 국 (국민대학교 교수)	허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)	

교육연구위원회

위 원 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)		
부 위 원 장	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)		
위 원	김 선 욱 (고려대학교 교수)	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 영 우 (TEL 부사장)	변 영 재 (UNIST 교수)	윤 종 윤 (㈜파두 사장)
	이 영 택 (ASML 전무)	이 후 진 (한성대학교 교수)	최 병 수 (한국전자통신연구원 실장)

홍보위원회

위 원 장	정 영 모 (한성대학교 교수)		
부 위 원 장	김 수 연 (동국대학교 교수)	최 재 혁 (서울대학교 교수)	
위 원	서 민 재 (가천대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)	심 용 (중앙대학교 교수)
	윤 희 인 (UNIST 교수)	이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장)	이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
	정 완 영 (한국과학기술원 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)	황 진 영 (한국항공대학교 교수)

표준화위원회

위 원 장	김 원 종 (한국전자통신연구원 실장)		
부 위 원 장	연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장)		
위 원	권 기 원 (성균관대학교 교수)	김 성 동 (서울과학기술대학교 교수)	박 재 영 (광운대학교 교수)
	배 준 호 (가천대학교 교수)	이 상 근 (성균관대학교 교수)	이 종 묵 (SOL 대표)
	좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수)	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장)	한 태 수 (한국전자기술연구원 연구위원)

정보화위원회

위 원 장	조 성 현 (한양대학교 교수)		
위 원	권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)	김 범 현 (한양대학교 교수)	김 중 헌 (고려대학교 교수)
	배 준 성 (강원대학교 교수)	임 동 구 (전북대학교 교수)	정 방 철 (충남대학교 교수)
	차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)	추 상 혁 (현대자동차㈜ 책임매니저)	한 정 환 (충남대학교 교수)

AI위원회

위 원 장	이 충 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 유 철 (LG AI연구원 부문장)	백 종 덕 (연세대학교 교수)
	심 현 정 (한국과학기술원 교수)	안 상 철 (KIST 책임연구원)	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO)	한 재 호 (고려대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)

지부담당위원회

위 원 장	이 승 호 (한밭대학교 교수)		
위 원	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	강 윤 희 (백석대학교 교수)	고 석 준 (제주대학교 교수)
	고 진 환 (경상대학교 교수)	공 성 호 (경북대학교 교수)	김 철 영 (충남대학교 교수)
	이 주 연 (전주비전대학교 교수)	최 수 일 (전남대학교 교수)	조 문 규 (한국교통대학교 교수)

선거관리위원회

위 원 장	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)
	이 채 은 (인하대학교 교수)	장 익 준 (경희대학교 교수)	정 진 곤 (중앙대학교 교수)

포상위원회

위 원 장	최 천 원 (단국대학교 교수)		
위 원	김 종 옥 (고려대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	노 원 우 (연세대학교 교수)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	황 인 철 (강원대학교 교수)	
위원 및 간사겸임	이 채 은 (인하대학교 교수)		

재정위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	박 성 한 (명예회장)	박 영 기 (㈜싸인텔레콤 대표이사)
	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아㈜ 대표이사)	유 창 동 (한국과학기술원 교수)	이 윤 종 ((전) ㈜DB하이텍 부사장)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)	조 중 휘 (인천대학교 교수)

인사위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	강 석 주 (서강대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)
	이 충 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	

JSTS 편집위원회

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

SPC위원회

위 원 장	심 동 규 (광운대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 선 욱 (고려대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)
	김 영 민 (홍익대학교 교수)	김 원 준 (건국대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
	김 종 옥 (고려대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	서 용 호 (광운대학교 교수)	송 병 철 (인하대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
	정 승 원 (동국대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)	조 민 호 (고려대학교 교수)
	진 훈 (경기대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)
	황 인 철 (강원대학교 교수)		

통신소사이어티

회장	유명식 (숭실대학교 교수)		
부회장	김선용 (건국대학교 교수)	김재현 (아주대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
	김 훈 (인천대학교 교수)	오정근 (㈜ATNS 대표이사)	유명식 (숭실대학교 교수)
	윤석현 (단국대학교 교수)	이정우 (중앙대학교 교수)	최천원 (단국대학교 교수)
	허 준 (고려대학교 교수)		
감사	이재진 (숭실대학교 교수)	이흥노 (광주과학기술원 교수)	
협동부회장	김병남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김연은 (㈜브로던 대표이사)	김영한 (숭실대학교 교수)
	김용석 (㈜답스 대표이사)	김인경 (LG전자㈜ 상무)	류승문 ((사)개인공간서비스협회 수석부의장)
	박용석 (㈜UCT 대표이사)	방승찬 (한국전자통신연구원 부장)	연철흠 (LG텔레콤 상무)
	이승호 (㈜하이게인 부사장)	이재훈 (유정시스템㈜ 대표이사)	정진섭 (이노와이어리스 부사장)
	정현규 (한국전자통신연구원 부장)		
이사	김광순 (연세대학교 교수)	김성훈 (한국전자통신연구원 박사)	김정호 (이화여자대학교 교수)
	노윤섭 (한국전자통신연구원 박사)	방성일 (단국대학교 교수)	서철헌 (숭실대학교 교수)
	성원진 (서강대학교 교수)	신오순 (숭실대학교 교수)	신요안 (숭실대학교 교수)
	윤종호 (한국항공대학교 교수)	윤지훈 (서울과학기술대학교 교수)	이재훈 (동국대학교 교수)
	이종호 (숭실대학교 교수)	이호경 (홍익대학교 교수)	임종태 (홍익대학교 교수)
	장병수 (이노벨류네트웍스 부사장)	조성현 (한양대학교 교수)	조인호 (에이스테크놀로지 박사)
	최진식 (한양대학교 교수)	허서원 (홍익대학교 교수)	
연구회위원장	최지웅 (DGIST 교수) – 통신		윤상민 (국민대학교 교수) – 지능형네트워크
	조춘식 (한국항공대학교 교수) – 마이크로파 및 전파전파		이철기 (아주대학교 교수) – ITS
	김강욱 (경북대학교 교수) – 군사전자		허재두 (한국전자통신연구원 본부장) – 무선 PAN/BAN
간사	김중헌 (고려대학교 교수)		

반도체소사이어티

회장	김진상 (경희대학교 교수)		
자문위원	공준진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	권오경 (한양대학교 석좌교수)	김영환 (포항공과대학교 교수)
	김재석 (연세대학교 교수)	김희석 (청주대학교 교수)	박홍준 (포항공과대학교 교수)
	선우명훈 (아주대학교 교수)	손보익 (㈜LX세미콘 대표이사)	신윤승 (반소 전임회장)
	신현철 (한양대학교 교수)	우남성 (반소 전임회장)	이승훈 (서강대학교 교수)
	임신일 (서경대학교 교수)	임형규 (반소 전임회장)	장성진 (삼성전자㈜ 자문위원)
	전영현 (삼성SDI㈜ 부회장)	정연모 (경희대학교 교수)	정항근 (전북대학교 교수)
	정해수 (Synopsys 사장)	조경순 (한국외국어대학교 교수)	조상복 (울산대학교 교수)
	조중휘 (인천대학교 교수)	최기영 (서울대학교 교수)	최승종 (웰랑 대표이사)
	허 염 (실리콘마이터스 대표이사)		
감사	이강윤 (성균관대학교 교수)	이광엽 (서경대학교 교수)	
부회장	김동규 (한양대학교 교수)	안기현 (한국반도체산업협회 전무)	이한호 (인하대학교 교수)
	이희덕 (충남대학교 교수)	장성진 (삼성전자㈜ 자문위원)	최중호 (서울시립대학교 교수)
총무이사	고형호 (충남대학교 교수)	김지훈 (이화여자대학교 교수)	류현석 (서울대학교 교수)
	박종선 (고려대학교 교수)	윤찬호 (삼성전자 마스터)	황상준 (삼성전자㈜ 부사장)
편집이사	노정진 (한양대학교 교수)	유창식 (삼성전자 부사장)	조성재 (가천대학교 교수)
	한태희 (성균관대학교 교수)		
학술이사	강진구 (인하대학교 교수)	김철우 (고려대학교 교수)	범진욱 (서강대학교 교수)
	변영재 (UNIST 교수)	송민규 (동국대학교 교수)	이병훈 (포항공과대학교 교수)
	이승호 (한밭대학교 교수)	이혁재 (서울대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)
	인치호 (세명대학교 교수)	정진균 (전북대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)
	최우영 (연세대학교 교수)	최창환 (한양대학교 교수)	
사업이사	강운병 (삼성전자㈜ 마스터)	공배선 (성균관대학교 교수)	공정택 (성균관대학교 교수)
	김동순 (세종대학교 교수)	김소영 (성균관대학교 교수)	김시호 (연세대학교 교수)
	김용석 (성균관대학교 교수)	김원종 (한국전자통신연구원 실장)	김종선 (홍익대학교 교수)
	백광현 (중앙대학교 교수)	변대석 (삼성전자㈜ 마스터)	손교민 (삼성전자㈜ 마스터)
	송용호 (삼성전자㈜ 부사장)	엄낙웅 (한국전자통신연구원 연구위원)	오정우 (연세대학교 교수)
	이강윤 (성균관대학교 교수)	조태제 (삼성전자㈜ 고문)	최규명 (서울대학교 교수)
	최병호 (한국전자기술연구원 본부장)	최윤경 (고려대학교 교수)	최준림 (경북대학교 교수)
재무이사	권기원 (성균관대학교 교수)	이성수 (숭실대학교 교수)	
산학이사	김경수 (넥스트칩 대표이사)	김동현 (ICTK 사장)	김보은 (라온텍 사장)
	김준석 (ADT 사장)	나준호 (㈜LX세미콘 전무)	손재철 (어보브반도체 부사장)
	송태훈 (휴인스 사장)	신용석 (케이던스코리아 사장)	이도영 (옵토레인 사장)
	이윤종 (동부하이텍 부사장)	이장규 (텔레칩스 대표이사)	
회원이사	노원우 (연세대학교 교수)	문 용 (숭실대학교 교수)	
연구회위원장	최우영 (서울대학교 교수) – 반도체소자및재료		김상인 (아주대학교 교수) – 광파및양자전자공학
	김종선 (홍익대학교 교수) – SoC설계		김영진 (한국항공대학교 교수) – RF집적회로
	정원영 (강운공업㈜ 본부장) – PCB&Package		김익균 (한국전자통신연구원 본부장) – 정보보안시스템
	장익준 (경희대학교 교수) – 내방사선 반도체 설계 및 소자		김한구 (삼성전자공과대학교 교수) – ESD/EOS & Latchup
	노원우 (연세대학교 교수) – 인 메모리 컴퓨팅		
협동위원	강명곤 (한국교통대학교 교수)	강석형 (포항공과대학교 교수)	권구덕 (강원대학교 교수)
	권영수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김수연 (동국대학교 교수)	김영민 (홍익대학교 교수)
	김재욱 (KIST 그룹장)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	류성주 (서강대학교 교수)
	박성정 (건국대학교 교수)	송준영 (인천대학교 교수)	양준성 (연세대학교 교수)
	오윤호 (성균관대학교 교수)	윤명국 (이화여자대학교 교수)	이영주 (포항공과대학교 교수)
	이우주 (중앙대학교 교수)	이윤명 (성균관대학교 교수)	이형민 (고려대학교 교수)
	전동석 (서울대학교 교수)	전성훈 (삼성전자㈜ 상무)	정무경 (㈜사피온코리아 CTO)
	정윤호 (한국항공대학교 교수)	제민규 (한국과학기술원 교수)	채형일 (건국대학교 교수)
	최재혁 (서울대학교 교수)	최재혁 (성균관대학교 교수)	추민성 (한양대학교 교수)
	한정환 (충남대학교 교수)	황태호 (한국전자기술연구원 센터장)	김태환 (한국항공대학교 교수)

컴퓨터소사이어티

회장	최 용 수 (신한대학교 교수)		
명예회장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	김 승 천 (한성대학교 교수)	김 형 중 (고려대학교 교수)
	박 인 정 (단국대학교 명예교수)	박 준 명 (한국교통대학교 교수)	신 인 철 (단국대학교 명예교수)
	안 병 구 (홍익대학교 교수)	안 현 식 (동명대학교 교수)	이 규 대 (공주대학교 교수)
	정 용 규 (을지대학교 교수)	허 영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)	홍 유 식 (상지대학교 교수)
	황 성 운 (가천대학교 교수)		
자문위원	권 호 열 (강원대학교 교수)	남 상 엽 (국제대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
감사	변 영 재 (UNIST 교수)	박 수 현 (국민대학교 교수)	
부회장	김 도 현 (제주대학교 교수)	심 정 연 (강남대학교 교수)	윤 은 준 (경일대학교 교수)
	조 민 호 (고려대학교 교수)		
협동부회장	강 상 욱 (상명대학교 교수)	김 병 서 (홍익대학교 교수)	김 영 학 (산업기술평가관리원 본부장)
	박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)	우 운 택 (한국과학기술원 교수)	유 성 철 (LG히다찌 본부장)
	이 기 영 (인천대학교 교수)	이 후 진 (한성대학교 교수)	정 은 성 (홍익대학교 교수)
	황 인 정 (명지병원 책임연구원)		
총무이사	김 진 홍 (배재대학교 교수)		
재무이사	박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)		
홍보이사	이 덕 기 (연암공과대학교 교수)		
편집이사	강 병 권 (순천향대학교 교수)	기 장 근 (공주대학교 교수)	김 선 욱 (고려대학교 교수)
	김 정 욱 (경희대학교 교수)	김 천 식 (세종대학교 교수)	김 한 울 (서울과학기술대학교 교수)
	노 소 영 (월송출판 대표이사)	심 규 성 (한경대학교 교수)	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
	이 문 구 (김포대학교 교수)	이 민 호 (경북대학교 교수)	이 세 호 (전북대학교 교수)
	이 주 형 (가천대학교 교수)	이 찬 수 (영남대학교 교수)	정 혜 명 (김포대학교 교수)
	한 규 필 (금오공과대학교 교수)		
학술이사	고 한 얼 (고려대학교 교수)	김 대 홍 (을지대학교 교수)	김 명 선 (한성대학교 교수)
	김 종 윤 (경동대학교 교수)	김 홍 균 (다스파워 이사)	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	서 민 석 (고려대학교 교수)	오 희 석 (한성대학교 교수)	이 정 선 (을지대학교 교수)
	이 충 규 (조선대학교 교수)	임 경 원 (대림대학교 교수)	임 재 균 (명지병원 소장)
	한 상 민 (순천향대학교 교수)	한 영 선 (부경대학교 교수)	한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)
	황 석 중 (SK Telecom 박사)	황 재 정 (군산대학교 교수)	
사업이사	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	차 시 호 (청운대학교 교수)	황 진 영 (한국항공대학교 교수)
산학이사	김 대 휘 (㈜한국정보통신 대표이사)	김 은 영 (투와이시스템즈 이사)	김 효 선 (연세세브란스병원 연구원)
	서 봉 상 (㈜올포랜드 이사)	송 치 봉 (웨이버스 이사)	신 동 희 (대보정보통신 부장)
	오 승 훈 (주얼린 대표이사)	이 재 홍 (유비벨록스모바일 대표이사)	이 학 준 (이노지에스코리아 연구소장)
	조 병 순 (CNC instrument 사장)	조 병 영 (㈜태진인포텍 전무)	진 훈 (경기대학교 교수)

연구회위원장	심 정 연 (강남대학교 교수) – 멀티미디어	진 훈 (경기대학교 교수) – 휴먼ICT
	윤 은 준 (경일대학교 교수) – 융합컴퓨팅	이 민 호 (경북대학교 교수) – 인공지능/신경망/퍼지
	김 도 현 (제주대학교 교수) – M2M/IoT	우 운 택 (한국과학기술원 교수) – 증강휴먼
	황 성 운 (가천대학교 교수) – 인공지능 및 보안	김 명 선 (한성대학교 교수) – AI응용
	정 은 성 (홍익대학교 교수) – 블록체인	

인공지능 신호처리소사이어티

회장	송 병 철 (인하대학교 교수)		
자문위원	김 정 태 (이화여자대학교 교수)	김 종 옥 (고려대학교 교수)	김 창 익 (한국과학기술원 교수)
	김 홍 국 (광주과학기술원 교수)	박 종 일 (한양대학교 교수)	심 동 규 (광운대학교 교수)
	이 영 렬 (세종대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)
	홍 민 철 (숭실대학교 교수)		
부회장	고 병 철 (계명대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	정 승 원 (고려대학교 교수)
협동부회장	강 경 진 (LG전자 연구위원)	권 기 룡 (부경대학교 교수)	김 남 수 (서울대학교 교수)
	김 진 웅 (한국전자통신연구원 그룹장)	김 창 수 (고려대학교 교수)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	예 종 철 (한국과학기술원 교수)	윤 재 웅 (LG전자 연구위원)	이 병 욱 (이화여자대학교 교수)
	이 찬 수 (영남대학교 교수)	지 인 호 (홍익대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 센터장)	하 정 우 (네이버 AI연구소장)	한 재 준 (삼성전자㈜ 마스터)
이사	이 채 은 (인하대학교 교수)	강 제 원 (이화여자대학교 교수)	고 영 준 (충남대학교 교수)
	고 종 환 (성균관대학교 교수)	고 현 석 (한양대학교 교수)	곽 노 준 (서울대학교 교수)
	곽 수 영 (한밭대학교 교수)	곽 수 하 (포스텍 교수)	구 본 학 (LG전자 연구원)
	김 승 룡 (고려대학교 교수)	김 준 모 (한국과학기술원 교수)	김 진 규 (고려대학교 교수)
	김 태 현 (한양대학교 교수)	김 학 구 (중앙대학교 교수)	김 한 울 (서울과학기술대학교 교수)
	김 휘 용 (경희대학교 교수)	박 상 현 (DGIST 교수)	박 영 경 (이화여자대학교 교수)
	박 인 규 (인하대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)	백 종 덕 (연세대학교 교수)
	신 종 원 (광주과학기술원 교수)	심 재 영 (UNIST 교수)	심 현 정 (연세대학교 교수)
	오 병 태 (한국항공대학교 교수)	우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)	우 운 택 (한국과학기술원 교수)
	유 윤 규 (두산인프라코어 연구원)	유 재 준 (UNIST 교수)	유 종 빈 (아주대학교 교수)
	유 현 우 (UNIST 교수)	윤 정 인 (한화디펜스 연구원)	이 금 하 (KT 연구원)
	이 덕 우 (계명대학교 교수)	이 범 식 (조선대학교 교수)	이 상 철 (인하대학교 교수)
	이 윤 구 (광운대학교 교수)	이 철 (동국대학교 교수)	임 성 훈 (DGIST 교수)
	장 준 혁 (한양대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
	정 영 주 (숙명여자대학교 교수)	정 희 철 (경북대학교 교수)	조 동 현 (충남대학교 교수)
	조 성 인 (동국대학교 교수)	조 성 현 (포스텍 교수)	차 영 수 (고려대학교 교수)
	최 동 걸 (한밭대학교 교수)	최 성 준 (고려대학교 교수)	최 욱 (인천대학교 교수)
	최 종 원 (중앙대학교 교수)	최 종 현 (연세대학교 교수)	최 해 철 (한밭대학교 교수)
	한 보 형 (서울대학교 교수)	한 재 호 (고려대학교 교수)	함 범 섭 (연세대학교 교수)
	홍 성 은 (인하대학교 교수)	황 효 석 (경희대학교 교수)	
협동이사	권 준 석 (중앙대학교 교수)	강 현 수 (충북대학교 교수)	곽 노 준 (서울대학교 교수)
	곽 진 태 (고려대학교 교수)	구 형 일 (아주대학교 교수)	권 구 락 (조선대학교 교수)
	김 광 주 (한국전자통신연구원 연구원)	김 기 백 (숭실대학교 교수)	김 동 현 (연세대학교 교수)
	김 상 효 (성균관대학교 교수)	김 선 주 (연세대학교 교수)	김 용 환 (한국전자기술연구원 수석연구원)
	김 원 하 (경희대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)	김 정 진 (계명대학교 교수)
	김 종 민 (강원대학교 교수)	김 중 욱 (한국항공우주연구원 연구원)	김 진 우 (경성대학교 교수)
	김 해 광 (세종대학교 교수)	남 승 우 (한국전자통신연구원 연구원)	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)
	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)	박 상 윤 (명지대학교 교수)	박 성 홍 (한국과학기술원 교수)
	박 현 진 (성균관대학교 교수)	박 호 종 (광운대학교 교수)	배 성 호 (경희대학교 교수)
	서 영 호 (광운대학교 교수)	서 정 일 (한국전자통신연구원 박사)	서 진 근 (연세대학교 교수)

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

회 장	김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원)		
부 회 장	이 덕 진 (전북대학교 교수)	주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	
감 사	김 영 철 (군산대학교 교수)	정 길 도 (전북대학교 교수)	
편집/학술이사	권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	강 성 복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	김 기 연 (한국산업기술시험원 선임연구원)
홍 보 이 사	최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)		
산 학 연 이 사	김 광 식 (㈜소올아이티 전무)	문 태 주 (㈜부일하우징 대표이사)	신 대 현 (㈜대연씨앤아이 대표이사)
	유 병 길 (현대선기㈜ 대표이사)		
회 원 이 사	권 오 민 (충북대학교 교수)	김 수 찬 (한경대학교 교수)	김 종 만 (전남도립대학교 교수)
	김 지 홍 (전주비전대학교 교수)	김 호 철 (을지대학교 교수)	남 기 창 (동국대학교 교수)
	류 지 형 (한국전자통신연구원 박사)	문 정 호 (강릉원주대학교 교수)	박 명 진 (경희대학교 교수)
	박 재 병 (전북대학교 교수)	변 영 재 (UNIST 교수)	서 영 석 (영남대학교 교수)
	송 철 규 (전북대학교 교수)	여 희 주 (대진대학교 교수)	유 재 현 (한경대학교 교수)
	이 상 준 (선문대학교 교수)	이 수 열 (경희대학교 교수)	이 용 귀 (한국전자통신연구원 선임연구원)
	이 태 희 (전북대학교 교수)	이 학 성 (세종대학교 교수)	정 재 훈 (동국대학교 교수)
	최 수 범 (KISTI 연구원)	최 우 영 (전북대학교 교수)	한 아 (한국산업기술시험원 선임연구원)
자 문 위 원	김 덕 원 (연세대학교 교수)	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	박 종 국 (경희대학교 교수)
	서 일 홍 (한양대학교 교수)	오 상 록 (KIST 분원장)	오 승 록 (단국대학교 교수)
	오 창 현 (고려대학교 교수)	유 정 봉 (공주대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 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 성 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 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원) – 스마트팩토리	정 범 진 (서울과학기술대학교 교수) – 스마트미터링	

산업전자소사이어티

회 장	김 은 원 (대림대학교 교수)		
명 예 회 장	강 창 수 (유한대학교 교수)	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	남 상 엽 (국제대학교 교수)
	원 영 진 (부천대학교 교수)	윤 기 방 (인천대학교 교수)	이 병 선 (김포대학교 교수)
	이 상 회 (동서울대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	
자 문 위 원	김 대 휘 (한국정보기술 대표이사)	김 용 민 (충청대학교 교수)	이 상 준 (수원과학대학교 교수)
	조 규 남 (로봇신문사 대표이사)	최 영 일 (조선이공대학교 교수)	한 성 준 (아이티센 고문)
수 석 부 회 장	고 정 환 (인하공업전문대학 교수)		
상 임 이 사	김 남 섭 (서일대학교 교수)	김 상 범 (한국폴리텍대학 교수)	김 영 로 (명지전문대학교 교수)
	김 영 선 (대림대학교 교수)	김 현 (부천대학교 교수)	서 병 석 (상지대학교 교수)
	서 춘 원 (K-My지능정보기술 대표이사)	엄 우 용 (인하공업전문대학 교수)	원 우 연 (한국폴리텍대학교 교수)
	윤 중 현 (조선이공대학교 교수)	이 시 현 (동서울대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
협동상임이사	강 현 석 (로보웰코리아 대표이사)	권 오 병 (㈜넷케이티아이 전무이사)	김 세 종 (㈜SJ정보통신 이사)
	김 윤 철 (㈜트라콤 상무이사)	김 정 석 (㈜오디에이테크놀로지 대표이사)	박 현 영 (㈜보고텍 대표이사)
	서 봉 상 (㈜올포랜드 이사)	서 승 현 (㈜글로벌텔레콤 대표이사)	성 재 용 (㈜오픈링크시스템 대표이사)
	송 관 식 (㈜아이티웨이 상무이사)	송 광 헌 (복두출판사 대표이사)	송 치 봉 (웨이버스 대표이사)
	유 성 철 (㈜클로센 상무이사)	이 영 준 (㈜투비콤 대표이사)	장 대 현 (㈜LGCNS 상무이사)
	전 한 수 (㈜세림TSG 전무이사)	조 병 영 (㈜태진인포텍 대표이사)	조 한 일 (㈜하이제이컨설팅 대표이사)
	최 석 우 (㈜한국정보기술 상무이사)	Gemma 김 (엠티데이타 이사)	
이 사	강 희 훈 (여주대학교 교수)	구 자 일 (인하공업전문대학 교수)	권 오 상 (경기과학기술대학교 교수)
	권 윤 중 (세명대학교 교수)	김 대 순 (전주비전대학교 교수)	김 덕 수 (동양미래대학교 교수)
	김 백 기 (강릉원주대학교 교수)	김 종 오 (동양미래대학교 교수)	김 태 원 (상지대학교 교수)
	김 필 중 (조선이공대학교 교수)	성 홍 석 (부천대학교 교수)	안 태 원 (동양미래대학교 교수)
	우 찬 일 (서일대학교 교수)	이 문 구 (김포대학교 교수)	이 성 재 (대림대학교 교수)
	이 용 구 (한림성심대학교 교수)	이 주 연 (전주비전대학교 교수)	장 기 동 (동양미래대학교 교수)
	정 성 순 (동양미래대학교 교수)		
협 동 이 사	변 용 필 (㈜넷케이티아이 전무이사)	고 강 일 (이지테크 대표이사)	곽 정 희 (㈜한국정보기술 부장)
	김 응 연 (㈜인터그래텍 대표이사)	김 철 룡 (㈜클로센 책임연구원)	신 동 희 (㈜대보정보통신 부장)
	신 우 현 (시티랩스 이사)	오 재 곤 (㈜한국정보기술 상무이사)	이 경 원 (㈜동해종합기술공사 상무이사)
	이 병 건 (㈜오픈링크시스템 이사)	이 성 대 (시티랩스 이사)	이 승 민 (㈜튜시스템 대표이사)
	이 승 태 (㈜하나텍시스템 이사)	이 용 우 (㈜쌍용정보통신 상무이사)	이 지 학 (㈜송암시스콤 대표이사)
	임 준 섭 (㈜대신정보통신 차장)	장 기 웅 (㈜나날에스엠아이 부장)	장 철 (㈜우송정보기술 대표이사)
	정 민 우 (㈜대보정보통신 상무이사)	한 찬 석 (㈜동해종합기술공사 부사장)	
감 사	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	이 태 동 (국제대학교 교수)	

제24대 평의원 명단

강 명 곤 (한국교통대학교 교수)
강 석 주 (서강대학교 교수)
강 성 원 (한국전자통신연구원 소장)
고 병 철 (계명대학교 교수)
고 정 환 (인하공업전문대학 교수)
공 배 선 (성균관대학교 교수)
공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)
구 용 서 (단국대학교 교수)
권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)
권 종 기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
권 혁 인 (중앙대학교 교수)
김 광 순 (연세대학교 교수)
김 도 현 (국민대학교 명예교수)
김 동 순 (세종대학교 교수)
김 명 선 (한성대학교 교수)
김 병 서 (홍익대학교 교수)
김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
김 성 대 (한국과학기술원 명예교수)
김 소 영 (성균관대학교 교수)
김 수 찬 (한경대학교 교수)
김 승 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 영 로 (명지전문대학 교수)
김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
김 영 철 (군산대학교 교수)
김 용 신 (고려대학교 교수)
김 유 철 (LG AI연구원 부문장)
김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)
김 재 희 (연세대학교 명예교수)
김 정 호 (이화여자대학교 교수)
김 주 성 (한밭대학교 교수)
김 지 훈 (이화여자대학교 교수)
김 진 태 (건국대학교 교수)
김 철 영 (충남대학교 교수)
김 태 진 (더즈텍 대표이사)
김 현 (부천대학교 교수)
김 형 진 (인하대학교 교수)
김 훈 (인천대학교 교수)
남 기 창 (동국대학교 교수)
노 원 우 (연세대학교 교수)
동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)
문 영 식 (한양대학교 교수)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
박 부 견 (포항공과대학교 교수)
박 성 정 (건국대학교 교수)
박 영 기 (싸인텔레콤 대표이사)
박 종 선 (고려대학교 교수)
박 항 구 (소암시스템 회장)
배 현 철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
백 종 덕 (연세대학교 교수)
변 대 석 (삼성전자 마스터)
서 승 우 (서울대학교 교수)
선 우 경 (서울대학교 교수)
성 원 진 (서강대학교 교수)
송 문 섭 (심텍 회장)
송 상 헌 (중앙대학교 교수)
송 철 (DGIST 교수)
신 요 안 (숭실대학교 교수)
심 용 (중앙대학교 교수)
안 승 권 (연암공과대학교 총장)
양 준 성 (연세대학교 교수)
연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장/수석연구원)
오 윤 호 (고려대학교 교수)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)
원 제 형 (도쿄일렉트론코리아 대표이사)
유 정 봉 (공주대학교 교수)

강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
강 석 판 (LG전자 상무)
강 윤 희 (백석대학교 교수)
고 석 준 (제주대학교 교수)
고 진 환 (경상대학교 교수)
공 성 호 (경북대학교 교수)
구 민 석 (인천대학교 교수)
권 구 덕 (강원대학교 교수)
권 오 경 (한양대학교 석좌교수)
권 종 원 (한국산업기술시험원 책임연구원)
권 호 열 (강원대학교 교수)
김 규 식 (서울시립대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
김 동 식 (인하공업전문대학 교수)
김 명 준 (한국전자통신연구원 전, 원장)
김 봉 태 (한국전자통신연구원 소장)
김 선 용 (건국대학교 교수)
김 성 우 (서울대학교 교수)
김 수 연 (동국대학교 교수)
김 수 환 (서울대학교 교수)
김 시 호 (연세대학교 교수)
김 영 민 (홍익대학교 교수)
김 영 진 (한국항공대학교 교수)
김 영 한 (UC San Diego/가우스랩스 교수/대표이사)
김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김 윤 (서울시립대학교 교수)
김 재 준 (서울대학교 교수)
김 정 범 (강원대학교 교수)
김 종 선 (홍익대학교 교수)
김 준 모 (한국과학기술원 교수)
김 진 상 (경희대학교 교수)
김 창 수 (고려대학교 교수)
김 철 우 (고려대학교 교수)
김 한 구 (삼성전자공과대학교 교수)
김 현 수 (삼성전자 상무)
김 형 탁 (홍익대학교 교수)
나 정 웅 (한국과학기술원 명예교수)
남 상 욱 (서울대학교 교수)
노 정 진 (한양대학교 교수)
류 수 정 (사피온코리아 대표이사)
문 용 (숭실대학교 교수)
박 관 서 (연세대학교 교수)
박 성 욱 (SK하이닉스 부회장)
박 성 한 (한양대학교 명예교수)
박 영 훈 (숙명여자대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)
배 준 성 (강원대학교 교수)
백 광 현 (중앙대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
변 영 재 (울산과학기술원 교수)
서 정 욱 ((전) 과학기술부 장관)
선 우 명 (아주대학교 교수)
손 교 민 (삼성전자 마스터)
송 민 규 (동국대학교 교수)
송 익 현 (한양대학교 교수)
신 세 운 (UNIST 교수)
신 현 철 (광운대학교 교수)
심 정 연 (강남대학교 교수)
안 현 식 (동명대학교 교수)
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
예 종 철 (한국과학기술원 교수)
오 의 열 (LG디스플레이 연구위원)
우 운 택 (한국과학기술원 교수)
유 동 훈 (디사일로 연구소장)
유 찬 세 (한국전자기술연구원 수석연구원)

강 민 석 (LG이노텍 부사장(CTO))
강 석 형 (포항공과대학교 교수)
강 진 구 (인하대학교 교수)
고 성 제 (고려대학교 교수)
고 형 호 (충남대학교 교수)
공 정 택 (성균관대학교 교수)
구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장)
권 기 룡 (부경대학교 교수)
권 오 규 (인하대학교 교수)
권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)
김 경 기 (대구대학교 교수)
김 달 수 (티엘아이 대표이사)
김 동 규 (한양대학교 교수)
김 동 현 (ICTK 대표이사)
김 민 휘 (중앙대학교 교수)
김 부 균 (숭실대학교 교수)
김 선 욱 (고려대학교 교수)
김 성 철 (서울대학교 교수)
김 수 중 (경북대학교 명예교수)
김 승 천 (한성대학교 교수)
김 영 권 (후레대학교 명예총장)
김 영 선 (대림대학교 교수)
김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원)
김 용 석 (성균관대학교 교수)
김 원 준 (건국대학교 교수)
김 은 원 (대림대학교 교수)
김 재 현 (아주대학교 교수)
김 정 석 (가천대학교 교수)
김 종 옥 (고려대학교 교수)
김 중 헌 (고려대학교 교수)
김 진 영 (광운대학교 교수)
김 창 익 (한국과학기술원 교수)
김 태 욱 (연세대학교 교수)
김 현 (서울과학기술대학교 교수)
김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
김 호 식 (SK하이닉스 담당)
남 궁 선 (유니트론텍 부회장)
남 일 구 (부산대학교 교수)
노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장)
류 현 석 (서울대학교 교수)
민 경 식 (국민대학교 교수)
박 규 태 (연세대학교 명예교수)
박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
박 인 규 (인하대학교 교수)
박 진 옥 (육군사관학교 명예교수)
배 준 호 (가천대학교 교수)
백 상 헌 (고려대학교 교수)
범 진 욱 (서강대학교 교수)
서 민 재 (가천대학교 교수)
서 창 호 (한국과학기술원 교수)
성 굉 모 (서울대학교 명예교수)
손 보 익 (LX세미콘 대표이사)
송 병 철 (인하대학교 교수)
송 준 영 (인천대학교 교수)
신 오 순 (숭실대학교 교수)
심 동 규 (광운대학교 교수)
안 상 철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)
여 희 주 (대진대학교 교수)
오 상 록 (한국과학기술연구원 PM)
오 정 훈 (삼성전자 마스터)
우 정 호 (비젼넥스트 대표이사)
유 명 식 (숭실대학교 교수)
유 창 동 (한국과학기술원 교수)

유 창 식 (삼성전자 부사장)
윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
윤 성 로 (서울대학교 교수)
윤 종 윤 (파두 사장)
이 광 엽 (서경대학교 교수)
이 남 윤 (고려대학교 교수)
이 동 규 (카카오모빌리티 부사장)
이 상 만 (고려대학교 교수)
이 석 희 (솔리다임 의장)
이 승 아 (연세대학교 교수)
이 영 렬 (세종대학교 교수)
이 용 욱 (한화시스템 부사장)
이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
이 재 홍 (서울대학교 명예교수)
이 정 원 (서울대학교 교수)
이 주 연 (전주비전대학교 교수)
이 채 은 (인하대학교 교수)
이 충 용 (연세대학교 교수)
이 태 원 (고려대학교 명예교수)
이 형 민 (고려대학교 교수)
인 치 호 (세명대학교 교수)
임 제 탁 (한양대학교 명예교수)
장 석 호 (건국대학교 교수)
장 익 준 (경희대학교 교수)
전 병 우 (성균관대학교 교수)
전 영 현 (삼성SDI 부회장)
정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
정 민 채 (세종대학교 교수)
정 성 엽 (차세대융합기술연구원 실장)
정 완 영 (한국과학기술원 교수)
정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
정 진 곤 (중앙대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수)
조 성 래 (중앙대학교 교수)
조 영 민 (SkyMirr CEO)
차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)
채 주 형 (광운대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
최 기 창 (서울대학교 교수)
최 성 민 (해치텍 대표이사)
최 승 종 (웰랑 대표이사)
최 우 영 (서울대학교 교수)
최 재 혁 (서울대학교 교수)
최 진 성 (도이치텔레콤 부사장)
최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
하 태 준 (광운대학교 교수)
한 영 선 (부경대학교 교수)
한 정 환 (충남대학교 교수)
함 범 섭 (연세대학교 교수)
허 준 (고려대학교 교수)
홍 민 철 (숭실대학교 교수)
홍 인 기 (경희대학교 교수)
황 승 훈 (동국대학교 교수)
황 인 철 (강원대학교 교수)

유 호 영 (충남대학교 교수)
윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)
윤 영 권 (삼성전자 마스터)
이 강 윤 (성균관대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)
이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
이 문 기 (연세대학교 명예교수)
이 상 설 (한양대학교 명예교수)
이 성 준 (한양대학교 교수)
이 승 은 (서울과학기술대학교 교수)
이 영 택 (ASML 전무)
이 윤 식 (UNIST 교수)
이 재 성 (고려대학교 교수)
이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
이 천 희 ((전) 청주대학교 교수)
이 충 웅 (서울대학교 명예교수)
이 한 림 (중앙대학교 교수)
이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)
임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
장 성 준 (한국전자기술연구원 팀장)
전 국 진 (서울대학교 명예교수)
전 선 익 (파이낸셜뉴스 사장)
전 정 훈 (성균관대학교 교수)
정 길 도 (전북대학교 교수)
정 방 철 (충남대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)
정 용 규 (을지대학교 교수)
정 은 성 (홍익대학교 교수)
정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
정 해 준 (경희대학교 교수)
조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
조 성 재 (이화여자대학교 교수)
조 혜 정 (삼성물산 그룹장)
채 관 엽 (삼성전자 마스터)
채 찬 병 (연세대학교 교수)
최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)
최 병 수 (부경대학교 교수)
최 수 일 (전남대학교 교수)
최 영 규 (인하대학교 교수)
최 웅 (숙명여자대학교 교수)
최 중 호 (서울시립대학교 교수)
최 창 식 (DB하이텍 부회장)
추 민 성 (한양대학교 교수)
한 동 국 (국민대학교 교수)
한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
한 진 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
함 철 희 (삼성전자 마스터)
홍 국 태 (엘엑스세미콘 연구위원)
홍 승 홍 (인하대학교 명예교수)
홍 철 호 (중앙대학교 교수)
황 원 준 (아주대학교 교수)
황 인 태 (전남대학교 교수)

윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
윤 석 현 (단국대학교 교수)
윤 종 용 (한국공학교육인증원 이사장)
이 경 중 (연세대학교 교수)
이 규 복 (한국전자기술연구원 부원장)
이 덕 진 (전북대학교 교수)
이 병 선 (김포대학교 교수)
이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
이 승 호 (한밭대학교 교수)
이 왕 상 (경상국립대학교 교수)
이 인 규 (고려대학교 교수)
이 재 진 (숭실대학교 교수)
이 정 우 (중앙대학교 교수)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)
이 철 (동국대학교 교수)
이 태 동 (국제대학교 교수)
이 혁 재 (서울대학교 교수)
이 희 덕 (충남대학교 교수)
임 승 찬 (한경국립대학교 교수)
장 길 진 (경북대학교 교수)
장 성 진 (삼성전자㈜ 자문위원)
전 동 석 (서울대학교 교수)
전 세 영 (서울대학교 교수)
전 홍 태 (중앙대학교 명예교수)
정 민 수 (라온텍 부사장)
정 범 진 (서울과학기술대학교 교수)
정 영 모 (한성대학교 교수)
정 원 영 (강운공업 본부장)
정 은 승 (삼성전자㈜ 고문)
정 준 (쏠리드 대표이사)
제 민 규 (한국과학기술원 교수)
조 문 규 (한국교통대학교 교수)
조 성 현 (한양대학교 교수)
진 훈 (경기대학교 교수)
채 영 철 (연세대학교 교수)
천 경 준 (씨젠 회장)
최 광 표 (삼성전자 마스터)
최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)
최 승 범 (삼성전자 부사장)
최 용 수 (신한대학교 교수)
최 인 수 (삼성전자 상무)
최 지 웅 (DGIST 교수)
최 천 원 (단국대학교 교수)
하 정 우 (네이버 AI연구소장)
한 동 석 (경북대학교 교수)
한 재 호 (고려대학교 교수)
한 태 희 (성균관대학교 교수)
허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)
홍 대 식 (연세대학교 교수)
홍 유 식 (상지대학교 교수)
황 성 운 (가천대학교 교수)
황 인 정 (명지병원 수석연구원)
황 진 영 (한국항공대학교 교수)

사무국 직원 명단

송기원 국장 – 기획, 산학연, 신규 사업, 자문/서울IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 대외협력 및 업무총괄

이안순 부장 – 하계학술대회, 주요 운영회의(이사회, 평의원회 및 총회), 총무업무(선거, 공문수발, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wiset 등), 산업전자소사이어티

배지영 부장 – 국제학술대회 총괄(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 사업(기술워크샵 등), 추계학술대회, 컴퓨터소사이어티, 시스템 및 제어소사이어티

배기동 부장 – AI 관련, 국문지, 학회지, 표준화, 용역, 기타 지원업무, 인공지능 신호처리소사이어티

변은정 부장 – 본회/소사이어티/연구회 재무, 회원관리(개인회원 및 특별회원), 홍보, 통신소사이어티

김천일 부장 – 정보화 관련(웹사이트 관리 및 온라인/디지털 업무지원 등), 교육, 전산장비 관리, 반도체소사이어티

이소진 서기 – 국제학술대회 담당(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간

제6차 상임이사회 회의록

제 6차 상임이사회가 10월 13일(금) 17시 학회 회의실에서 개최되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

– 다 음 –

1. 회의 개최 성원

– 제6차 상임이사회는 40명의 상임이사 중 21명의 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 개인회원/ 특별회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.
– 학회상 및 해동상 수상자에 대해 원안대로 승인함.
– 2024년도 사업계획 및 예산(안)에 대해 원안대로 승인함.

2023년도 제2차 평의원회 개최

11월 10일(금) 엘타워 5층 오르체홀(양재동 소재)에서 제2차 평의원회가 평의원 142명이 참석한 가운데 개최되었다. 이번 회의에서는 연간 사업 추진 보고와 함께 2024년도 사업계획 및 예산(안) 등이 상정되어 의결되었다. 또한 선거관리위원회 주관으로 2024년도 임원을 선출하였으며, 차기 회장으로는 이충용 회원(연세대), 차기 수석부회장은 백광현 회원(중앙대), 선출직 부회장으로는 김종옥 회원(고려대), 노원우 회원(연세대), 송병철 회원(인하대), 감사로는 이재훈 회원(유정시스템(주)), 전병우 회원(성균관대)이 선출되었다.

이혁재 학회장 인사말

차기 회장단 및 감사 인사

반도체 패키징 발전전략 심포지엄 개최

우리 학회는 반도체 패키징 발전전략 포럼(대한전자공학회, 전자신문, 차세대지능형반도체사업단, 한국PCB&반도체패키징산업협회, 한국마이크로전자 및 패키징학회, 한국반도체산업협회)를 지난 7월 11일 구성하였고, 올해 주관기관으로 '반도체 패키징 발전전략 심포지엄'을 11월 8일 SC컨벤션센터에서 개최하였다.

이번 심포지엄에는 정부와 산학연 주요 관계자 250여명이 현장 180여명, 유튜브 온라인 250여명이 실시간으로 참석하였으며, 각

분야별 강연 및 패널토론 등으로 진행되었고, 행사 후 3일이 경과하면서 2,500회 이상의 유튜브 시청 조회 수를 기록하여 반도체 패키징 정책과 기술에 대해 뜨거운 관심을 보였다.

공동주최 운영위원 기념사진

반도체 패키징 발전전략 심포지엄 패널토론 모습

IEEE/IEIE ICCE-Asia 2023

ICCE-Asia는 대한전자공학회(IEIE)와 국제전기전자학회(IEEE)가 공동으로 개최하는 국제학술대회로서, 최근 우리나라가 세계를 선도하고 있는 AI, 자율주행, 자동차 등에서 소비자 전자공학 기술의 국제화를 목표로 2023년 10월 23일(월)부터 25일(수)까지 부산 파라다이스 호텔에서 성공적으로 개최되었다. 이번 학술행사는 코로나19의 영향력이 줄어듦에 따라 오프라인 중심으로 개최되었으며, 다양한 학계, 산업계 인사와 미래의 인재들이 한 자리에 모여 성황리에 진행되었다.

금년에는 8개국에서 약 168편의 논문이 발표되었으며, 7개국에서 총 243명의 등록자가 학회장을 채웠다. 이번 ICCE-Asia 2023에서는 권영수 박사(ETRI)가 General Chair, 김용신 교수(고려대학교)가 Organization Chair, 궁재하 교수(고려대학교)가 Technical Program Chair로 학술대회를 이끌었다.

첫째 날 10월 23일(월)에는 동운아나텍 채정석 박사와 KAIST 김주영 교수, 부경대학교 김승욱 교수가 진행하는 3개의 튜토리얼 후 Welcome Reception으로 마무리 되었다.

둘째 날인 10월 24일(화)에는 이혁재 학회장과 권영수 박사의 개회사를 통해 학술행사의 공식적인 시작을 알렸으며, 특히나 이번 학술대회에는 IEEE CTSoc. 부회장 Nobuo Funabiki 교수가 직접 학회장에 참석하여 환영사를 진행하여 이번 학술대회에 큰 의미를 더했다. 개회식 후에는 LG전자 박인성 전무의 Plenary Talk과 SqueezeBits Inc. 김형준 대표의 Keynote Speech가 진행되었으며, 저녁에는 Best Paper Awards와 궁재하 교수의 TPC Report 발표 그리고 만찬이 진행되었다. 이날 하루 동안 8개의 구두 세션, 4개의 특별 세션, 3개의 포스터 세션이 진행되었다.

마지막 날인 10월 25일(수)에는 특별 세션 및 구두 세션이 진행되었으며, 모든 세션의 마무리와 함께 학술행사가 종료되었다.

개회식 이혁재 회장님 인사말

Nobuo Funabiki (IEEE CTSoc. 부회장) 환영사

eynote Speech – SqueezeBits Inc. 김형준 대표

조직위원회 및 연사 기념 촬영

구두 세션 발표 모습

ESD/EOS & Latchup 워크샵 2023

반도체소사이어티(운영위원장 : 김한구 교수(삼성전자))에서는 “ESD/EOS & Latchup 워크샵 2023”을 10월 19일(목)~20일(금) 한양대학교 HIT 2층 대강의실에서 개최되었다.

본 워크샵은 ESD/EOS에 지식 전달 및 저변 확대 및 정보를 공유를 위한 자리가 되었으며 50여명이 참석하였다.

워크샵 전경

제6회 반도체 산학연 교류 워크샵

반도체소사이어티(운영위원장 : 김용석 교수(성균관대))에서는 “제6회 반도체 산학연 교류 워크샵”을 10월 25일(수)~26일(목) 2일간 코엑스 컨벤션홀(남) 327, 307, 317호, 온라인으로 동시 개최 진행하였다.

본 워크샵은 한국반도체산업협회와 대한전자공학회 반도체소사이어티의 전문연구회를 중심으로 첫째날은 Emerging Technology, 챗GPT와 AI반도체, 화합물 반도체 3개의 세션으로 이루어졌으며 둘째날에는 회로, 소자 트랙으로 전문화 하고 각 세션의 내용을 소자, 회로 설계, 시스템으로 구성하여 모든 분야의 분들이 관심을 가질 수 있도록 구성과 발표를 진행하고 특별히 초청 강연으로는 첫째날 삼성전자 정기태 부사장과 둘째날 옵토레인 이도영 대표의 강연이 이루어졌으며 제1회 K-CHIPS Meister Award 시상식도 같이 진행되었다.

그 동안 반도체 분야에서 단편적으로 이루어졌던 교류에서 벗어나 매년 개최되는 SEDEX 일정과 병행하여 2일간 진행함으로써 산업계, 학계, 연구기관, 정부의 교류의 장을 통해 누구나 참여할 수 있는 정기적인 개방형 교류 워크샵으로 진행하였다

또한 산학연 교류 워크샵을 통해서 반도체 관련 최신 지식 교류는 물론, 기업체 관련자와 교수 및 석/박사 과정 학생들의 인력 교류를 활성화시키는 계기를 마련하였으며, 약 250여명이 참석하였다.

단체사진

제1회 K-CHIPS Meister Award 수상자 단체사진

퀀텀인공신경망 기술과 자율이동체 응용 워크샵
"Quantum Neural Network Theory and Applications to Autonomous Mobility"

통신소사이어티(회장 : 유명식 교수(숭실대)) 에서는 "퀀텀인공신경망 기술과 자율이동체 응용워크샵" 을 10월 26일(목) –27일(금) 양일간 온라인으로 개최하였다.

통신, 네트워크, 그리고 모빌리티 분야에도 딥러닝(Deep Learning) 기술을 활발히 적용한지 오랜 시간이 흘렀고 이를 기반으로 하여 많은 발전을 이루어 왔다. 더불어 2023년부터는 거대언어모델과 GPT 기술의 발달로 이러한 관심이 다시 가속화되고 있으며, 이러한 발전은 통신 분야에서도 활발하게 이루어지고 있어 자율이동체 및 분산학습 등의 연구분야에서 많은 연구 성과가 나오고 있다.

이러한 발전에 힘입어 딥러닝에 관한 많은 기술강좌를 열어 그 핵심 기술들을 소개하고 이해하고 이러한 요구에 발맞추어 통신, 네트워크, 그리고 모빌리티 분야의 광범위하게 도움이되는 단기강좌로 만들겠다는 취지로 최근 많은 분야에서 다양한 관심을 가져온 퀀텀인공신경망 주요 기초 기술과 더불 모빌리티 기술에 필수적으로 논의되는 강화학습으로의 적용인 퀀텀강화학습에 대한 이론과 모빌리티 응용 구현에 대해 깊이있게 논하는 시간을 가졌으며 총 70명이 참석하였다.

제16회 군수용 초고주파부품 워크샵

RF집적회로연구회에서 주최한 "제16회 군수용 초고주파부품 워크샵"이 10월 30일(월) 더케이호텔 2층 가야금홀에서 개최되었다.

본 워크샵은 군수용 초고주파 시스템, 초고주파 소자 및 부품기술, RF 설계 및 부품 기반기술 등의 군수용 초고주파 핵심 원천기술의 확보 및 국산화를 도모하기 위하여 국내의 여러 연구단체의 공동 주관하에 초고주파 관련 최고 전문가를 초빙하여 진행되었다.

또한, 본 워크샵은 대한전자공학회, 한국전자파학회, 한국군사과학기술학회 및 한국전자통신연구원이 공동주관기관으로 진행 되었으며, 100여명이 참석하여 성황리에 마무리 되었다.

각 기관 VIP 단체촬영

워크샵 전경

조직위원회 및 참가자 단체사진

신규회원 가입현황

기간 : 2023년 10월 1일 – 2023년 10월 31일

〈정회원〉

이진희(RIST), 신성민(UNIST), 박하민(광운대학교), 신유용(국방기술진흥연구소), 이대원(명지대학교), 엄지윤, 장호산(빅텍), 김윤창(삼성디스플레이), 홍상석(삼성전자), 강대웅(서울대학교), 염희란(수원대학교), 오인수(순천향대학교), 김용수(울산대학교), 신재영(원광대학교), 권현, 김용철(육군사관학교), fawad(조선대학교), 김효원(충남대학교), 김미희(파이낸셜뉴스), 김범진, 성기호, 윤성은, 채종혁, 최광석(한국전자기술연구원), 정용훈(한양대학교), 이한진, 조용일(한화시스템), 김진렬(해치텍)

이상 28명

〈평생회원〉

김종선(현대자동차)

이상 1명

〈학생회원〉

강찬혁, 이예준(가천대학교), 장태영(가톨릭대학교), 남지원, 이찬혁(강릉원주대학교), 이여진(강원대학교), 고동재, 박기완, 이정석, 최현식(경북대학교), 김병일, 류세민, 이창의(계명대학교), 강동연, 박인선, 신상혁, 임종우, 장소연(고려대학교), 이승주, 최동빈(국민대학교), 김해영(금오공과대학교), 박재윤, 이명호, 이승준, 임진택(대구경북과학기술원), 서어진(대진대학교), 박진혁, 송정수, 여정은, 이인화, 조한성, 홍진우(동국대학교), 김호, 노태림, 이동혁, 정문수(부산대학교), 권나애, 김하늘(서울과학기술대학교), 경혜원, 서윤재, 이상혁, 이동훈, 임기준, (서울대학교), 김지수, 이기선(서울시립대학교), 김형진, 최지훈(성균관대학교), 권진영, 권혜영(세종대학교), 서연송(숙명여자대학교), 고예지(순천향대학교), 이영준, 이재혁, (숭실대학교), 오은섭, 홍소연(아주대학교), 김성원, 박민철, 윤성현(연세대학교), 강민성, 길태승, 송수아, 예현수, 이우림, 조해완, 주다원(울산과학기술원), 전상민(육군사관학교), 구미진, 권수영, 임하영(이화여자대학교), 김경민, 윤소영, 윤소진, 조현욱, 최진영(인하대학교), 장동윤(전북대학교), Ahmad Iftikhar, 황 훈(조선대학교), 이한녕, 김호준(중앙대학교), 허우혁, 황혜린(충남대학교), 백승훈(포항공과대학교), 김정우, 이세림(한국공학대학교), 김세호, 백동희, 왕유승, 유영주, 이석준(한국과학기술원), 최재원(한국교통대학교), 안현태, 이준형, 전현성(한국항공대학교), 이나경(한밭대학교), 김현석, 성중훈, 이동훈, 이영현, 이지선, 이지원(한양대학교)

이상 103명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

(2023년 10월 16일 ~ 11월 15일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제3차 후보추천위원 회의	10.20 18:00	학회 회의실	– 2024년도 수석부회장 및 부회장 후보 등록/ 서류 검토 등

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
반도체소사이어티	ESD/EOS & Latchup 워크샵 2023	10.19	한양대학교 HIT 2층 대강의실
국제협력	ICCE–Asia 2023	10.23~25	부산 파라다이스 호텔
반도체소사이어티	제6회 반도체 산학연 교류 워크샵	10.25–26	코엑스 컨벤션홀
통신소사이어티	퀀텀인공신경망 기술과 자율이동체 응용 워크샵	10.26~27	온라인 진행
RF집적회로연구회	제16회 군수용 초고주파부품 워크샵	10.30	더케이호텔 2층 가야금홀
본회	반도체 패키징 발전전략 심포지엄	11.8	과학기술회관 12층 SC컨벤션센터

특 · 집 · 편 · 집 · 기

인공지능을 위한 컴퓨팅 기술 연구 소개

양 준 성 편집위원
(연세대학교)

새로운 컴퓨팅 기술을 통해 반도체 및 컴퓨터 시스템의 새로운 연구가 지속되고 발전되고 있다. 특히 인공지능 기술의 급격한 발전을 지원하기 위한 메모리 및 프로세서 기술 개발이 주목을 받고 있다. 이러한 연구 동향은 대한전자공학회 학술대회에서 소개되는 많은 관련 연구들을 통해 살펴볼 수 있으며, 산학이 함께하는 많은 워크샵들에서도 그 관심을 확인할 수 있다. 본 특집호에서도 인공지능을 위한 컴퓨팅 기술들을 다양한 분야의 독자들에게 소개하고 현재 진행되고 있는 연구들을 공유할 수 있는 기회를 가지고자 한다.

본 특집호는 인공지능 컴퓨팅을 연구하는 연구자들의 연구 내용 소개글 4편으로 구성되었다. 첫째, "효율적인 인공지능을 위한 특성 선택 기술 조사 분석(이영재, 김원종)"은 축적되는 수많은 데이터를 이용하여 인공지능 기술이 효율적으로 데이터 분석을 가능하게 하고 고급 정보를 제공해주기 위한 기술에 대하여 이야기한다. 데이터 전처리 과정은 모델 분석기가 처리할 수 있는 수준으로 데이터를 수정 보완하여 원활하게 인공지능 분석을 진행할 수 있는데 도움을 준다. 또한 데이터 최적화를 통해 머신러닝과 같은 분석과정에서 빠르게 정확한 결과를 얻기위한 환경등이 필요하며 다양한 알고리즘 등이 존재한다. 이에 시간과 비용을 줄이면서 효율적으로 데이터를 관리할 수 있는 데이터 최적화 기술에 대하여 이야기한다. 둘째, "인공지능 연산 가속을 위한 NUCA의 선제적 마이그레이션 정책(강민구)"에서는 인공신경망에서 데이터 처리를 하는데 요구되는 신속한 응답시간에 대응하기 위해 필요한 메모리 접근에서의 효율을 높이기 위한 기술을 소개한다. NUCA는 Non-Uniform Cache Arachitecture를 뜻하며, 캐시 메모리 접근시간을 개선시키기 위해 서로 다른 캐시 뱅크가 균일하지 않은 접근 시간을 가지지만 낮은 지연시간과 확장성을 높이는 구조이다. 해당 기술에서는 인공 신경망의 데이터 접근 패턴을 파악하여 그 특징을 이용한, 메모리 접근 패턴을 활용할 수 있는 NUCA 정책을 제안하였다. 데이터 이동 거리가 길고 순차적인 메모리 엑세스 패턴을 하는 인공 신경망에 적용하여 효율적으로 실행 시간 감소 효과를 가져오는 기술을 소개한다. 셋째, "강건한 멀티레벨 PCM 기반 심층 신경망을 위한 동적 패턴 인식 인코딩 기술(장제우)"에서는 심층 신경망의 성능이 높아짐에 따라 주목을 받고 있는 차세대 비휘발성 상변이 메모리 (PCM : Phase Change Memory)의 비휘발성, 낮은 전력 소모 등의 장점을 활용하기 위하여 필요한 저항 드리프트 문제를 해결하기 위한 기술을 제시한다. 특히, MLC (Multi-Level Cell)로 활용하는데 있어 심층 신경망에서의 데이터 분석을 통해 저항 이동으로 인한 오류를 강건하게 견딜 수 있도록 동적으로 데이터 패턴을 매핑하는 기술을 제시하고 그 효율성을 보여준다. 넷째, "거대인공신경망 처리를 위한 프로세서-메모리 융합 반도체(이혁재)"에서는 인공지능 기술의 복잡도 증가에 따라 이를 고속 및 효율적으로 처리할 수 있는 인공지능 반도체의 발전에 대하여 이야기를 한다. 프로세서-메모리 융합 반도체는 프로세싱 기능과 메모리 소자가 하나의 칩으로 구현되는 PIM (Processing-In-Memory) 과 PNM (Processing-Near_Memory) 으로 나누어 소개하고, 이러한 기술들이 거대 인공지능모델을 처리하는데 프로세서와 메모리 사이의 데이터 전송 속도 저하 및 전력 소모를 대폭적으로 줄일 수 있음을 이야기한다. 각 구조에 따른 특징 및 차이점를 프로세서-메모리 융합 반도체 활용적인 측면에서 소개한다.

바쁜 일정 중에 연구를 소개하여주신 연구자분들께 감사드리며, 본 특집호가 다양한 분야의 연구자들에게 연구를 소개하고 이를 통해 교류와 협력을 위한 계기가 되기를 바란다. 또한, 소개된 연구가 더 많은 학회 회원분들에게 공유되기를 기원한다.

효율적인 인공지능을 위한 특성 선택 기술 조사 분석

이영재
ETRI 수도권연구센터

김원종
ETRI 수도권연구센터

Ⅰ. 서 론

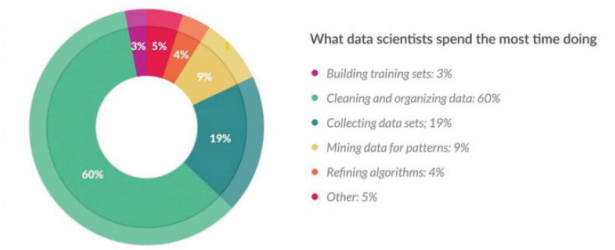
다양한 분야에서 수많은 데이터가 축적되고 있는 빅데이터 환경에서 인공지능 기술은 데이터 분석을 통해 고급 정보를 제공해 주고 이를 추가로 가공해서 지식과 이를 바탕으로 지능까지 제공할 수 있는 핵심 기능을 수행하고 있다. 인공지능 기술의 발전은 이러한 환경에서 응용되는 도메인별로 빠르게 발전하고 있으며 최근 ChatGPT 기술과 같은 생성형 AI 기술의 발전으로 인공지능관련 사업화 영역이 더욱 확대되고 있는 상황에서 많은 기관과 업체들의 관심이 집중되고 있다.

제조현장에서도 정부와 공공기관 주도로 지난 10여년간 정보화, 지능화, 스마트화를 목표로 데이터 수집, 저장, 분석 및 가공을 할 수 있는 환경을 구축하여 제조 공장 자동화를 목표로 다양한 시도가 진행되었다. 제조현장은 다양한 도메인이 존재하고 각 영역별로 사업장 환경도 천차만별이기 때문에 수집되는 데이터 내용이나 양 그리고 분석 결과에 대한 요구사항을 만족하기는 쉽지 않다. 이러한 소비자의 요구를 반영하여 입력데이터에 대한 분석을 먼저 진행하는 pre-processing (데이터 전처리) 과정을 통해 최적의 feature(특성)을 가지고 있는 데이터를 제공한다면 머신 러닝이나 딥러닝과 같은 학습 모델링 과정에서 빠른 시간에 정확도가 높은 모델을 생성할 수 있다.

데이터 전처리는 수집한 데이터(raw data)를 모델 분석기에 처리할 수 있는 수준으로 데이터를 수정, 보완하는 작업으로 반드시 거쳐야 하는 단계로 이를 통해 데이터 분석, 데이터 마이닝, 머신러닝에 적용을 원활하게 할 수 있다. 일반적으로 현장에서 수집된 데이터는 비어있는 부분(missing), 부정합이 있는 경우가 많으며, 이러한 품질이 낮은 데이터로는 좋은 도구나 분석기법으로도 결과를 얻기가 쉽지 않다. 〈그림 1〉과 같이 데이터 분석 전문가는 데이터 분석을 위해 데이터를 준비하

〈표 1〉 구조 및 알고리즘에 따른 특성선택 전체 분류도

특성선택 분류	ML기반 특성중요도 (Feature importance)	엔트로피기반 특성선택 알고리즘	앙상블 구조 특성선택	하이브리드 구조
종류	DT, RF, ET, XGBoost Embedded	MI(상호정보량) 기준 다양한 알고리즘	Homogeneous, Heterogeneous, Hybrid(Homo+Hetero)	정보이론기반 알고리즘과 유전 알고리즘(GA) 결합



출처:(https://www.forbes.com/sites/gilpress/2016/03/23/data-preparation-most-time-consuming-least-enjoyable-data-science-task-survey-says/?sh=123b5f906f63)

〈그림 1〉 데이터분석가의 업무 내용 및 시간 배정

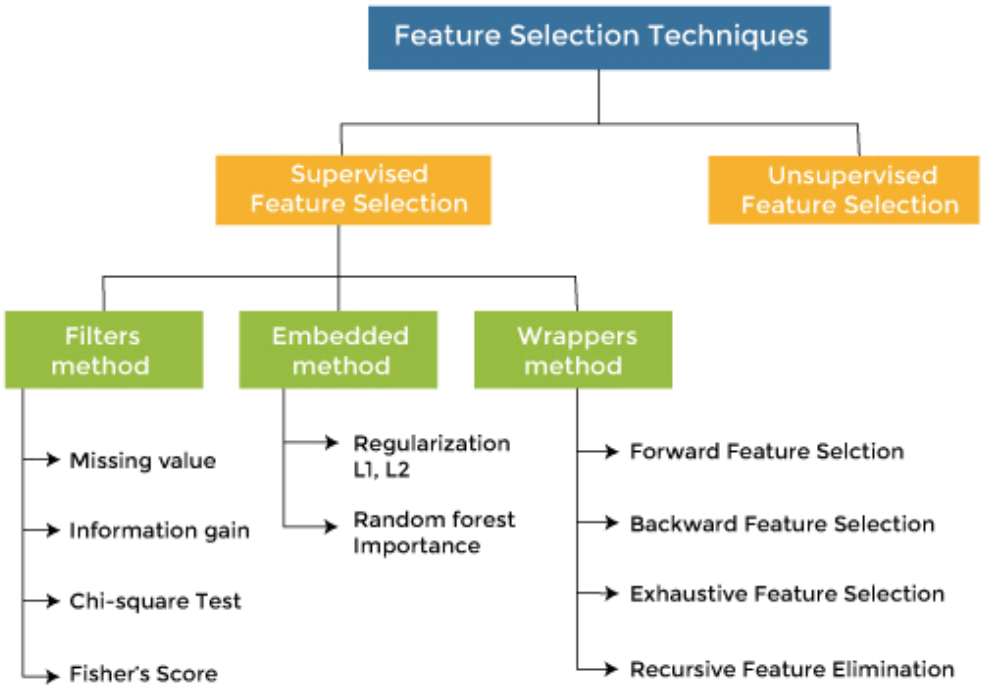
고 관리하는데 시간의 약 80%를 소비하고 있다[https://www.forbes.com/sites/gilpress].

데이터 분석 단계는 데이터 선택⇒전처리⇒데이터마이닝⇒해석과 평가로 이루어져 있다. 데이터 전처리와 함께 데이터 분석에 앞서 특성선택(feature selection)을 통해 입력변수를 최적화하여 관련성이 없거나 불필요한 변수를 제거하여 운영 시간을 줄이고 정확성이 높은 인공지능 모델을 생성할 수 있다. 특성선택은 데이터 전처리에 포함되기 보다는 후처리에 가깝지만 선택 과정에서 머신러닝을 이용할 수도 있기 때문에 데이터분석과도 연관성이 있어 정확한 카테고리를 지정하기 쉽지 않다. 그러나 정확한 것은 데이터 전처리 이후 특성선택을 통한 데이터 최적화를 통해 머신러닝과 같은 분석과정에서 빠르게 정확한 결과를 얻을 수 있는 환경을 제공해 준다는 점이다.

〈표 1〉은 다양한 특성선택 방법을 정리한 내용을 보여주고 있다. 머신러닝에 내장되어서 특성 중요도 순위를 제공해 주거나 정보이론의 엔트로피기반 알고리즘, 앙상블 구조의 특성선택과 정보이론기반 알고리즘과 유전 알고리즘(GA)을 합친 하이브리드 구조 등이 있으며 본 논문에서는 각각에 대해서 간략히 정리하였다.

Ⅱ. 특성선택(Feature Selection; FS) 방법

특성선택은 무관하거나 (irrelevant) 불필요한 (redundant) 입력변수를 줄여서 꼭 필요한 입력변수만을 선택하는 것이다. 특성선택을 적용하여 얻을 수 있는 2가지 장점은 다음과 같다. 첫째 특성개수를 줄이면 모델링 과정에서 줄어든 입력변수에 따른 계산 시간과 줄어든 특성과 연관된 데이터 수집 위주로 구성하여 전체적으로 센서를 줄이는 효과가 있다. 둘째, 모델의 정확성에 기여하지 않은 연관성없는 정보를 제거함으로써 모델 정확성을 높이는데 도움을 줄 수 있다.특성선택은 차원 수를 줄이기 위한 데이터 전처리 과정의 일부로 생각할 수 있으며, 수많은 특성 중에서 일부 집합을 선택하는 과정이다. 특성선택은 2단계로 진행되며 1단계에서는 탐색전략(search strategy)으로 특성을 가진 부분집합(subset)을 선택하고 2단계인 목적함수(objective function)에서는 선택된 특성 부분집합을 평가하여 최적의 부분집합을 선택한다. 1단계 탐색전략은 전역 탐색(Exhaustive search), 체험적 탐색(Heuristic search)과 랜덤 탐색(Randomized search) 등 3가지로 분류될 수 있다. 전역탐색은 많은 부분집합 조합에 대해서 목적함수를 이용해 평가하고 결과를 전달하는 방법으로 B&B(Branch and bound) 알고리즘이 여기에 해당된다. 체험적 탐색은 전역탐색보다 부분집합의 개수가 적지만 많은 시간이 소요되고 특성 간의 연관성이 큰 경우 최적화의 어려움이 발생한다. 순차전진선택(sequential forward selection), 순차후진제거(sequential backward elimination), 양방향탐색(bidirectional search) 등이 여기에 해당된다. 랜덤탐색은 특성 선택 방향은 주어진 확률에 의해 결정되는 탐색



〈그림 2〉 특성선택 방법

공간에서 무작위로 탐구를 수행하는 방법이다.

특성 선택은 수천 또는 수만 개의 데이터셋을 이용하는 응용분야에서 연구주제로 각광을 받고 있다. 관심분야는 인터넷 문서의 본문처리, 유전자 발현 배열분석, 조합 화학 등이 있다. 특성 선택에 대한 최고의 솔루션은 적용되는 상황별로 차이가 생길 수 있기 때문에 최적의 솔루션은 적용되는 데이터 셋과 적용분야에 특정화될 수 있다. 특성선택 성능 최적화 방법과 데이터셋 특성사이의 관계에 대한 정의가 잘 설정된다면 모델의 정확성을 향상시킬 수 있는 가능성이 높다. 따라서 본격적인 모델링에 앞서 동일한 데이터셋을 적용하는 모델링을 위한 예비단계로 생각할 수 있으며 〈그림 2〉와 같이 분류할 수 있다.

특성선택을 위한 다양한 알고리즘은 연관성이 없거나 불필요한 원소가 들어있는 총 집합에서 최적화된 부분집

〈표 2〉 기준값에 따른 특성선택 알고리즘 종류

종류	조건	기준값
상호정보최대화 (MIM, Mutual Information Maximization)	β=0, λ=0	$J_{MIM}(f_i) = I(f_i; c)$
상호정보기반 특성선택 (MIFS, Mutual Information-based Feature Selection)	λ=0	$J_{MIFS}(f_i) = I(f_i; c) - \beta \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j)$
조건부 정보 특성추출 (CIFE, Conditional Information Feature Extraction)	β=1, λ=1	$J_{CIFE}(f_i) = I(f_i; c) - \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j) + \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j \mid c).$
최대 연관성 최소 부적합 (mRMR, Maximum Relevance Minimum Redundancy)	β=1/|S|, λ=0	$J_{mRMR}(f_i) = I(f_i; c) - \frac{1}{\|S\|} \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j)$
특성선택의 동적가변 (DCSF, Dynamci Change of Selected Feature)	β=3/|S|, λ=2/|S|	$J_{DCSF}(f_i) = I(f_i; c) - \frac{3}{\|S\|} \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j) + \frac{2}{\|S\|} \sum_{f_j \in S} I(f_i; f_j \mid c)$

합을 찾는 것으로 이와 관련된 다양한 알고리즘이 개발되었다. 특히 통신의 정보이론을 바탕으로 엔트로피의 크기를 측정하여 연관성 정도를 파악하고 설정된 임계값을 만족하는 특성(feature)을 선택하는 알고리즘에 대한 연구가 많이 진행되었다[11]. 정보 엔트로피 이론은 랜덤변수의 불확실성을 측정하기 위해 새론에 의해 발표된 이론으로 n차원 랜덤변수의 불확실성을 정량화한 엔트로피는 아래와 같이 표현된다.

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i)\log p(x_i) \tag{1}$$

$p(x_i)$는 전체 X에서 x_i의 확률을 나타낸다. Y 변수가 추가될 경우 조인트 엔트로피와 조건부 엔트로피는 각각 아래와 같이 정의된다.

$$H(X,Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\log p(x_i, y_j), \tag{2}$$

$$H(X|Y) = H(X,Y) - H(Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\log p(x_i|y_j), \tag{3}$$

$p(x_i,y_i)$ 는 x_i, y_i의 joint 확률이고 $p(x_i|y_i)$는 주어진 y_i에 대해 x_i의 조건부 확률을 나타낸다.

상호정보량(Mutual Information; MI)인 I(X;Y)는 X와 Y 사이의 공유된 정보량을 측정하며 아래와 같이 정의된다.

$$I(X;Y) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\log\frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)} \tag{4}$$

상호정보량과 엔트로피는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\begin{aligned} I(X;Y) &= H(X) + H(Y) - H(X,Y) \\ &= H(X) - H(X|Y) \\ &= H(Y) - H(Y|X) \end{aligned} \tag{5}$$

3번째 랜덤변수 Z가 주어졌을 때, 조건부 상호정보량은 랜덤변수 X,Y사이의 상호 정보량과 같으며 아래와 같이 표현된다.

$$I(X;Y|Z) = H(X|Z) - H(X|Y,Z) \tag{6}$$

그리고 조인트 상호정보량은 Z와 X, Y 전체 사이의 측정으로 판단할 수 있다.

$$I(X,Y;Z) = I(X;Y) + I(Y;Z|X) \tag{7}$$

특성들의 관계는 다양한 타입의 관계식으로 표현되는 알고리즘으로 정의할 수 있다.

$$J(f_i) = I(f_i;c) - \beta\sum_{f_j\in S} I(f_i;f_j) + \lambda\sum_{f_j\in S} I(f_i;f_j|c). \tag{8}$$

식 (8)에서 f는 전체 특성집합 (full feature set), c는 부류(class), s는 f의 부분 집합으로, 선택된 특성의 부분집합으로 상호정보량을 기반으로 특성선택 기준값 J를 얻을 수 있다. 이를 통해 다양한 조건에서 기준값을 이용해 특성선택 (feature selection)이 가능하다. 표 2와 같이 다섯 가지 조건별로 기준값을 정리하였다.

III. 지능형 FS 구조와 구현 방법

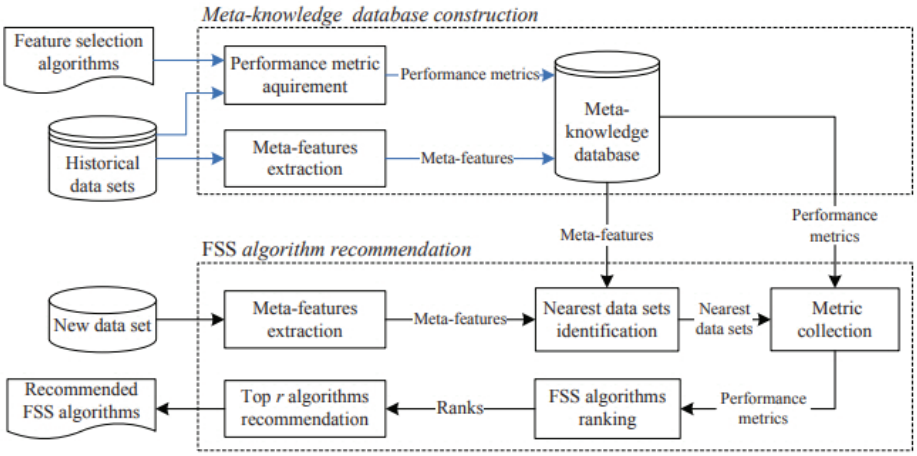
1. 특성 부분집합 선택(Feature subset selection) 추천 알고리즘

위에서 살펴본 바와 같이 많은 특성선택 알고리즘이 있지만 주어진 특성선택에 적합한 알고리즘을 선택하는 것은 쉽지 않은 상황이다. 따라서 특성선택 알고리즘을 자동으로 추천해준다면 개발자에게 매우 유용할 수 있다. 먼저 KNN(K-Near Neighborhood)과 같은 거리 측정 알고리즘을 이용하여 데이터셋 사이의 거리를 측정해서 거리별로 순위를 정한 뒤 가장 높은 순위를 갖는 데이터셋들에 대해서 분류 정확성, 실행시간과 특성개수와 같은 다중기준 성능지표를 통해 성능을 평가하여 특성 부분집합(subset)을 추천한다. 〈그림 3〉은 전체 알고리즘의 프레임워크를 보여주고 있다[1].

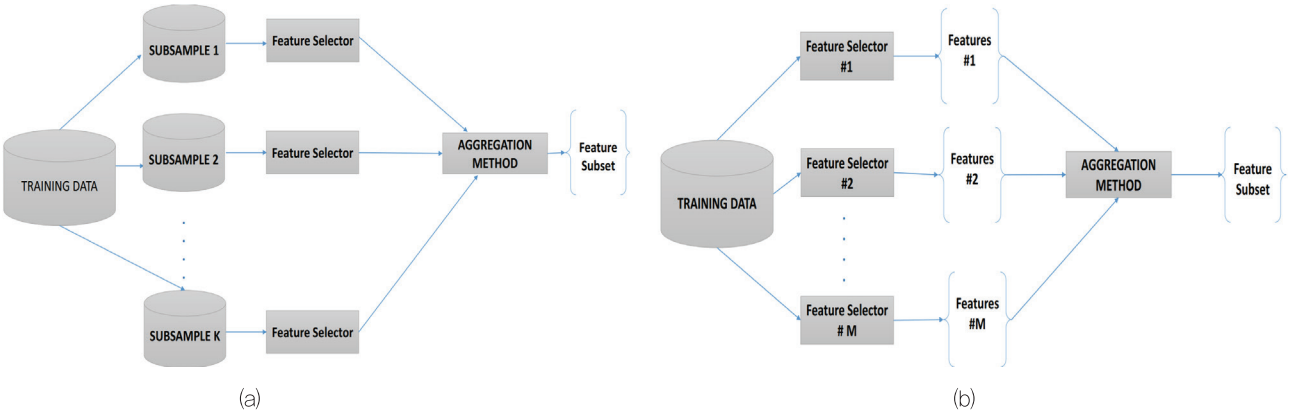
기존 데이터셋으로 최적의 특성선택 알고리즘이 정해진 상황에서 새로운 데이터셋이 입력된 경우 기존 데이터셋과의 거리 계산을 통해 데이터의 유사도를 측정하고 새로운 데이터셋과 거리가 짧은 데이터셋을 이용하여 이를 기존의 특성선택 알고리즘들에 적용하여 성능이 높은 순으로 알고리즘을 결정한다. 이를 기반으로 가장 거리가 가까운 새로운 데이터셋에 대한 최적의 알고리즘으로 추천한다.

2. 앙상블(Ensemble)을 이용한 특성선택

특성선택에서 하나의 selector(선택자)를 이용할 경우 지역적 최적화에 빠질 수 있기 때문에 이를 해결하



〈그림 3〉 알고리즘추천 플로우차트

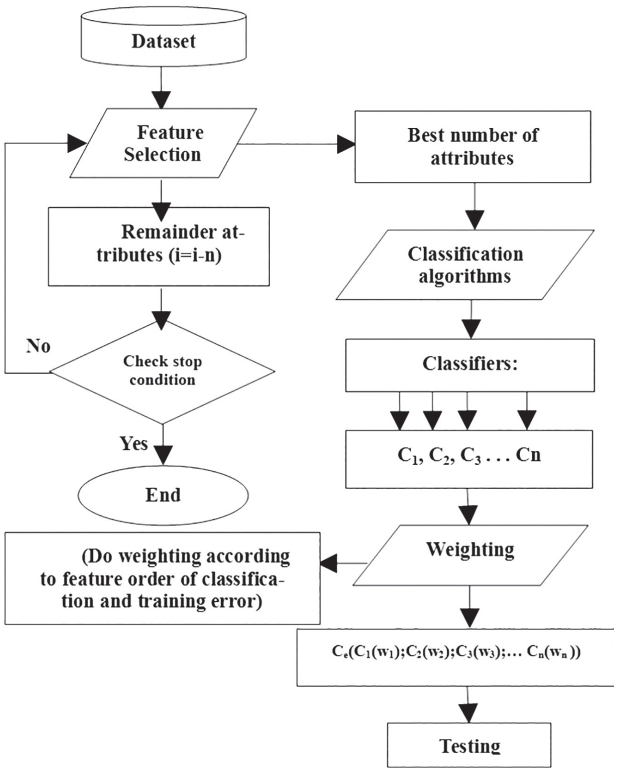


〈그림 4〉 앙상블 특성선택 분류 (a)이종 접근방식 (b)동종 접근방식

면서 최적화를 하기위해 앙상블(ensemble)을 이용할 수 있으며, 앙상블의 분류는 기본 선택자의 형태에 따라서 나누어지며 동일한 종류의 선택자가 사용된 경우는 homogeneous approach(동종 접근), 그렇지 않으면 heterogeneous approach(이종 접근)으로 나눌 수 있다. 〈그림 4(a)〉와 같이 동종 접근은 동일한 특성 선택자(feature selector)을 이용하고 데이터셋은 전체 데이터에서 일정하게 분할한 부분 데이터셋을 이용한다. 각 서브 패스에서 선택된 특성들을 모아서 최종 특성 집합을 결정한다. 이종 접근은 아래 〈그림 4(b)〉와 같이 다른 특

〈표 3〉 UCI 데이터에 대한 선택된 특성개수 및 분류정확도 비교

데이터 종류	All features		GA(wrapper)		SU-GA(Hybrid)	
	특성개수	분류정확도	특성개수	분류정확도	특성개수	분류정확도
Dermatology	33	97.26	10	98.91	9	98.91
Lung-cancer	56	84.38	25	90.63	2	90.63
Breast cancer	30	92.97	8	95.96	3	96.84
Soybean-large	35	92.18	17	93.81	13	92.84
Ionosphere	34	82.62	9	92.01	10	92.59



〈그림 5〉 앙상블 특성선택 알고리즘 플로우차트

성 선택자를 이용하고 데이터셋은 동일하게 적용되며 각 패스에서 선택된 특성들을 모아서 최종 특성 집합을 만든다. 각각의 경우 사용되는 특성 선택자 종류나 최종 결과를 얻기 위한 종합(aggregation)하는 방법의 선택에 따라 성능에서 차이를 보이기 때문에 데이터에 따라서 접근 방식을 선택하는 것이 필요하다.

〈그림 5〉는 앙상블이 적용된 특성선택 알고리즘을 보여주고 있다. 데이터셋을 부분 데이터셋으로 분할하는 과정이 중요하며, 이는 데이터 특성을 고려하여 수행한다. 부분 데이터셋을 분류정확도를 계산한 뒤 투표를 통해서 선택된 각 선택자에 가중치를 주어 앙상블을 만든다. 이렇게 여러 머신러닝 알고리즘이 혼합된 앙상블에 대한 성능평가를 진행하여 성능을 비교분석 한다.

IV. 하이브리드 특성선택 알고리즘

특성선택 방법은 주로 필터(filter)와 래퍼(wrapper) 방식을 주로 이용하고 있다. 필터는 학습 알고리즘을 사용하지 않아 일반성과 낮은 계산비용의 장점이 있으며 래퍼는 학습 알고리즘을 이용하기 때문에 높은 성능을 기대할 수 있지만, 큰 데이터셋을 처리할 경우 계산비용이 높은 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하고 장점을 이용할 수 있는 하이브리드 모델을 생성할 수 있다. 1단계에서는 특성을 제거하면서 각 특성에 대한 평가를 진행하고, 2단계에서는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)을 이용한 선택자를 통해 최적의 특성를 선택한다. 1단계의 특성 평가내용은 2단계에서 GA의 개체군(population)의 초기화에 이용된다.

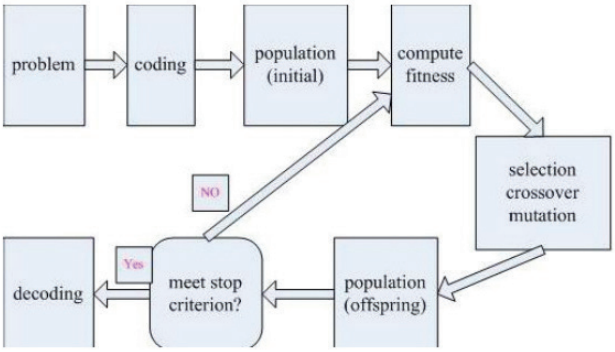
각 특성에 대한 평가는 특성와 목표사이의 대칭적 불확실성(symmetrical uncertainty)을 이용해 분류에 적절한 특성을 판단할 수 있다. 즉 높은 대칭적 불확실성을 가진 특성이 높은 가중치를 가지며, 이를 유전 알고리즘의 개체군 초기 값 설정에 선택될 확률을 높게 할수 있다. 대칭적 불확실성 관련 수식은 정보이득(Information theory)과 관련된 식 (6)을 이용해서 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$SU(X,Y) = \frac{2IG(X;Y)}{H(X)+H(Y)} \tag{9}$$

SU(Symmetric Uncertainty)는 특성에 대한 가중치를 정의하고 IG(X;Y)는 변수 X와 Y사이의 의존성을 평가하는 수치로 1과 0 사이 값으로 정규화되었다. SU값 중 문턱값을 넘은 특성만 선택하고 SU값에 따른 순위를 정하고 각 특성의 확률을 결정한 뒤 유전 알고리즘의 개체군 초기화에 이용한다.

유전 알고리즘은 〈그림 6〉과 같이 동작하며 일반적으로 개체군은 랜덤하게 정한 뒤 적정성을 판단하지만 확률이 높은 요소를 이용해 구성할 경우 적정성 판단을 빠르게 할 수 있는 장점이 있다. 여러 개체군(populations) 중 2개의 개체(chromosome)를 선택하여 parent(부모)로 등록한 뒤 두 부모로부터 유전정보를 혼합하여 새로운 자손을 만들어 내는 crossover(교차)와 gene(유전자)의 다양성을 유지하기 위한 mutation(변형)를 통해 최상의 offspring(자손)을 만들 수 있다.

위와 같이 유전 알고리즘은 다양한 데이터에 대한 특성 선택에 많이 사용되고 있지만, 오래 걸린다는 단점이 있



〈그림 6〉 유전 알고리즘 동작 구성도

어 이를 해결하기 위해 하이브리드 형태로 사용되며 특히 엔트로피 개념이 들어간 정보이득(Information Gain)과 유전 알고리즘(GA)이 결합된 형태로 응용되고 있다.

〈표 3〉은 UCI 머신러닝 저장소[17]로부터 5개의 데이터 셋을 골라서 유전 알고리즘(GA)과 하이브리드 알고리즘에 대한 특성개수와 분류 정확도를 비교한 결과이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 하이브리드 방식이 특성개수를 줄이면서 정확도도 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

V. 전망과 결론

데이터 분석에 앞서 진행되는 데이터 전처리 과정은 전체 프로세스에서 매우 중요한 역할을 하고 있으며 이를 통해 데이터를 이해하는 과정이기도 하다. 최근 IoT센서와 영상을 통한 데이터 수집 기술이 발달하면서 다양한 종류의 데이터가 수집되면서 그 분야의 전문가들도 수집된 데이터 종류별로 중요도에 대해 판단을 하기가 쉽지 않은 상황이다. 따라서 수집된 모든 데이터를 머신러닝과 같은 인공지능을 이용해 분석하는 것은 시간과 비용 측면에서 좋은 선택이 아니다.

이를 보완하기 위한 방법으로 본 논문에서 소개한 특성 선택(feature selection) 기술은 기본적인 전처리가 된 데이터에서 훈련과정에서 가장 유용한 특성만 골라내서 시간과 비용을 줄이고 효율적으로 데이터를 관리할 수 있는 장점이 있다. 특히 최근 데이터 빅뱅의 시대에 이러한 데이터 최적화 기법은 텍스트 분류(Text classification), 장르 분류(Genre classification), 마이크로어레이 데이터 분석(Microarray data analysis), 소프트웨어 결함예측(Software defect prediction), 감정분석(Sentiment analysis), 주식시장분석(Stock market analysis)와 영상복구(Image retrieval)과 같은 다양한 응용 분야에 적용되어 원활한 학습과 추론에 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Guangtao Wang. et al, “A Feature Subset Selection Algorithm Automatic Recommendation Method”, J. of Artificial Intelligence Research 47, pp. 1–34, 2013

[2] Bai-Ning Jiang, et al. "A Hybrid Feature Selection Algorithm : Combination of Symmetrical Uncertainty and Genetic Algorithms", The second international symposium on Optimization and Systems Biology, pp.152–157, 2008

[3] Shanf Lei. "A Feature Selection Method Based on Information Gain and Genetic Algorithm", International conference on computer science and electronics engineering, pp.355–358, 2012

[4] Erdenetuya Namsrai, et al. "A Feature Seelction-based Ensemble Method for Arrhythmia Classification", J. Inf Process Syst, vil.9, No.1, March, pp.13–40, 2013

[5] Veronica Bolon-canedo, et al. "Ensemble for Feature Selection: A Review anf Future Trends", Information Fusion 52, pp.1–12, 2019

[6] Li Zhang, et al. "Feature Selection Methods Based on Sysmetric Uncertainty Coefficients and Independent Classification Information", IEEE Access, pp.13845–13856, 2021

[7] Abdullah Saeed Ghareb, et al. "Hybrid Feature Selection Based on Enhanced Genetic Algorithm for Text Categorization", Expert Systems with Applications 49, pp.31–47, 2016

[8] Avrim L. Blum, et al. "Selection of Relevant Features and Examples in Machine Learning", Artificial Intelligence 97, pp.245–271, 1997

[9] Zsolt Janos Viharos, et al. "Adaptive, Hybrid Feature Selection(AHFS)", Pattern Recognition 116, pp.1–13, 2021

[10] Ms. Shweta Srivastava, et al. "A Review Paper on Feature Selection Methodologies and Their Applications", International Journal of Engineering Research and Development, vol.7, Issue 6, pp.57–61, 2013

[11] Guangfen Wei, et al. "A Novel Hybrid Feature Selection Method Based on Dynamic Feature Importance", Applied Soft Computing Journal 93, pp.1–13 , 2020

[12] Isabelle Guyon, et al. "An Introduction to Variable and Feature Selection", Journal of Machine Learning Research 3, pp.1157–1182, 2003

[13] Il-Seok Oh, et al. "Hybrid Genetic algorithms for Feature Selection", IEEE Trans. on Pattern Aanlysis and machine intelligence, vol.26, no.11, pp. 1424–1437, 2004

[14] SeokMi Hong, et al. "Research about Feature Selection that Use Heuristic Function", 정보처리학회, 2003

[15] Xiaohua Li, et al. "Improving the Accuracy of Diabetes Diagnosis Applications through a Hybrid Feature Selection Algorithm", Neural Processing Letters, pp.153–169, 2023

[16] Borja Seijo-Pardo, et al. "Testing Different Ensemble Configurations for Featrue Selection", Neural Processing Letters, pp. 857–880, 2017

[17] H. Vafaie, et al, "Feature selection methods: Genetic Algorithms vs. Greedy-like Search", Proceedings of the International Conference on Fuzzy and Intelligent Control Systems, 1994

이 영 재

- 1993년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사
- 1995년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사
- 2000년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
- 2000년 9월 ~ 2003년 4월 하이닉스반도체 선임연구원
- 2003년 5월 ~ 현재 ETRI 책임연구원

〈관심 분야〉
IoT, Embedded System, Mobility Platform, AI Applications for Manufacturing and Autonomous Devices

김 원 종

- 1989년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
- 1992년 2월 한양대학교 전자공학과 석사
- 1999년 2월 한양대학교 전자공학과 박사
- 2000년 4월 ~ 현재 ETRI 책임연구원/실장

〈관심 분야〉
반도체 설계 및 자동화, System-on-Chip, 인공지능 응용기술

인공지능 연산 가속을 위한 NUCA의 선제적 마이그레이션 정책

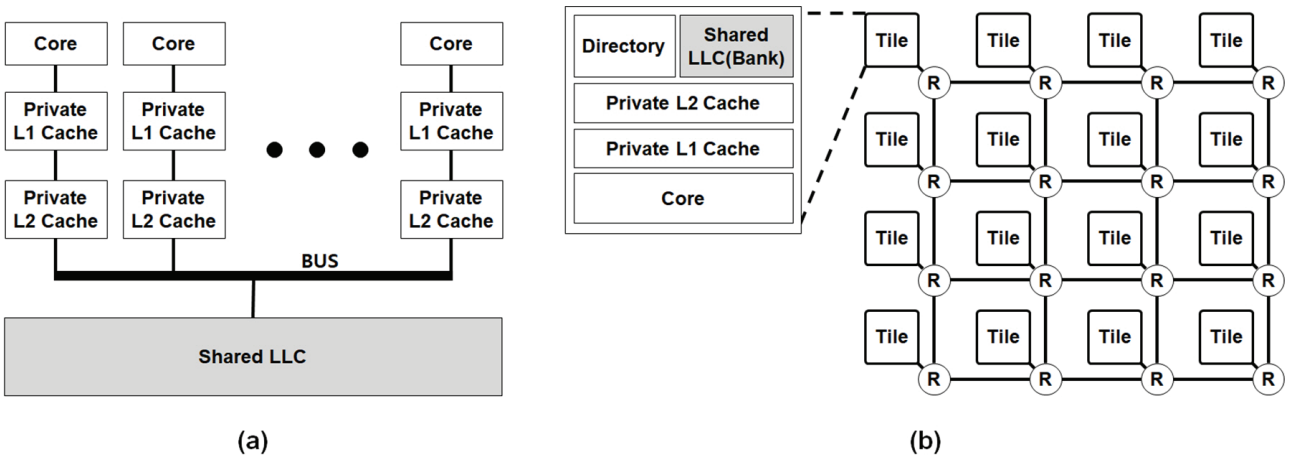
Ⅰ. 서 론

인공 신경망은 다양한 분야에서 사용되며, 서버부터 대중화된 모바일 디바이스까지 다양한 데이터를 처리하는 데 활용된다. 특히 신속한 응답시간을 요구하는 프론트-앤드 애플리케이션에서도 사용되기 때문에, 신경망 연산을 빠르게 처리하기 위한 연구들이 활발하게 이뤄지고 있다. 데이터 집약적인 인공 신경망은 지나친 메모리 접근으로 인해 처리 시간이 길어지므로 동일한 데이터를 재사용하여 가속한다. 연산 집약적인 인공 신경망은 더 많은 행렬 연산 스레드들을 병렬적으로 실행하기 위해 코어 수를 증가시킴으로써 처리량을 향상시킨다. 하지만 데이터를 저장하기에 last level cache (LLC)의 용량이 충분하지 못할 경우 capacity miss로 인한 DRAM 접근 횟수가 증가해 처리 시간이 길어지게 된다. DRAM접근 횟수를 감소시키기 위해 LLC의 용량을 증가시키는 대안책도 있지만 면적과 비례하여 증가하는 wire delay와 상충관계에 있다 [1].

최근 프로세서는 wire delay에 의한 캐시 접근시간을 개선시키기 위해 모든 코어에서 균일한 접근시간을 보장받는 균일 캐시 아키텍처 대신, 서로 다른 캐시 뱅크는 균일하지 않은 접근시간을 가지지만 낮은 지연시간과 확장성이 높은 non-uniform cache architecture (NUCA)를 사용한다 [2].

다중 뱅크 아키텍처를 기반으로 하는 NUCA 캐시는 뱅크간 독립적으로 통신할 수 있는 온-칩 네트워크로 구성된다. 뱅크의 위치에 따른 Non-Uniform한 접근 시간 분포를 가지는 특징을 최대한 활용하기 위한 연구들이 진행되어왔다. 자주 사용되는 데이터를 요청한 코어에 가까운 뱅크로 이동시키는 마이그레이션 기법과 코어들에 균일한 최소 접근 지연시간을 제공하는 매핑 기법, 그리고 실행 시간 중 변경되는 데

강민구
성균관대학교



〈그림 1〉 (a) Uniform Cache Architecture (b)Non-uniform Cache Architecture

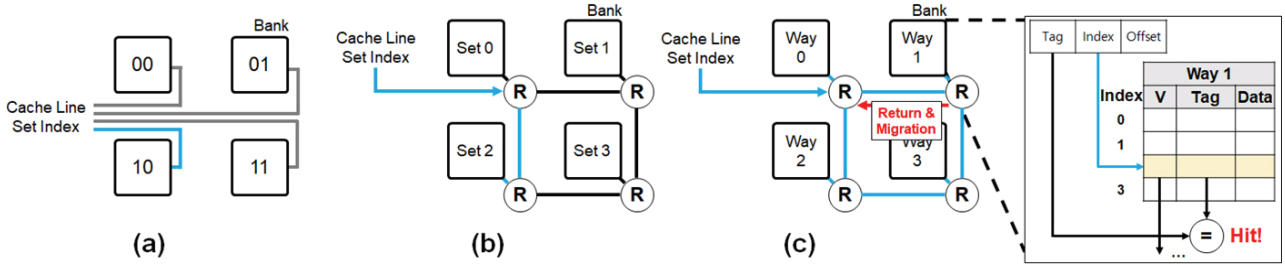
이터의 위치를 신속하게 탐색하는 기법에 관한 많은 연구들이 진행되어왔다 [3, 4, 5].

기존 연구들의 해결책을 사용가능한 애플리케이션들과는 달리, 인공 신경망의 데이터 접근 패턴은 한 번 사용된 행렬 데이터의 재사용 거리가 크다. 따라서 인공 신경망을 구동할 때 NUCA에서 재사용 거리가 짧은 데이터들을 처리하는 기존 방식을 사용할 경우 마이그레이션 동작은 무의미해지며, 데이터의 위치를 고려하지 않고 스레드를 코어에 매핑하기 때문에 낮은인공 신경망을 구동할 때 접근 지연시간을 제공할 수 있는 NUCA의 이점을 활용할 수 없다. 데이터 이동 거리가 길고 순차적인 메모리 액세스 패턴을 특징으로 하는 인공 신경망의 실행 시간을 단축하기 위해 행렬 연산 과정에서 발생하는 메모리 접근 패턴을 활용할 수 있는 NUCA 정책을 제안한다.

II. Non Uniform Cache Architecture

NUCA는 다수의 물리적인 뱅크를 하나의 공유캐시로 구성한다. 각각의 뱅크들은 독립적인 인터커넥트를 사용하거나, 온-칩 네트워크 인터커넥트를 통해 서로 통신을 한다 [6]. Fig. 1-(a)와 같이 Static-NUCA-1 (S-NUCA-1) 구조는 각각의 뱅크에 대해 독립적인 인터커넥트를 갖추고 있다. 뱅크 간의 거리는 접근 지연시간에 큰 영향을 미친다. 가까운 뱅크는 짧은 배선 길이로 인해 접근 시간이 단축되지만, 멀리 위치한 뱅크는 긴 배선 길이로 인한 높은 접근 지연을 보인다. 각 뱅크별로 독립적인 배선이 필요하므로 연결 복잡성과 전력 소모가 증가한다.

Fig. 1-(b)에 표현된 바와 같이 S-NUCA-2 구조는 캐시 내부에서 효율적인 통신을 위해 네트워크-온-칩을 도입하였다. 이로 인해 여러 뱅크에 분산된 데이터에 병렬적으로 접근할 때의 S-NUCA-1 대비 성능 향상을 기대할 수 있다. 하지만 S-NUCA의 주요 특징 중 하나는 캐시 라인이 저장될 뱅크의 위치가 정적이라는 것이다. 데이터가 처음 캐시에 로드될 때 해당 데이터가 저장될 뱅크가 결정되면, 그 이후에는 뱅크가 변경되지 않는다는 것을 의미한다. 따라서, 데이터의 접근 패턴이나 빈도에 따라 동적으로 최적의 뱅크로 데이터를 이동시키는 것은 불가능하다. 이러한 정적 배치 방식은 설계와 관리의 복잡성을 줄여주지만, 동적인 워크로드 변화에 유연하게 대응하기 어렵다는 단점이 있다. Dynamic-NUCA(D-NUCA)는 S-NUCA-2와 동일한 인터커넥트를 사용하지만, 접근 지연시간을 최소화하기 위한 정책이 다르다. D-NUCA에서는 자주 접근하는 캐시 라인에 대한 접근 지연시간을 줄이기 위해 캐시 라인을 프로세서 코어와 인접한 뱅크로 이동할 수 있다. 뱅크 간의 캐시 라인 이동은 set-associative 매핑을 통해 이루어진다 [7]. 각 set은 여러 뱅크에 걸쳐 분산되어 있으며, 각 뱅크는 하나 이상의 way를 저장하고 있다. 따라서, 하나의 set 내에서도 way별로 다른 뱅크에 저장되어 있으므로 데이터 접근 시간이



〈그림 2〉 NUCA의 management policies 별 분류. (a) S-NUCA-1, (b) S-NUCA-2, (c) D-NUCA

상이하다.

이러한 뱅크 간의 접근 시간 차이를 최소화하기 위해 NUCA는 세 가지 핵심 관리 정책을 도입하였다.

1. 마이그레이션

접근하고자 하는 캐시 블록이 코어로부터 가까운 뱅크에 위치하게 되면, 그 캐시 블록에 대한 접근 시간이 줄어들기 때문에, 자주 사용되는 캐시 블록은 〈그림 2-(c)〉와 같이 인접한 뱅크로 마이그레이션한다.

D-NUCA는 이러한 마이그레이션 정책을 통해 코어와 근접한 뱅크 이동을 동해 히트 수를 최대화한다. 이렇게 함으로써 D-NUCA는 S-NUCA와 달리 히트 지연시간을 최소화할 수 있다. 따라서 자주 사용되는 캐시 블록을 파악하고, 캐시 블록을 가까운 뱅크로 옮기는 마이그레이션 기법은 접근 지연시간에 결정적인 요소로 작용한다.

반면, T-DNUCA [8]는 최근 접근 시간과 위치 정보를 메타데이터에 수집하여 뒤 가장 자주 사용되는 블록을 식별하고, 처리 코어에 인접한 위치로 이동시킨다. 데이터를 미리 코어로 이동시켜 데이터 접근 지연을 줄이는 prediction based L2 cache data migration (PBM) [9]의 순차적 예측 기술은 캐시 미스가 발생했을 때, 캐시 미스가 발생했을 때, 다음 인접 블록 함께 가져오는 기법이다. 이는 지역성의 원리를 기반으로 한다. 순차적 예측 기술을 사용하여 가까운 미래에 접근될 데이터를 미리 이동시킨다. 공간적 지역성이 높지만 시간적 지역성이 낮은 접근 패턴의 경우 해당 블록을 재사용하지 않기 때문에 마이그레이션을 통한 이점을 활용할 수 없다.

2. 매핑

수많은 뱅크로 구성된 NUCA는 캐시 블록을 뱅크에 매핑하기 위한 잠재적인 유연성을 제공한다. 캐시 블록이 정해진 뱅크에만 매핑될 수 있는 S-NUCA와 달리 D-NUCA는 뱅크셋 내 모든 뱅크에 매핑될 수 있다. 다중 뱅크 캐시가 set-associative 구조로 구성되고 각 집합이 여러 뱅크 집합에 분산되어, 각 뱅크가 집합의 way를 보유하는 spread-set 캐시라는 절충안을 사용한다. 이러한 구조의 캐시는 코어에 대한 모든 뱅크셋의 평균 접근 지연시간을 균일하도록 함으로써 캐시 블록의 위치에 따른 접근 시간을 균일하게 한다. F-NUCA는 3D 매시 기반 NUCA에서 캐시 접근 공정성을 최적화하기 위한 설계 방식 두가지를 제안하였다 [10]. 첫 번째로, 3D 매시 기반 NUCA에 대한 위치 인식형 메모리-LLC 매핑 방식은 3D NUCA 아키텍처에서 공정한 캐시 접근 시간을 가질 수 있도록 하는 매핑 방식을 제안하였다. 두 번째로, 제안된 매핑 방식을 기반으로, 경합 지연시간에 영향을 미치는 캐시 접근 공정성을 더욱 개선하기 위해 불균일 링크 분배 설계를 제안한다. 태스크가 수행될 코어를 결정하는 태스크 매핑은 가까운 코어에 태스크를 배치함으로써 캐시 블록의 위치부터 코어까지의 접근 홉 카운트를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 캐시 라인에 대한 접근 시간이 균일하게 되면, 0-hop으로 캐시 라인에 바로 접근하는 빈도가 감소한다. 이 때문에, 각 코어가 0-hop으로 접근을 할 수 있도록 보장하는 매핑 솔루션의 필요성이 증가한다.

3. 탐색

DNUCA는 마이그레이션 동작을 통해 멀리 떨어진 뱅

크에 대한 액세스 대기 시간을 줄이지만, 캐시 블록의 위치가 변화하기 때문에 탐색하기 위한 검색 알고리즘이 필요하다. 캐시 블록의 위치를 탐색하기 위한 방식은 시리얼한 방식과 패러럴한 방식이 존재한다. 시리얼한 방식인 incremental 탐색 정책은 가장 가까운 뱅크에서 탐색을 시작하여 요청한 블록을 찾거나 마지막 뱅크에서 미스가 발생할 때까지 뱅크를 순차적으로 탐색한다. 이 정책은 캐시 네트워크의 메시지 수를 최소화하고 적중을 확인하는 동안 액세스하는 뱅크의 수가 줄어들기 때문에 동적 에너지에서 이점을 가지지만 탐색 시간이 증가하므로 접근 지연시간이 증가한다. 패러럴 한 탐색 정책은 뱅크셋 내 모든 뱅크에서 동시에 캐시 블록을 탐색함으로써 탐색 시간은 짧지만 트래픽의 양이 증가하여 네트워크가 포화할 수 있는 문제를 가지고 있다.

III. 인공지능 연산 가속화 기법

우리는 GEMM 연산의 공간적 지역성에 최적화된 새로운 D-NUCA정책을 제안한다. 이 정책은 기존의 시간적 지역성에 중점을 둔 정책에서 벗어나, 연속된 메모리 액세스를 보다 효율적으로 처리하도록 설계하였다. 목표는 데이터 이동을 최소화하여 매니 코어 프로세서의 처리량을 향상시키는 것이다. 이를 위해, 우리는 GEMM 연산 과정에서 발생하는 메모리 접근 패턴을 활용한다. 기존의 NUCA 정책이 시간적 지역성을 통한 성능완화에 초점을 맞추었지만, 제안하는 정책은 공간적 지역성을 활용하여 성능 개선에 접근한다.

1. Word Parser and Prefetcher(WPNP)

제안하는 NUCA 정책들은 다음에 접근될 캐시 라인을 실제 접근이 이루어지기 전에 미리 처리하는 방식을 사용한다. 이러한 접근법의 핵심은, 데이터 요청이 발생하기 전에 캐시 라인의 마이그레이션과 매핑을 미리 수행하는 것이다. 하지만 이를 위해서는 matrix address space 내에서 사용될 캐시 라인의 주소를 사전에 예측할 수 있어야 한다. 따라서, 사전에 메모리 액세스 패턴을 분석하여 어떤 캐시 라인이 다음에 접근될 것인지를 파악하고, 해당 캐시 라인을 필요한 위치로 사전에 마이그레이션이 이루어져야 한다. 인공지능 연산에서 GEMM 입력 데이터는 가상 주소 공간에서 공백이 없는 연속적인 주소를 갖는다. 이렇게 저장된 데이터는 각 페이지의 모든 블록에 대해 일정한 단위 간격으로 물리 주소가 할당되어 있기 때문에, 어떤 데이터가 다음에 접근될 것인지 예측하기 용이하다. 예측된 패턴을 활용하면, 캐시 라인의 마이그레이션과 매핑 작업을 미리 수행할 수 있다. 따라서 우리가 제안하는 WPNP는 메모리 페이지 내의 모든 블록과 각 블록 내의 모든 워드에 대해 일정 주소 간격으로 GEMM 입력 데이터의 주소를 파싱한다.

WPNP의 설계는 메모리 내 행렬 데이터 접근 패턴을 파악할 수 있게 한다. 이를 위해 WPNP는 16개의 가상 주소 엔트리를 가진다. 각 엔트리에는 가상 페이지 넘버(VPN)와 각 가상 페이지별로 가상 페이지 오프셋(VPO), Init. VPO, Next VPO-Word, Next VPO-Block, Prediction Count가 저장된다. WPNP는 블록 내 워드에 순차적으로 접근하는지 확인하기 위 저장된 Next VPO-Word에 워드 단위 주소 만큼, Next VPO-Block에 블록 단위만큼 증가시킨다.

16개의 워드 중 8개의 Next VPO-Word가 동일할 경우 연속적으로 접근한다고 판단, WPNP는 해당 블록과 페이지가 신경망 입력 데이터를 저장하고 있다고 판단한다.

2. Modified LRU replacement policy

우리의 정책은 가상 주소 공간에서 공간적 지역성을 활용하기 때문에, 물리적 주소 공간에서 새로운 페이지로부터 데이터를 페치하는 경우가 발생한다.

이는 프리페처로 인해 교체되어서는 안 되는 캐시 라인을 교체하게 될 경우 캐시 미스율이 높아질 수 있다. 따라서 최근 사용된 캐시 라인을 보존하는 기존 LRU정책의 변경을 통해 최근 사용된 GEMM 입력 데이터를 가장 우선적으로 교체하는 수정된 LRU 정책을 제안한다.

우리의 정책은 현재 캐시 라인이 행 데이터를 저장 하고 있는지 판별하기 위해 1비트 P-flag를 캐시 라인에 추가한다. 기존의 LRU 교체 정책은 최근 사용한 캐시 라인의 LRU 카운터를 증가시키지만, 우리가 제안하는한

LRU 교체 정책은 사용한 캐시 라인의 P-flag가 1인 경우 LRU 카운터를 즉시 교체하기 위한 낮은 값으로 설정한다. 인공지능 애플리케이션에서 행렬데이터가 포함된 캐시 라인이 한 번 사용된 이후 재접근되지 않는 특성을 활용하여 과도한 캐시 점유를 방지함으로써 캐시 미스율 상승을 억제한다. 이를 통해 캐시의 공간 효율성과 신속성을 확보할 수 있다.

이런 전략은 일반적으로 시간적 지역성이 높은 데이터에 유용하지만, GEMM 연산에서 나타나는 공간적 지역성이 높은 데이터에는 효율적이지 않다. 이는 GEMM 연산의 데이터 요소들이 재접근되지 않고, 대신 일정한 주소 간격으로 접근되는 패턴을 가지기 때문이다.

3. preemptive migration policy (PMP)

PMP정책은 메모리 관리에 두 가지 주요 단계를 포함한다. 첫 번째 단계는 뱅크 세트 내에서 캐시 라인의 이동 가능성과 존재 여부를 확인하는 것이다. 이 단계에서 필요한 캐시 라인이 없으면 DRAM으로부터 해당 데이터를 요청한다.

두 번째 단계는 이미 존재하는 캐시 라인 또는 DRAM으로부터 새로 받은 데이터에 대한 후속 조치를 결정하는 것이다. 이전에 수집된 탐색 결과를 기반으로 캐시 라인이 존재하고, 해당 캐시 라인을 코어에 근접한 뱅크로 옮길 수 있다면, 데이터를 해당 위치로 마이그레이션하거나 기존 데이터를 새 데이터로 오버라이트한다.

시스템의 추가적인 트래픽을 최소화하기 위해 오버라이트 작업을 우선적으로 수행한다. 여기서 오버라이트의 대상은 캐시를 오래 점유한 행렬 데이터이다. 이러한 접근법은 재사용 거리 가 무한대인 데이터에 적용되며, 따라서 캐시미스율에 영향을 주지 않는다. 오버라이트가 가능한 캐시 라인이 없고존재하지 않을 경우, 해당 뱅크 내에서 matrix bit가 0인 가장 오래전에 사용된 캐시 라인을 대상으로 마이그래이션을 한다. 오래전에 사용된 캐시 라인은 확률적으로 다시 사용될 가능성이 낮기 때문에 이러한 캐시 라인을 마이그래이션하면, 자주 사용되는 데이터의 마이그레이션을 차단할 수 있고, 캐시 미스율을 최소화할 수 있다.

위와 같은 조건을 충족하는 캐시 라인이 없을 존재하지 않을 경우, matrix bit가 0인 상태에서 점유를 오래하고 있는 캐시 라인을 찾아 마이그레이션 작업을 수행한다. 이 작업은 캐시 미스율을 높이지 않으면서도 DRAM 접근을 최소화할 수 있다.

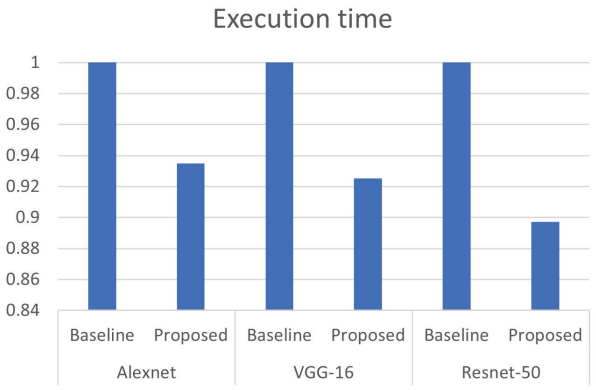
우리의 시스템은 일련의 논리적인 단계를 거쳐 프로세서와 근접한 뱅크로 캐시 라인을 이동시키는 것을 목표로 하고 있다. 이 과정을 통해 접근 지연시간을 감소시키고 전반적인 데이터 처리 성능을 향상시킬 수 있다.

IV. 인공지능 애플리케이션 적용 사례

WPNP와 PMP등 우리가 제안한 NUCA 정책의 데이터 접근 오버헤드에 대해 분석하고 평가한다. 결과에 따르면 뱅크에 접근하기 위한 홉 카운트와 필요한 캐시 블록만 사전 마이그레이션을 함으로써 메모리 계층으로의 접근 횟수를 감소시킨다.

제안하는 NUCA 정책들의 효과를 검증하기 위해 멀티 코어 시뮬레이터인 Sniper[11]을 사용하였다. 시뮬레이터의 프로세서 모델은 표1과 같다. 벤치마크는 인텔 Advanced Vector eXtension 2(AVX2) 명령어를 지원하는 Darknet[12] 프레임워크를 사용하였다.

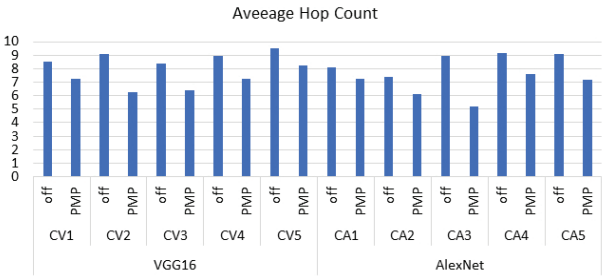
제안한 정책은 뱅크에 도달하기 위한 홉 카운트를 낮춰 LLC의 히트 지연시간을 단축할 수 있다. GEMM 연산 시 캐시 계층에서 히트 지연시간이 큰 이유는 1) 마이그레이션이 수행되지 않아 멀리 있는 뱅크에 접근하게 되고, 2)



〈그림 3〉 인공지능 애플리케이션 별 실행 시간 및 제안한 정책의 실행 시간 감소효과

〈표 1〉 시스템 환경구성

H/W	Core	32 cores, x86, 2.66GHz, 4-issue
	L1 Cache	32KB private, 4-way, LRU, 64B line, Stream prefetcher
	L2 Cache	512KB private, 8-way, LRU, 64B line, Stream prefetcher
	LLC(NUCA)	32MB shared, 4-way, LRU
	DRAM	2 channels, 7.6GB/s per channel
S/W	Framework	Darknet
	Simulator	Snipersim



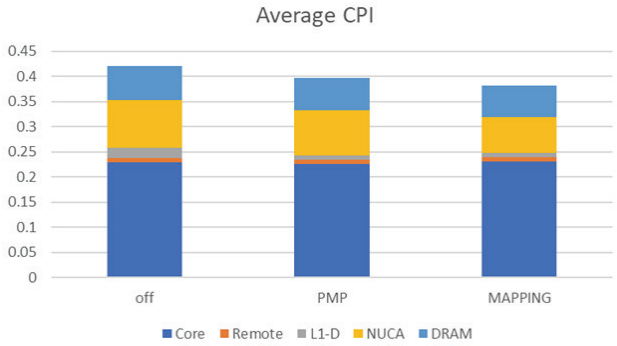
〈그림 4〉 인공지능 애플리케이션 별 접근 홉 카운트

NoC 트래픽에 의해 대기 지연이 발생하게 되면서 히트 지연시간이 증가하게 된다.

기존 baseline은 캐시 블록 접근 빈도수에 따라 마이그레이션 동작을 수행하기 때문에, 재사용 거리가 커 시간적 지역성은 낮지만 공간적 지역성이 높은 인공 신경망에서는 뱅크에 접근하기 위해 큰 홉 카운트를 필요로 한다.

하지만 WPNP는 접근이 될 캐시 블록 주소를 예측하고 사전 마이그레이션을 수행하기 실행 시간에서 〈그림 3〉과 같이 평균 8.1% 개선을 달성하였으며, 접근 홉 카운트가 〈그림 4〉와 같이 베이스라인 대비 평균 10.9%가 감소하였다. 이상적인 경우, WPNP 정책은 캐시 블록이 코어와 동일한 타일의 뱅크에 마이그레이션을 수행하기 때문에 평균 접근 홉 카운트가 0에 수렴해야 한다. 그럼에도 불구하고 실험 결과에서 차이를 보이는 이유는 해당 코어와 인접한 뱅크에 직접 매핑을 하지 못하거나, 캐시 라인이 코어가 속한 뱅크셋에 저장되지 않고 다른 뱅크셋에 저장되어 추가적인 홉 카운트를 필요로 하기 때문이다.

연산 집약적인한 신경망의 처리 시간이 메모리 계층



〈그림 4〉 인공지능 애플리케이션 별 접근 홉 카운트

의 지연시간을 개선시킴으로써 단축된 효과를 증명하기 위해 사이클당 명령어 수와와 메모리 계층 별 cycle per instruction(CPI) 점유 비율을 분석하였다. 이는 LLC의 히트 지연시간을 단축시킴에 따라 명령어를 수행하는데 필요한 사이클 수를 〈그림 5〉와 같이 10.1%감소시켰으며, CPI중 LLC에 의한 점유 비율이 24.1% 감소되었다. 이는 처리속도를 단축시키기 위해 코어수만 증가시키는 것 뿐만이 아닌, 데이터를 빠른 시간 내 제공함으로써 LLC에 의한 CPI 점유 비율을 단축시킴으로써 명령어을 짧은 사이클로 수행할 수 있게 하는 것 역시 중요하다.

V. 결론

인공 신경망은 짧은 응답 시간을 요구하는 프론트엔드 애플리케이션에서도 사용되고 있기 때문에, 신경망 연산을 빠르게 처리하기 위한 연구는 필수적이다. 컨볼루션 신경망 연산을 빠르게 처리하기 위한 기존의 연구는 추가적은 컴퓨팅 능력 리소스를 통해 병렬성을 극대화 한 방법이 사용되어왔다. 하지만 우리는 컨볼루션 신경망이 메모리 수준에서도 가속화가 가능하다는 기회를 포착하였다. 이는 기존 NUCA 시스템이 시간적 지역성이 높은 접근 패턴에 특화되어있고, 인공 신경망과 같이 공간적 지역성이 높은 접근 패턴에서는 접근시간을 단축시키지 못한다는 문제점을 파악하였다. 우리는 공간적 지역성이 높은 접근패턴을 파악하여 마이그레이션을 수행하는 선제적 마이그레이션 기법을 제안하였다. Darknet을 적용한 실험에서 평균 8.1%의 연산시간 감소를 보여주었다.

참고문헌

[1] Muralimanohar, Naveen, Rajeev Balasubramonian, and Norm Jouppi. "Optimizing NUCA organizations and wiring alternatives for large caches with CACTI 6.0." 40th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO 2007). IEEE, 2007.

[2] Kim, Changkyu, Doug Burger, and Stephen W. Keckler. "An adaptive, non-uniform cache structure for wire-delay dominated on-chip caches." Proceedings of the 10th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems. 2002.

[3] K. Strandberg, Which OS? considerations for performance-asymmetric, multicore platforms, in: Research at Intel, White Paper

[4] Corbalán-Navarro, David, et al. "Dtm-nuca: dynamic texture mapping-nuca for energy-efficient graphics rendering." 2022 30th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP). IEEE, 2022.

[5] Vanapalli, Kartheek, Hemangee K. Kapoor, and Shirshendu Das. "An efficient searching mechanism for dynamic NUCA in chip multiprocessors." 2015 19th International Symposium on VLSI Design and Test. IEEE, 2015.

[6] Kim, Changkyu, Doug Burger, and Stephen W. Keckler. "An adaptive, non-uniform cache structure for wire-delay dominated on-chip caches." Proceedings of the 10th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems. 2002.

[7] Chishti, Zeshan, Michael D. Powell, and T. N. Vijaykumar. "Distance associativity for high-performance energy-efficient non-uniform cache architectures." Proceedings. 36th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 2003. MICRO-36.. IEEE, 2003.

[8] Das, Shirshendu, and Hemangee K. Kapoor. "Exploration of migration and replacement policies for dynamic NUCA over tiled CMPs." 2015 28th International Conference on VLSI Design. IEEE, 2015.

[9] Hao, Song, et al. "A prediction based CMP cache migration policy." 2008 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. IEEE, 2008.

[10] Wang, Zicong, et al. "Cache access fairness in 3d mesh-based nuca." IEEE Access 6 (2018): 42984-42996.

[11] Heirman, Wim, Trevor Carlson, and Lieven Eeckhout. "Sniper: Scalable and accurate parallel multi-core simulation." 8th International Summer School on Advanced Computer Architecture and Compilation for High-Performance and Embedded Systems (ACACES-2012). High-Performance and Embedded Architecture and Compilation Network of Excellence (HiPEAC), 2012.

[12] Redmon, Joseph. "Darknet: Open source neural networks in c." (2013): 2018.

강민구

• 2014년 3월 ~ 2018 년 2월 순천향대학교 전자공학과
• 2028년 3월 ~ 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

〈관심 분야〉
캐시 아키텍처 설계, 인공지능, 네트워크-온-칩, Cache architecture design, AI, Network-on-Chip

강건한 멀티레벨 PCM 기반 심층 신경망을 위한 동적 패턴 인식 인코딩 기술

Ⅰ. 서 론

심층 신경망(DNN)은 기존 프로그래밍 방식에 비해 효율성과 적용성이 높아 지난 10년 동안 다양한 분야에서 널리 사용되어왔다. 그러나 DNN 모델이 발전함에 따라 연산을 처리하는 데에 대용량 저장 공간과 고효율의 컴퓨팅 리소스가 필요한 경우가 많아졌다. 예를 들어, 최근의 최신 DNN 모델은 24억 4천만 개의 파라미터[4]로, 2,300만 개의 파라미터[8]에 불과한 ResNet-50 모델(2016년에 제안됨)보다 100배 더 큰 사이즈를 가지고 있다. 방대한 크기와 복잡성을 고려할 때, 모바일 디바이스나 임베디드 시스템과 같이 리소스가 제한된 플랫폼에 DNN을 배포하는 것은 쉽지 않은 일이다. Quantization[13], Weight 가지치기[6], 하드웨어 가속기[24] 등과 같은 여러 기술이 최신 DNN 모델의 계산 요구 조건을 완화하여 기본 하드웨어를 DNN 처리에 더 효율적으로 만들기 위해 제안되었다. 하지만 이러한 방법들은 기존의 전하 기반 메모리의 스케일링 한계로 인해 발생하는 메모리 성능 및 에너지 병목 현상을 극복하지 못한다는 단점이 존재한다[28].

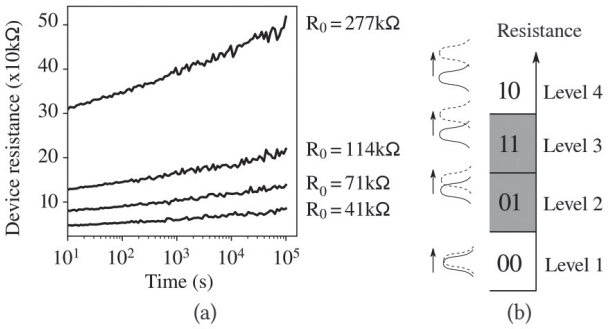
DRAM 및 플래시 메모리와 같은 기존 메모리는 확장 한계에 도달하고 있는 실정이며[21], 또한, 고도로 확장된 전하 기반 메모리는 누설 Power의 증가와 결함에 대한 취약하다는 문제에 직면해 있다. 이러한 문제들로 인해 DNN과 같은 리소스 집약적인 애플리케이션에서는 이러한 메모리를 이용하지 않는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 차세대 비휘발성 메모리(NVM), 특히 상변화 메모리(PCM)는 기존 메모리를 대체/증강할 수 있는 유망한 후보로 떠올랐다. PCM은 저저항 크리스탈린 State 또는 고저항 비정질 State로 프로그래밍할 수 있는 상변화 물질(일반적으로 Ge2Sb2Te5(GST))로 구성되는데, 비휘발성 메모리인 PCM은 저장된 데이터를 매우 오랫동안 유지할 수 있다는 장점이 있

장 제 우
연세대학교

다. (실온에서 약 10년[5]). 또한, PCM 셀을 크로스바 방식으로 구성하여 비용이 많이 드는 데이터 이동이 필요 없는 인메모리 컴퓨팅(IMC) 아키텍처에도 PCM을 사용하는 방안이 고려되고 있다. 이러한 IMC 기반 가속기는 O(1)의 시간 복잡도로 단일 곱하기-누적 (Multiply and accumulation, MAC) 연산을 처리할 수 있다[20, 27]. 이러한 PCM 기반 IMC 아키텍처의 특성은 리소스가 제한된 컴퓨팅 플랫폼에서 DNN 애플리케이션을 구현하는 데 적절한 대안이 될 수 있다.

PCM의 또 다른 유망한 기능은 셀당 하나 이상의 비트를 저장할 수 있다는 점이다(멀티 레벨 셀(Multi-level cell, MLC) PCM으로 알려져 있음). MLC PCM은 반복적 프로그램 및 검증(P&V) 기법을 사용하여 멀티 레벨에서 여러 타겟 레벨 중 하나에 대한 PCM 셀의 저항을 정밀하게 설정하여 프로그래밍하는 방식을 사용한다[19]. 기존 전하 기반 메모리 기술보다 확장성이 뛰어나기 때문에 PCM은 더 높은 저장 밀도를 가질 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 MLC PCM은 저항/컨덕턴스 드리프트[19], 고착 결함[17], 쓰기 장애[10] 등 다양한 신뢰성 문제에 직면해 있으며, 그 중 저항 드리프트는 MLC PCM 기반 시스템이 해결해야 할 핵심 과제로 꼽힌다. 상변화 물질의 구조적인 이완으로 인해 발생하는 저항 드리프트는 DRAM의 소프트 에러율에 비해 MLC PCM에서 훨씬 더 높은 소프트 에러율(SER)을 초래한다는 연구 결과가 존재한다[5, 19]. 드리프트 오류는 MLC PCM 기반 컴퓨팅 시스템에서 DNN 모델의 정확도를 심각하게 저하시킨다. 이러한 MLC PCM의 저항 드리프트 문제를 해결하기 위해 여러 연구에서 해결 방안을 제시했다. 메모리 중심 작업은 드리프트가 가장 발생하기 쉬운 데이터 Pattern의 빈도를 줄여 드리프트 오류의 영향을 줄이는 데 중점을 둔다[9, 14, 15, 19, 22, 30]. 그러나, 이러한 접근 방식은 DNN의 본질적인 Fault-tolerance 및 오류 임계성 특성을 고려하지 않기 때문에, DNN의 경우 효용성은 떨어진다고 볼 수 있다. 또 다른 연구에서는 다른 판독 메트릭을 사용하여 MLC PCM에서 저항 드리프트의 영향을 완화하려고 시도했지만[1, 26], 이러한 방법들의 경우 Latency 시간이 길어 자율 주행 차량, 의료용 로봇 등과 같이 Latency 시간이 중요한 애플리케이션의 경우 실용적이지 않다는 문제점이 있다. IMC 기반 아키텍처의 경우, 연구자들은 DNN의 자가 복구 기능을 활용하여 저항 드리프트가 DNN의 정확도에 미치는 영향을 줄이려 시도했다[3, 11]. 그러나 이러한 방법은 종종 비용이 많이 드는 Retraning/보정 프로세스가 발생하며, 이를 위해 요구되는 방대한 Training 데이터 때문에 리소스가 제한된 플랫폼에 DNN 모델을 실행한 후에는 적용이 어렵다는 한계가 존재한다.

한편, 여러 연구에서는 단일 비트 플립 오류가 발생할 때 DNN의 변화를 분석한다. [7, 12, 16, 18]. 그러나 MLC PCM의 경우 저장된 비트의 Pattern(예: 4레벨 셀의 2비트, 8레벨 셀의 3비트)으로 에러가 발생한다. 저항 드리프트로 인한 Pattern 전환에 따른 오류는 단일 비트 플립 오류와 비교했을 때 DNN의 정확도에 다른 방식으로 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 데이터 Pattern 전환을 고려했을 때 DNN의 동작을 분석한다. 분석 결과에 따르면, DNN의 Fault-tolerance과 비트의 임계치 차이로 인해 다양한 Pattern 전환이 DNN의 정확도에 다양한 정도의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 분석을 기반으로 DNN 애플리케이션에서 저항 드리프트의 영향을 견딜 수 있는 가볍고 효과적인 Dynamic State Encoding 기술인 DynaPAT를 제안한다. DynaPAT은 비용이 많이 드는 Retraning 과정이 필요하지 않으며, 기존 PCM 기반 DNN 시스템에 하드웨어(면적/Storage) Overhead를 크게 요구하지 않으면서도 드리프트 오류를 견뎌내는데 매우 효과적인 기술이다.



〈그림 1〉 (a) 임의의 R_0 값에 대한 PCM의 저항 드리프트(b) 4레벨 셀(MLC) PCM 저항 드리프트.

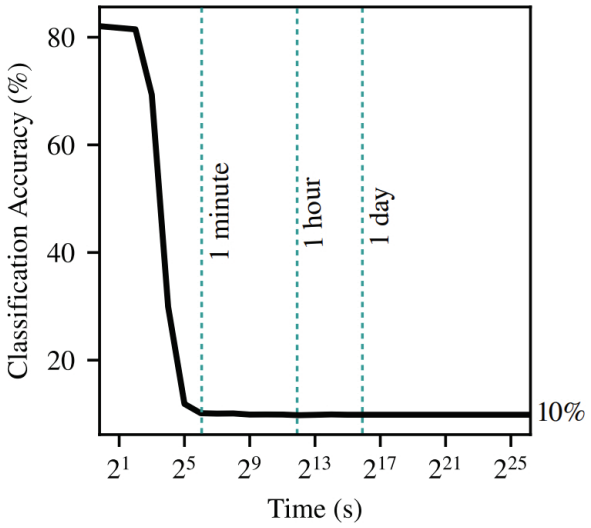
이하 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 DNN과 MLC PCM 저항 드리프트에 대한 배경 및 관련 연구를 다룬다. 3절에서는 DNN의 Pattern 전환 임계값 분석에 기반한 DynaPAT을 설명한다. 4절에서는 DynaPAT에 대한 실험을 진행한 결과를, 5절에서는 논문을 마무리한다.

Ⅱ. 배경 및 관련 연구

1. DNN과 PCM

인공 신경망의 하위 집합인 DNN은 Input Layer와 Output Layer 사이에 있는 여러 Layer들로 구성된다. 각 Layer는 입력값의 Weight 합에 활성화 함수를 적용하여 Output을 계산한다. 복잡한 작업을 해결하기 위해 계층적 방식으로 작동하는 DNN은 많은 양의 저장 공간과 연산 자원을 사용한다. 그렇기 때문에 리소스 제약이 있는 엣지 디바이스를 사용하여 DNN 기반 애플리케이션을 실행할 때 문제가 발생한다. 또한, DRAM, SRAM, 플래시 메모리와 같은 기존의 전하 기반 메모리가 확장 한계에 도달함에 따라 전하 누설 및 결함에 대한 취약성, 확장 제한 및 성능 저하로 인해 이러한 메모리 기술을 기반한 대규모 DNN 애플리케이션의 배포는 한계에 직면한 상황이다. 따라서 연구자들은 더 나은 확장성, 비휘발성, 낮은 누설 Power, 더 나은 성능을 갖춘 차세대 메모리 기술을 조사하기 시작했다. 이러한 차세대 메모리의 가장 유력한 후보 중 하나는 상변화 메모리(PCM), 저항성 랜덤 액세스 메모리(ReRAM), 스핀-전달 토크 자기 메모리(STT-MRAM)가 있다.

PCM은 새롭게 부상하고 있는 NVM으로 상변화 물질(예: Ge2Sb2Te5(GST))을 사용하여 데이터를 저장하는 특성으로 하여금 최근 몇 년간 학계에서 많은 관심을 이끌어냈다. 데이터는 상변화 물질을 비정질 상에서 결정질 상으로 또는 그 반대로 전이하며 State를 PCM에 저장한다[5]. PCM의 이 두 단계는 서로 다른 두 저항 레벨(일반적으로 3~4배의 크기 차이가 있음)을 가지므로 컴퓨팅 시스템이 데이터를 읽고 PCM으로 프로그래밍할 수 있는 편의성을 제공한다. PCM의 또 다른 주요 특징은



〈그림 2〉 MLC PCM 저항 드리프트가 DNN 정확도에 미치는 영향 (CIFAR-10 데이터셋의 8비트 Quantization된 ResNet18)

셀당 1비트 이상을 저장할 수 있어 메모리 시스템의 밀도를 크게 높일 수 있다는 점이다. 이를 위해 PCM의 저항 범위는 일반적으로 2레벨(단일 레벨 셀(Single-level Cell, SLC)과 달리 4레벨(Multi-level Cell, MLC)로 여러 단계로 나눠진다[9, 19, 30]. MLC PCM은 메모리 시스템의 Storage 밀도를 향상 시키지만, 현재 MLC PCM은 저항 드리프트라는 신뢰성 문제가 있어 신뢰성이 중요한 애플리케이션에서 MLC PCM의 활용이 다소 제한되는 실정이다. 이러한 유형의 오류는 [23]과 같이 트리플레벨 셀(TLC, 셀당 3비트를 저장하는 8레벨)과 같은 더 높은 레벨의 PCM 셀을 사용할 때 더욱 빈번하게 발생하는 경향이 있다. 본 논문에서는 실용성을 고려하여 4레벨 셀(즉, MLC PCM)을 제안된 방법의 Baseline으로 사용한다. 하지만 본 논문의 모든 분석과 기법은 쉽게 일반화하여 더 많은 레벨을 가지는 PCM 구현으로 확장 가능하다.

2. PCM 저항 드리프트와 DNN 정확도에 끼치는 영향분석

MLC PCM에서 발생하는 신뢰성 문제인 저항 드리프트는 "시간이 지남에 따라 PCM 셀의 저항이 증가하는 현상"을 말한다. [19]의 실험에 따르면, 초기 저항 값에 대한 PCM 셀의 저항 드리프트의 정도는 다음과 같이 공식화된다:

$$R(t) = R_0(t/t_0)^{\alpha} \quad (1)$$

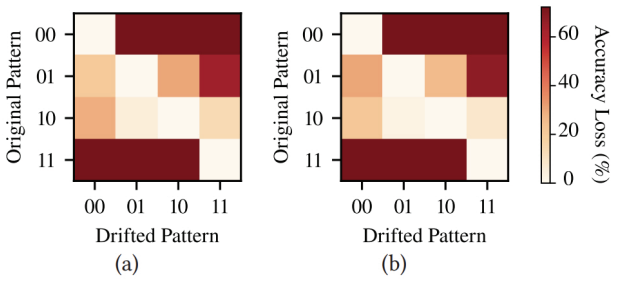
위 식에서 R_0는 시간 t_0에서 PCM 셀의 초기 저항 값이고 α는 드리프트 계수를 의미하며 시간이 지남에 따라 저항이 드리프트하는 정도를 결정한다. 방정식에 기반해 분석하면 저항 드리프트의 정도는 MLC PCM의 다양한 레벨에 따라 달라진다. MLC PCM의 레벨에 따라 저항 값이 다르기 때문이다. 〈그림 1(a)〉는 [11]에서 검증된 모델을 기반으로 시간 경과에 따른 PCM 저항 값의 증가 추이를 보여준다. 그림에서 나타나듯, 초기 저항값이 높을수록 PCM 셀의 저항이 더 빠르게 증가하는 모습을 보인다. 4레벨 셀(MLC PCM)에서 다양한 저항 레벨의 저항 분포는 〈그림 1(b)〉에 나타나있다. 첫 번째 레벨은 초기 저항이 낮기 때문에 드리프트가 무시할 수 있는 수준이고 네 번째 레벨은 임계값을 초과할 정도로 크기 때문에 드리프트 오차가 없다고 볼 수 있다. 따라서 MLC PCM에서 드리프트가 발생하기 쉬운 레벨은 두 중간 레벨(레벨 2 및 레벨 3)이다. 이 두 레벨의 드리프트 오차율은 [19]에 제시된 확률적 모델을 사용하여 추정될 수 있다. MLC PCM에서 저항 드리프트(한 레벨에서 다른 레벨로)로 인한 오류를 단일 비트 오류로 제한하기 위해 〈그림 1(b)〉와 같이 Gray Encoding이 State Encoding으로 사용되는 경우가 많다. 그러나 이러한 State Encoding은 DNN 시스템에서 오류가 정확도에 영향을 끼치는 정도를 고려하지 않기 때문에 DNN 시스템의 경우 효율적이지 않을 수 있다.

Gray Encoding을 사용할 때 MLC PCM 저항 드리프트는 DNN의 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 〈그림 2〉는 기존 Gray Encoding을 사용할 때 MLC PCM의 드리프트 오류로 인해 시간이 지남에 따라 떨어지는 DNN 정확도를 보여준다. 실험은 CIFAR-10 데이터 세트에서 8비트 Quantization ResNet-18을 사용하여 수행되었다(실험에 대한 자세한 내용은 4.1절 참조). 검은색 실선은 시간에 따른 저항 드리프트로 인한 정확도 저하를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 오류보정 기법이 없는 경우 DNN의 정확도는 3초 이내에 저하되기 시작하여 1분 이내에 10%까지 떨어진다. 즉, 저항 드리프트는 기하급수적으로 DNN 모델 정확도를 떨어뜨린다. 드리프트된 셀 값을 복원하기 위해 간단한 리프레쉬 기법을 사용할 수 있지만, 이는 PCM 기반 시스템에서 에너지 및 레이턴시 측면으로 보았을 때 높은 프로그래밍 비용으로 인해 바람직한 해결책이 아니라고 볼 수 있다[29]. 따라서 드리프트에도 불구하고 시간이 지남에 따라 DNN의 정확한 성능을 연장할 수 있는 Encoding 방식이 선호될 것이다.

3. 관련 연구

MLC PCM에서 저항 드리프트를 해결하기 위한 메모리 중심 작업은 다양한 Encoding 또는 오류 수정 기법을 활용하여 드리프트 오류율을 줄이는 경우가 많다[9, 15, 19, 22, 30]. 예를 들어, 3레벨 셀[19]은 MLC PCM에서 가장 오류가 발생하기 쉬운 레벨을 제거하고 나머지 3개의 레벨만 사용함으로써 기존 MLC PCM에 비해 드리프트 오류율을 크게 감소시킨다[19]. [22]는 정렬된 통계를 사용하여 읽기 임계값을 추정하여 MLC PCM에서 드리프트 오류를 검출하는 방법을 제안한다. 'Helmet'[30]은 데이터 반전과 로테이션을 활용하여 MLC PCM 기반 시스템에서 가장 오류가 발생하기 쉬운 Pattern의 빈도를 최소화해 드리프트 오류율을 감소시킨다. Helmet과 유사하게 'Flipcy'[9]는 보간과 반전 연산을 사용하여 오류가 발생하기 쉬운 Pattern의 빈도를 줄이는 Encoding 기법으로, 이러한 방법은 매우 효과적일 뿐만 아니라 많은 메모리 중심 애플리케이션에서 약간의 Storage Overhead를 요구한다. 그러나 DNN의 경우, 이러한 방법은 DNN의 고유한 특성을 고려하지 않기 때문에 효율성이 떨어진다.

NVM 기반 DNN 가속기에서는 메모리로 인한 오류를 해결하기 위해 여러 연구에서 DNN의 Fault-tolerance을 가지는 특징을 을 분석하고 활용하는 데 중점을 두



〈그림 3〉 (a) ResNet-18 (b) GoogLeNet의 서로 다른 Pattern Switching (원래 Pattern에서 드리프트된 Pattern)으로 인한 DNN의 정확도 Loss

고 있다 [2, 3, 11]. [3]은 DNN의 트레이닝 과정에서 NVM의 하드웨어 결함을 고려한 IMC 기반 DNN 가속기의 Retraining 방식을 제안했다. 최근 [11]에서는 트레이닝 데이터를 사용해 Input 데이터의 분포를 사전에 보정하고 그에 따라 저항 드리프트를 보정하는 기법을 제안했다. 이러한 방법은 이미 엣지 디바이스에 DNN이 배포되어 Training 데이터를 사용할 수 없는 경우 실현하기 어렵다는 한계를 지닌다. [2]는 각 IMC Weight에 대해 여러 개의 PCM 디바이스를 구현하여 MLC PCM 저항 드리프트의영향을 줄이는 방식을 채택한다. 이러한 방법은 NVM의 비이상성이 존재할 때 DNN 모델의 Tolerance을 높일 수 있지만, 비용이 많이 드는 Retraning 과정이나 면적(저장 공간) Overhead가 발생한다는 이슈가 있다. 본 논문에서는 아주 작은 수준의 면적 Overhead만을 가지면서 Retraning이 필요 없으며 MLC PCM 기반 DNN에서 드리프트 오류를 허용하는 효과적인 방법을 제안한다.

III. 제안 방법

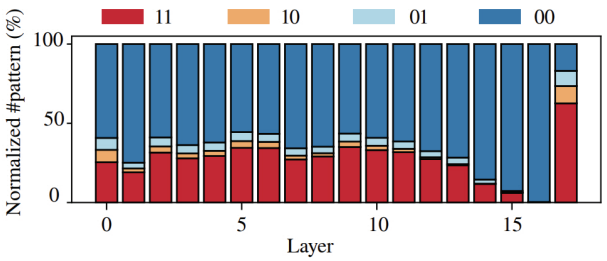
MLC PCM Cell State Encoding은 DNN 기반 시스템에서 드리프트 오류의 영향을 최소화하기 위해 다양하게 변경 가능하다. 이 섹션에서는 먼저 서로 다른 2비트 Pattern를 고려할 때 DNN의 Behavior을 분석한다. 이러한 분석을 바탕으로 드리프트 오차가 DNN의 정확도에 미치는 영향을 최소화하기 위한 Dynamic Encoding 체계인 DynaPAT을 제안한다.

1. DNN의 Pattern Switch 임계값

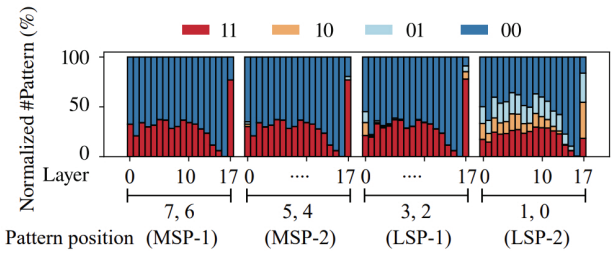
DNN은 하드웨어 구현에서 효과적으로 활용될 수 있는 내재적 Fault-tolerance 기능을 제공한다[11, 21]. [7]에 따르면 DNN 시스템에서 0에서 1의 Bit Flip은 DNN의 정확도에 큰 영향을 미치며 1에서 0의 Bit Flip은 상대적으로 미미한 영향을 미친다. 따라서 SLC 시스템에서 0 to 1 Bit-Flip을 줄임으로써 DNN의 Fault-tolerance을 크게 향상시킬 수 있다[7,16]. 하지만, MLC PCM의 경우 Single Bit Flip과 비교했을 때 DNN의 정확도에 완전히 다른 방향으로 영향을 미칠 수 있는 multi-bit Pattern에서 오류가 발생하는 경우가 많다. 따라서 효율적이고 견고한 MLC PCM 기반 DNN 아키텍처 설계를 위해서는 multi-bit Pattern Switching 오류를 고려한 DNN의 동작 분석이 필요하다.

〈그림 3〉은 다양한 Pattern Switching 오류가 DNN의 정확도에 미치는 영향을 보여준다. 이 실험에서는 각 2비트 Pattern(원본 Pattern)이 MLC PCM 셀에서 레벨 3(가장 오류가 발생하기 쉬운 레벨)의 드리프트 정도만큼 다른 Pattern(드리프트된 Pattern)으로 드리프트 된다고 가정한다(2.2절 참고). 저항 드리프트로 인한 DNN의 정확도 손실(사전 Training된 Quantization 모델의 정확도와 비교)를 213초(≈ 2시간) 후에 관찰한 결과를 설명한다. 실험은 8비트 Quantization된 ResNet-18과 10비트 Quantization된 GoogLeNet 네트워크[18]를 CIFAR-10 데이터셋에 Training한 결과로 수행 되었다. 그림에 나타나듯, 다양한 Pattern Switching 오류는 DNN의 정확도에 다양한 정도로 영향을 끼친다. 하지만 여러 DNN 모델에서 일관된 경향, 즉 기존 Pattern 00과 11에서 Pattern 전환으로 인해 심각하게 정확도가 저하되는 것을 확인할 수 있다. 이는 DNN의 매개변수에서 각 2비트 Pattern의 빈도를 통해 설명할 수 있다.

〈그림 4〉는 모든 Layer에서 8비트 Quantization된 ResNet-18의 Weight에서 2비트 데이터 Pattern 빈도를 보여준다. 대부분의 Layer에서 가장 많은 Pattern(Most Frequent Pattern, FP-1)은 00 Pattern이고 두 번째로 많은 Pattern(예: FP-2)은 11이다. Pattern 01과 10은 00 패턴과 11 Pattern에 비해 빈도



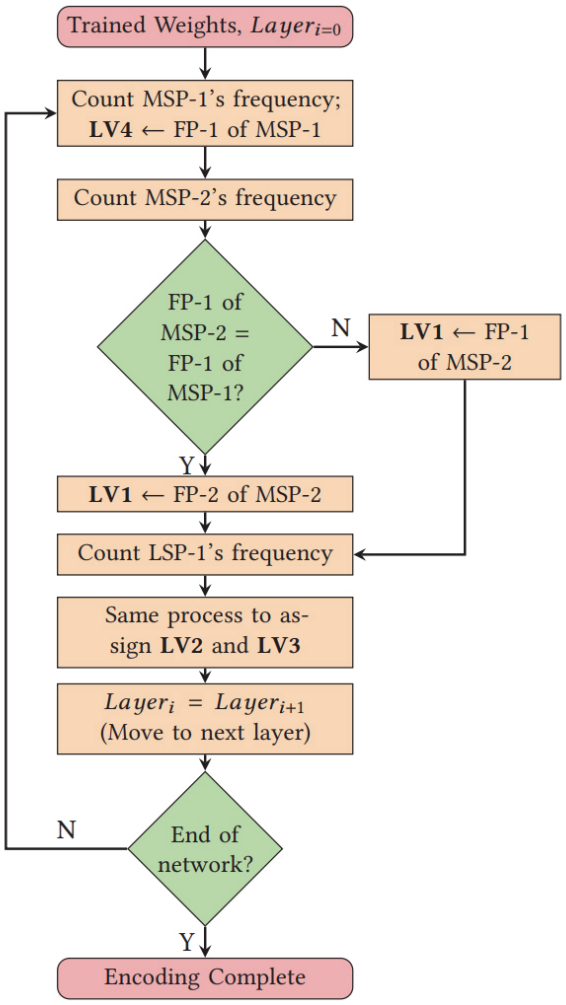
〈그림 4〉 8비트 Quantization된 ResNet-18의 Weight의 2-bit Pattern의 정규화된 Frequency



〈그림 5〉 8비트 Quantization된 ResNet-18의 Weight의 2-bit Pattern의 위치에 따른 Frequency

가 상당히 낮다. 이는 Pattern 00과 11의 변경으로 인한 오류가 DNN의 정확도에 큰 영향을 미치는 반면, 01과 10으로 인한 오류는 정확도 손실이 미미하기 때문이다. 간결하게 ResNet-18의 데이터 Pattern 분포만을 설명했지만, 실험에 따르면 이러한 경향은 다양한 유형의 DNN 모델 구성에 걸쳐 일관되게 나타난다.

DNN의 정확도에서 Pattern 전환 오류의 차이에 기여하는 또 다른 요소는 DNN 매개변수에서 오류의 위치이다. [7, 16]에서 제안한 바와 같이, 최하위 비트(LSB) 위치의 오류보다 최상위 비트(MSB) 위치의 오류가 DNN의 정확도에 더 큰 영향을 미친다. 이는 MLC PCM의 저항 드리프트에 의한 비트 Pattern 오류의 경우에도 똑같이 적용된다. 〈그림 5〉는 8비트 Quantization ResNet-18 네트워크의 모든 Layer에서 각 Pattern 위치의 Pattern 빈도를 보여준다. 가장 중요한 Pattern 위치(즉, MSP-1 및 MSP-2)에는 Pattern 00과 11이 집중되어 있는 반면, 가장 중요하지 않은 Pattern 위치(즉, LSP-1 및 LSP-2)에는 Pattern 01과 10의 존재로 인해 11과 00의 빈도가 줄어든 모습을 확인할 수 있다. 4절의 평가 결과에 나타나듯 다른 네트워크 아키텍처 또는 네트워크 구성에서도 유사한 경향이 관찰될 수 있다. DNN의 Weight에서 Pattern 빈도를 관찰한 결과, 컨벤셔널 State Encoding(즉, Gray Encoding)을 사용하면 11에서 10으로 Pattern 전환으로 인한 오류(오류 수준 3)가 DNN의 정확도에 심각한 영향을 미칠 수 있다는 것을 유추 가능하다. 따라서, 중요한 Pattern 위치(MSP-1/MSP-2)에서 가장 높은 빈도로 나타나는 Pattern(FP-1/FP-2)으로 인한 오류를 낮춤으로써 저항 드리프트 오류에 대한 DNN의 Tolerance을 크게 향상시킬 수 있다.

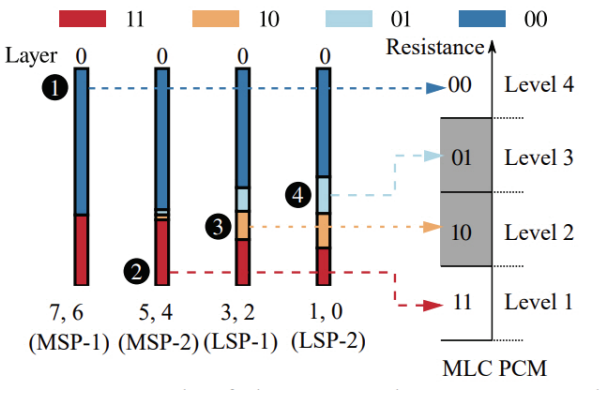


〈그림 6〉 DynaPAT encoding 알고리즘

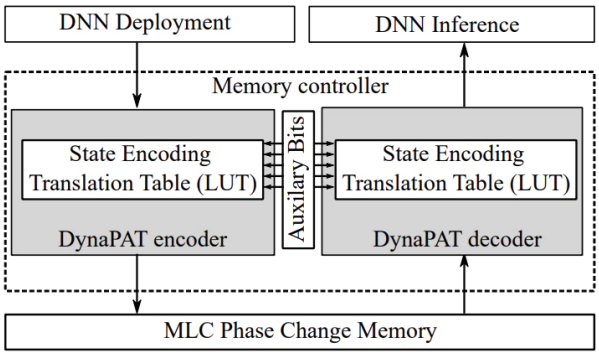
2. 제안된 DynaPAT Encoding 기술

이전 절에서 제시된 분석을 바탕으로, 우리는 Layer에서 가장 많은 Pattern을 가장 오류가 적은 레벨의 MLC PCM에 Mapping하는 DynaPAT Encoding을 제안한다. 2.2절에서 설명한 것처럼 [19]의 오류율 모델을 사용해 각 MLC PCM 레벨의 취약성 순서를 레벨4 → 레벨 1 → 레벨 2 → 레벨 3으로 정의한다. 여기서 레벨 4는 저항 드리프트 오류가 없고 레벨 3이 가장 드리프트가 발생하기 쉬운 MLC PCM 레벨이라고 이해하면 된다.

DynaPAT Encoding 기법의 알고리즘은 〈그림 6〉에 나타나 있으며, MSP-1/2는 〈그림 5〉와 같이 가장 중요한 Pattern/두 번째로 중요한 Pattern 위치를 나타내며 LSP-1/2는 가장 중요하지 않은/두번 째로 중요하지



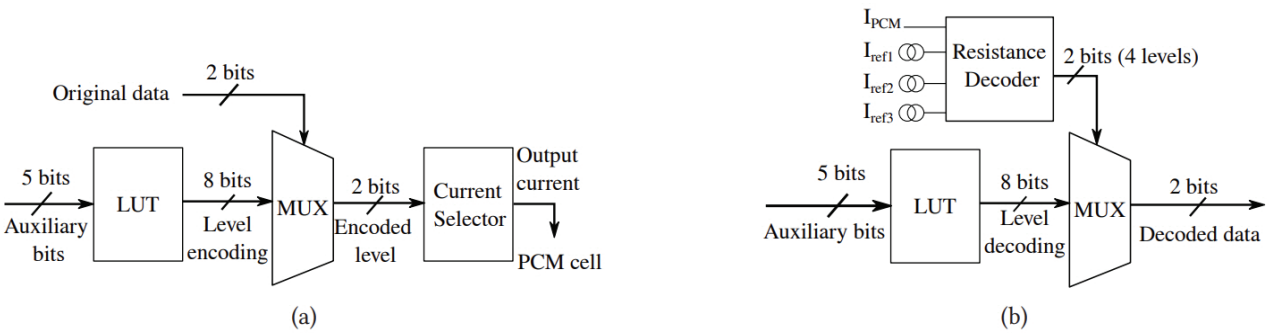
〈그림 7〉 DynaPAT encoding 알고리즘 예시



〈그림 8〉 전반적인 DynaPAT(쓰기/읽기) 아키텍처

않은 Pattern의 위치를 나타낸다. FP-1 ~ FP-4는 빈도 순서대로 Pattern을 나타내며, FP-1은 가장 빈번한 Pattern이고 FP-4는 가장 빈번하지 않은 Pattern을 나타낸다. LV1(레벨 1)부터 LV4(레벨 4)까지는 MLC PCM의 레벨에 해당한다. 훈련된 DNN의 정량화된 Weight가 주어지면 DynaPAT은 DNN의 모든 Layer를 반복하며 각 Layer에 대한 MLC PCM 셀의 논리적 State Encoding을 결정한다. 이러한 방식으로 DynaPAT은 배포 시 Encoding과 Inference 중 Decoding을 위해 Layer당 몇 개의 Auxiliary 비트가 요구된다(정확한 Storage Overhead는 다음 절에서 설명). DynaPAT은 먼저 MSP1 위치의 Pattern 빈도를 정하고 해당 FP-1(가장 빈번한 Pattern)을 LV4(오류가 가장 적은 레벨)에 할당한다. 다음으로, 알고리즘은 LV1(레벨 1)의 논리적 State Encoding을 할당하기 위해 MSP-2 위치의 Pattern 빈도를 계산한다. MSP-2의 FP-1이 이전 단계에서 LV4에 할당된 Pattern(MSP-1의 FP-1)과 동일하면 DynaPAT은 MSP-2의 FP-2(두 번째로 빈번한 Pattern)를 선택해 LV1에 할당한다. MSP-2의 FP-1이 MSP-1의 FP-1과 다른 경우, MSP-2의 FP-1이 LV1에 할당된다. 그런 다음 동일한 프로세스를 사용하여 DynaPAT는 LV2 및 LV3에 대한 Encoding을 위해 LSP-1 및 LSP-2의 Pattern 빈도를 계산한다. 마지막으로 DynaPAT는 다음 Layer로 이동하여 동일한 분석을 수행하여 MLC PCM의 State Encoding을 얻는다. 원칙적으로는 DynaPAT는 LSP보다 MSP의 오류를 감소시키는 것을 우선시한다. 따라서 DynaPAT은 LSP 오류의 DNN의 정확도에 끼치는 영향보다 훨씬 큰 MSP 오류의 영향을 줄인다.

〈그림 7〉은 8비트 Quantization된 ResNet-18 네트워크에서 Layer 0에 제안된 DynaPAT Encoding 알고리즘이 적용된 예시를 보여준다. 네 개의 컬러 열은 각 위치에서 서로 다른 Pattern의 빈도를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, DynaPAT는먼저 MSP-1의 FP-1(가장 빈번한 Pattern)을 00으로 설정하고 00을 MLC PCM 1의 레벨 4 논리 State Encoding으로 할당한



〈그림 9〉 DynaPAT Encoding/Decoding 로직. (a) Encoding 로직 (b) Decoding 로직

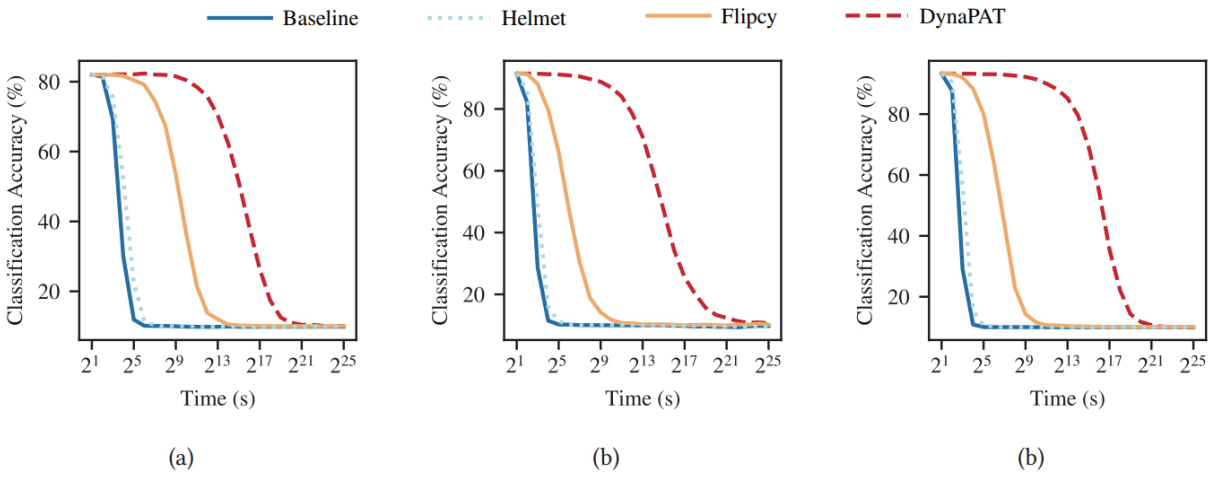
다. 다음으로 MSP-2의 Pattern 빈도를 얻어낸다. 해당 예시에서 MSP-2의 FP-1은 여전히 00이며 이미 레벨 4에 할당되어 있으므로 DynaPAT은 레벨의 State Encoding으로 11(MSP-2의 FP-2)을 선택한다. 동일한 프로세스를 통해 DynaPAT은 레벨 2와 레벨 3의 State Encoding을 결정하기 위해 LSP-1과 LSP-2 위치의 Pattern 빈도를 관찰한다. 그림에서 볼 수 있듯이 LSP-1의 FP-1과 FP-2는 00과 11로, 이전 단계에서 이미 레벨 1과 레벨 4에 할당되었으니 DynaPAT은 레벨 2의 State Encoding으로 10(LSP-1의 세 번째 가장 빈번한 Pattern(FP-3))을 할당한다. 마지막으로 나머지 논리 State Encoding(01)은 레벨 3에 할당된다. Encoding 후 최종 State Encoding은 11 → 10 → 01 → 00으로 MLC PCM의 레벨 1 →레벨 2 → 레벨 3 → 레벨 4에 해당한다. 이 State Encoding은 ResNet-18 네트워크에서 Layer 0의 Weight Encoding에 적용된다.

3. DynaPAT 구현 및 Overhead

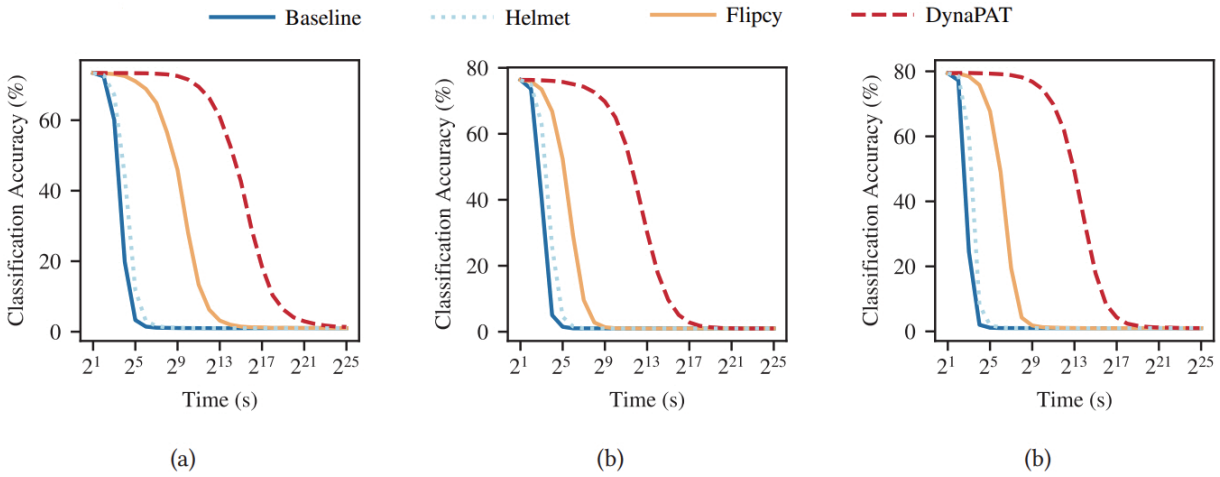
일반적으로 대부분의 DNN 애플리케이션은 한 번 Training한 이후 엣지 디바이스에 배포된다. 그리고 DNN 배포를 위한 MLC PCM의 프로그래밍은 Training 이후 진행된다. 따라서 DynaPAT Encoding 알고리즘을 사용하여 주어진 네트워크의 여러 Layer에 대한 State Encoding을 얻는 것은 훈련 과정 이후 한 번만 수행하면 된다. StateEncoding 분석〈그림 6〉은 네트워크 배포 전에 소프트웨어를 통해 오프라인으로 실행한다. 이 분석은 네트워크의 여러 Layer에 대해 서로 다른 State Encoding을 지정한다. 사용된 Encoding을 식별하려면 5개의 Auxiliary 비트(24개의 가능한 Encoding 중 하나를 나타냄)가 필요하다. 네트워크 Layer에 대한 State Encoding이 확정되면 State Encoding에 따라 MLC PCM을 프로그래밍하여 네트워크를 배포할 수 있게 된다.

〈그림 8〉은 (모든 State Encoding 확정 후) DynaPAT Encoding 기법의 배포를 위한 전체적인 구조를 보여준다. 〈그림 9〉는 배포 및 Inference 시에 DynaPAT에 사용되는 Encoding/Decoding 로직을 보여준다. MLC PCM 프로그래밍의 경우, 각 DNN의 Layer에 대한 MLC PCM의 State Encoding을 식별하기 위해 룩업 테이블(LUT)로 구현된 State Encoding 변환테이블이 필요하다. 5개의 Auxiliary 비트를 사용해 해당 8비트 State Encoding(MLC PCM의 네 가지 저항 레벨)을 얻는다. 제어입력이 프로그래밍할 데이터 Pattern인 MUX〈그림 9(a)〉를 사용하여 주어진 Pattern이 프로그래밍될 저항 레벨을 선택할 수 있다. 2비트 출력은 Pattern을 정확한 저항 레벨로 프로그래밍하기 위한 제어 역할을 수행한다.

Inference 중에 PCM의 데이터를 읽으면 5개의 Auxiliary 비트는 Encoding을 위해 동일한 State Encoding 변환 LUT를 다시 거친다. Decoding 경로



〈그림 10〉 CIFAR-10 데이터 세트를 사용한 다양한 DNN에 대한 Falut-tolerance 기법 비교
(a) ResNet-18 (b)GoogLeNet (c)Inception-v3).



〈그림 11〉 CIFAR-100 데이터 세트를 사용한 다양한 DNN에 대한 다양한 Falut-tolerance 기법 비교
(a) ResNet-18 (b) GoogLeNet (c)Inception-v3).

의 또다른 MUX〈그림 9(b)〉는 LUT에서 얻은 State Encoding을 기반으로 셀의 저항 레벨을 올바른 데이터 Pattern에 Mapping한다. 제안된 LUT는 전체 네트워크에 24바이트만 추가하면 되는 24개의 8비트 엔트리가 요구된다. 또한 State Encoding을 식별하기 위해서 Layer당 5개의 Auxiliary 비트가 필요하며, 이 역시 수백만 개의 파라미터를 고려하면 무시할 수 있는 Storage Overhead라고 볼 수 있다. Inference 시에는 LUT와 MUX의 Latency 시간만 더해지는데, 이는 MLC PCM의 읽기 Latency에 비하면 미미한 수준이다. Layer당 5개의 Auxiliary 비트는 SLC PCM에 저장하여 Auxiliary 비트의 저항 드리프트로 인한 오류를 방지할 수 있다.

DynaPAT의 Encoding/Decoding은 Layer 단위로 적용되기 때문에 DynaPAT의 Storage Overhead는 각 Layer의 파라미터 수에 따라 달라진다. 이 Overhead는 무시할 수 있는 수준(1% 미만)인데, 그 이유는 DynaPAT이 주어진 Layer에 대해 MLC PCM의 모든 Encoding State를 Encoding/Decoding하는 데 5개의 Auxiliary 비트만 필요하기 때문이다. 예를 들어, 8비트 Quantization ResNet-18 네트워크를 사용하는 경우 모든 Layer에서 DynaPAT의 최대 Storage Overhead는 0.49%에 불과하다. 반면 대부분의 최신 데이터 Pattern 인식 Encoding 기술은 Storage Overhead가 6.25%까지 추가되는 경우가 많다(예: Helmet[30], Flipcy[9]). 또한 DNN의 (제한된) State Encoding 사례를 표현하기 위해 5개의 Auxiliary 비트가 모두 필요하지 않을 수도 있다. 주어진 네트워크에 대해 가능한 Encoding의 수에 따라 불필요한 Auxiliary 비트를 생략함으로써 DynaPAT의 Storage Overhead를 훨씬 더 낮출 수 있다. 또한 DynaPAT은 드리프트 복원력이 있는 PCM 셀(SLC PCM)을 사용하여 Auxiliary 비트를 저장하므로 Auxiliary 비트 드리프트로 인한 오류를 제거할 수 있다는 점도 주목할만 하다. 평가를 위해, 다른 드리프트 내성 기법(예: Helmet [30], Flipcy [9])을 평가할 때와 동일한 구현을 진행한다. 〈그림 9〉에 표시된 Encoding/Decoding 로직의 하드웨어 Overhead를 평가하기 위해 28nm 표준 셀 라이브러리와 함께 Synopsys Design 컴파일러를 사용한다. Encoding

〈표 1〉 데이터셋에 따른 DNN 스펙

Dataset	Model	Precision	Accuracy (%)
CIFAR-10	ResNet-18	8-bit	82.01
	GoogLeNet	10-bit	91.45
	Inception-V3	10-bit	93.31
CIFAR-100	ResNet-18	8-bit	73.49
	GoogLeNet	10-bit	76.35
	Inception-V3	10-bit	79.42
ImageNet	ResNet-50	8-bit	78.72
	DenseNet-169	8-bit	75.80
	Inception-V3	8-bit	76.60

및 Decoding 로직은 모두 하나의 LUT와 하나의 MUX를 사용하기 때문에 두 회로의 하드웨어 Overhead는 동일하다. 정확한 수치로는 Encoding / Decoding 로직이 0.011pJ의 에너지를 소모하고 0.0159mm^{2}의 면적 Overhead가 발생한다. Encoding/Decoding 경로의 Latency는 0.47ns로 확인된다. Decoding/Encoding 로직은 DNN Layer당 한 번만 사용되기 때문에 DynaPAT의 면적과 에너지 Overhead는 Helmet[30], Flipcy[9]와 같은 기존의 Encoding 기반 Falut-tolerance 기법에 비해 훨씬 작다는 장점을 보인다.

IV. 평가

1. 실험 환경 셋업

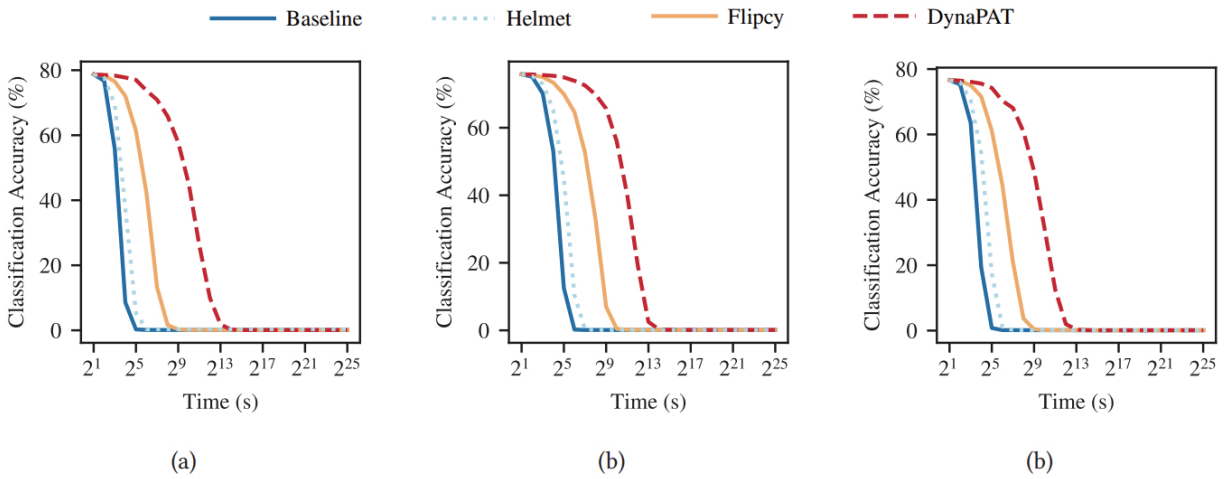
DNN 애플리케이션에서 DynaPAT의 성능을 평가하기 위해 Pytorch Framework를 사용하였다. 모든 실험은 Intel Xeon Gold 5120 CPU와 24GB RAM이 장착된 3개의 TITAN XP GPU에서 수행되었다. DynaPAT은 다양한 DNN 모델, 구성 및 데이터셋에서 평가된다. 표 1은 평가된 DNN 및 데이터 세트의 특성을 보여준다. 표에서 볼 수 있듯이 ResNet-18/50, GoogLeNet, Inception-V3 및 DenseNet-169와 같은 다양한 최신 DNN 모델을 이용해 평가한다.

8비트 Quantization 및 10비트 Quantization과 같은 다양한 네트워크 정밀도도 평가에 고려된다. 표에 적힌 정확도는 Training되고 Quantization된 네트워크의 정확도를 나타낸다. 이 정확도는 이 작업에서 평가된 모든 드리프트 허용 기법의 기준 정확도로 사용된다. 또한 DynaPAT의 범용성을 평가하기 위해 다양한 Quantization 방식도 고려한다. 구체적으로는 CIFAR-10/100 데이터셋을 사용하여 평가된 모델의 경우 Unified Fixed-point Quantization[18]이 사용되는 반면, ImageNet 데이터 세트에서 평가된 모델의 경우 Linear Quantization[25]가 사용된다. 선형 Quantization는 통합 Quantization와 달리 입력의 Dynamic 범위를 활용하여 각 계층을 Quantization하므로 통합 Quantization에 비해 정확도가 더 높다는 점에 유의해야 한다.

드리프트 유도 주입 시뮬레이션의 경우, 맞춤형 결함 주입 프레임워크는 검증된 Ares 프레임워크[18]를 기반으로 설계되었다. 드리프트 오류율은 [19]의 확률론적인 모델을 기반으로 추정한다. 마지막으로, DynaPAT은 관련 최신 드리프트 허용 오차 Encoding 방법인 Flipcy [9] 및 Helmet [30]과 비교된다.

2. 실험 결과 및 토론

〈그림 10, 11, 12〉는 드리프트 오류에 대한 Tolerance을 DynaPAT 및 다른 드리프트 허용 오차 방법과 비교한



〈그림 12〉 ImageNet 데이터 세트를 사용한 다양한 DNN에 대한 다양한 Falut-tolerance 기법 비교.
(a) ResNet-50 (b) DenseNet-169 (c)Inception-v3.

결과이다. 각 시간에 대해 드리프트 오류의 영향을 받는 DNN의 정확도는 100회 이상의 반복을 평균낸 값을 사용한다. 파란색 실선은 드리프트 허용 오차 기법을 사용하지 않은 기준 Gray Encoding MLC PCM에 대한 모델 결과를 보여준다. 하늘색 점선과 주황색 실선은 각각 헬 Helmet 및 Flipcy 데이터 Encoding을 Gray Encoding과 함께 사용하면서 오류가 발생하기 쉬운 Pattern의 빈도를 줄였을 때 DNN의 정확도를 보여준다. 전반적으로 결과는 드리프트 오류를 효과적으로 허용하는 데 있어 DynaPAT(빨간색 점선)이 다른 방법보다 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

특히, 〈그림 10〉은 CIFAR-10 데이터셋에서 다른 Falut-tolerance 기법과 비교했을 때 DynaPAT의 효율성을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이, DynaPAT은 다양한 DNN 모델(예: ResNet-18, GoogLeNet, Inception-v3)에서 다른 방법보다 훨씬 뛰어난 성능을 보인다. 예를 들어, 8비트 CIFAR-10에서 ResNet-18 〈그림 10(a)〉에 Falut-tolerance 기술이 적용되지 않은 경우(Baseline) 약 22초에서 5%의 정확도 저하가 확인되는 반면, DynaPAT은 512배 더 우수한 211초(≈ 34.1분)까지 정확도 저하를 5% 미만으로 유지한다.

반면에 Flipcy와 Helmet은 기준 State Encoding을 기반으로 추가적인 Pattern 빈도 재분배 기법과 추가 Storage Overhead를 사용하지만, DynaPAT보다 그 효과는 떨어지는 모습을 보인다. 예를 들어, ResNet-18에서 Helmet은 Baseline과 비슷한 성능(4초 후 정확도 하락)을 보이는 반면, 플립시는 2^6초(64초) 후 정확도가 떨어지며, DynaPAT보다 훨씬 빠른 속도로 저하된다. 이러한 방법의 성능이 좋지 않은 이유는 이러한 방법들이 DNN에서 Pattern Switching의 중요도를 고려하지 않아 MLC PCM 기반 DNN에 중요한 Pattern Switching 오류가 다수 발생하기 때문이다. 다른 DNN 모델, GoogLeNet〈그림 10(b)〉과Inception-v3〈그림 10(c)〉에서도 유사한 경향을 확인할수 있으며, Baseline 대비 DynaPAT의 Tolerance 개선은 각각 256배와 1024배로 계산된다. 〈그림 11〉과 〈그림 12〉에서 볼 수 있듯이, DynaPAT는 CIFAR-10 데이터셋에서 우수한 성능 외에도 더 큰 데이터셋 (예: CIFAR-100 및 ImageNet)은 물론 더 많은 layer를 가지고 있는 DNN 모델(예: ResNet-50,DenseNet-169 등)에서도 상당한 성능을 보인다. 예를 들어, 〈그림 11(b)〉는 CIFAR-100에서 10비트 Quantization된 GoogLeNet에서 Baseline, Helmet 및 Flipcy와 비교한 DynaPAT의 효과가 나타나 있다. 베이스라인 모델의 정확도는 4초 후에 5% 떨어지지만 DynaPAT의 경우 최대 2^9초(128배)까지 정확도 하락을 5% 미만으로 유지한다. 반면 Helmet과 Flipcy는 CIFAR-100에서 평가했을 때 DynaPAT에 비해 각각 1배 및 2배 낮은 성능을 보인다.

ResNet-50, DensenNet-169, Inception-v3를 사용하여 ImageNet 데이터셋에서 평가했을 때 다른 방법과 비교한 DynaPAT의 성능은 〈그림 12〉에 나타나 있다. ImageNet 데이터셋은 CIFAR10/100 데이터셋과 달리 1000개의 클래스를 가지고 있기 때문에 CIFAR 데이터셋에 비해 난이도가 높은 데이터셋이다. 따라서 다른 Falut-tolerance 기법뿐만 아니라 DynaPAT의 성능은 CIFAR-10의 경우보다 낮을 것으로 예상된다. 또한, 평가에서 이미지넷 데이터셋을 기반으로 평가된 모델은 CIFAR 데이터세트에서 평가된 모델보다 더 많은 Layer를 가지고 있기 때문에 Falut-tolerance 기법의 효과가 떨어지는 경향을 보인다. 이 Inference은 Hardware Fault를 고려해 DNN을 평가한 이전 연구들[7, 18]과 일치한다.

그럼에도 불구하고, DynaPAT는 다른 기술뿐만 아니라 베이스라인에 비해 상당한 Tolerance 향상을 보여준다. 예를 들어, 8비트 Quantization 된 DenseNet -169 네트워크의 경우, DynaPAT는 베이스라인과 Flipcy보다 Tolerance을 각각 32배, 8배 향상시킨다. DynaPAT은 직교성을 가지기 때문에, 다른 Encoding 체계와 추가적으로 결합하여 성능을 훨씬 더 향상시킬 수 있다.

IV. 결론

저항 드리프트는 MLC PCM 기반 DNN 시스템의 정확도에 심각한 영향을 끼친다. 본 논문에서는 저항 드리프

트 오류로 인한 다양한 데이터 Pattern 전환을 고려했을 때 DNN의 동작을 분석한다. 이 분석을 바탕으로 본 논문에서는 MLC PCM 기반 DNN을 위한 강력한 Dynamic Pattern 인식 Encoding 기술인 DynaPAT를 제안한다. DynaPAT는 가볍지만 MLC PCM 기반 DNN 시스템에서 드리프트 오류의 영향을 줄이는 데 효과적인 성능을 보였다. 가장 빈번한 Pattern을 DNN에서 중요도 순으로 오류 발생률이 가장 낮은 수준의 MLC PCM에 효율적으로 Mapping함으로써 DynaPAT은 시스템의 Tolerance을 몇 배나 크게 향상시킬 수 있다. DNN 모델에 대한 다른 최신 Encoding 기법들과 DynaPAT을 평가하고 비교한 결과, DynaPAT은 기준 모델에 비해 최대 500배의 Tolerance을 달성할수 있는 것으로 나타났다. 다양한 DNN 모델, 구성, 데이터셋을 사용해도 일관된 결과를 얻을 수 있다. DynaPAT는 기존 기법에 비해 공간, Storage, Latency Overhead를 무시할 수 있을 정도로 줄이면서도 드리프트 오류를 더 효과적으로 견뎌낼 수 있음을 입증했다. 마지막으로, DynaPAT은 다른 Encoding 방식과 직교하기 때문에 다른 Encoding 방식과 통합해 MLC PCM 기반 DNN 시스템의 Robustness를 더욱 강화할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Aravinthan Athmanathan, et al. 2014. A 6-bit drift-resilient readout scheme for multi-level Phase-Change Memory. 2014 IEEE Asian Solid State Circuits Conference (A-SSCC)(112014). https://doi.org/10.1109/asscc.2014.7008879

[2] I. Boybat, et al. 2018. Impact of conductance drift on multi-PCM synaptic architectures. In 2018 Non-Volatile Memory Technology Symposium (NVMTS). IEEE, 1-4.

[3] Lerong Chen et al. 2017. Accelerator-friendly neural-network training: Learning variations and defects in RRAM crossbar. In Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE), 2017. 19-24.

[4] Zihang Dai, et al. 2021. CoAtNet: Marrying Convolution and Attention for All Data Sizes.arXiv preprint arXiv:2106.04803 (2021).

[5] Manuel Le Gallo et al. 2020. An overview of phase-change memory device physics. IOP Publishing 53, 21 (mar 2020), 213002.

[6] Song Han, et al. 2015. Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and huffman coding. arXiv preprint arXiv:1510.00149 (2015).

[7] Muhammad Abdullah Hanif, et al. 2018. Robust Machine Learning Systems: Reliability and Security for Deep Neural Networks. In 2018 IEEE 24th International Symposium on On-Line Testing And Robust System Design (IOLTS). 257-260.

[8] Kaiming He, et al. 2016. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 770-778.

[9] Muhammad Imran, et al. 2019. Flipcy: Efficient Pattern Re□distribution for Enhancing MLC PCM Reliability and Storage Density. In 2019 IEEE/ACM International Conference on Computer -Aided Design (ICCAD). 1-7.

[10] Muhammad Imran, et al. 2020. Effective Write Disturbance Mitigation Encoding Scheme for High-density PCM. In 2020 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE). 1490-1495. https://doi.org/10.23919/DATE48585.2020.9116188

[11] Vinay Joshi, et al. 2020. Accurate deep neural network inference using computational phase-change memory. Nature commun- ications 11, 1(2020), 1-13.

[12] Jae-San Kim, et al. 2019. DRIS-3: Deep Neural Network Reliability Improvement Scheme in 3D Die-Stacked Memory based on Fault Analysis. In 2019 56th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC). 1-6.

[13] Raghuraman Krishnamoorthi. 2018. Quantizing deep convolutional networks for efficient inference: A whitepaper. CoRR abs/1806.08342 (2018). arXiv:1806.08342 http://arxiv.org/abs/1806.08342

[14] Taehyun Kwon, et al. 2021. Reliability Enhanced Heterogeneous Phase Change Memory Architecture for Performance and Energy Efficiency. IEEE Trans. Comput.

70, 9 (2021), 1388-1400. https: //doi.org/10.1109/TC.2020.3009498

[15] Taehyun Kwon, et al. 2018. Heterogeneous PCM array architecture for reliability, performance and lifetime enhancement. In 2018 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE). 1610-1615.

[16] Guanpeng Li, et al. 2017. Understanding Error Propagation in Deep Learning Neural Network (DNN) Accelerators and Applications. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (Denver, Colorado) (SC '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 8, 12 pages.

[17] Thai-Hoang Nguyen, et al. 2021. Low-Cost and Effective Fault-Tolerance Enhancement Techniques for Emerging Memories-Based Deep Neural Networks. In 2021 58th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC). IEEE. https://doi.org/ 10.1109/dac18074.2021. 9586112

[18] Brandon Reagen, et al. 2018. Ares: A framework for quantifying the resilience of deep neural networks. In 2018 55th ACM/ESDA/IEEE Design Automation Conference (DAC). 1-6. https: //doi.org/ 10.1109/DAC.2018.8465834

[19] Nak Hee Seong, et al. 2013. Tri-Level-Cell Phase Change Memory: Toward an Efficient and Reliable Memory System. In Proceedings of the 40th Annual International Symposium on Computer Architecture (Tel-Aviv, Israel) (ISCA '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 440-451.

[20] Ali Shafiee, et al. 2016. ISAAC: A convolutional neural network accelerator with in-situ analog arithmetic in crossbars. ACM SIGARCH Computer Architecture News 44, 3 (2016), 14-26.

[21] Muhammad Shafique, et al.2020. Robust Machine Learning Systems: Challenges, Current Trends, Perspectives, and the Road Ahead. IEEE Design Test 37, 2 (2020), 30-57.

[22] Milos Stanisavljevic, et al. 2018. Drift-Invariant Detection for Multilevel PhaseChange Memory. In 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 1-5.

[23] M. Stanisavljevic, et al. 2016. Demonstration of Reliable Triple-Level-Cell (TLC) Phase-Change Memory. 2016 IEEE 8th International Memory Workshop (IMW) (52016), 1-4. ttps:/ doi.org/ 10.1109/ imw. 2016.7495263

[24] Inayat Ullah, et al. In 2020 57th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC). 1-6.https://doi.org/10.1109/DAC18072.2020.9218585

[25] Vincent Vanhoucke, et al. 2011. Improving the speed of neural networks on CPUs. In Deep Learning and Unsupervised Feature Learning Workshop, NIPS 2011.

[26] Rujia Wang, et al.2016. ReadDuo: Constructing Reliable MLC Phase Change Memory through Fast and Robust Readout. In 2016 46thAnnual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks(DSN). 203-214. https://doi.org/ 10.1109/DSN.2016.27

[27] Peng Yao, et al. 2020. Fully hardware-implemented memristor convolu- tional neural network. Nature 577, 7792 (2020), 641-646.

[28] Jung Min You, et al. 2019. MRLoc: Mitigating Row-hammering based on memory Locality. In 2019 56th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC).1-6.

[29] Shimeng Yu , et al. 2016. Emerging Memory Technologies: Recent Trends and Prospects. IEEE Solid-State Circuits Magazine 8, 2 (2016), 43-56.

[30] Wangyuan Zhang and Tao Li. 2011. Helmet: A resistance drift resilient architecture for multi-level cell phase change memory system. In 2011 IEEE/IFIP 41st International Conference on Dependable Systems Networks (DSN). 197-208

장제우

• 2022년 8월 연세대학교 천문우주학, 전기전자공학 학사
• 2022년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학 통합과정

〈관심 분야〉
강건성과 에너지 효율성을 위한 차세대 메모리 기반 딥러닝 가속기 설계

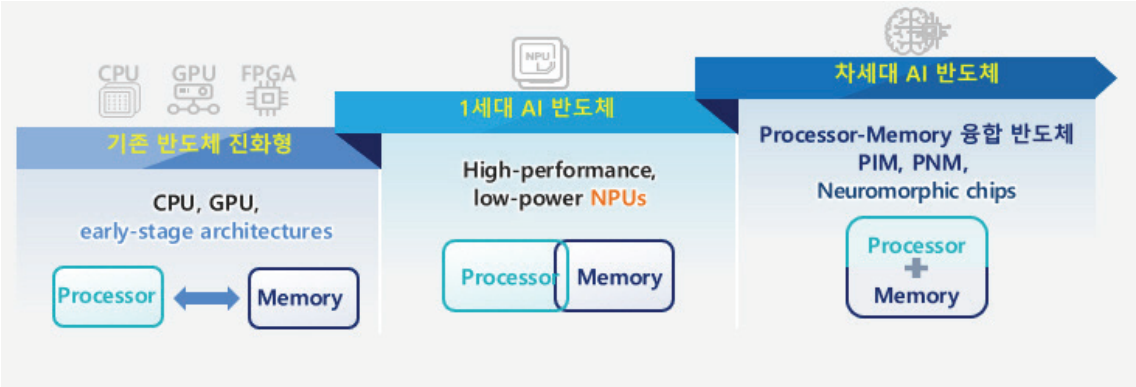
거대인공신경망 처리를 위한 프로세서-메모리 융합 반도체

이혁재
서울대학교

Ⅰ. 서 론

최근 일어나고 있는 인공지능 지능 기술의 급격한 발전은 인류의 생활에 큰 변화를 줄 것으로 기대된다. 2016년 딥마인드社가 개발한 인공지능 알파고가 우리나라 이세돌 프로와 바둑을 두어서 4대 1로 승리를 한 사건은 많은 사람들에게 큰 충격을 주었다. 그 이전까지는 바둑처럼 복잡한 게임에서 인공지능 기술이 사람을 이기는 것이 불가능하다는 인식이 뒤집힌 것이다. 알파고의 성공으로 인공지능 기술에 대한 투자가 더욱 확대되고, 성공적인 연구 개발 성과들이 이어져 왔다. 마침내 올해 초에는 OpenAI社에서 ChatGPT를 출시하여 많은 관심을 받게 되었다. 알파고가 인공지능 기술의 가능성을 보여주었다면, ChatGPT는 이제 인공지능기술이 상용화되어서 일상 생활에 널리 사용될 수 있는 단계로 발전했다는 것을 보여주었다.

알파고나 ChatGPT나 모두 deep learning 기술을 기반으로 하고 있다. 이 deep learning 기술은 1980년대 중반에 정립된 backpropagation이라는 이론을 기반으로 학습이 진행된다 [1]. 이 학습 이론이 개발된 초기에는 3개의 계층 (입력, 히든 (hidden), 출력 계층) 구조로 된 인경 신경망에 적용되기 시작했으며, 점차적으로 히든 계층의 개수가 증가한 심층 인공신경망 (deep neural network) 구조에 적용되었다. 인공신경망 구조의 복잡도가 증가함에 따라서 학습에 필요한 컴퓨터의 성능도 증가하게 되었다. 2000년대 중반까지는 컴퓨터의 성능이 충분하지 않아서 히든 계층의 숫자를 늘리는데 한계가 있었다. 반도체 기술의 발달로 GPU의 성능이 증가함에 따라서 점차 학습할 수 있는 인공신경망 구조의 복잡도가 증가하게 되었고, 그 결과 점점 더 고성능의 인공신경망을 학습할 수 있게 되었다. 따라서, deep learning 기반의 인공신경망 기술의 발전에는 이를 처리할 수 있는 반도체 기술



〈그림 1〉 인공지능 반도체의 발전 과정

의 발전이 큰 기여를 하였다.

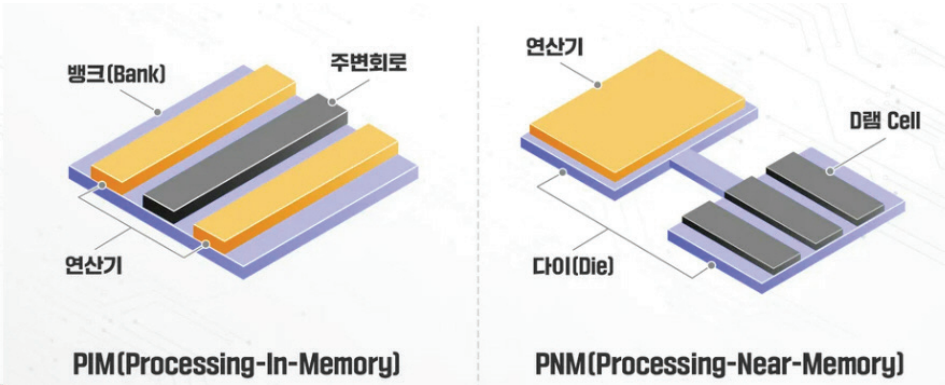
〈그림 1〉은 인공지능 반도체의 발전과정을 보여준다. 초기에는 인공지능 연산을 위해서 기존 반도체를 주로 사용한다. 대표적으로 GPU가 널리 사용되고 있으며, FPGA 및 CPU도 인공지능 연산에 사용되었다. 인공지능 기술의 중요성이 증대됨에 따라서, 기존의 반도체들도 인공지능 연산에 효율적으로 대처하기 위하여 진화하였으며, 그 결과 인공지능 처리 성능이 지속적으로 증대되고 있다. GPU 혹은 FPGA와 같은 반도체가 인공지능에 맞게 최적화 되면서 성능이 향상되고 있지만, 이러한 반도체들은 원래 다른 용도로 개발되었기 때문에 어느 정도 불필요한 하드웨어 자원 낭비가 발생한다. 따라서, 인공지능 연산만을 위해서 개발된 새로운 반도체들이 출시가 되었고, 이러한 반도체를 일반적으로 NPU (Neural Processing Unit)이라고 부른다. 구글社에서 개발한 TPU, 테슬라에서 개발한 FSD등이 대표적인 NPU이며, 이들 이외에도 다수의 빅테크 기업들이 개발하고 있으며, 스타트업 회사도 많이 설립되었다.

최근에 개발된 거대 인공지능 모델들은 그 복잡도가 급격히 증가하고 있으며, 사용하는 파라미터를 저장할 메모리 사용량도 함께 증가하고 있다. 이러한 거대 인공지능 모델들을 효과적으로 처리하기 위해서는 GPU와 같은 프로세서의 처리 속도도 중요하지만, 연동되어 동작하는 메모리의 용량 및 대역폭의 중요성도 증가하게 되었다. 따라서, 거대 인공지능 모델 처리에는 HBM과 같은 고대역폭, 대용량의 메모리의 중요성이 점점 증가하고 있다.

〈그림 1〉에서 보여주는 바와 같이 차세대 인공지능 반도체는 GPU와 같은 프로세서와 메모리 소자가 융합된 형태의 반도체가 될 것으로 예측된다. 프로세싱 기능과 메모리 소자가 하나의 칩으로 구현되는 PIM (Processing-in-Memory) 혹은 프로세서와 메모리가 매우 인접하게 위치하는 PNM (Processing-Near-Memory) 같은 기술이다. 이러한 기술들은 거대 인공지능모델을 처리하기 위해서 프로세서와 메모리 간에 데이터 전송에 필요한 속도 저하 혹은 전력 소모를 대폭적으로 줄일 수 있을 것으로 기대되어서 많은 연구가 진행되고 있으며, 메모리 회사에서 시제품도 출시되었다. 한편, PIM이나 PNM 보다 더욱 인간의 두뇌 구조와 가까운 새로운 메모리 소자 기반의 인공지능 반도체인 뉴로모픽 칩에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

Ⅱ. 프로세서-메모리 융합 반도체

현재 개발되고 있는 대표적인 인공지능 처리를 위한 프로세서-메모리 융합 반도체는 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 〈그림 2〉에서 보이는 바와 같이 PIM 반도체는 DRAM 칩 내부에 연산기를 포함하는 방식이고, PNM 반도체는 DRAM 칩과는 별도의 칩에 연산기를 탑재하는 방식이다. PIM과 같이 DRAM 칩 내부에 연산기를 탑재하는 경우에는 연산기가 DRAM 저장 cell과 인접해 있기 때문에 데이터 전송에 의한 속도 지연 및 전력 소모를 최소화할 수 있다. 또한, 다수의 연산기들이 DRAM cell들을 직접 접근할 수 있기 때문에 메모리 대역폭도 크게 증가시킬 수 있다. 반면, DRAM 칩 공정이 연산기를 구현하



〈그림 2〉 PIM과 PNM의 차이점 [2]

는 logic 칩의 공정과는 다르기 때문에 연산기의 복잡도를 증가시키는 데에는 한계가 따른다. 따라서, 복잡한 프로세서 보다는 비교적 단순한 연산을 하는 기능을 탑재하게 된다.

PNM의 경우는 별도의 칩으로 구현을 하기 때문에, DRAM 공정이 아닌 logic 공정으로 프로세서를 구현할 수 있다. 따라서, 거대 인공지능모델을 처리할 수 있는 복잡한 기능의 NPU를 구현할 수 있다. 이러한 별도의 NPU를 구현한 후에 Multi-Chip-Packaging 기술을 이용하여 DRAM과 하나의 패키지로 연결함으로써 접근속도를 줄일 수 있다. 또한, 최근 널리 사용되고 있는 HBM의 base die에 이러한 NPU를 구현함으로써 GPU 보다 좀더 메모리에 가까운 위치에서 데이터를 접근할 수도 있다. 최근 CXL (Compute Express Link)와 같은 고속 인터커넥트 기술이 개발되어서 메모리 용량 및 대역폭 확장에 필요한 연결을 제공한다. 이러한 CXL을 통하여 확장된 메모리에 프로세서를 연동하여 사용할 수 있다. 이러한 CXL 확장 메모리와 프로세서를 직접적으로 연결함으로써 데이터 이동 속도를 높이는 것도 PNM을 구현하는 또 다른 방법이 될 수 있다.

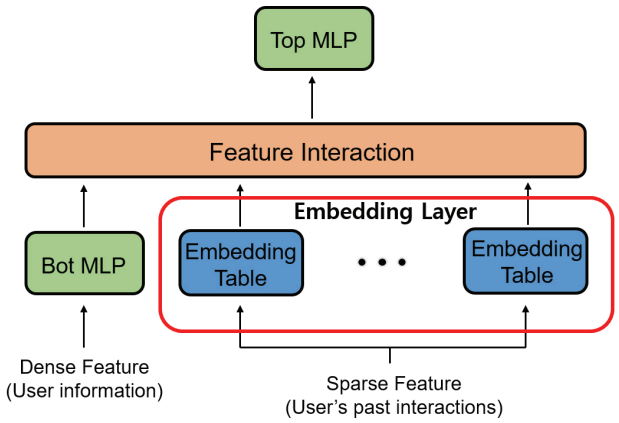
III. 프로세서-메모리 융합 반도체 활용

프로세서-메모리 융합 반도체의 구조를 활용하면 하드웨어 관점에서 장점이 있지만, 이러한 새로운 구조에 적합하도록 소프트웨어의 구현도 중요하다. 거대인공신경망 모델들은 데이터 용량이 크기 때문에, 이를 GPU 메모리 혹은 NPU 메모리 뿐만 CPU 메모리에도 저장하는 경우가 종종 발생한다. 이렇게 다양한 메모리에 저장되어 있는 데이터를 효과적으로 접근하기 위해서는 PIM 혹은 PNM을 활용할 가치가 있다. 이를 위한 대표적인 거대신경망 응용을 살펴본다.

1. Deep Learning Recommendation System

최근 Meta, Youtube, Alibaba를 비롯한 여러 빅테크 기업들이 효과적인 상품 추천을 유저에게 전달하기 위해서 딥러닝 기반 추천 시스템을 이용하고 있다. 그 중 대표적인 모델로써 Meta에서 사용중인 Deep Learning Recommendation System (DLRM)이다 [3]. DLRM은 모델 입력으로 사용자의 정보를 나타내는 dense feature, 그리고 사용자가 과거에 상호작용한 아이템의 정보를 나타내는 sparse feature를 받고, 모델 출력으로 광고클릭률을 내보낸다. DLRM의 전체적인 구조는 〈그림 3〉과 같이 Bottom-MLP Layer (Bot-MLP), Embedding Layer, Feature-Interaction Layer, Top-MLP Layer로 구성되어 있다. Bot-MLP는 비교적 간단한 연산으로 이루어져 있어 Embedding Layer에 비해 연산 시간이 짧아, Embedding Layer가 모델의 병목으로 작용하고 있다.

Embedding Layer는 여러 item의 벡터 형태 feature data를 가져와 더하는 연산으로, 메인 메모리에 대한 접근이 빈번히 일어난다. 일반적으로 추천시스템의 item 벡터에 대한 접근은 특별한 패턴 없이 무작위성을 가지므로 cache miss가 자주 일어나기 때문에, cache의 활용이 어



〈그림 3〉 DLRM의 구조

렵다. 따라서 DLRM은 memory-intensive한 모델로서, 모델의 대역폭을 늘리기 위해서는 메모리 병목 문제의 해결이 필요하다.

최근 DLRM의 메모리 대역폭 제한 문제를 해결하기 위한 방법으로 PNM을 활용하는 방안이 대두되었다. PNM은 메인 메모리의 buffer chip에 추가하는 연산기로, memory controller가 channel에 연결된 모든 Dual-Inline-Memory-Module (DIMM)의 메모리 command를 제어하는 기존 메모리 시스템과 다르게, 각 PNM이 독립적으로 command를 메모리 내부로 보낼 수 있다. 따라서 PNM을 사용하면 DIMM 또는 Rank-level에서 메모리 접근을 병렬적으로 진행할 수 있어 off-chip 대역폭의 확장이 가능하여 memory bound 문제를 효과적으로 완화할 수 있다. TensorDIMM[4]과 RecNMP[5]는 PNM을 활용해 DLRM의 문제점을 해결한 대표적인 연구로, channel에 연결된 모든 DIMM과 Rank 각각에 PNM을 배치하였다. 각 PNM은 해당 DIMM/Rank에서 독립적으로 부분적인 Embedding Layer 작업 을 수행하며, 각각의 덧셈 결과를 Host 측에 전달한다. 일반적으로 병렬성은 DIMM/Rank 수에 비례하여 증가하기 때문에, DIMM이 추가로 연결되면 대역폭 또한 증가한다. TRiM[6]은 PNM 활용에 그치지 않고 Processing-In-Memory(PIM) 를 DIMM 내부의 각 bank-group마다 배치하여 병렬성을 한 단계 더 확장하였다. PIM은 메모리 바깥의 buffer chip에 위치한 PNM과 달리, 메모리 내부에서 PNM과 유사한 기능을 수행하는 연산기로, TRiM은 PIM을 활용함으로써 병렬성이 bank group 수 만큼 확대되는 효과를 가져와 추가적인 대역폭 향상을 달성하였다. 그러나 RecNMP와 TRiM의 경우 address mapping이 Command/Address 대역폭의 과부하를 불러일으키는 문제점이 있어 메모리 Command를 압축하는 방식을 도입하였다. SPACE[5]는 DIMM 대신 logic die에 PNM이 부착된 High-Bandwidth-Memory (HBM)을 활용해 비교적 적은 용량으로 높은 대역폭 증가를 달성하였다.

추천시스템의 item은 무작위적인 접근에도 불구하고 소수의 item이 다른 item에 비해 비교적 자주 접근되는, long-tail 특성이 있다. 이러한 데이터 특성 또한 활용해 단순한 PNM/PIM 활용 이상의 추가적인 대역폭 증가를 달성하였다. RecNMP는 각 Rank-NMP 내부에 SRAM 캐시를 배치하여 자주 접근되는 벡터가 메모리 대신 캐시를 거치도록 설계하였고, TRiM은 memory controller를 수정하여 비교적 로드가 적은 PIM unit에 자주 접근되는 벡터 처리를 맡겨 PIM unit 간의 load imbalance 문제를 완화하였다. SPACE의 경우 자주 접근되는 item data와 해당 item끼리의 덧셈을 HBM에 저장하여 HBM을 DRAM cache와 같이 활용하였다. 이런 방식으로 최근 연구들은 딥러닝 기반 Recommendation Model의 memory-intensive 문제를 성공적으로 완화하였다.

2. Transformer 기반 모델

Transformer[8]는 2017년에 Google社에서 발표한 언어 모델로 attention 연산을 포함한 encoder-decoder 구조를 갖는다. Transformer는 이전 언어 모델에서 많이 쓰인 RNN보다 우수한 성능을 보이며 언어모델의 패러다임을 바꾸었다. 이후 GPT, BERT 등 다양한 Transformer 기반의 모델들이 등장하였으며 파라미터 수의 증가를 바탕으로 더욱 뛰어난 성능을 달성하고 있다. 하지만 Transformer는 큰 메모리 사용량과 낮은 데이터 재사용률로 인해 오랜 실행 시간이 필요하며, 이로 인해 메모리 시스템에 부담을 주고 컴퓨팅 자원의 활용이 떨어진다.

Transformer 모델 처리 속도 향상을 위하여 하드웨어 가속기에 관한 연구들이 수행되었다. Vision

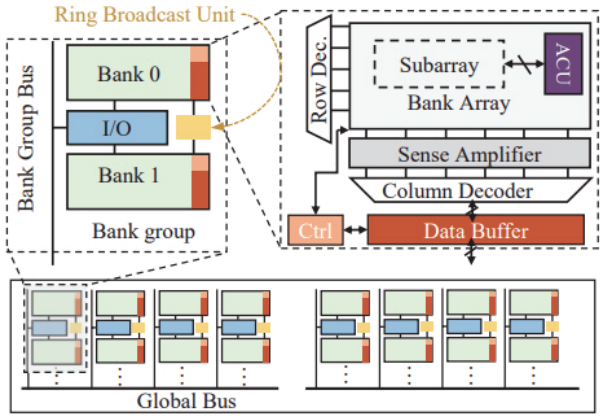
Transformers (ViTs)는 컴퓨터 비전 분야에서 주목받고 있는 Transformer로, 일정한 연산 패턴을 가지고 있다는 특징을 보인다. 특히 attention 모듈은 주요 병목 현상을 보이는 연산 중 하나로 하드웨어 효율성을 제한한다. 따라서, attention 모듈의 고정된 패턴을 식별하고, 이에 최적화된 가속기를 활용하여 추론 속도를 향상시키려고 한다. 예를 들어 ViTCoD[9]는 ViTs의 attention 모듈에서 발생하는 병목 현상을 해결하기 위해 dense 연산과 sparse 연산을 각각 효과적으로 처리할 수 있는 구조의 연산 유닛을 설계한다.

Transformer 모델을 위한 하드웨어 가속기를 사용하면 처리 속도를 향상시킬 수 있지만, 많은 메모리 사용량으로 인한 병목 현상으로 인하여 향상되는 처리 속도가 제한받게 된다. 따라서, 처리 속도 향상과 더불어 메모리 병목 현상을 줄이기 위한 효과적인 방안으로 메모리 소자 내부 혹은 가까운 위치에 가속기를 구현하는 PIM과 PNM 기술이 활용된다. TransPIM[10]은 이러한 두 기술을 통합하여 Transformer의 낮은 데이터 재사용률로 인한 메모리 병목 현상을 개선한다 (〈그림 4〉). 이 가속기는 소프트웨어와 하드웨어의 공동 설계를 통해 구현된다. 메모리 기반 가속기는 연산 유닛 간의 데이터 이동이 어려운 문제가 있어서 TransPIM에서는 소프트웨어 측면에서 토큰 기반 데이터 흐름을 채택하여 데이터 이동을 최소화 한다. 또한 이 가속기는 High Bandwidth Memory (HBM) 아키텍처를 기반으로 하며, 효율적인 데이터 통신을 위해 경량화된 연산 유닛과 통신 유닛을 설계하여 Transformer의 연산들을 모두 지원한다.

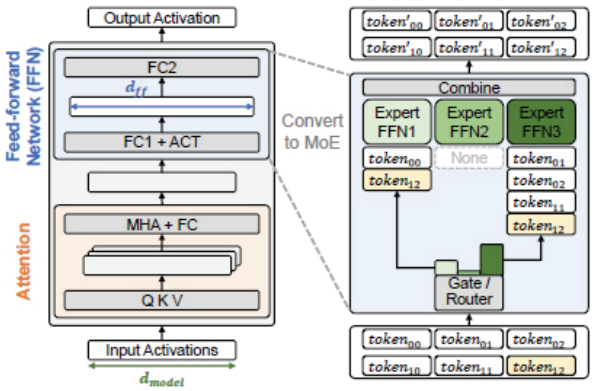
3. Mixture-of-Experts

Mixture-of-Experts (MoE)는 인공지능모델연산량의 급격한 증가 없이도 모델의 확대함으로써 성능 향상시킬 수 있는 앙상블 학습 방법이다. 최근 Transformer 모델에 MoE를 적용한 모델 (dubbd MoE Transfomers)이 상당한 성능향상을 달성한 연구 결과가 보고되었다 [11-13]. 〈그림 5〉는 Transfomer의 feed-forward network (FFN)에 MoE가 적용된 MoE Transfomer의 개요를 보여준다. MoE FFN 계층은 expert라고 불리는 다수의 FFN으로 구성된다. MoE의 주요한 컴포넌트는 gating network (혹은 routing network)이다. 이 gating network은 token이 전달되는 expert를 결정한다. 각각의 입력 token에 대하여 gating network는 softmax 함수를 활용하여 expert들의 확률분포를 계산하고, (token, expert) score map을 생성한다. 이 score에 따라서 token이 전달되는 top-k expert가 결정된다. 입력 token이 전달된 expert들로부터 생성된 출력이 결합되어 다음 Transformer block으로 전달된다.

MoE에서 사용하는 데이터량이 급격히 증가하기 때문에, 이를 효과적으로 저장하기 위한 연구들이 수행되었다. 파라미터 offloading 방법이 제안되었는데, attention layer는 가속기 메모리에 저장하고, 기타 MoE expert FFN 파라미터는 CPU 메모리로 offloadiing 함으로써 가속기 메모리를 효과적으로 사용할 수 있다 [14,



〈그림 4〉 메모리 기반 가속기 아키텍처



〈그림 5〉 Transformer 블록과 MoE FFN 계층

[15]. 또한, offloading한 데이터들과 인접하게 PNM 가속기를 설치하여, 메모리 전송 속도도 높이고 전력 소모도 저감하는 연구들이 진행되고 있다.

4. Data Compression

최신 거대인공신경망 모델들의 크기가 증가함에 따라 학습에 필요한 리소스 역시 크게 증가하고 있다. 이러한 large-scale 모델 처리에 걸림돌 중 하나는 메모리 사용량이다. 최신 모델에 필요한 메모리는 GPU의 메모리 용량을 초과하기 때문에 이러한 모델들의 처리를 위하여 다양한 방법들이 사용된다. 거대인공신경망모델들을 학습하기 위한 대표적인 방법으로 model parallelism 이다[16]. Model parallelism은 모델을 여러 GPU device를 사용해 학습하는 방법으로 파라미터들을 각 GPU 메모리에 나누어 학습한다. 세부적으로 하나의 tensor를 여러 조각으로 나누어 연산하는 Tensor model parallelism과 모델의 layer를 나누어 연산하는 pipeline model parallelism이 있다. 이 방법은 throughput을 늘릴 수 있다는 추가적인 장점이 있지만 GPU간에 synchronization overhead가 발생한다. 또한 높은 시스템 구성 cost가 필요하기 때문에 애초에 낮은 메모리를 가진 시스템에서는 메모리 사용량을 낮추는 방법이 필요하다.

하드웨어를 추가하지 않고 메모리 사용량을 낮출 수 있는 방법으로 activation checkpointing (또는 gradient checkpointing) 이다[17]. Activation은 학습의 forward path에서 나오는 각 연산의 중간 결과물로, 메모리에 저장된 후 back-propagation 때 다시 불러와 gradient 계산에 사용한다. 이러한 activation은 학습 시 메모리 사용 중 가장 큰 비중을 차지한다. Activation checkpointing은 모든 activation이 아닌 몇몇 activation만을 저장하여 메모리 사용량을 줄인다. Back-propagation 때 저장하지 않은 activation이 필요한 경우 저장한 activation으로부터 다시 forward 연산을 하여 사용한다. 이 방법은 간단하게 메모리 사용량을 줄일 수 있지만 학습 시 연산량이 늘어나기 때문에 학습에 걸리는 시간과 하드웨어 리소스 사용량이 늘어난다.

또 다른 학습 메모리 사용량 감소 방법으로는 Activation Compression Training (ACT)이 있다. ACT는 forward path에서 activation을 메모리에 저장하기 전에 압축함으로써 메모리 사용량을 줄인다. 압축 방법으로 주로 activation 데이터의 precision을 낮추거나 quantization[18], data compression[19]을 사용한다. 학습에 연산량이 크게 늘어나진 않지만 압축 과정에서 activation의 데이터 손실이 발생한다면 수렴 속도 및 정확도가 낮아질 수 있다는 단점이 있다.

메모리 사용량을 효과적으로 줄이기 위한 data compression 기법을 메모리 소자 내부에 구현을 함으로써 large-scale 모델의 메모리 사용량을 효과적으로 줄일 수가 있다. Large-scale 모델의 데이터는 일반적으로 redundancy가 많이 있기 때문에 data compression으로 인한 model의 성능 저하가 크지 않다. 따라서, 비교적 간단한 data compression 방법을 사용해도 메모리 사용량을 크게 줄일 수가 있다. 이러한 데이터 압축 하드웨어를 메모리 소자 내부에 구현하는 PIM 기술 혹은 메모리 소자에 저장하기 바로 직전의 소자에서 구현하는 PNM 기술을 사용할 수가 있다.

V. 결론

인공지능기술의 복잡도가 증가함에 따라서 이를 고속으로 처리할 수 있는 인공지능 반도체도 함께 발전하고 있다. 기존에 널리 사용되는 CPU 혹은 GPU를 인공지능 처리에 맞게 진화시킨 형태의 인공지능 반도체가 현재는 널리 사용되고 있다. 최근 GPU 보다 인공지능 연산에 최적화된 NPU (Neural Processing Unit)의 개발이 활발하게 이루어지고 있고, 조만간 NPU가 널리 사용될 것으로 기대된다.

거대인공신경망 모델은 사용하는 데이터량이 크기 때문에 이를 저장하는 메모리 용량의 중요성도 함께 증가하고 있다. 따라서, 최근 고대역 고용량 메모리인 HBM이 GPU와 더불어서 널리 사용되고 있다. 프로세서와 메모리간의 데이터 전송에 의한 속도 지연 및 전력 소모를 줄이기 위해서는 프로세서와 메모리를 융합한 형태의 반도체들이 개발되고 있다. DRAM 내부에 연산회로를 탑재한

PIM (Processing-in-Memory) 혹은 DRAM과 인접한 위치에 프로세서를 사용하는 PNM (Processing-Near-Memory) 반도체 등이 이러한 프로세서와 메모리를 융합하는 대표적인 예이다.

PIM이나 PNM은 하드웨어 관점에서 장점이 있지만, 이러한 새로운 구조에 적합하도록 소프트웨어의 구현도 중요하다. III장에 살펴본 것처럼 거대인공신경망 모델들은 데이터 용량이 크기 때문에, 이를 GPU 혹은 NPU 메모리 뿐만 CPU 메모리에 offloading할 필요가 있다. 이러한 경우 다양한 종류의 메모리에 빨리 접근할 수 있는 PIM 혹은 PNM을 활용할 가치가 있다. 대표적인 예로서 DLRM, Transformer 혹은 MoE (Mixture of Experts) 등의 응용을 PIM 혹은 PNM에 효과적으로 구현될 수 있음을 살펴보았다. 이러한 예 뿐만 아니라 이 외에도 다른 거대인공신경망도 그 데이터 사이즈가 크기 때문에, 데이터를 다양한 종류의 메모리에 저장시키고 PIM 혹은 PNM을 이용하여 성능을 향상 시킬 가능성은 충분히 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] David. E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton, and Ronald J. Williams "Learning representations by back-propagating errors," Nature. 1986.

[2] 정인성, 인공지능과 반도체, https://news.skhynix.co.kr/post/jeonginseong-column-ai-5, June 2023.

[3] M. Naumov, et al. "Deep learning recommendation model for personalization and recommendation systems." arXiv 2019.

[4] Y. Kwon, et al "Tensordimm: A practical near-memory processing architecture for embeddings and tensor operations in deep learning.", MICRO 2019

[5] Liu Ke, et al. "Recnmp: Accelerating personalized recommendation with near-memory processing." ISCA 2020

[6] Jaehyun Park, et al. "Trim: Enhancing processor-memory interfaces with scalable tensor reduction in memory." MICRO 2021

[7] Hongju Kal, et al. "Space: locality-aware processing in heterogeneous memory for personalized recommendations." ISCA 2021.

[8] A. Vaswani, et al. "Attention Is All You Need," NerurIPS 2017.

[9] Haoran You, et al. "ViTCoD: Vision Transformer Acceleration via Dedicated Algorithm and Accelerator Co-Design" HPCA 2023.

[10] M. Zhou, et al. "TransPIM: A Memory-based Acceleration via Software-Hardware Co-Design for Transformer," HPCA 2022

[11] W. Fedus, B. Zoph, and N. Shazeer, "Switch transfortmers: Scaling to trillion parameter models with simple and efficient sparsity," The Journal of Machine Learning Research, 2022.

[12] S. Rajbhandari, et al., "Deepspeed-moe: Advancing mixture-ofexperts inference and training to power next-generation ai scale," in PMLR, 2022.

[13] N. Shazeer, and et al. "Outrageously large neural networks: The sparsely-gated mixture-of-experts layer," arXiv:1701.06538, 2017.

[14] L. Shen, et al, "Se-moe: A scalable and efficient mixture-of-experts distributed training and inference system," 2023.

[15] Z. Zhang, et al., "Cpm-2: Large-scale cost-effective pre-trained language models," AI Open 2021.

[16] Deepak Narayanan, et al. "Efficient large-scale language model training on gpu clusters using megatron-lm." International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. 2021.

[17] Feng, Jianwei, and Dong Huang. "Optimal gradient checkpoint search for arbitrary computation graphs." CVPR. 2021.

[18] Zizheng Pan, et al. "Mesa: A memory-saving training framework for transformers." arXiv preprint arXiv:2111.11124, 2021.

[19] Georgiadis, Georgios. "Accelerating convolutional neural networks via activation map compression." CVPR. 2021.

이혁재

- 1987년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사
- 1989년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 석사
- 1996년 12월 미국 Purdue 대학교 전기및컴퓨터공학부 박사
- 1996년 8월 ~ 1998년 8월 미국 루이지애나공과대학 조교수
- 1998년 11월 ~ 2001년 2월 미국 Intel 선임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 서울대학교 교수
- 2013년 8월 ~ 2015년 2월 한국산업기술평가관리원 시스템반도체 Program Director
- 2021년 5월 ~ 현재 디지털 혁신융합대학 차세대반도체 사업단장
- 2021년 10월 ~ 현재 서울대 시스템반도체 산업진흥센터 센터장
- 2023년 9월 ~ 현재 서울대 AI반도체대학원 사업단장
- 2023년 1월 ~ 현재 대한전자공학회 회장
- 2023년 1월 ~ 현재 한국공학한림원 정회원

〈관심 분야〉
컴퓨터 구조, 병렬 처리, 반도체 설계, 인공지능 반도체, System-on-Chip

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

논문지 논문목차

전자공학회 논문지 제 60권 11호 발행

통신 분야

[통신]

반도체 분야

[반도체 소자 및 재료]

인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

산업전자 분야

[반도체재료 및 VLSI 설계]

- 반도체 소자를 이용한 전자뇌관 회로
  양성수, 김필중

2023년 하계종합학술대회 우수논문

- USRP와 LabVIEW를 이용한 GPS L1C/A 신호 저장 시스템
  황용택, 황지우, 김민수, 유호영
- 면적 효율적인 OFDM/CDMA 통신용 부분 병렬 FWHT 프로세서
  황지우, 황용택, 김민수, 유호영
- 색각이상자를 위한 색 변환 AI 모델 연구
  박성범, 박노경, 백장현, 정유진, 정혜지, 김진규
- 딥러닝 영상 분석을 이용한 실내 주차장 실시간 차량 위치 추정 및 모니터링 방법
  백장현, 노용철, 장준혁, 장수현, 김진규
- 자율 주행 차량 후방 카메라 오염 탐지를 위한 에너지 기반 학습 외 분포 데이터 탐지 네트워크와 확산 모델 기반 데이터셋
  문승훈, 전창렬, 이정훈, 정동혁, 염석주, 강석주
- 초전도 나노와이어 단일 광자 검출기를 위한 에너지 스케일링 가능한 극저온 부동 인버터 증폭기 기반의 Readout 회로
  박창주, 정완영
- 저전력 및 저전압 동작을 위한 단락 전류 없는 위상 압축 플립플롭
  강경훈, 정완영

국내외학술행사안내

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

〉〉2023년 12월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.01. - 12.02.	2023 IEEE 2nd International Conference on Data, Decision and Systems (ICDDS)	Mangaluru, India	https://icdds.org/
12.01. - 12.02.	2023 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)	Event Format: Virtual	https://ickg2023.zhonghuapu.com/en/
12.01. - 12.03.	2023 IEEE 5th International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)	Taichung, Taiwan	http://www.icaceh.asia/
12.01. - 12.03.	2023 IEEE Third International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)	Hammamet, Tunisia	https://scc.ieee.tn/
12.01. - 12.04.	2023 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)	Shanghai, China	https://www.cloud-conf.net/icdm2023/index.html
12.01. - 12.03.	2023 Global Conference on Information Technologies and Communications (GCITC)	Bangalore, India	https://gccit.in/index.php
12.01. - 12.03.	2023 IEEE 17th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID)	Xiamen, China	https://asid.xmu.edu.cn/main.htm
12.02.	2023 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB)	Event Format: Virtual	https://www.ieeespmb.org/2023/
12.02. - 12.03.	2023 IEEE 8th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://icraie2023.com/
12.03. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Energy Technologies for Future Grids (ETFG)	Wollongong, Australia	https://attend.ieee.org/etfg-2023/
12.04. - 12.07.	2023 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)	Nürnberg, Germany	https://wifs2023.fau.de/
12.04. - 12.07.	2023 30th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)	Istanbul, Turkey	http://icecs2023.isikun.edu.tr/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE 10th Workshop on Wide Bandgap Power Devices & Applications (WiPDA)	Charlotte, North Carolina, USA	https://wipda.org/
12.04. - 12.08.	GLOBECOM 2023 - 2023 IEEE Global Communications Conference	Kuala Lumpur, Malaysia	https://globecom2023.ieee-globecom.org/
12.04. - 12.08.	2023 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://globecom2023.ieee-globecom.org/
12.04. - 12.05.	2023 International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (MRS)	Boston, Massachusetts, USA	https://sites.bu.edu/mrs2023/
12.04.	2023 Connecting the Unconnected Summit (CTUS)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://ctu.ieee.org/summit/2023-ctu-summit/
12.04. - 12.07.	2023 IEEE/ACM 16th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)	Taormina, Italy	https://ucc-conference.org/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	Naples, Italy	https://parsec2.unicampania.it/cloudcom2023/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)	Nadi, Fiji	https://ieee-csde.org/csde2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.04. - 12.06.	2023 International Conference on Sustainable Technology and Engineering (i-COSTE)	Nadi, Fiji	https://i-coste.org/i-coste2023/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE International Conference on Agents (ICA)	Kyoto, Japan	https://confaid.com/ieee-ica2023/
12.04. - 12.09.	2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)	Koh Samui, Thailand	http://robio2023.org/
12.04. - 12.06.	2023 4th China International SAR Symposium (CISS)	Shanghai, China	http://ciss2023.cn/
12.04. - 12.06.	2023 26th Conference of the Oriental COCOSDA International Committee for the Co-ordination and Standardisation of Speech Databases and Assessment Techniques (O-COCOSDA)	Delhi, India	https://www.ococosda2023.com/
12.04. - 12.06.	2023 IEEE 23rd International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)	Event Format: Virtual	https://bibe.conferences.computer.org/2023/
12.04. - 12.07.	2023 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)	Giza, Egypt	https://aiccsa.net/AICCSA2023/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)	Istanbul, Turkey	https://bidma.cpsc.ucalgary.ca/IEEE-BIBM-2023/
12.05. - 12.08.	2023 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	Taipei, Taiwan	http://www.apmc2023.org/
12.05. - 12.08.	2023 21st International Conference on Advanced Robotics (ICAR)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://sites.google.com/view/2023icar
12.05. - 12.08.	2023 IEEE 16th International Conference on Nano/Molecular Medicine & Engineering (NANOMED)	Okinawa, Japan	http://ieee-nanomed.org/2023/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE 25th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)	Singapore	https://www.eptc-ieee.net/
12.05. - 12.08.	2023 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)	Taipei, Taiwan	http://2023.rtss.org/
12.05. - 12.07.	2023 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)	Valdivia, Chile	https://site.ieee.org/chilesur/ieee-chilecon-2023/
12.06. - 12.08.	2023 IEEE MTT-S Latin American Microwave Conference (LAMC)	San José, Costa Rica	https://lamc-ieee.org/
12.06. - 12.08.	2023 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	Mexico City, Mexico	https://attend.ieee.org/ssci-2023/
12.06. - 12.08.	2023 24th International Arab Conference on Information Technology (ACIT)	Ajman, United Arab Emirates	https://acit2k.org/ACIT/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE EMBS Special Topic Conference on Data Science and Engineering in Healthcare, Medicine and Biology	Malta	https://datascience.embs.org/2023/welcome/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE PES 15th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)	Chiang Mai, Thailand	https://ieee-appeec.org/
12.06. - 12.08.	2023 7th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)	Bali, Indonesia	https://conmedia.umn.ac.id/
12.06. - 12.09.	2023 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)	Wilmington, Delaware, USA	http://acm-ieee-sec.org/2023/index.php
12.06. - 12.08.	2023 3rd International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS)	Bali, Indonesia	https://iconsonics.umn.ac.id/
12.06. - 12.08.	2023 TRON Symposium (TRONSHOW)	Tokyo, Japan	https://tronshow.org/index-e.html
12.07. - 12.09.	2023 International Conference on Modeling, Simulation & Intelligent Computing (MoSICom)	Dubai, United Arab Emirates	https://www.mosicom2023.com/
12.07. - 12.08.	2023 1st International Conference on Optimization Techniques for Learning (ICOTL)	Bengaluru, India	https://mits-icotl23.netlify.app/
12.07. - 12.09.	2023 IEEE Workshop on Recent Advances in Photonics (WRAP)	Prayagraj, India	https://wrap2023.iiita.ac.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.07. - 12.09.	2023 IEEE 6th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS)	HuZhou, China	https://scems2023.com/
12.08. - 12.14.	2023 13th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)	Cairo, Egypt	https://conference.cs.cityu.edu.hk/icist/
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 4th China International Youth Conference On Electrical Engineering (CIYCEE)	Chengdu, China	http://ciycee2023.aconf.cn/index.html
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 2nd Industrial Electronics Society Annual On-Line Conference (ONCON)	Event Format: Virtual	https://iesoncon2023.com/
12.08. - 12.09.	2023 Fourth International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)	Bengaluru, India	https://icstcee.in/
12.08. - 12.11.	2023 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC)	Chengdu, China	http://www.iccc.org/
12.08. - 12.10.	2023 IEEE 11th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)	Chongqing, China	http://www.itaic.org/
12.08. - 12.09.	2023 IEEE International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG)	Indore, India	https://indore.hosting.acm.org/ictbig2023/index.htm
12.08. - 12.10.	2023 15th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://skimanetwork.org/
12.08. - 12.09.	2023 3rd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNWC)	Tumkur, India	https://www.icmnwc.com/
12.08. - 12.10.	2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://vit.ac.in/ipact/
12.08. - 12.10.	2023 8th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research (ICMERR)	Krakow, Poland	http://www.icmerr.com/
12.08. - 12.10.	2023 8th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)	Changsha, China	http://www.iccrc.org/index.html
12.08. - 12.10.	2023 13th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)	Chengdu, China	http://www.icpes.org/
12.09. - 12.13.	2023 International Electron Devices Meeting (IEDM)	San Francisco, California, USA	https://www.ieee-iedm.org/
12.10. - 12.11.	2023 IEEE International Conference on Computer Vision and Machine Intelligence (CVMI)	Gwalior, India	https://cvmi2023.iiitm.ac.in/
12.10. - 12.12.	2023 IEEE 16th Malaysia International Conference on Communication (MICC)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://micc2023.mycomvt.info/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS)	Bangalore, India	https://ingarss.org/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE 3rd International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC)	Bhubaneswar, India	https://event.kiit.ac.in/STPEC2023/
12.10. - 12.13.	2023 IEEE 9th International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)	Herradura, Costa Rica	https://ig.umons.ac.be/index.php
12.11. - 12.13.	2023 IEEE Ninth Multimedia Big Data (BigMM)	Laguna Hills, California, USA	https://www.bigmm.org/
12.11. - 12.13.	2023 4th International Conference on Power Engineering (ICPE)	Macau, Macao	http://www.icpe.net/
12.11. - 12.13.	2023 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-ism.org/
12.11. - 12.14.	2023 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON)	Ahmedabad, India	https://www.ieeemapcon.org/
12.11. - 12.13.	2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)	Event Format: Virtual	http://icacrs.com/2023/
12.11. - 12.13.	2023 6th International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)	Rabat, Morocco	http://www.commnet-conf.org/
12.11. - 12.13.	2023 Seventh IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-irc.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.11. - 12.14.	2023 IEEE 22nd International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://www.powermems.org/
12.11. - 12.12.	2023 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)	Lahore, Pakistan	https://fit.edu.pk/
12.11. - 12.13.	2023 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)	Singapore, Singapore	https://2023.ieee-soli.org/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)	Rose-Hill, Mauritius	http://edaps.org/
12.12. - 12.15.	2023 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC-India)	Chennai, India	https://saeindia.org/events/itecindia-2023/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE-RAS 22nd International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)	Austin, Texas, USA	https://2023.ieee-humanoids.org/
12.12. - 12.14.	2023 IEEE 4th International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)	Beirut, Lebanon	http://lreee.org/imcet23/
12.12. - 12.15.	2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)	Singapore, Singapore	https://cdc2023.ieeecss.org/
12.13. - 12.15.	2023 International Symposium on Ocean Technology (SYMPOL)	Kochi, India	http://sympol.cusat.ac.in/
12.13. - 12.15.	2023 4th International Conference on Computers and Artificial Intelligence Technology (CAIT)	Macau, Macao	http://www.cait.net/
12.13. - 12.15.	2023 Asian Hardware Oriented Security and Trust Symposium (AsianHOST)	Tianjin, China	https://www.asianhost.org/2023/
12.13. - 12.15.	2023 IEEE Afro-Mediterranean Conference on Artificial Intelligence (AMCAI)	Hammamet, Tunisia	https://easychair.org/cfp/AMCAI-2023
12.13. - 12.15.	2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)	Cox's Bazar, Bangladesh	https://iccit.org.bd/2023/
12.13. - 12.15.	2023 OITS International Conference on Information Technology (OCIT)	Raipur, India	https://www.oits-icit.org/
12.13. - 12.16.	2023 IEEE 54th Semiconductor Interface Specialists Conference (SISC)	San Diego, California, USA	https://www.ieeesisc.org/
12.13. - 12.15.	2023 10th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS)	Cox's Bazar, Bangladesh	http://www.icps23.com/
12.13. - 12.14.	2023 IEEE 21st Student Conference on Research and Development (SCOReD)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://ieeemy.org/scored/
12.14. - 12.16.	2023 IEEE/ACIS 8th International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science (BCD)	Hochimin City, Vietnam	https://acisinternational.org/conferences/bcd-2023/
12.14. - 12.16.	2023 IEEE International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)	Paris, France	https://www.olab-dynamics.net/wetice2023/index.html
12.14. - 12.16.	2023 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Asia Pacific (TEMSCON-ASPAC)	Bengaluru, India	https://aspac-temscon.com/
12.14. - 12.16.	2023 11th National Power Electronics Conference (NPEC)	Guwahati, India	https://www.npec2023.com/
12.14. - 12.15.	2023 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)	Event Format: Virtual	https://icmlant.com/
12.14. - 12.16.	2023 8th International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC)	Kolkata, India	https://www.codec-rpe.org/
12.14. - 12.15.	2023 International Conference on Energy, Materials and Communication Engineering (ICEMCE)	Madurai, India	https://icemce2023.github.io/icemce/
12.14. - 12.15.	2023 9th International Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)	Bali, Indonesia	https://icspis.ir/
12.14. - 12.16.	2023 3rd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI)	Singapore, Singapore	http://www.raai.net/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.14. - 12.16.	2023 2nd International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering (ICARCE)	Wuhan, China	https://www.icarce.com/
12.14. - 12.17.	2023 IEEE 20th India Council International Conference (INDICON)	Warangal, India	https://cms.nitw.ac.in/conference/indicon2023/
12.14. - 12.16.	2023 International Conference on Next Generation Electronics (NEleX)	Vellore, India	https://vit.ac.in/NEleX/
12.14. - 12.15.	2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES)	Chennai, India	https://icses2023.stjosephstechnology.ac.in/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 7th Conference on Information and Communication Technology (CICT)	Jabalpur, India	https://cict2023.com/
12.15. - 12.17.	2023 5th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT)	Chengdu, China	https://ceect.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 6th International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE)	Shenyang, China	http://www.auteee.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 6th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE)	Xi'an, China	http://www.icece.net/
12.15. - 12.17.	2023 International Conference on Neuromorphic Computing (ICNC)	Wuhan, China	http://icnc2023.org/
12.15. - 12.16.	2023 4th International Conference on Communication, Computing and Industry 6.0 (C216)	Bangalore, India	https://sites.google.com/view/c2i6-2023/home
12.15. - 12.17.	2023 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (Healthcom)	Chongqing, China	https://healthcom2023.ieee-healthcom.org/
12.15. - 12.17.	2023 IEEE 3rd International Conference on Social Sciences and Intelligence Management (SSIM)	Taichung, Taiwan	http://www.ssim.asia/
12.15. - 12.17.	2023 9th International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA)	Haikou, China	https://2023.bigdia.org/
12.15. - 12.17.	2023 11th International Conference on Intelligent Systems and Embedded Design (ISED)	Dehradun, India	https://isedconf.org/
12.15. - 12.18.	2023 IEEE International Conference on Big Data (BigData)	Sorrento, Italy	http://bigdataieee.org/BigData2023/index.html
12.15. - 12.18.	2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)	Hangzhou, China	https://attend.ieee.org/ei2-2022/
12.15. - 12.17.	2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)	Jacksonville, Florida, USA	https://icmla-conference.org/icmla23/
12.15. - 12.16.	2023 5th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)	Greater Noida, India	https://icac3n.in/
12.15. - 12.17.	2023 20th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)	Chengdu, China	https://waveletlab.cn/
12.16. - 12.22.	2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt)	Agadir - Essaouira, Morocco	http://www.ieee.ma/cist23/
12.16. - 12.2023 .	2023 IEEE 11th Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)	Malacca, Malaysia	https://sites.google.com/view/icspc/home
12.16. - 12.20.	2023 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU)	Taipei, Taiwan	http://www.asru2023.org/
12.16. - 12.18.	2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC)	Sousse, Tunisia	https://irec-conference.com/
12.16. - 12.17.	2023 16th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)	Hangzhou, China	http://iukm.zju.edu.cn/iscid/index.html
12.17. - 12.20.	2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)	Trivandrum, India	https://pesgre2023.org/
12.17. - 12.20.	2023 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)	Jaipur, India	https://ants2023.ieee-ants.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on High Performance Computing & Communications, Data Science & Systems, Smart City & Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys)	Melbourne, Australia	http://www.swinflow.org/confs/2023/hpcc/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE 29th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)	Ocean Flower Island, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/icpads/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing & Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical & Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics)	Danzhou, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/
12.17. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)	Danzhou, China	https://ieee-cybermatics.org/2023/blockchain/
12.18. - 12.21.	2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)	Singapore, Singapore	https://www.ieem.org/public.asp?page=index.asp
12.18. - 12.20.	2023 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES)	Ahmedabad, India	https://ieee-ises.org/2023/
12.18. - 12.20.	2023 7th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)	Kolkata, India	https://iementech.iem.edu.in/
12.18. - 12.21.	2023 IEEE 30th International Conference on High Performance Computing, Data, and Analytics (HiPC)	Goa, India	https://hipc.org/
12.18. - 12.20.	2023 IEEE 11th International Conference on Systems and Control (ICSC)	Sousse, Tunisia	https://icsc.conference.univ-poitiers.fr/
12.18. - 12.20.	2023 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)	Riyadh, Saudi Arabia	https://saudi-sg.com/
12.19. - 12.21.	2023 11th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)	Tehran, Iran	https://icrom.ir/
12.20. - 12.21.	2023 Fifth Scientific Conference for Electrical Engineering Techniques Research (EETR)	Baghdad, Iraq	http://eetr2023.eetc.mtu.edu.iq/
12.20. - 12.21.	2023 17th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST)	Lahore, Pakistan	https://icosst.kics.edu.pk/2023/
12.21. - 12.23.	2023 3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)	Event Format: Virtual	http://icimia.in/#about
12.21. - 12.22.	2023 4th International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC)	Ankara, Turkey	https://iisec.tbdakademi.org.tr/2023/
12.21. - 12.24.	2023 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2023/ISPA/index.html
12.21. - 12.24.	2023 IEEE International Conference on Security, Privacy, Anonymity in Computation and Communication and Storage (SpaCCS)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2023/SpaCCS/index.html
12.21. - 12.22.	2023 3rd International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)	Patna, India	https://sites.google.com/nitp.ac.in/icefeet-2023/home
12.22. - 12.23.	2023 IEEE 15th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)	Bangkok, Thailand	http://cicn.in/
12.22. - 12.23.	2023 International Conference on Computational Intelligence, Networks and Security (ICCINS)	Mylavaram, India	https://www.iccins.in/
12.22. - 12.24.	2023 5th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://2023.icecie.com/
12.23. - 12.25.	2023 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)	Hanoi, Vietnam	https://rivf2023.org/
12.27. - 12.28.	2023 5th Sustainability and Resilience Conference: Energy And Industry 4.0 – Technologies And Applications (SRC)	Event Format: Virtual	https://srcdi.uob.edu.bh/
12.29. - 12.31.	2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)	Bangalore, India	https://smartgencon.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12.29. - 12.30.	2023 International Conference on Artificial Intelligence for Innovations in Healthcare Industries (ICAIIHI)	Raipur, India	https://www.icaiihi.com/
〉〉2024년 1월			
01.01. - 01.06.	2024 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops (WACVW)	Waikoloa, Hawaii, USA	https://wacv2024.thecvf.com/
01.03. - 01.05.	2024 18th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://imcom.org/
01.04. - 01.06.	2024 International Conference on Social and Sustainable Innovations in Technology and Engineering (SASI-ITE)	Tadepalligudem, India	http://ite.sasi.ac.in/
01.04. - 01.06.	2024 2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)	Event Format: Virtual	http://icoici.org/2024/
01.06. - 01.08.	2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	Las Vegas, Nevada, USA	https://icce.org/2024/call-for-papers-2/
01.06. - 01.09.	2024 IEEE 21st Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)	Las Vegas, Nevada, USA	https://ccnc2024.ieee-ccnc.org/
01.06. - 01.10.	2024 37th International Conference on VLSI Design and 2024 23rd International Conference on Embedded Systems (VLSID)	Kolkata, India	https://vlsid.org/
01.08. - 01.11.	2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)	Ha Long, Vietnam	https://sice-si.org/SII2024/
01.08. - 01.10.	2024 4th International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)	Doha, Qatar	http://www.sgre-qa.org/
01.10. - 01.12.	2024 2nd International Conference on Big Data and Privacy Computing (BDPC)	Macau, China	http://www.icbd.org/
01.11. - 01.12.	2024 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)	Bhilai, India	http://icaect.com/
01.12. - 01.14.	2024 8th International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA)	Shanghai, China	http://www.icrca.org/
01.17. - 01.19.	2024 IEEE International Conference on Artificial Intelligence eXtended and Virtual Reality (AIXVR)	Los Angeles, California, USA	https://aivr.science.uu.nl/
01.17. - 01.19.	2024 International Conference on Information Networking (ICOIN)	Ho Chi Minh City, Vietnam	https://www.icoin.org/
01.17. - 01.19.	2024 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)	Event Format: Virtual	https://gecost.curtin.edu.my/
01.18. - 01.28.	2024 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)	Albuquerque, New Mexico, USA	https://rams.org/
01.18. - 01.19.	2024 14th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)	Noida, India	https://www.amity.edu/aset/confluence2024/
01.18. - 01.20.	2024 Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)	Raipur, India	http://icpc2t.nitrr.ac.in/
01.21. - 01.24.	2024 102nd ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)	San Antonio, Texas, USA	https://www.arftg.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE 24th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Space Hardware Radio Conference (SHaRC)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/
01.21. - 01.24.	2024 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNeT)	San Antonio, Texas, USA	https://www.radiowirelessweek.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
01.21. - 01.25.	2024 IEEE 37th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)	Austin, Texas, USA	https://www.mems24.org/
01.22. - 01.24.	2024 IEEE Applied Sensing Conference (APSCON)	Goa, India	https://2024.ieee-apscon.org/
01.22. - 01.25.	2024 29th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	Incheon, Korea (South)	https://aspdac.gabia.io/
01.24. - 01.25.	2024 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)	Bangalore, India	https://iciitcee.in/
01.25. - 01.27.	2024 IEEE 3rd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC)	Kolkata, India	https://www.ciec24.co.in/
01.25. - 01.27.	2024 IEEE 22nd World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)	Stará Lesná, Slovakia	http://conf.uni-obuda.hu/sami2024/
01.29. - 02.01.	2024 Pan Pacific Strategic Electronics Symposium (Pan Pacific)	Kona, Big Island, Hawaii, USA	https://smta.org/mpage/panpac
01.29. - 01.30.	2024 IEEE Electrical Energy Storage Application and Technologies Conference (EESAT)	San Diego, California, USA	https://cmte.ieee.org/pes-eesat/
01.31. - 02.03.	2024 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)	Chiang-mai, Thailand	http://www.icdamt.org/2024/
〉〉2024년 2월			
02.01. - 02.02.	2024 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC)	Gold Coast, Australia	https://anzcc.org.au/ANZCC2024/
02.01. - 02.02.	2024 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA)	Victoria, Seychelles	http://www.acdsa.org/
02.01. - 02.03.	2024 Black Issues in Computing Education (BICE)	Santo Domingo, Dominican Republic	https://www.ieeebice.org/
02.05. - 02.07.	2024 IEEE Second International Conference on Conversational Data & Knowledge Engineering (CDKE)	Laguna Hills, California, USA	https://www.cdke.org/
02.05. - 02.07.	2024 IEEE First International Conference on Artificial Intelligence for Medicine, Health and Care (AIMHC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.aimhc.org/
02.05. - 02.07.	2024 IEEE 18th International Conference on Semantic Computing (ICSC)	Laguna Hills, California, USA	https://www.ieee-icsc.org/
02.07. - 02.09.	2024 IEEE 3rd International Conference on AI in Cybersecurity (ICAIC)	Houston, Texas, USA	https://icaic.gyancity.com/
02.08. - 02.10.	2024 2nd International Conference on Computer, Communication and Control (IC4)	Indore, India	http://conference.medicaps.ac.in/
02.12. - 02.14.	2024 2nd International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)	Muscat, Oman	https://uvsc.om/
02.12. - 02.13.	2024 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)	College Station, Texas, USA	http://tpec.engr.tamu.edu/
02.14. - 02.15.	2024 9th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM)	Iran	https://ictem.ir/2024
02.16. - 02.17.	2024 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)	Bangalore, India	https://icwite-2024.ieeebangalore.org/
02.18. - 02.22.	2024 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)	San Francisco, California, USA	https://www.isscc.org/
02.18. - 02.21.	2024 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)	Bangkok, Thailand	https://www.bigcomputing.org/conf2024/
02.19. - 02.22.	2024 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)	Washington, District of Columbia, USA	https://ieee-isgt.org/
02.19. - 02.22.	2024 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)	Big Island, Hawaii, USA	http://www.conf-icnc.org/2024/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02.19. - 02.22.	2024 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC)	Osaka, Japan	http://icaiic.org/
02.19. - 02.21.	2024 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)	Dubai, United Arab Emirates	https://www.giis2023.org/home
02.19. - 02.20.	2024 5th International Conference on Advancements in Computational Sciences (ICACS)	Lahore, Pakistan	https://sites.uol.edu.pk/icacs24/
02.21. - 02.23.	2024 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)	Noida, India	https://amity.edu/iciptm2024/
02.21. - 02.23.	2024 IEEE International Microwave Filter Workshop (IMFW)	Cocoa Beach, Florida, USA	http://www.imfw-ieee.org/
02.22. - 02.23.	2024 Second International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ICETITE)	Vellore, India	https://icetite.vit.ac.in/
02.22. - 02.24.	2024 10th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)	Athens, Greece	http://www.icara.us/index.html
02.23. - 02.24.	2024 International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)	Raichur, India	https://iciccs.in/index.php
02.23. - 02.24.	2024 3rd International conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)	Mathura, India	https://www.gla.ac.in/parc2024/
02.25. - 02.29.	2024 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)	Long Beach, California, USA	https://apec-conf.org/
02.26. - 02.28.	2024 10th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP)	Rome, Italy	https://icissp.scitevents.org/
02.26. - 02.28.	2024 12th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)	Gangwon, Korea (South)	https://brain.korea.ac.kr/bci2024/
02.26. - 02.28.	2024 Forum for Innovative Sustainable Transportation Systems (FISTS)	Riverside, California, USA	https://ieee-fists.org/2024/
02.27. - 02.28.	2024 Arab ICT Conference (AICTC)	Manama, Bahrain	http://www.arabict.info/
02.27. - 02.29.	2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)	Changchun, China	http://www.eebda.org/
02.27. - 03.01.	2024 IEEE 15th Latin America Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)	Punta del Este, Uruguay	https://www.ieee-lascas.org/
02.27. - 02.29.	2024 10th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)	Milan, Italy	http://www.icmre.org/
02.28. - 02.29.	2024 2nd International Conference on Software Engineering and Information Technology (ICoSEIT)	Event Format: Virtual	https://icoseit.com/
02.28. - 03.01.	2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)	New Delhi, India	http://bvicam.ac.in/indiacom/
02.28. - 03.02.	2024 16th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)	Krabi, Thailand	http://kst.buu.ac.th/2024/
〉〉2024년 3월			
03.01. - 03.02.	2024 1st International Conference on Cognitive, Green and Ubiquitous Computing (IC-CGU)	Bhubaneswar, India	http://www.ic-cgu.co.in/
03.01. - 03.03.	2024 3rd International Conference for Innovation in Technology (INOCON)	Bangalore, India	http://inoconf.org/
03.01. - 03.02.	2024 20th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)	Langkawi, Malaysia	https://sites.google.com/view/asprg-cspa/home
03.01. - 03.02.	2024 International Conference on Social and Sustainable Innovations in Technology and Engineering (SASI-ITE)	Tadepalligudem, India	http://ite.sasi.ac.in/
03.02. - 03.09.	2024 IEEE Aerospace Conference	Big Sky, Montana, USA	https://www.aeroconf.org/
03.02. - 03.06.	2024 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA)	Edinburgh, United Kingdom	https://hpca-conf.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03.02. - 03.06.	2024 IEEE/ACM International Symposium on Code Generation and Optimization (CGO)	Edinburgh, United Kingdom	https://conf.researchr.org/home/cgo-2024
03.04. - 03.07.	2024 IEEE 8th Energy Conference (ENERGYCON)	Doha, Qatar	https://ieee-energycon2024.com/
03.04. - 03.05.	2024 IEEE 4th International Conference in Power Engineering Applications (ICPEA)	Pulau Pinang, Malaysia	https://icpea2024.uitm.edu.my/home%20
03.05. - 03.07.	2024 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)	Pune, India	https://esciioit.org/
03.06. - 03.08.	2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON)	Pattaya, Thailand	http://www.ieecon.org/ieecon2024/
03.07. - 03.08.	2024 Argentine Conference on Electronics (CAE)	Bahía Blanca, Argentina	http://eamta.ar/
03.07. - 03.08.	2024 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)	Durban, South Africa	http://www.ictas.org/
03.08. - 03.10.	2024 12th International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)	Nanjing, China	https://conference.cs.cityu.edu.hk/icicip/
03.10. - 03.13.	2024 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)	Guatemala City, Guatemala	https://edunine.eu/edunine2024/
03.11. - 03.15.	2024 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)	Biarritz, France	https://www.percom.org/
03.11. - 03.15.	2024 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)	Biarritz, France	https://www.percom.org/
03.11. - 03.13.	2024 15th German Microwave Conference (GeMiC)	Duisburg, Germany	https://gemic2024.org/
03.11. - 03.14.	2024 27th Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks (ICIN)	Paris, France	https://www.icin-conference.org/
03.12. - 03.15.	2024 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)	Rovaniemi, Finland	https://conf.researchr.org/home/saner-2024
03.12. - 03.14.	2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications	Moscow, Russia	http://media-publisher.ru/en/2024-on-board/
03.12. - 03.13.	2024 Seventh International Women in Data Science Conference at Prince Sultan University (WiDS PSU)	Riyadh, Saudi Arabia	https://info.psu.edu.sa/wids/
03.13. - 03.15.	2024 58th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)	Princeton, New Jersey, USA	https://ee-ciss.princeton.edu/
03.14. - 03.16.	2024 16th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)	Melbourne, Australia	http://www.iccae.org/
03.14. - 03.16.	2024 International Conference on Automation and Computation (AUTOCOM)	Dehradun, India	https://autocom.org.in/
03.14. - 03.16.	2024 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)	Gwalior, India	https://iatmsi.iiitm.ac.in/
03.14. - 03.16.	2024 Third International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)	Krishnankoil, Virudhunagar district, Tamil Nadu, India	https://edu.ieee.org/in-kare/about/
03.14. - 03.15.	2024 2nd International Conference on Networking, Embedded and Wireless Systems (ICNEWS)	Bangalore, India	http://icnews2024.com/
03.15. - 03.24.	SoutheastCon 2024	Atlanta, Georgia, USA	https://ieeesoutheastcon.org/
03.15. - 03.17.	2024 IEEE 7th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)	Chongqing, China	http://www.iaeac.org/
03.15. - 03.16.	2024 International Conference on Distributed Computing and Optimization Techniques (ICDCOT)	Bengaluru, India	http://icrtsem.sjbit.edu.in/ICDCOT/ICDCOT-index.html#home
03.15. - 03.16.	2024 International Conference on Recent Innovation in Smart and Sustainable Technology (ICRISST)	Bengaluru, India	https://www.icrisst2023.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03.15. - 03.16.	2024 2nd International Conference on Device Intelligence, Computing and Communication Technologies (DICCT)	Dehradun, India	https://dicct.geu.ac.in/
03.15. - 03.16.	2024 2nd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)	Greater Noida, India	https://www.glbitm.org/icdt-2024/
03.15. - 03.16.	2024 IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications (InC4)	Bangalore, India	https://ic4.co.in/
03.16. - 03.17.	2024 International Conference on Electronics, Information and Industrial Engineering (EIIE)	Kristiansand, Norway	http://www.eiieconf.com/
03.16. - 03.17.	2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)	Mt Pleasant, Michigan, USA	https://www.icmiconf.com/
03.17. - 03.22.	2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)	Glasgow, United Kingdom	https://www.eucap2024.org/
03.17. - 03.19.	2024 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI)	Santa Fe, New Mexico, USA	http://ivpcl.unm.edu/SSIAI2024/index.html
03.18. - 03.20.	2024 SICE International Symposium on Control Systems (SICE ISCS)	Higashi-Hiroshima, Japan	https://iscs2024.sice-ctrl.jp/
03.18. - 03.22.	2024 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)	Orlando, Florida, USA	http://ieeevr.org/
03.18. - 03.20.	2024 IEEE/OES Thirteenth Current, Waves and Turbulence Measurement (CWTM)	Wanchese, North Carolina, USA	https://cwtm2024.org/
03.18. - 03.20.	2024 12th International Conference on Information and Education Technology (ICIET)	Yamaguchi, Japan	http://www.iciet.org/
03.19. - 03.22.	2024 Data Compression Conference (DCC)	Snowbird, Utah, USA	https://www.cs.brandeis.edu/~dcc/Call.html
03.19. - 03.21.	2024 IEEE 4th International Symposium on Joint Communications & Sensing (JC&S)	Leuven, Belgium	https://jcns-symposium.org/
03.20. - 03.22.	2024 23rd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)	East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina	https://infoteh.etf.ues.rs.ba/indexe.php
03.21. - 03.22.	2024 11th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)	Noida, India	http://amity.edu/spin2024/
03.22. - 03.23.	2024 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)	Karkala, India	https://bhtc-2024.ieeebangalore.org/
03.22. - 03.23.	2024 4th International Conference on Data Engineering and Communication Systems (ICDECS)	Bangalore, India	https://www.icdecs2023.com/
03.24. - 03.28.	2024 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)	San Diego, California, USA	https://www.ofcconference.org/en-us/home/
03.25. - 03.27.	2024 IEEE Electrical Safety, Technical, Maintenance and Projects Workshop (ESTMP)	Calgary, Alberta, Canada	https://cmte.ieee.org/estmp/
03.25. - 03.29.	2024 40th Semiconductor Thermal Measurement, Modeling & Management Symposium (SEMI-THERM)	San Jose, California, USA	https://semi-therm.org/
03.25. - 03.28.	2024 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL)	Hiroshima, Japan	https://2024.ieee-inertial.org/
03.25. - 03.29.	2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon)	Sochi, Russia	http://smartindustrycon.ru/index-eng.html
03.25. - 03.28.	2024 77th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CFPR)	College Station, Texas, USA	https://prorelay.tamu.edu/
03.25. - 03.27.	2024 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)	Bristol, United Kingdom	https://icit2024.ieee-ies.org/
03.27. - 03.29.	2024 IEEE South Asian Ultrasonics Symposium (SAUS)	Gujarat, India	https://2024.ieee-saus.org/
03.28. - 03.29.	2024 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET)	Thessaloniki, Greece	https://pacet2024.web.auth.gr/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03.29. - 03.31.	2024 IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI)	Chonburi, Thailand	https://icci2024.smc-thailand.org/
03.29. - 03.31.	2024 10th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR)	Guangzhou, China	http://www.eecr.org/
03.29. - 03.29.	2024 IEEE Workshop on Microelectronics and Electron Devices (WMED)	Boise, Idaho, USA	https://ieeeboisewmed.org/

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	김지호	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	구현모	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍㈜	정철동	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자㈜	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	이용상,벤델레괴츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤㈜	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스㈜	박정호, 곽노정	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버㈜	최수연	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	https://www.navercorp.com
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
대덕전자(주)	신영환	경기도 안산시 단원구 강촌로230 (목내동 475)	031-8040-8000	http://www.daeduck.com
대전테크노파크	임헌문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djtp.or.kr
도쿄일렉트론코리아(주)	원제형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
리얼텍코리아 주식회사	팅치창	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.cpm/en
비젼테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
삼성전자㈜	한종희, 경계현	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㈜	박영우	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨㈜	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmed.com
오토아이티㈜	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템㈜	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr
정보통신정책연구원	권호열	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
㈜LX세미콘	손보익	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
㈜넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
㈜더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
㈜만도	정몽원, 조성현, 김광현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2997	www.mando.com
㈜빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
㈜스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
㈜시스메이트	이상만	대전시 유성구 유성대로 1184길 41	042-486-6135	http://www.sysmate.com
주식회사 뷰웍스	김후식	경기도 안양시 동안구 부림로 170번길 41-3	070-7011-6161	https://www.vieworks.com
㈜실리콘마이터스	허염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconmitus.com
㈜싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 벌말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
㈜싸인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
㈜쏠리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 쏠리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
㈜유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
㈜코클리어닷에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
㈜크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://wwww.cressem.com
㈜텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터회관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
㈜티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
㈜티엘아이	김달수	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
㈜해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 40, 스타기업관 207호	043-715-9034	http://www.haechitech.com
중소벤처기업진흥공단	김학도	경상남도 진주시 동진로 430	055-751-9380	www.kosmes.or.kr
케이케이테크(주)	김경하	경기도 안성시 대덕면 무능로132	031-678-1586	http://www.k-ktech.co.kr
코어인사이트㈜	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈마치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
한국알박㈜	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㈜	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템㈜	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스㈜	조성환	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차㈜	정의선, 장재훈, 이동석	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아㈜	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아㈜	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아㈜	MIYOSHI KEITA	경기도 성남시 분당구 정자일로 155, 엔16층(정자동, 분당두산타워)	031-725-4201	https://www.hitachi-hightech.com

박사학위 논문초록 게재 안내

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

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

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130
서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)
사무국 회지담당자앞
E-mail : biz@theieie.org
TEL : (02)553-0255(내선 5) FAX : (02)552-6093

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 〈월간〉 제50권 제11호(통권 제474호) The Magazine of the IEIE

2023년 11월 20일 인쇄
2023년 11월 25일 발행

발행및 편집인 **(사) 대한전자공학회** **회장 이 혁 재**
인쇄인 **한림원(주)** **대표 김 흥 중**
발행인 **사단법인 대 한 전 자 공 학 회**
(우)06130 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)
TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)552-6093
E-mail : ieie@theieie.org
Homepage : http://www.theieie.org
씨티은행 102-53125-258

2023년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

2023년도 회원 연회비는 2022년과 동일함을 알려드리며, 아직 2023년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서는 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해연도에 한합니다.

◆ 2023년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.
- 정 회 원 : 70,000원 (입회비 : 10,000원)
- 학생회원 : 30,000원 (입회비 면제)
- 평생회원 : 700,000원
  - 평생회비 할인 제도 : 학회 홈페이지 안내 참조
  - 평생회비 분납 제도(1년 한) : 평생회비 분할 납부를 원하시는 회원께서는 회원 담당에게 요청하여 주시기 바랍니다.
  - 7월 1일부터 연회비 50% 할인 적용

2. 논문지(eBook) 제공

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

3. 회비의 납부방법

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

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

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

◎ 가입 대상 및 할인 혜택
- 가입 대상 : 2023년 석 · 박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년당 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)
  3년 90,000원(1년당 30,000원) → 3년 70,000원(22.2% 할인)
  4년 120,000원(1년당 30,000원) → 4년 90,000원(25% 할인)
  5년 150,000원(1년당 30,000원) → 5년 110,000원(26.7% 할인)

5. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 변은정 부장(회원담당)
Tel : 02-553-0255(내선 3번) / E-mail : edit@theieie.org

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

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

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

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

상세한 사항은 로그인 없이 모든 정보와 이용이 가능한 홈페이지를 참조바랍니다.

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

https://www.facebook.com/snuhjtic
http://blog.naver.com/hjtic2010
카카오톡 오픈채팅@HJTIC 브리핑룸

주간브리핑의 무료 이메일 구독을 원하시면,
‘hjtic@snu.ac.kr’에 “구독”으로 신청.

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