

ISSN 1016-9288

제49권 8호

2022년 8월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.49. no.8

양자 네트워크 개념 및 현황

- 양자 네트워크의 개념 및 구성
- 양자 네트워크를 위한 양자얽힘 광자쌍 생성과 분배
- 양자 얽힘 증류 과정 소개 및 증류 과정에서의 양자 오류정정부호
- 양자 중계기의 원리와 얽힘
- QKD 네트워크 구성 및 현황



Boost your lab's performance

임의파형발생기

- 2.4 GSa/s, 16 bit, 750 MHz
- 4 또는 8 채널 이상
- 50 ns 이하의 트리거 딜레이

어플리케이션

반도체 테스트, 양자 컴퓨터, Phased array 레이더 설계 & 테스트, Lidar, 분광학, NMR

임피던스분석기

- DC ~ 5 MHz까지, 1 mΩ ~ 1 TΩ까지
- 0.05% 기본 정확도
- 측정 정확도 보상 및 측정 신뢰도 표시 기능

어플리케이션

높은 Q 값의 유전체, 정전용량형 센서, 슈퍼 커패시터, PV 소자, 소자 특성 분석

락인앰플리파이어

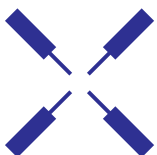
- 600 MHz까지 측정 가능
- 스코프, FFT, 주파수 응답 분석기, Sweeper, 이미징 툴
- 옵션: 임의파형발생기, PID, PLL, Boxcar, 주파수 카운터, AM & FM 변조

어플리케이션

AFM, LVP, CARS, SRS, SNOM, graphene, optical PLL, THz, pump-probe, RFID, MEMS, NEMS, gyros, NDT, MRFM

LabOne® 소프트웨어

취리히인스트루먼트의 모든 장비는 제어소프트웨어인 LabOne®을 사용할 수 있습니다. 다양한 기능, 효율적인 작업, 쉬운 사용자인터페이스를 제공합니다. 웹브라우저에서 장비를 액세스하거나 LabVIEW™, MATLAB®, Python, C 또는 .NET 프로그램들과 통합할 수 있습니다.



Zurich
Instruments

한국담당자 010-6456-3463
ilnam.yeom@zhinst.com
www.zhinst.com

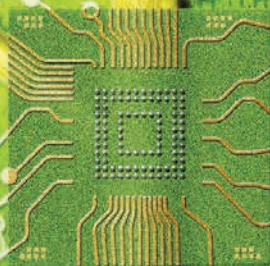
응용분야 솔루션에 대하여
기술문의 해주세요

지속가능한 MICE 도시, JEJU



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



2022년도 대한전자공학회

학회상 후보자 추천

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

1. 시상부문

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

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

2. 추천권자

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

* 단, 대한전자공학대상은 소속기관장의 추천에 한함.

3. 제출서류

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

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감 : 2022년 9월 20일(화)

나. 접 수 처 : 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 635-4) 과학기술회관 제1관 907호
대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표 : 2022년 11월 초순

나. 시 상 : 2022년 11월 25일(금) 정기총회(장소 : 추후공지)

2022년도 대한전자공학회

해동상 후보자 추천

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

1. 시상부문

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

* 해동학술상은 최근 10년간 본 학회 학술지(전자공학회 논문지, JSTS, IEIE SPC)에 5편 이상의 논문을 게재한 자로서 10년간(2012년 9월 1일~2022년 8월 30일)의 실적을 평가함.

** 해동젊은공학인상(학술상)은 당해년도 만 40세 이하로서 최근 5년간 본 학회 학술대회(하계, 추계, ICEIC, ICCE-Asia, ITC-CSCC) 및 학술지(전자공학회논문지, JSTS, IEIE SPC)에 3편 이상의 논문을 게재한 자로서 5년간(2017년 9월 1일~2022년 8월 30일)의 실적을 평가함.

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

- 타 기관 해동상 수상자
- 동일한 연구개발 업적으로 본 학회 또는 타 기관에서 수상한 자
- 10년 이내 대한전자공학회에서 수여하는 다른 상(해동상 타 부문, IEIE/IEEE Joint Award 등) 수상자

2. 추천권자

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

3. 제출서류

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

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감 : 2022년 9월 20일(화)

나. 접 수 처 : 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 635-4) 과학기술회관 제1관 907호
대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표 : 2022년 11월 초순

나. 시 상 : 2022년 12월 9일(금) (장소 : 추후공지)

IEEE/IEIE

ICCE-Asia 2022

The 7th International Conference on Consumer Electronics (ICCE) Asia

10.26^(Wed) - 10.28^(Fri), 2022

SONO CALM HOTEL, Yeosu, South Korea

Presentation Guidelines

The conference will be held with face-to-face presentations of papers at the conference site at SONO CALM HOTEL, Yeosu, South Korea where online paper presentation (using videos submitted in advance) will be permitted in case the presenter cannot attend the conference.

Organized by the IEEE Consumer Technology Society and the Institute of Electronics and Information Engineers, ICCE-Asia 2022 which will be held in the SONO CALM HOTEL, Yeosu, South Korea is an event open to researchers and engineers from industry, research centres, and academia to exchange information and results related to Consumer Technologies (CT). The conference will feature outstanding keynote speakers, high quality tutorials, special sessions and peer-reviewed papers. It hopes to attract a global audience from industry and academia. It is a perfect opportunity to promote affiliated company/ organization to an audience of world-class researchers in the CT industry.

A select few authors with highest reviews may be invited to submit enhanced journal-quality papers to special issues of peer-reviewed journals (e.g. IEEE Transactions on Consumer Electronics, IEEE Transactions on Games and IEEE Consumer Electronics Magazine).

TOPICS OF IEEE/IEIE ICCE-ASIA 2022

- Artificial Intelligence and Machine Learning for CE Applications (AIM)
- Robotics, Drones, Automation Technologies and Interfaces (RDA)
- Security and Privacy of CE Hardware and Software Systems (SPC)
- Energy Management of CE Hardware and Software Systems (EMC)
- Application-Specific CE for Smart Cities (SMC)
- RF, Wireless, and Network Technologies (WNT)
- Internet of Things and Internet of Everywhere (IoT)
- Entertainment, Gaming, and Virtual and Augmented Reality (EGV)
- AV Systems, Image and Video, and Cameras and Acquisition (AVS)
- Automotive CE Applications (CEA)
- CE Sensors and MEMS (CSM)

- Consumer Healthcare Systems (CHS)
- Enabling and HCI Technologies (HCI)
- Smartphone and Mobile Device Technologies (MDT)
- Semiconductor Devices for Consumer Electronics (SCE)
- Other Technologies Related with CE (MIS)

SPECIAL SESSIONS

Special session proposals are invited to IEEE/IEIE ICCE-Asia 2022, and inquiries regarding submission should be directed to the Special Session Chair.

BEST PAPER AWARDS

The authors of the best papers will be presented Gold, Silver, and Bronze awards.

Selected top quality papers will be recommended to be published in the Journal of Semiconductor Technology and Science (JSTS) or a special issue of IEIE Transactions on Smart Processing and Computing.

PAPER SUBMISSION

Prospective authors can submit their papers by following the guidelines posted on the conference webpage (<http://www.icce-asia2022.org>). Accepted papers will be published in IEEE Xplore when the copyright transfer agreement is signed and returned by the authors.

AUTHOR'S SCHEDULE

- Full paper submission/Special Session proposals: **August 16th, 2022**
- Accepted papers notification: **September 1st, 2022**
- Final submission due: **September 16th, 2022**

CONTACT POINT

- Secretariat : inter@theieie.org



2022 추계

2022.11. 25(금)~26(토)
곤지암리조트(경기도 광주시)

학술대회

I 논문모집 I

- 최우수/일반 논문
- ① 논문제출 : 2022년 10월 14일(금)
 - ② 심사통보 : 2022년 10월 31일(월)
 - ③ 사전등록 : 2022년 11월 11일(금)

I 발표분야(학회 6개 소사이어티) I

홈페이지주소 : <http://conf.theieie.org/2022f/>

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

I 정기총회 I 2022. 11. 25.(금) 곤지암 리조트

I 행사문의 I 본 학회 사무국 전화 02)553-0255(내선 2번) FAX 02)552-6093
홈페이지 <http://conf.theieie.org/2022f/>
e-mail conf@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.



IEEE DiscoveryPoint Communications(IDPC)



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



IEEE Full-text를
포함한 다양한 양질의
자료 제공



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



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



설계 문제에 대한
솔루션 제공하여
실무 엔지니어에게
최적화

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



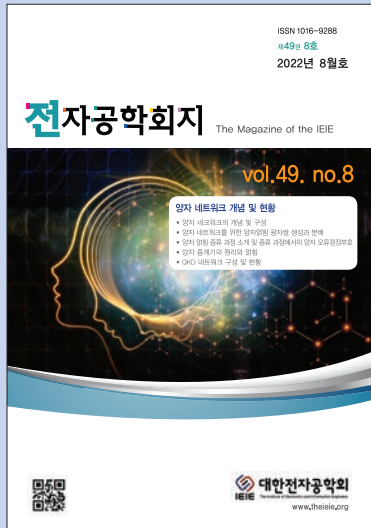
Authorized
Dealer



키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.

CONTENTS

제49권 8호 (2022년 8월)



※ 학회지 7월호 표지 (vol 49, No 8)

회지편집위원회

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

학회소식

12 학회소식 / 편집부

특집 : 양자 네트워크 개념 및 현황

14 특집편집기 / 허준

15 양자 네트워크 개념 및 구성 / 백경현, 김민수, 문기원, 방정호, 주정진

25 양자 네트워크를 위한 양자얽힘 광자쌍 생성과 / 김용수

33 양자 얽힘 증류 과정 소개 및 증류 과정에서의 양자 오류정정부호 / 이종현, 허준

41 양자 중계기의 원리와 얽힘 / 배준우

49 QKD 네트워크 구성 및 현황 / 이원혁, 김용환, 손일권, 심규석

회원광장

61 논문지 논문목차

63 박사학위 논문초록 / 김선혁(한국전자통신연구원)

정보교차로

64 국내외 학술행사 안내 / 편집부

84 특별회원사 및 후원사 명단

2022년도 임원 및 각 위원회 위원

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

이 사

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

협 동 이 사

이 상 훈 (주웨이브피아 대표이사) - 회원
 조 영 민 (SkyMirr CEO)
 최 성 민 (주해치텍 대표이사)
 한 은 혜 (에스에스앤씨주) 대표이사)
 홍 국 태 (주LX세미콘 연구위원)

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

지부장 명단

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

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

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

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

위원회 명단

자문위원회

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

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

기획위원회

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

학술연구위원회 – 하계

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

학술연구위원회 – 추계

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

논문편집위원회

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

국제협력위원회

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

산학연합동위원회

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

회원관리위원회

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

회지편집위원회

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

사업위원회

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

교육연구위원회

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

홍보위원회

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

표준화위원회

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

정보화위원회

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

AI위원회

위원장	김영민 (서울대학교 교수)	김성우 (서울대학교 교수)	김유철 (LG AI연구원 부문장)
위원	권준석 (중앙대학교 교수)	안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원)	장성욱 (카카오모빌리티 상무)
	배순민 (KT 소장)	하정우 (네이버 AI연구소장)	홍병우 (중앙대학교 교수)
	전세영 (서울대학교 교수)		
	홍제형 (한양대학교 교수)		

지부담당위원회

위원장	이승호 (한밭대학교 교수)	강운희 (백석대학교 교수)	공성호 (경북대학교 교수)
위원	강문식 (강릉원주대학교 교수)	김현철 (울산대학교 교수)	이문식 (한국전자통신연구원 실장)
	김대순 (전주비전대학교 교수)	최수일 (전남대학교 교수)	최영규 (한국교통대학교 교수)
	고석준 (제주대학교 교수)		

선거관리위원회

위원장	이재홍 (서울대학교 명예교수)	김성우 (서울대학교 교수)	김용신 (고려대학교 교수)
위원	권혁인 (중앙대학교 교수)	이정우 (중앙대학교 교수)	전세영 (서울대학교 교수)
	김현 (서울과학기술대학교 교수)		

포상위원회

위원장	백준기 (중앙대학교 교수)	노원우 (연세대학교 교수)	이정우 (중앙대학교 교수)
위원	김종옥 (고려대학교 교수)	이혁재 (서울대학교 교수)	
	이종호 (서울대학교 교수)		
위원 및 간사겸임	전세영 (서울대학교 교수)		

재정위원회

위원장	서승우 (서울대학교 교수)	김현 (서울과학기술대학교 교수)	박성환 (명예회장)
위원	구용서 (단국대학교 교수)	원제형 (도교일렉트론코리아 대표이사)	이윤종 ((전) ㈜DB하이텍 부사장)
	박영기 ((주)싸인텔레콤 대표이사)	인치호 (세명대학교 교수)	홍대식 (연세대학교 교수)
	이혁재 (서울대학교 교수)		

인사위원회

위원장	서승우 (서울대학교 교수)	김지훈 (이화여자대학교 교수)	김현 (서울과학기술대학교 교수)
위원	김성우 (서울대학교 교수)		
	이혁재 (서울대학교 교수)		

JSTS 편집위원회

위원장	김재준 (서울대학교 교수)	강인만 (경북대학교 교수)	권혁인 (중앙대학교 교수)
위원	강석형 (포항공과대학교 교수)	김소영 (성균관대학교 교수)	김재준 (서울대학교 교수)
	김상범 (서울대학교 교수)	김지훈 (이화여자대학교 교수)	김형택 (홍익대학교 교수)
	김주성 (한밭대학교 교수)	류승택 (한국과학기술원 교수)	민경식 (국민대학교 교수)
	남일구 (부산대학교 교수)	박성주 (한양대학교 교수)	백광현 (중앙대학교 교수)
	박성민 (이화여자대학교 교수)	신창환 (성균관대학교 교수)	오정우 (연세대학교 교수)
	신민철 (한국과학기술원 교수)	이강윤 (성균관대학교 교수)	장호원 (서울대학교 교수)
	이가원 (충남대학교 교수)	조성재 (가천대학교 교수)	조일환 (명지대학교 교수)
	정재경 (한양대학교 교수)	최우영 (서울대학교 교수)	
	차호영 (홍익대학교 교수)		

SPC위원회

위원장	심동규 (광운대학교 교수)	김영민 (홍익대학교 교수)	김원준 (건국대학교 교수)
위원	강석주 (서강대학교 교수)	김종옥 (고려대학교 교수)	박철수 (광운대학교 교수)
	김재곤 (한국항공대학교 교수)	유양모 (서강대학교 교수)	이채은 (인하대학교 교수)
	서영호 (광운대학교 교수)	최강선 (한국기술교육대학교 교수)	황원준 (아주대학교 교수)
	정승원 (동국대학교 교수)		
	황인철 (강원대학교 교수)		

Society 명단

통신소사이터티

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

반도체소사이터티

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

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

최 재 혁 (성균관대학교 교수)

한 정 환 (충남대학교 교수)

컴퓨터사이터티

회 장
명 예 회 장

자 문 위 원
감 사
부 회 장

협동부회장

총 무 이 사
재 무 이 사
홍 보 이 사
편 집 이 사

학 술 이 사

사 업 이 사

연구회위원장

황 성 운 (가천대학교 교수)
신 인 철 (단국대학교 명예교수)
김 형 중 (고려대학교 교수)
안 병 구 (홍익대학교 교수)
김 승 천 (한성대학교 교수)
정 교 일 (한국전자통신연구원 책임)
변 영 재 (UNIST 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
최 용 수 (신한대학교 교수)
심 정 영 (강남대학교 교수)
김 상 욱 (상명대학교 교수)
김 영 학 (산업기술평가관리원 본부장)
이 기 영 (인천대학교 교수)
정 은 성 (홍익대학교 교수)
노 소 영 (월송출판 대표이사)
이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
진 성 아 (성결대학교 교수)
강 병 권 (순천향대학교 교수)
김 천 식 (세종대학교 교수)
이 찬 수 (영남대학교 교수)
한 태 화 (연세대의료원 팀장)
임 재 군 (명지병원 소장)
한 영 선 (부경대학교 교수)
이 종 규 (조선대학교 교수)
서 민 석 (고려대학교 교수)
박 승 창 (주)유오씨 사장)
유 성 철 (LG히다찌 본부장)
김 대 휘 (주)한국정보통신 대표이사)
서 봉 상 (주)올프랜드 이사)
이 학 준 (이노비에스코리아 연구소장)
심 정 연 (강남대학교 교수) - 멀티미디어
윤 은 준 (경일대학교 교수) - 융합컴퓨팅
김 도 현 (제주대학교 교수) - M2M/IoT
황 성 운 (가천대학교 교수) - 인공지능 및 보안

박 인 정 (단국대학교 명예교수)
홍 유 식 (상지대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)
강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
남 상 업 (국제대학교 교수)
이 후 진 (한성대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
권 호 열 (강원대학교 교수)
박 성 욱 (강릉원주대학교 교수)
우 윤 택 (한국과학기술원 교수)
황 인 정 (명지병원 책임)
김 효 선 (을지대학교 조교)

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

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

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

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

윤 은 준 (경일대학교 교수)
조 민 호 (고려대학교 교수)

김 병 서 (홍익대학교 교수)
진 훈 (경기대학교 겸임교수)

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

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

인공지능 신호처리사이터티

회 장
자 문 위 원

부 회 장
협동부회장

이 사

협 동 이 사

감 사
총 무 간 사

송 병 철 (인하대학교 교수)
김 종 욱 (고려대학교 교수)
김 정 태 (이화여자대학교 교수)
김 홍 국 (광주과학기술원 교수)
전 병 우 (성균관대학교 교수)
고 병 철 (계명대학교 교수)
여 종 철 (한국과학기술원 교수)
김 남 수 (서울대학교 교수)
한 재 준 (삼성전자(주) 마스터)
이 병 욱 (이화여자대학교 교수)
지 인 호 (홍익대학교 교수)
강 석 주 (서강대학교 교수)
김 휘 용 (경희대학교 교수)
박 진 태 (고려대학교 교수)
박 영 경 (이화여자대학교 교수)
배 성 호 (경희대학교 교수)
신 종 원 (광주과학기술원 교수)
오 병 태 (한국항공대학교 교수)
이 범 식 (조선대학교 교수)
이 철 (동국대학교 교수)
전 세 영 (서울대학교 교수)
정 찬 호 (한밭대학교 교수)
최 욱 (인천대학교 교수)
함 범 석 (연세대학교 교수)
강 현 수 (충북대학교 교수)
권 구 락 (조선대학교 교수)
김 용 환 (한국전자기술연구원 선임)
박 호 중 (광운대학교 교수)
양 현 중 (UNIST 교수)
이 상 철 (인하대학교 교수)
임 일 규 (부산대학교 교수)
최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)
한 종 기 (세종대학교 교수)
박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)
홍 성 훈 (전남대학교 교수)
김 휘 용 (경희대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)

심 동 규 (광운대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수)
홍 민 철 (송실대학교 교수)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
김 진 웅 (한국전자통신연구원 그룹장)
김 창 수 (고려대학교 교수)
유 명 호 (인텔리빅스 대표이사)
이 찬 수 (영남대학교 교수)
권 기 룡 (부경대학교 교수)
강 정 원 (한국전자통신연구원 박사)
고 영 준 (충남대학교 교수)
민 동 보 (이화여자대학교 교수)
박 철 수 (광운대학교 교수)
서 정 일 (한국전자통신연구원 박사)
심 재 영 (UNIST 교수)
우 성 민 (한국기술교육대학교 교수)
이 상 윤 (연세대학교 교수)
임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)
정 승 원 (고려대학교 교수)
조 성 인 (동국대학교 교수)
최 해 철 (한밭대학교 교수)
황 호 석 (가천대학교 교수)
김 종 민 (강원대학교 교수)
김 기 백 (송실대학교 교수)
박 상 윤 (명지대학교 교수)
서 영 호 (광운대학교 교수)
오 태 현 (포항공과대학교 교수)
이 장 원 (한국항공대학교 교수)
임 재 윤 (제주대학교 교수)
최 종 원 (중앙대학교 교수)
김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
유 양 모 (서강대학교 교수)

한 재 호 (고려대학교 교수)

김 창 익 (한국과학기술원 교수)
이 영 열 (세종대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
강 경 진 (LG전자(주) 연구위원)
윤 재 중 (LG전자(주) 연구위원)
하 정 우 (네이버 AI연구소장)
최 병 호 (한국전자기술연구원 센터장)
강 제 원 (이화여자대학교 교수)
곽 수 영 (한밭대학교 교수)
박 인 규 (인하대학교 교수)
백 종 덕 (연세대학교 교수)
신 지 태 (성균관대학교 교수)
심 현 정 (연세대학교 교수)
이 덕 우 (계명대학교 교수)
이 윤 구 (광운대학교 교수)
장 준 혁 (한양대학교 교수)
정 영 주 (숙명여자대학교 교수)
조 성 현 (포항공과대학교 교수)
한 재 호 (고려대학교 교수)
구 형 일 (아주대학교 교수)
김 상 호 (성균관대학교 교수)
박 현 진 (성균관대학교 교수)
신 재 섭 (주)픽스트리 대표이사)
이 기 승 (건국대학교 교수)
이 종 설 (한국전자기술연구원 박사)
장 세 진 (한국전자기술연구원 센터장)
최 준 원 (한양대학교 교수)
김 해 광 (세종대학교 교수)
이 창 우 (카톨릭대학교 교수)

연구회위원장 이 채 은 (인하대학교 교수) - 영상처리
이 중 호 (서울대학교 교수) - 바이오영상신호처리
장 길 진 (경북대학교 교수) - 음향 및 음성신호처리

김 원 준 (건국대학교 교수) - 영상이해
황 원 준 (아주대학교 교수) - 딥러닝

시스템 및 제어소사이어티

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

산업전자소사이어티

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

제24대 평의원 명단

강명곤 (한국교통대학교 교수)
강석주 (서강대학교 교수)
강성원 (한국전자통신연구원 소장)
강진구 (인하대학교 교수)
고성제 (고려대학교 교수)
공배선 (성균관대학교 교수)
곽진태 (고려대학교 교수)
구용서 (단국대학교 교수)
권기룡 (부경대학교 교수)
권종기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
권혁인 (중앙대학교 교수)
김광수 (서강대학교 교수)
김남 (충북대학교 교수)
김덕진 (고려대학교 명예교수)
김동규 (한양대학교 교수)
김명선 (한성대학교 교수)
김봉태 (한국전자통신연구원 소장)
김상태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
김성대 (KAIST 명예교수)
김소영 (성균관대학교 교수)
김수찬 (한경대학교 교수)
김시호 (연세대학교 교수)
김영민 (서울대학교 교수)
김영재 (해동과학문화재단 이사장)
김영철 (군산대학교 교수)
김용석 (성균관대학교 교수)
김원준 (건국대학교 교수)
김윤 (서울시립대학교 교수)
김재현 (아주대학교 교수)
김정호 (이화여자대학교 교수)
김주성 (한밭대학교 교수)
김진상 (경희대학교 교수)
김창수 (고려대학교 교수)
김태욱 (연세대학교 교수)
김현 (서울과학기술대학교 교수)
김현철 (울산대학교 교수)
김형택 (홍익대학교 교수)
나정웅 (한국과학기술원 명예교수)
남상욱 (서울대학교 교수)
노정진 (한양대학교 교수)
류수정 (사피온코리아 대표이사)
문영식 (한양대학교 교수)
민동보 (이화여자대학교 교수)
박성민 (이화여자대학교 교수)
박성환 (한양대학교 명예교수)
박인규 (인하대학교 교수)
박진욱 (육군사관학교 명예교수)
배준호 (가천대학교 교수)
백상현 (고려대학교 교수)
변대석 (삼성전자 마스터)
서정욱 (전 과학기술부 장관)
선우명환 (아주대학교 교수)
손교민 (삼성전자 마스터)
송문섭 (삼척 회장)
송병철 (인하대학교 교수)
신오순 (송실대학교 교수)
신현철 (광운대학교 교수)
안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안호균 (한국전자통신연구원 실장)
여희주 (대전대학교 교수)
오상록 (한국과학기술연구원 강릉분원장)
오의열 (LG디스플레이 연구위원)
우은택 (한국과학기술원 교수)
유동훈 (삼성전자 전문)
유정봉 (공주대학교 교수)
유창식 (삼성전자 전문)

강문식 (강릉원주대학교 교수)
강석판 (LG전자 상무)
강윤희 (백석대학교 교수)
고병철 (계명대학교 교수)
고정환 (인하공업전문대학 교수)
공성호 (경북대학교 교수)
구민석 (인천대학교 교수)
권건우 (홍익대학교 교수)
권오경 (한국공학한림원 회장)
권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)
권호열 (정보통신정책연구원 원장)
김광순 (연세대학교 교수)
김달수 (티엘아이 대표이사)
김도현 (국민대학교 명예교수)
김동식 (인하공업전문대학 교수)
김명준 (한국전자통신연구원 원장)
김부근 (송실대학교 교수)
김선용 (건국대학교 교수)
김성우 (서울대학교 교수)
김수연 (동국대학교 교수)
김수환 (서울대학교 교수)
김영권 (후레대학교 명예총장)
김영민 (홍익대학교 교수)
김영진 (한국항공대학교 교수)
김영한 (UC San Diego/가우스랩스 교수/대표이사)
김용신 (고려대학교 교수)
김유선 (LG이노텍 TASK LEADER)
김은원 (대림대학교 교수)
김재희 (연세대학교 명예교수)
김종선 (홍익대학교 교수)
김준모 (한국과학기술원 교수)
김진영 (광운대학교 교수)
김창익 (한국과학기술원 교수)
김태진 (더즈텍 대표이사)
김현 (부천대학교 교수)
김형준 (한국과학기술연구원 소장)
김홍국 (광주과학기술원 교수)
남궁선 (유니트론텍 부회장)
남일구 (부산대학교 교수)
노태문 (한국전자통신연구원 센터장/책임연구원)
류승택 (한국과학기술원 교수)
문용 (송실대학교 교수)
박규태 (연세대학교 명예교수)
박성욱 (SK하이닉스 부회장)
박수현 (국민대학교 교수)
박종선 (고려대학교 교수)
박항구 (소암시스템 회장)
배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
백준기 (중앙대학교 교수)
변영재 (울산과학기술원 교수)
서창호 (한국과학기술원 교수)
성광모 (서울대학교 명예교수)
손보익 (LX세미콘 대표이사)
송민규 (동국대학교 교수)
송상현 (중앙대학교 교수)
신요안 (송실대학교 교수)
심동규 (광운대학교 교수)
안승권 (연암공과대학교 총장)
양준성 (연세대학교 교수)
연규봉 (한국자동차연구원 팀장/수석연구원)
오성근 (아주대학교 교수)
오정훈 (삼성전자 마스터)
우정호 (비전넥스트 대표이사)
유명식 (송실대학교 교수)
유찬세 (한국전자기술연구원 센터장)
윤광섭 (인하대학교 교수)

강민석 (LG이노텍 부사장(CTO))
강석형 (포항공과대학교 교수)
강제원 (이화여자대학교 교수)
고석준 (제주대학교 교수)
고형호 (충남대학교 교수)
공준진 (삼성전자 마스터/주임교수)
구본태 (한국전자통신연구원 책임연구원)
권구덕 (강원대학교 교수)
권오규 (인하대학교 교수)
권태수 (서울과학기술대학교 교수)
김경기 (대구대학교 교수)
김규식 (서울시립대학교 교수)
김대순 (전주비전대학교 교수)
김도현 (제주대학교 교수)
김동현 (CTK 대표이사)
김병서 (홍익대학교 교수)
김상완 (서강대학교 교수)
김선욱 (고려대학교 교수)
김성진 (울산과학기술원 교수)
김수중 (경북대학교 명예교수)
김승천 (한성대학교 교수)
김영로 (명지전문대학 교수)
김영선 (대림대학교 교수)
김영진 (한국생산기술연구원 수석연구원)
김용규 (한국철도기술연구원 수석연구원)
김원중 (한국전자통신연구원 책임연구원)
김유철 (LG AI연구원 부문장)
김익균 (한국전자통신연구원 본부장)
김정범 (강원대학교 교수)
김종욱 (고려대학교 교수)
김지훈 (이화여자대학교 교수)
김진태 (건국대학교 교수)
김철우 (고려대학교 교수)
김한구 (삼성전자공과대학교 교수)
김현수 (삼성전자 상무)
김형진 (인하대학교 교수)
김훈 (인천대학교 교수)
남기창 (동국대학교 교수)
노원우 (연세대학교 교수)
동성수 (용인송담대학교 교수)
문병인 (경북대학교 교수)
민경식 (국민대학교 교수)
박부건 (포항공과대학교 교수)
박성욱 (강릉원주대학교 교수)
박영훈 (숙명여자대학교 교수)
박종일 (한양대학교 교수)
배준성 (강원대학교 조교수)
백광현 (중앙대학교 교수)
범진욱 (서강대학교 교수)
서승우 (서울대학교 교수)
선우경 (서울대학교 교수)
성원진 (서강대학교 교수)
손일수 (서울과학기술대학교 교수)
송민협 (한국전자통신연구원 선임연구원)
송준영 (인천대학교 교수)
신창환 (고려대학교 교수)
심정연 (강남대학교 교수)
안현식 (동명대학교 교수)
엄낙웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)
예종철 (한국과학기술원 교수)
오윤호 (성균관대학교 교수)
우성민 (한국기술교육대학교 교수)
원제형 (도쿄엘렉트론코리아 대표이사)
유윤섭 (한경대학교 교수)
유창동 (한국과학기술원 교수)
윤명국 (이화여자대학교 교수)

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

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

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

사무국 직원 명단

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

학회소식

특별회원사 방문

학회 회장단은 특별회원인 한국전자기술연구원(KETI)을 방문하여 주요 현안과제를 논의하고 상호 협력방안을 모색하였다.



한국전자기술연구원 신희동 원장 (가운데)

2022년 영상이해/ 영상처리 연구회 여름학교

신호처리소사이어티 영상이해 연구회(김원준 교수(건국대))와 영상처리연구회 (이재은 교수(인하대)) 공동으로 “2022년 영상이해/ 영상처리 연구회 여름학교”를 2022년 7월 18일(월)~19일(화) 2일간 건국대학교에서 개최 하였다. 첫째날은 생성모델, 자율주행을 위한 영상처리/딥러닝 두번째날은 3D Reconsturction, 멀티모달 응용을 위한 영상처리/ 딥러닝에 대한 주제로 강의가 진행 되었다. 이번 여름학교는 약 150명이 참가하였다.



영상이해 / 영상처리 여름학교

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2022년 7월 15일 ~ 8월 16일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
ICEIC 2022 회의	07.22 (16:30)	학회 회의실	- 논문 제출 독려 방안 및 행사 개최 방식 논의 외

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
영상이해연구회, 영상처리연구회	2022년 영상이해 / 영상처리 연구회 여름학교	7.17 - 7.18	건국대학교

양자 네트워크 개념 및 현황



허 준 편집위원
(고려대학교)

최근 양자통신, 양자컴퓨터와 같은 양자ICT에 대한 관심이 국내외 적으로 높아지고 있다. 특히 디지털 정보의 보안을 위한 목적 뿐만 아니라 양자상태를 직접 전송하기 위한 개념으로 양자 네트워크 또는 양자 인터넷 개념이 새롭게 등장하고 있다. 본 특집호는 이러한 양자 네트워크에 대한 개념과 기본 요소기술 그리고 국내외 개발 현황에 대하여 학계 및 국책연구소 전문가들의 논문 5편으로 구성하였다.

첫째, “양자네트워크의 개념 및 구성(백경현 외)”에서는 1:1 구성의 양자암호통신 즉 양자키분배 기술이 양자네트워크로 확장되기 위하여 요구되는 양자원격전송, 양자중계기, 양자메모리 등의 개념을 소개하고 양자네트워크의 구성 방법 등에 대하여 소개하였다. 둘째, “양자네트워크를 위한 양자얽힘 광자쌍 생성과 분배(김용수)”은 양자네트워크 구성에 핵심 요소기술인 얽힘의 개념을 소개하였다. 특히 광자쌍을 바탕으로 얽힘을 생성하는 원리를 설명하고, 생성된 광자쌍 얽힘을 송신자와 수신자 사이에 분배하는 기술에 대하여 소개하였다. 셋째, “양자얽힘 중류를 위한 양자 오류정정부호 활용(이중현 외)”에서는 네트워크 구성을 위해서 생성되

고 분배된 양자얽힘이 외부 잡음 또는 생성과정의 오류에 의해서 완전하지 못한 경우에 중류 과정을 통하여 순수한 양자얽힘을 생성해 내는 과정을 설명한다. 또한 이러한 중류 과정에서 양자오류정정부호가 이용될 수 있는 원리를 예시를 통하여 설명하였다. 넷째, “양자중계기의 개념 및 현황(배준우)”에서는 양자네트워크에서 송신자와 수신자 사이의 도달 거리를 확장하기 위하여 도입되는 양자중계기의 개념 및 동작 원리에 대하여 설명하였다. 또한 국내외 연구에서 등장하는 다양한 형태의 양자중계기 모델을 소개하고 각각의 구성 방식에 대하여 비교 소개하였다. 다섯째, “양자키분배 네트워크 구성 및 현황(이원혁 외)”에서는 현재 가용한 기술로 구성할 수 있는 양자키분배 네트워크에 대하여 설명하며, 해당 네트워크에 대한 국내외 표준화 현황에 대하여 소개하였다. 또한 국내 양자키분배 네트워크 구축현황에 대하여 시범망 구축사업을 중심으로 소개하였다.

바쁜 일정 중에 본 특집호를 준비해 주신 집필진 여러분께 감사드리며, 본 특집호가 양자 네트워크 개념을 정립하고 향후 발전 방향을 상호 이해하는데 기여할 수 있기를 기원한다.

양자 네트워크 개념 및 구성



백 경 현
ETRI



김 민 수
ETRI



문 기 원
ETRI



방 정 호
ETRI

I. 서론

인류의 기술문명이 고도화되면서 방대한 정보를 빠르게 처리하고 안전하게 공유하는 것은 국가 경제 및 안보 차원에서 매우 중요한 산업으로 여겨져 많은 투자가 이뤄지고 있다. 이러한 정보의 처리와 저장은 모두 비트 단위의 정보를 전류 흐름에 인코딩하는 방식에 의존하고 있기 때문에 모든 정보처리 과정은 전자기학 법칙에 따라 작동하게 된다. 하지만 기술발전과 함께 반도체가 초집적화 될수록 기술적 제약은 더욱 증대한 문제로 부각되고 있다. 즉, 원자의 크기가 약 $1\text{\AA}=0.1\text{nm}$ 라는 것을 고려할 때, 현재와 같은 방식의 정보처리 기술발전은 한계에 이르고 있으며 더 이상 무어의 법칙에 따른 집적화를 기대하기는 어려운 상황에 직면하고 있는 것이다.^[1] 따라서, 기존과 다른 정보처리 기반이론 자체의 혁신이 요구되고 있고, 그 해결책으로서 최근 양자 정보과학기술에 대한 투자가 활발히 추진되고 있다. 지난 십수년간 양자 정보과학은 기대 이상의 상당한 발전을 이루었고, 현재는 많은 국가 연구소 및 기업들이 양자 정보처리의 실용적 기술 개발에 집중하고 있다. 특히 컴퓨팅 파워를 높이기 위해 양자 컴퓨팅 개발이 대규모로 이뤄지고 있으며, 최근에는 초전도 및 양자 광학 등 물리적 기반의 양자 컴퓨팅의 우월성도 증명되었다.^[2,3]



주 정 진
ETRI

양자 정보처리 기술은 앞서 서술한 컴퓨팅 분야 이외에도 특히 보안 및 통신 분야에 큰 성과를 이루었다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 암호 체계는 1977년 발표된 Rivest-Shamir-Aleman (RSA) 공개키 방식에 기반한다.^[4] RSA 공개키 암호체계는 기존의 고전컴퓨터 기반 알고리즘이 갖는 소인수분해 문제의 계산과학적 난이도에 의해 암호 안전성을 보장받는다. 하지만 1994년 Peter Shor가 소인수분해 문제의 난해성이 양자역학적으로는 유지되지 않는다는 것을 증명하였다.^[5] 즉, 이는 RSA 공개키 암호체계 안전성이 양자 컴퓨팅이 활용되는 시점에서는 보장되지 않는다는 뜻이다. 이에, 양자 키 분배 (Quantum Key Distribution, QKD)와 같이 양자 역학에 기반한 안전성을 갖는 프로토콜이 연구되었다. QKD의 경우 몇 가지 프로토콜은 이미 표준화 및 상용화를 거쳐, 현재 양자 정보이론이 추구하는 양자 보안성 수준의 구현까지 개발이 진행되고 있다.^[6] 최근에는, 양자 통신 분야의 연구개발이 양자 네트워크까지 그 개념 및 연구범위를 확장하며 전개되고 있다.

양자 네트워크는 전달하고자 하는 정보량, 속도, 보안성 등 전반적으로 기존의 고전통신으로는 달성 불가능한 새로운 솔루션 제공을 목표로 한다. 양자 네트워크 구축의 주요 응용 중의 하나가 바로 양자 보안 통신이다.

QKD는 양자 정보 복사불가 원리에 기반하여 안전성이 보장되기 때문에 새로운 차원의 보안 솔루션을 제공한다. 개념적으로 QKD 프로토콜(e.g., BB84)은 단일 큐비트 생성/전송 및 양자 측정을 기반으로 구현되기 때문에 양자 네트워크 구축에 따른 기본 응용 분야라 할 수 있다. 현재는, 높은 신뢰도의 양자 얽힘 상태를 공유하여, “장치에 독립적으로 안전성이 보장되는” 소위 Device-Independent QKD 방식의 프로토콜 구현을 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.

양자 네트워크의 응용 가능성에 대해서도 많은 연구들이 진행되고 있다. 그 가운데 대표적인 것으로 먼 거리 간에 공유하고 있는 얽힘 상태를 활용한 시간 동기화(time synchronization) 정확도 향상^[7] 및 양자 망원경 해상도 개선을 들 수 있다.^[8] 양자 네트워크의 최종 단계로는 여러 노드의 양자 컴퓨터를 연결하는 기술이 모색되고 있다. 이를 통해 고전통신에서 제한적인 익명성이 보장되는 ‘지도자 선거(leader election)’^[9] 가능성이 제안된 바 있으며, 계산 작업 노출 없이 클라우드 양자 컴퓨팅(blind quantum computing) 기술도 제안되었다.^[10] 하지만 이 단계는 양자 컴퓨터와 양자 네트워크 기술이 성숙한 경우라도 서로 다른 물리계를 연결해야 하기 때문에 매우 도전적인 과제라 할 수 있다.

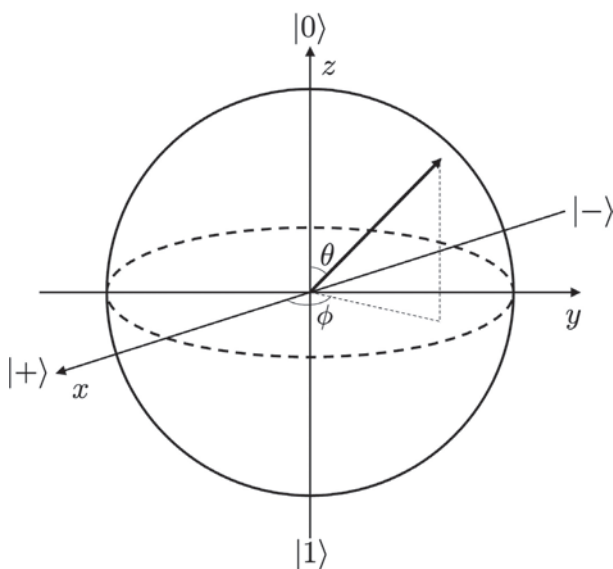
II. 양자 네트워크

1. 기본개념

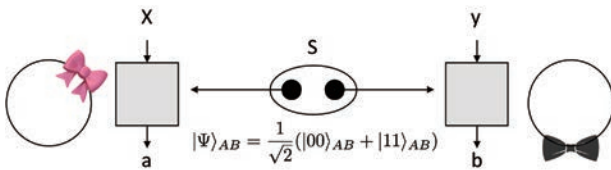
1-1. 큐비트

양자 정보과학에서 정보의 기본 단위는 큐비트(qubit)로 정의된다. 기존 비트와 달리 큐비트는 <그림 1>에서 보는 것처럼 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 의 양자 중첩 상태 $|\psi\rangle = \cos(\theta/2)|0\rangle + e^{i\phi}\sin(\theta/2)|1\rangle$ 로 표현된다.

고전 네트워크와 양자 네트워크의 차이는 바로 정보 기본 단위가 큐비트로 정의된다는 것에 기인한다. 이는 기존 비트와 달리 큐비트는 양자 원칙에 따라 동작하기 때문이다. 대표적인 차이는 임의의 양자 상태를 항상 완벽



<그림 1> Bloch 구면



(그림 2) 벨 실험의 간단한 설명. 양자 상태 생성기 (source, S)로부터 두 물리계가 관측자 Alice, Bob에게 각각 전달된다. 각각의 관측자 Alice와 Bob은 전달받은 물리계에 x, y로 표기된 측정을 각각 수행하며, 각각의 측정값은 그림과 같이 a, b로 표기된다. 이 실험의 상황은 x, y 측정을 했을 때 결과값 a, b를 얻는 '통합 확률 분포' $p(ab|xy)$ 를 통하여 기술되며, 고전역학으로 설명할 수 없는 상관관계가 주어진다.

하게 복사하는 것이 원리적으로 불가능하다는 것이다.^[11] 전류의 on/off로 표현되는 기존 비트는 쉽게 복사되는 것과 비교하면 큐비트의 복제 불가능성은 큰 차이를 야기한다. 이러한 성질로 인해 양자 컴퓨팅에서는 에러보정에 많은 제약이 있는 반면, 양자 네트워크에서는 복제 불가능성에 의해 QKD의 보안성이 보장된다.

1-2. 양자 얽힘

양자 얽힘은 고전 역학으로 설명할 수 없는 대표적인 양자 현상이다. 예를 들어, Alice와 Bob이 서로 얽혀 있는 벨 상태 (Bell state) $|\psi\rangle = (|00\rangle + |11\rangle) / \sqrt{2}$ 를 각각 가지고 있다고 생각해보자. 이 경우 Alice와 Bob이 z축으로 측정을 한다면 둘은 서로 0을 얻거나 1을 얻게 된다. 이렇듯 “얽혀있다”는 표현은 한쪽(Alice)의 조작 및 측정에 의한 결과가 다른 한쪽(Bob)의 조작 및 측정에 의한 결과와 서로 무관할(독립적일) 수 없다는 의미로 처음 사용되었다.

1-3. 양자 비국소성: 실재성과 국소성

양자 네트워크의 구성 및 얽힘의 구체적 역할을 이해하기 위해 반드시 알아야 할 기본개념 중 하나가 바로 양자 비국소성(quantum nonlocality)이다.^[12] 고전 시스템에서도 단순 얽힘상태 측정과 같이 한 쪽의 결과와 다른 쪽의 결과가 서로 얽혀있는 것처럼 보이는 경우도 있다. 예를 들어 비가 오면 사람들이 우산을 쓰는 것과 같이 상관관계를 가질 수 있기 때문이다. 하지만 이러한 상관관계는 고전이론에서 가정하고 있는 실재성(reality)과 국소

성(locality)이 제한하는 것 이상의 상관관계를 가질 수 없다. 여기서 실재성이란 간단히 말하면 어떤 물리량을 관측하기 전에 그 값이 이미 실재하고 있다는 것이고, 국소성은 한 쪽의 측정 행위에 따른 결과가 다른 한 쪽에 빛보다 빠르게 전달될 수 없다는 것이다.

하지만 양자 얽힘은 고전이론이 허락하는 것 이상의 상관관계를 준다. 이것은 벨 정리(Bell theorem)라 불리며^[13], 실재성과 국소성을 기술하는 국소 숨은 변수 모델(local hidden variable model)에 따라 유도된 부등식을 양자 시스템이 위배할 수 있음을 보임으로써 양자역학에서 실재성과 국소성이 양립하지 못 한다는 것을 보였다. 즉, 실재성과 국소성 중에 적어도 하나는 포기해야 하는 것을 의미하며, 보통 실재성을 배제하여 양자역학의 측정은 실재한 값을 관측하는 것이 아니고, 측정하는 순간에 확률적으로 주어진다는 것으로 해석한다.

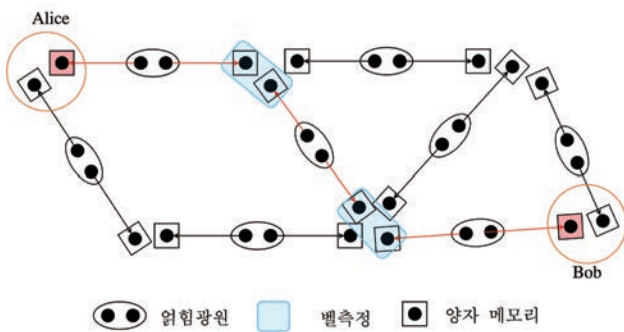
1-4. 양자 원격전송(Quantum Teleportation)

양자 얽힘을 활용한 대표적 프로토콜 중 하나가 바로 양자 원격전송이다.^[14] 양자 원격전송은 Alice와 Bob이 벨 상태를 공유하고 있을 때 이를 활용하여 Alice가 소유하고 있는 임의의 큐비트 $|\psi\rangle$ 를 Bob에게 전송할 수 있게 한다. 이 과정에서 Alice는 얽힘 상태 중 하나인 큐비트와 임의의 큐비트를 함께 벨 측정(Bell measurement)을 수행하고, 이에 대한 결과를 고전통신을 통해 Bob에게 전달한다. Bob은 최종적으로 고전통신으로 얻은 결과에 따라 국소연산(local operation)을 통해 최종적으로 $|\psi\rangle$ 를 전송받는다. 이 때 Alice는 $|\psi\rangle$ 에 대한 사전정보 없이 양자 원격전송이 가능하다.

여기서 우리가 주목해야 할 점은 양자 정보 전송을 위해 실제 물리계(e.g. 광자)를 전송하는 것이 아니라 벨 상태를 사전에 공유하고 있을 경우 원격으로 가능하다는 것이다. 그리고 이를 통해 전달되는 것은 바로 양자 정보라는 점이다. 즉, 양자 얽힘은 양자 정보를 전송하는 채널로 작용하게 된다.

1-5. Device-Independent (DI) QKD 시나리오

양자 얽힘은 양자 상태원격전송 외에도 DI-QKD와 같



〈그림 3〉 양자 네트워크, Alice, Bob 노드에 얽힘 상태를 분배하기 위해 중간 노드에서 서로 얽힘 상태를 나눠 갖고 벨 측정을 하여 최종 Alice, Bob 간에 얽힘 상태를 공유.

이 고전역학에서 볼 수 없는 프로토콜에서 핵심 역할을 하고 있다. DI-QKD는 장치의 성능에 의존하지 않고 실험결과 데이터로부터 서로 공유한 키의 보안성을 보장할 수 있기 때문에 궁극적인 보안 솔루션이라 할 수 있다.^[15] 실제 BB84 프로토콜은 원리적으로 보안성을 갖고 있지만, 이를 구현하는 단계에서 실험장치(특히 측정장치)를 공격하여 해킹할 수 있다는 것이 보고된 바 있다. 이러한 공격방법에 따른 방어방법도 제안되고 있지만 아직 알려지지 않은 실험장치의 허점이 있을 수 있다는 측면에서 궁극적으로 완벽하다고 할 수 없다. 이를 보완하기 위해 DI-QKD는 장치의 성능 및 허점에 관계없이 키의 안전성을 증명할 수 있다.

2. 양자 네트워크 개념 및 이슈

앞서 정보의 기본 단위인 큐비트, 양자 상관관계에 해당하는 양자 얽힘, 그리고 이들 개념으로부터 가능한 양자 특성 및 간단한 통신 프로토콜 등을 살펴보았다. 적어도 양자 정보과학의 태동부터 지금까지는 앞서 언급한 기본개념들의 정의와 간단한 양자 프로토콜의 동작기작 및 실제구현 등을 집중 연구해왔다. 하지만, 비교적 최근부터는 양자 통신의 개념 및 구현범위를 보다 확장한 양자 네트워크 관점에서의 연구개발이 시작되고 있다.^[16]

양자 네트워크는 기본적으로 앞서 기술한 양자 특성 및 프로토콜 등을 다자간으로 확장하여, 기존의 네트워크 혹은 인터넷으로는 구현 불가능한 수준의 정보량, 속도, 보안성 등을 확보하고 이를 구현하는 것이 가장 큰 목표라 할

수 있다. 이를 위해서는 먼 거리의 여러 노드들 사이에 (얽힌) 큐비트를 나눠가질 수 있어야 한다. 즉, 양자 네트워크는 여러 노드들 사이에 큐비트를 송수신 할 수 있도록 효율적인 양자 채널을 구축하는 것이라 할 수 있다. 여기서 양자 채널이란 간단히 양자 정보를 주고받을 수 있는 채널을 말하는데, 이는 양자 정보를 어떤 물리 시스템에 인코딩하느냐에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 광자에 인코딩된 양자 정보는 자유공간(free space)이나 광섬유와 같은 통신채널이 양자채널이 된다.

앞서 소개한 바와 같이 양자 프로토콜의 대부분은 얽힘 상태를 사용하고 있다. BB84 프로토콜의 경우 단일 큐비트를 전송하는 것만으로도 프로토콜이 구현되지만 양자 원격전송이나 DI-QKD 같은 프로토콜 구현을 위해서는 얽힘 상태가 필요하다. 즉, 양자 네트워크의 핵심 목표는 소위 벨 상태라 불리는 얽힘 상태를 높은 신뢰도로 빠르게 공유하는 것이다.

하지만 양자 정보를 담기 위해서는 매우 정교한 물리계가 필요하고, 이러한 물리계는 양자 정보를 손실 없이 송수신하는 매우 도전적인 역할을 수행한다. 특히 얽힘 상태는 외부의 노이즈로부터 쉽게 얽힘을 잃어버리기 때문에 매우 높은 수준의 기술이 필요하다. 이 과정에서 임의의 양자 상태 복제불가능성은 매우 불리하게 작용한다. 양자역학에서 측정하는 행위는 하이젠버그의 감마선 사고실험에서처럼 양자 상태를 정확히 측정하려 할수록 기존 정보가 교란되어 정보를 잃어버리기 때문이다. 즉, 고전 통신에서 사용되는 신호 증폭으로 송수신 거리를 늘리는 것이 아닌 새로운 방식이 필요하다. 따라서 양자 네트워크는 〈그림 3〉과 같이 여러 노드들 사이에 양자 얽힘 상태를 생성하여 공유하고 중간 노드들에서 얽힘 교환(entanglement swapping)을 통해 먼 거리의 노드 A, B 사이에 얽힘상태 공유를 할 수 있도록 설계된다.

양자 네트워크 개발의 기초 목표인 얽힘상태 분배를 위해서는 먼저 고효율의 얽힘상태 생성기가 필요하고 이를 먼 거리에 신뢰도 높게 전송할 수 있는 양자 채널이 있어야 한다. 또한 얽힘상태 분배거리를 늘리고 여러 노드들 사이를 유동적으로 연결하기 위해 중간 노드에서 벨 측정을 수행하는 양자 중계기가 필요하다. 더 나아가 양자 네

트위크를 통한 양자 프로토콜 수행능력을 높이기 위해서는 공유된 얽힘상태를 저장하고 필요할 때 사용할 수 있도록 범퍼 역할을 하는 양자 메모리가 필요하다. 그리고 비교적 최근 여러 노드 사이의 얽힘상태 분배를 효율적으로 수행하기 위해 중심 허브에서 다수의 얽힘상태를 여러 노드에 선택적으로 분배할 수 있는 기술이 제안되어 활발히 연구가 수행되고 있다. 다음 장에서는 이와 같은 각각의 구성 요소에 대해 더 자세히 다뤄보고자 한다.

IV. 양자 네트워크 구성

1. 큐비트 생성 및 전송

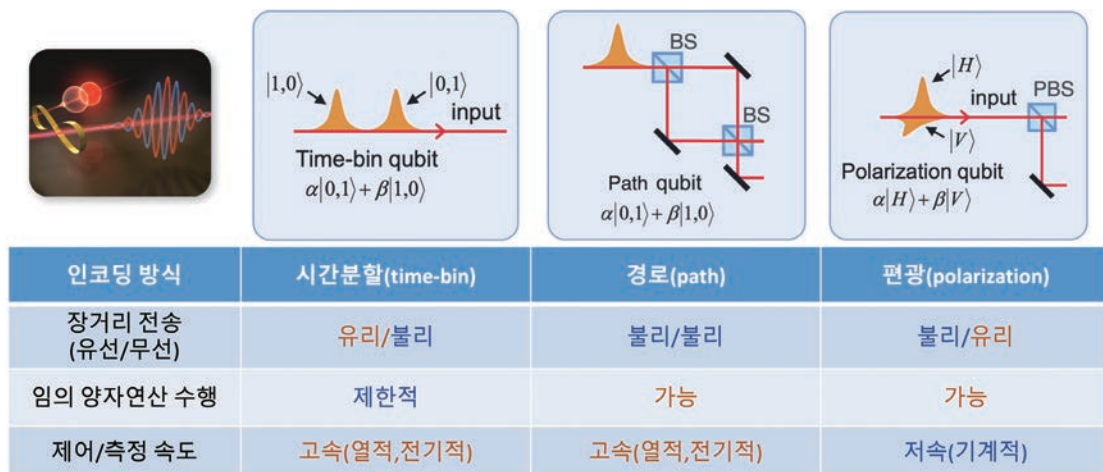
양자 네트워크에서 양자 정보를 전송하는데 가장 유리한 매체는 광자라고 할 수 있겠다. 광자는 극저온에서 동작하는 초전도 큐비트, 진공에서 가능한 이온포획 큐비트에 비해 양자 정보를 공기 중에서도 저장/전달할 수 있다. 또한 광자는 광속으로 양자 정보를 전달할 수 있기 때문에 소위 비행 큐비트(flying qubit)라 불리기도 한다.

하지만 이런 광자를 이용하더라도 광자의 어떤 특성을 이용하느냐에 따라 양자 정보를 담는 물리계가 확연히 달라진다. 광자를 이용해 양자 정보를 인코딩하는 방법은 대표적으로 편광과 경로, 시간분할(time-bin) 큐비트가 있다. 편광 큐비트는 광자의 편광상태에 정보를 인코딩하는 것으로 가장 직관적인 큐비트라 할 수 있다. 경로 큐비

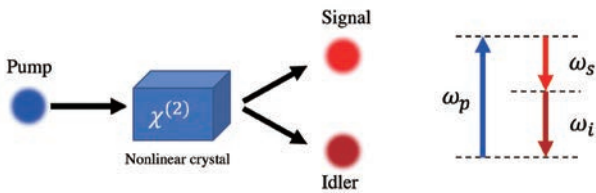
트는 빔가르개(beam splitter)로 광자의 경로 사이에 중첩을 만들어 정보를 인코딩하며, 시간분할 큐비트는 광자를 긴 경로와 짧은 경로를 통과시켜 시간 도메인에 정보를 인코딩한다.

이와 같은 여러 인코딩 방식은 양자 정보를 어떤 양자 채널로 전송할 것인지에 따라 특성 차이를 보인다. <그림 4>에서처럼 광자의 인코딩 방식과 매질이 무엇이냐에 따라 광자에 영향을 미치는 노이즈가 다르고 각 큐비트가 갖는 특성이 다르다. 예를 들어, 편광 큐비트의 경우 광섬유에서 편광이 무작위적으로 돌아가기 때문에 불리한 반면, 자유공간에서는 이러한 노이즈가 없어 편광 큐비트가 일반적으로 많이 사용된다.^[17] 또한 경로 큐비트로 먼 거리를 보내기 위해선 동일한 조건의 경로를 다수 구축해야 하기 때문에 불리한 반면 집적화가 용이하여 광학 양자 컴퓨팅의 주요 후보로 많은 연구가 되고 있다.^[18] 다른 한편으로 시간분할은 유선에서 편광과 비교하여 노이즈 영향이 작아 용이한 반면 임의의 양자 연산이 제한적이란 단점이 있다. 이러한 특성들을 종합적으로 판단하여 양자 네트워크를 구축하여야 한다.

앞서 소개한 것처럼 양자 네트워크의 기초 핵심 단계는 얽힘상태를 나눠 갖는 것이며, 이를 위해선 얽힘 광원이 필수적이다. 이 때 대표적으로 사용되는 방법이 바로 <그림 5>에 소개된 SPDC(Spontaneous Parametric Down Conversion)를 이용하는 방법이다. 펌프빔이 비선형 크



<그림 4> 광자 큐비트 인코딩 특성



〈그림 5〉 SPDC (Spontaneous Parametric Down Conversion)를 이용한 광자쌍 생성

리스탈을 통과하여 더 긴 파장의 시그널과 아이들러 빔으로 나눠지게 된다. 이 과정에서 두 빛은 동시에 서로 편광 큐비트가 얽혀 있는 상태로 방출된다. 즉, 시그널과 아이들러를 각각 Alice와 Bob에게 전송하여 얽힘 상태를 나눠 갖는다. 한편 이 얽힌 빛을 편광 빔가르개를 통해 긴 경로와 짧은 경로로 나누어 시간분할 인코딩으로 변환하는 과정도 가능하다. 하지만 장치의 주요 단점은 얽힘 상태가 확률적으로 발생된다는 것이다. 즉, 우리가 원하는 시간에 맞춰 얽힘 상태를 발생시키지 못 한다는 것인데 이로 인해 실제 프로토콜 구현하는 과정에서 많은 제약이 생긴다. 이를 보완하는 방법 중 하나가 얽힘 광자를 필요한 시기에 확정적으로 발생시킬 수 있는 양자점을 활용하는 방법이다.^[19] 하지만 양자점의 파장 불균일성, 얽힘 생성의 어려움 등이 숙제로 남아 있어 양자 네트워크 구축에 활용하기 위해선 많은 연구가 필요하다. 광원에 대한 더 자세한 내용은 참고문헌^[10]에서 찾아볼 수 있다.

2. 양자 중계기

얽힘 분배(entanglement distribution)의 가장 큰 어려움은 결잃음(decoherence) 효과로 인해 거리에 비례하여 얽힘이 사라진다는 것이다. 즉, 장거리 얽힘 분배에 많은 제약이 따르는데 이를 극복하기 위한 것이 바로 양자 중계기(quantum repeater)이다. 기존 중계기처럼 거리를 연장시켜주는 역할을 하지만 양자역학의 복제불가능성으로 인해 기존 중계기와 개념은 전혀 다르다.

양자 중계기 구현 방법은 크게 양자 메모리 유무로 나눌 수 있다. 먼저 양자 메모리는 개념적으로 양자 정보를 필요한 시간 동안 저장하는 장치를 말한다. 즉, 양자 네트워크에서는 양자 정보를 담고 있는 광자를 필요한 시



〈그림 6〉 얽힘 교환

간 동안 저장하는 장치이다. 예를 들어, 광자와 정적인 큐비트(e.g. 원자, 양자점, 점결함 등)를 상호작용시켜 양자 정보를 저장 및 가공할 수 있다. 하지만 직관적으로 알 수 있듯이 광자의 정보를 다른 매체에 저장하거나 잡아두는 것은 제한적 성공확률 및 결잃음으로 인해 매우 도전적인 문제이다. 따라서 현재 양자 네트워크 구축은 양자 메모리 없는 방식으로 개발되고 있으며, 양자 메모리 기술 성숙과 함께 메모리를 포함한 양자 네트워크로 발전할 예정이다. 메모리 유무에 따른 양자 중계기 개념에 대해 더 자세히 알아보자.

2.1 메모리 불포함 양자 중계기

양자 중계기의 기본 개념은 얽힘 교환에 기반을 두고 있으며,^[21] 이는 〈그림 6〉에 나와 있는 것처럼 짧은 노드 사이에 벨 상태를 나눠 갖고 중간 노드에서 벨 측정을 하여 먼 거리 사이에 벨 상태를 공유하는 것이다. 여기서 벨 측정이란 벨 상태로 사영(projection)시키는 측정 방법을 말하며, 이는 빔가르개를 통한 간섭과 광자 측정 장치로 구현이 가능하다. 하지만 이러한 선형 광학기기를 사용하였을 때 벨 측정의 성공률은 최대 50%를 넘을 수 없다는 것이 밝혀져 있어, 양자 중계기의 효율은 제한적이다.^[22] 그럼에도 양자 중계기를 사용하는 이유는 성공했을 경우 단순히 벨 상태를 나눠가졌을 때보다 신뢰도가 더 높은 상태를 나눠가질 수 있기 때문이다.

Alice와 Bob은 벨 측정 성공 유무를 고전통신을 통해서 공유하여 벨 측정 성공 시에 얻은 실험결과를 후처리 과정을 통해 선별 가능하다. 하지만 이 경우 얽힘 상태를 공유하는 경우가 확률적으로 주어지고 실험결과를 선별하기 때문에 활용이 제한적이다. 예를 들어, 여러 양자 얽힘 상태를 활용하여 더 신뢰도가 높은 얽힘 상태를 생성하는 양자 얽힘 정제(entanglement purification)나

여러 얽힘 상태를 활용하는 프로토콜을 구현하는 것이 불가능하다.

2.2. 메모리 포함 양자 중계기

메모리를 포함하는 양자 중계기의 가장 중요한 특징은 양자/고전 통신을 하는 동안 일시적으로 큐비트를 저장하여 더 복잡한 프로토콜 수행을 가능하게 한다는 것이다. 이러한 프로토콜 중 가장 직관적으로 이해할 수 있는 것이 양자 얽힘 정제이다.^[23] 양자 얽힘을 사용하는 다수 프로토콜들의 공통점은 고품질의 정제된 벨 상태를 필요로 한다는 것이다. 이를 위해선 불완전한 여러 얽힘 상태를 정제하여 더 높은 신뢰도의 얽힘상태를 만드는 과정이 필요하다. <그림 7>에서 보는 것처럼 이를 위해선 각 노드에서 국소적인 양자 연산이 필요한데 이 과정에서 광자 큐비트를 일시적으로 저장할 수 있는 양자 메모리가 필수적이다. 이 외에도 양자 메모리 활용을 통해 양자간 얽힘상태(bipartite entangled state)를 기반으로 다자간 얽힘상태(multipartite entangled state)를 만들 수 있어 양자 비밀 공유(quantum secret sharing)^[24]와 같은 프로토콜을 가능하게 한다. 더 나아가 간섭계를 활용한 시간 동기화 정확도 향상^[7], 망원경의 해상도 향상^[8]과 같

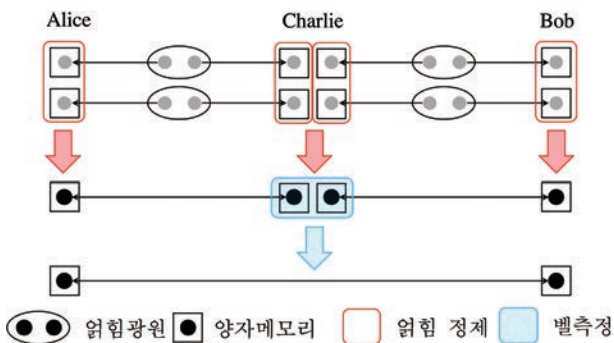
은 양자 센서 분야로의 활용도 가능하게 한다. 즉, 양자 네트워크의 광범위한 활용을 위해선 양자 메모리가 필수적이며, 고성능의 양자 메모리 개발을 위해 활발한 연구가 수행되고 있다. 양자 메모리에 대한 더 자세한 내용은 양자 네트워크 특집호 내의 양자 메모리 파트에서 찾아볼 수 있다.

3. 양자 국소 지역 네트워크

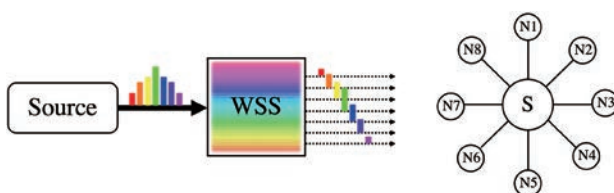
다자간의 효율적이고 확장성 있는 양자 네트워크 구축을 위해서는 양자 국소 지역 네트워크 (Quantum Local Area Network, QRAN)가 필요하다.^[25] 앞서 소개한 양자 중계기는 먼 거리에서도 얽힘 상태를 나눠 가질 수 있게 한다면, QRAN은 다자간의 효율적인 얽힘 분배를 가능하게 한다. <그림 8>처럼 다수의 노드가 얽힘 광원을 중심으로 위치하고 있고, 얽힘 광원은 선택적으로 노드 사이의 얽힘 분배를 수행한다. 이러한 얽힘 광원의 선택적 분배를 가능하게 하는 것이 바로 파장 선별 스위치(Wavelength Selective Switch, WSS)이다. 이 경우 국소 지역에 위치하는 다자간의 모든 조합에 대하여 얽힘 분배를 가능하게 한다는 장점이 있다. 이러한 구조는 다자간의 양자 비밀 공유와 같은 프로토콜을 구현하는데 효율적 해결책을 제시한다.

V. 전망 및 결론

본 논문에서는 양자 네트워크의 개념과 구성에 대해서 알아보고 양자 네트워크 구축에 따라서 양자 원격전송, DI-QKD 및 양자 망원경 해상도 향상 등 고전통신으로 구현이 불가능한 새로운 차원의 양자 프로토콜 구현이 가능하다는 것을 살펴보았다. 즉, 양자 네트워크 구축은 고전 네트워크를 대체하는 것이 아니고, 새로운 차원의 문을 열어 고전 네트워크와 함께 기술 고도화를 이루는 핵심 기술이라 할 수 있다. 이러한 양자 네트워크 구축을 위해서 세계 선진국들은 활발한 투자와 연구를 지속하여 양자 네트워크를 구현에 필요한 핵심기술들을 발전시키고 있다.^[26] 반면 우리나라는 선진국들의 기술 수준을 따라잡기 위해 양자 네트워크 연구를 국가 차원에서 시작하는



<그림 7> 메모리 포함 양자 중계기에서의 양자 얽힘 정제 및 얽힘 교환



<그림 8> 양자 국소 지역 네트워크 (QRAN)

단계라 할 수 있다. 그럼에도 우리는 고도화 된 통신 산업 기술과 함께 높은 수준의 통신 인프라를 갖고 있기 때문에 이러한 경쟁력을 바탕으로 양자 네트워크 시대를 앞당기고자 노력하고 있다.

사 사

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00463, 양자인터넷 구현을 위한 유선 양자중계기 개발)

참 고 문 헌

- [1] Samuel K. Moore, "Another Step toward the End of Moore's Law: Samsung and TSMC Move to 5-Nanometer Manufacturing – [News].", IEEE Spectrum., 2019
- [2] F. Arute, et al. "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor", Nature 574, 505–510, 2019.
- [3] L.S. Madsen, et al. "Quantum computational advantage with a programmable photonic processor", Nature 606, 75–81, 2022.
- [4] R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman, "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems", Communications of the ACM 21 (2): 120–126, 1978
- [5] P. W. Shor, "Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer", SIAM J. Comput., 26 (5): 1484–1509, 1997
- [6] S. Pirandola, et al. "Advances in quantum cryptography," Adv. Opt. Photon. 12, 1012–1236, 2020
- [7] P. Kómár et al., "A quantum network of clocks" Nat. Phys. 10, 582, 2014
- [8] D. Gottesman, T. Jennewein, and S. Croke, "Longer-Baseline Telescopes Using Quantum Repeaters" Phys. Rev. Lett. 109, 070503, 2012
- [9] S. Tani, H. Kobayashi, K. Matsumoto, Proceedings of STACS: 22nd Annual Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, pp. 581–592, 2005
- [10] A. Broadbent, J. Fitzsimons and E. Kashefi, "Universal Blind Quantum Computation," 2009 50th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, pp. 517–526, 2009
- [11] W. Wootters and W. Zurek, "A single quantum cannot be cloned," Nature 299, 802–803, 1982
- [12] N. Brunner et al., "Bell nonlocality" Rev. Mod. Phys. 86, 419, 2014
- [13] John S. Bell, "Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics", Cambridge University Press, 1987
- [14] Charles H. Bennett, et al. "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein–Podolsky–Rosen channels", Phys. Rev. Lett. 70, 1895, 1993
- [15] A. Acín, et al. "Device-Independent Security of Quantum Cryptography against Collective Attacks" Phys. Rev. Lett. 98, 230501 2007
- [16] S. Wehner, D. Elkouss, and R. Hanson, "Quantum internet: A vision for the road ahead" Science 362, eaam9288, 2018.
- [17] Liao, SK., et al. "Satellite-to-ground quantum key distribution," Nature 549, 43–47, 2017
- [18] J. Wang, et al. "Integrated photonic quantum technologies," Nat. Photonics 14, 273–284 2020
- [19] T. Müller, et al. "A quantum light-emitting diode for the standard telecom window around 1,550nm," Nat. Commun. 9, 862, 2018.
- [20] Y.-H. Ko, et al. "양자 정보 기술을 위한 양자 광원 기술 동향", Electronics and Telecommunications Trends, 34권 5호 (통권 179) 2019
- [21] M. Żukowski, A. Zeilinger, M. A. Horne, and A. K. Ekert, "'Event-ready-detectors' Bell experiment via entanglement swapping" Phys. Rev. Lett. 71, 4287, 1993
- [22] N. Lütkenhaus, J. Calsamiglia, and K.-A. Suominen, "Bell measurements for teleportation" Phys. Rev. A 59, 3295, 1999
- [23] C. H. Bennett, et al. "Purification of Noisy Entanglement and Faithful Teleportation via Noisy Channels" Phys. Rev. Lett. 76, 722, 1996
- [24] Mark Hillery, Vladimír Bužek, and André Berthiaume, "Quantum secret sharing", Phys. Rev. A 59, 1829, 1999
- [25] M. Alshowkan, et al., "Reconfigurable Quantum Local Area

Network Over Deployed Fiber” PRX Quantum 2, 040304, 2021

[26] D. Awschalom, “From Long-distance Entanglement to Building a Nationwide Quantum Internet: Report of the DOE Quantum Internet Blueprint Workshop,” United States: N. p., 2020



백경현

- 2012년 2월 서강대학교 자연과학부 물리학과 학사
- 2018년 2월 서강대학교 물리학과 박사
- 2018년 3월 ~ 2018년 10월 Texas A&M Univ. in Qatar Postdoc
- 2018년 11월 ~ 2019년 3월 APCTP 연구원
- 2019년 4월 ~ 2021년 12월 고등과학원 연구원
- 2022년 1월 ~ 현재 ETRI 선임연구원

〈관심 분야〉

Quantum information theory, Quantum network, Quantum algorithm, Quantum computing



문기원

- 2000년 2월 포항공과대학교 전자전기공학 석사
- 2000년 4월 ~ 2005년 5월 삼성전자 선임연구원
- 2011년 8월 포항공과대학교 전자전기공학 박사
- 2012년 ~ 현재 ETRI 책임연구원

〈관심 분야〉

Quantum Optics, Photonics, Near-field optics



김민수

- 1993년 2월 KAIST 물리학과 학사
- 1995년 2월 KAIST 물리학과 석사
- 2002년 2월 KAIST 물리학과 박사
- 2002년 1월 ~ 2013년 2월 ETRI 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 ETRI 책임연구원
- 2018년 1월 ~ 2021년 6월 한국연구재단 전문위원

〈관심 분야〉

Integrated photonic functional devices, Quantum photonics, Quantum information processing



방정호

- 2006년 ~ 2010년 한양대학교 물리학과 석/박사 통합
- 2010년 ~ 2015년 서울대학교 거시계양자제어연구단
- 2015년 ~ 2016년 GIST 광양자정보처리연구단
- 2016년 ~ 2017년 고려대/한양대 스마트양자통신연구단
- 2017년 ~ 2021년 고등과학원 계산과학부
- 2021년 ~ 〈현재〉 ETRI 선임연구원

〈관심 분야〉

양자정보이론, 양자컴퓨팅, 양자머신러닝, 양자알고리즘



주 정 진

- 1990년 2월 부산대학교 자연과학부 물리학과 학사
- 1997년 8월 부산대학교 물리학과 박사
- 1997년 9월 ~ 1998년 12월 한국표준과학연구원
Post-doc.
- 1999년 1월 ~ 2000년 7월 포항공대 연구원
- 2000년 8월 ~ 현재 ETRI 책임연구원/실장
- 2011년 5월 ~ 2012년 10월 지식경제 R&D 전략기획단
전문위원

〈관심 분야〉

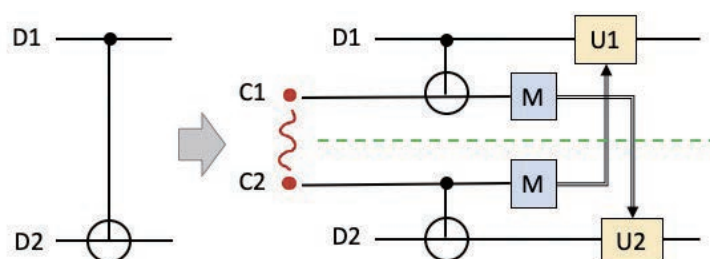
Integrated Quantum Optics, Quantum Internet,
Quantum Memory

양자 네트워크를 위한 양자얽힘 광자쌍 생성과 분배

I. 서론

최근 양자통신, 양자센서, 양자컴퓨터 등 양자정보처리에 대한 관심이 증가하면서 자연스럽게 양자 네트워크의 중요성이 부각되고 있다. 양자 네트워크는 멀리 떨어져 있는 양자노드를 연결하는 기술을 말한다. 양자센서나 양자컴퓨터의 성능은 상호작용하는 큐비트의 개수에 의존하는데, 큐비트간 상호작용의 세기는 큐비트간 거리가 멀어짐에 따라 기하급수적으로 작아진다. 따라서 큐비트의 개수가 증가함에 따라 모든 큐비트들을 서로 상호작용하도록 만드는 것은 무척 어려운 일이다. 양자 네트워크는 이처럼 멀리 떨어져 있어 직접 상호작용하기 어려운 큐비트간 상호작용을 매개하여 큐비트간 연결성을 향상함으로써 양자센서나 양자컴퓨터의 성능을 향상시키는 역할을 한다^[1].

멀리 떨어진 큐비트간 상호작용을 매개하기 위해서는 양자얽힘이 필요하다. 가령 〈그림 1〉과 같이 멀리 떨어져 있는 두 양자노드에 있는 D1과 D2 큐비트간 CNOT 연산을 수행하는 경우를 생각해보자. 오른쪽 그림과 같이 만약 각 양자노드가 양자얽힘 상태에 있는 C1과 C2 큐비트를 나누어 가지고 있다면, 근접한 큐비트간 CNOT 연산과 C1, C2 큐



〈그림 1〉 멀리 떨어져 있는 D1과 D2 큐비트간 CNOT 연산을
C1-C2 큐비트 양자얽힘을 이용해 매개하는 방법



김용수
KIST

비트에 대한 양자측정(M) 및 그 결과에 따른 유니타리 연산(U1, U2)을 통해 D1과 D2간 CNOT 연산을 수행할 수 있다^[2]. 이 방식을 이용하면 두 양자노드가 아무리 멀리 떨어져 있더라도, 양자얽힘 상태에 있는 큐비트 C1과 C2만 나누어 가질 수만 있다면, 이들 사이의 큐비트 D1과 D2를 양자적으로 연결할 수 있다. 따라서 양자 네트워크 기술의 핵심은 어떻게 멀리 떨어진 양자노드가 양자얽힘 상태에 있는 큐비트를 나누어 가질 수 있는냐에 있다.

멀리 떨어진 양자노드 사이의 양자얽힘은 국소 연산과 고전통신(Local Operation and Classical Communication, LOCC)을 통해서 만들 수 없다는 사실이 잘 알려져 있다^[3]. 그러므로 멀리 떨어져 있는 양자노드가 양자얽힘 상태에 있는 큐비트를 나누어 가지기 위해서는, 어디에선가 C1과 C2 사이의 양자얽힘을 생성하고 이를 전달받아야 한다. 다양한 물리계를 이용해 큐비트를 구현하고, 양자얽힘을 만들 수 있지만, 큐비트를 다른 양자노드로 전달하기 위해서는 광자 큐비트를 이용해 양자얽힘을 만들어야 한다. 그러므로 양자 네트워크 기술은 광자 큐비트를 이용해서 양자얽힘을 만들고, 이들을 멀리 떨어진 양자노드에 분배하는 데에서 시작한다고 해도 과언이 아니다.

본 고에서는 양자얽힘 광자쌍을 만들기 위해 단일광자 광원을 만드는 방법을 설명한다. 그리고 이를 이용해 양자얽힘 광자쌍을 생성하는 다양한 방법을 소개한다. 마지막으로 정보적으로 대칭적인 양자얽힘 광자쌍 분배 방법을 소개하고, 실용적인 양자 네트워크를 구현하기 위해 필요한 추가 연구방향을 논한다.

II. 단일광자 광원

멀리 떨어진 두 양자노드를 연결하는 양자얽힘 광자쌍은 두 개의 단일광자로 구성된다. 그러므로 양자 네트워크에 활용하기 위한 양자얽힘 광자쌍을 만들기 위해서는 우선 두 개 이상의 단일광자를 만들어야 한다.

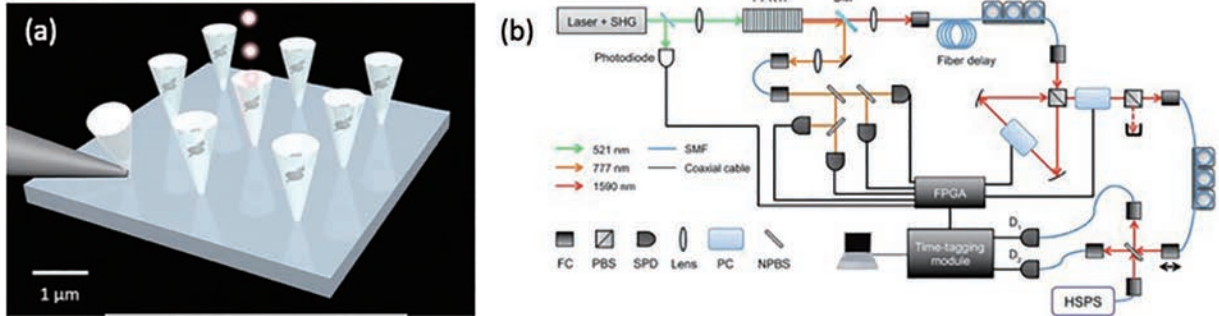
단일광자의 과학적인 정의는 단위시간 동안에 오직 하나의 광자만 존재하는 상태이다. 하나의 광자만 존재하는 매우 약한 빛이 단일광자 상태이므로, 흔히 레이저를 약

하게 감쇄하는 것으로 단일광자를 생성할 수 있을 것이라 생각하기 쉽다. 하지만, 단일광자는 레이저를 아무리 약하게 감쇄시켜도 구현할 수 없는데, 이는 레이저의 광자 개수 분포가 푸아송 분포(Poisson distribution)를 따르기 때문이다. 즉, 레이저를 아무리 약하게 감쇄하더라도, 단위시간에 두 개 이상의 광자가 존재할 수 있는 확률이 존재한다는 말이다. 이렇게 불완전한 유사 단일광자 광원은 양자키분배에 유용하게 활용할 수 있으나, 양자얽힘 광자쌍 생성에 이용할 수 없어 양자 네트워크에 이용하기는 힘들다^[4].

단일광자를 만드는 방법은 크게 단광자 방출체를 이용하는 방법과 비선형 광학을 이용해 광자쌍을 생성하는 방식으로 구분할 수 있다. 단광자 방출체 기반 단일광자 광원은 이론상 원하는 시간에 반드시 단일광자를 방출하는 ‘확정적(deterministic) 단일광자 생성’이 가능하다. 기술적으로는 나노공진기나 나노안테나와 같은 나노포토닉스 구조를 이용해 단일광자 포집효율을 올려, 단일광자를 더 자주 방출하는, ‘밝은’ 단일광자 광원을 만들 수 있다. <그림 2 (a)>는 다이아몬드 나노안테나를 이용해 점결합에서 생성된 단일광자의 포집효율을 극대화하는 실험의 모식도를 나타낸 것이다^[5]. 단광자 방출체로는 양자점이나 다이아몬드 점결합이 가장 널리 이용되고 있으며, 최근에는 SiC나 2차원 물질의 점결합을 이용한 단일광자 생성 연구가 널리 진행되고 있다^[6].

다수의 단일광자를 생성하기 위해서는 여러개의 단광자 방출체를 이용하거나 하나의 단광자 방출체에서 생성된 단일광자를 시공간적으로 분할하는 방식이 널리 이용된다. 후술할 양자얽힘 생성을 위해서는 여러 개의 단일광자간 구별불가능성(indistinguishability)이 중요한데, 이를 위해서 단광자 방출체를 극저온으로 냉각하여 포논에 의한 잡음을 줄이는 것이 보통이다. 또한 다수의 단광자 방출체를 이용할 경우, 각 방출체의 온도, 전기장, 자기장, 물리적 변형(strain)등을 통한 미세조정이 필요하다.

비선형 광학의 자발매개하향변환(Spontaneous parametric downconversion, SPDC)을 이용하면 광자쌍을 생성할 수 있는데, 하나의 광자 측정을 통해 반대편에 단일광자가 생성되었다는 것을 알 수 있다. 이러



〈그림 2〉 단일광자를 생성하는 대표적인 두가지 방법. (a) 단광자 방출체를 이용한 확정적 단일광자 생성. 다이아몬드 접결함에서 생성된 단일광자의 방출 방향을 나노포토닉스 구조를 통해 결정하여, 단일광자의 밝기를 극대화할 수 있다^[5]. (b) 광자쌍의 time-domain-multiplexing을 통한 확정적 단일광자 생성. SPDC 과정이 PPKTP 크리스탈에서 발생하면, 확률적으로 광자쌍이 발생한다. 하나의 광자를 Sagnac 간섭계로 구성된 광자 메모리에 저장하고, 나머지 광자가 검출될 때 방출하여 단일광자의 예고효율을 올릴 수 있으며, 나아가 확정적 단일광자로 이용할 수 있다^[7].

한 단일광자 광원을 예고된 (Heralded) 단일광자라고 부른다. 이 방식은 실험장치가 상온에서 동작하는 등 구성이 비교적 간단하고, 단일광자 간 구별불가능성을 쉽게 충족할 수 있다는 장점이 있어 양자광학 및 양자정보 실험에 널리 이용되고 있다. 하지만 원리상 확정적 단일광자 생성이 불가능하여, 확장성에서 한계를 가지고 있다. 하지만 최근에는 〈그림 2 (b)〉처럼 time-domain-multiplexing을 통해 단일광자 예고효율을 극대화하고, 더 나아가 확정적 단일광자를 만드는 연구가 진행되고 있다^[7,8].

III. 양자얽힘 광자쌍 상태 생성

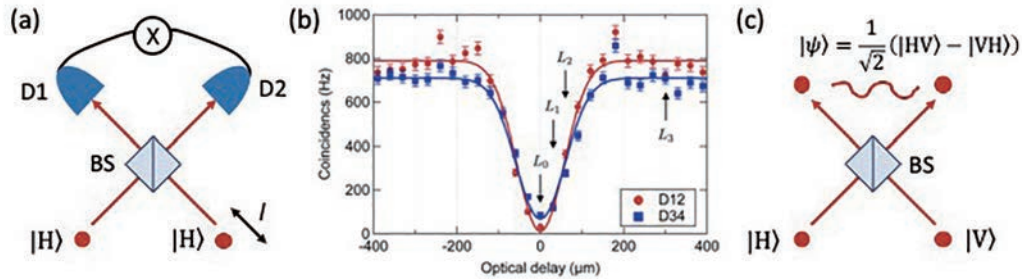
1. 양자간섭과 후선택을 이용한 양자얽힘 광자쌍 생성

두 개 이상의 단일광자가 준비되었다면, 이들의 상호작용을 통해 양자얽힘 광자쌍을 만들 수 있다. 하지만 다른 물리계와 달리 광자는 주변환경과 상호작용을 잘 하지 않는다. 이런 특성은 광자에 인코딩된 양자상태를 보호하고 멀리 보내는데 적합하지만, 한편으로는 양자얽힘을 만드는데 걸림돌이 되기도 한다. 단일광자간 직접적인 상호작용은 비선형 매질을 이용해서 구현할 수 있다. 하지만 비선형성은 빛의 세기에 비례하므로, 단일광자 수준의 매우 약한 빛을 이용하여 양자얽힘을 구현할 수 있을 정도의 강한 비선형성을 구현하는 것은 매우 어려운 일이다^[9].

단일광자간 상호작용을 실험실에서 비교적 쉽게 구현

하는 방법은 양자간섭을 이용하는 것이다^[10]. 두 단일광자가 양자간섭을 하기 위해서는 이들이 구별 불가능해야 하는데, 두 단일광자의 구별불가능성은 Hong-Ou-Mandel 간섭장치를 통해 실험적으로 측정할 수 있다^[11]. 〈그림 3 (a)〉는 HOM 간섭 실험 모식도를 나타낸 것이다. 광분할기(Beamsplitter, BS)에 스펙트럼, 타이밍, 편광 등 모든 특성이 동일한 단일광자가 입사하면, 양자간섭에 의해서 두 단일광자가 모두가 빔분할기를 통과하거나 반사하는 경우는 사라지며, 항상 같은 출력단을 통해 나오게 된다. 따라서 두 출력단이 각각 하나의 단일광자를 가누어 가지는 동시계수(Coincidence counts)가 존재하지 않게 된다. 그러므로 특정 파라미터를 이용해 두 단일광자의 구별불가능성 정도를 조절하면, 두 출력단의 동시계수가 구별불가능성 정도에 따라 변하는 모습을 볼 수 있다. 가령 두 단일광자의 광경로 차이를 조절하면, 〈그림 3 (b)〉와 같은 광경로 차이에 따른 동시계수 변화를 관찰할 수 있다^[12].

이렇게 HOM 간섭이 발생하고 있는 상태에서 (〈그림 3 (b)〉에서 Optical delay = L_0), 〈그림 3 (c)〉처럼 하나의 입력단에는 수평(Horizontal, H) 편광의 단일광자를 다른 입력단에는 수직(Vertical, V) 편광 단일광자를 입사하면, 출력단에서는 더 이상 〈그림 3 (b)〉와 같은 HOM 간섭을 측정할 수 없다. 이는 두 단일광자를 편광을 통해 구별할 수 있기 때문이다. 따라서 1/2의 확률로 두 개의 단일광자는 광분할기의 서로 다른 출력단으로 나오게



〈그림 3〉 (a) 두 단일광자의 구별불가능성을 실험적으로 측정하는 HOM 간섭계 실험장치. (b) HOM 간섭 실험 결과. 두 단일광자의 광경로 차이가 없어서 구별불가능하면, 두 단일광자는 항상 같은 출력단으로 나오므로, 두 출력단 사이의 동시계수가 사라진다. 실험 데이터는 Ref. [12]에서 발췌. (c) 양자간섭을 이용한 양자얽힘 광자쌍 생성 실험 장치. HOM 간섭 실험 장치에서 두 입력 단일광자의 편광을 각각 수평과 수직으로 만든다. 두 출력단 이 1/2의 확률로 각각 하나의 단일광자를 가지며, 이 경우 양자얽힘 광자쌍이 만들어진다.

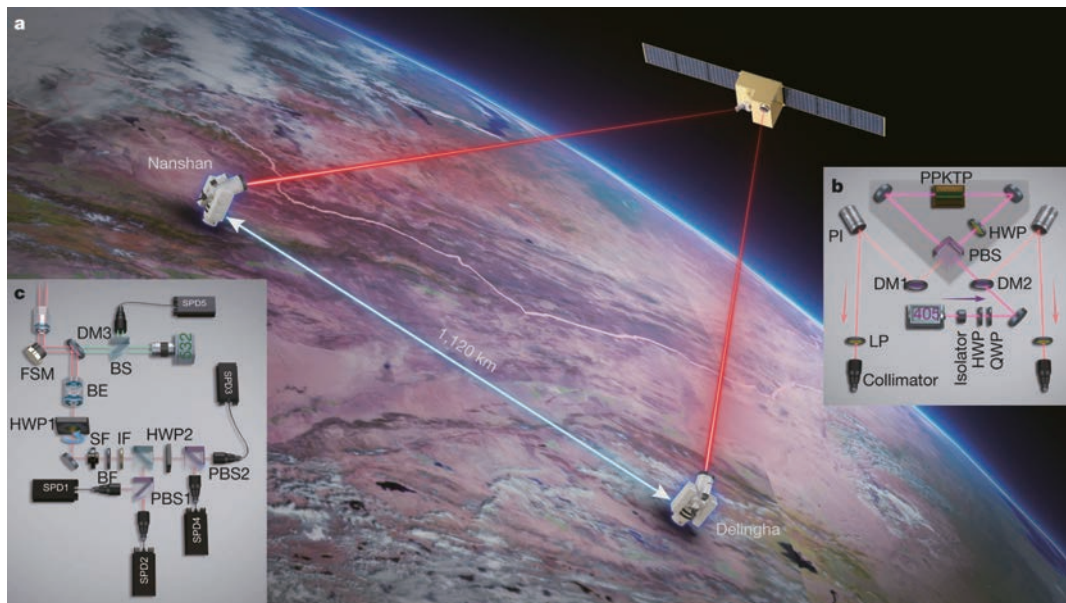
되고, 나머지 1/2의 확률로는 하나의 출력단에서 두 개의 단일광자가 나오게 된다. 이 때 두 개의 단일광자가 서로 다른 출력단으로 나오는 경우만 선택하면 이들은 양자얽힘 상태를 가지게 된다. 즉, 하나의 광자가 수평 편광을 가지면 반대편 광자는 수직 편광을 가지게 되는 것이다. 두 개의 광자가 서로 다른 출력으로 언제 나올지는 확률적으로 결정되며, 이를 미리 알거나 조절할 수 없는데, 이런 맥락에서 두 개의 단일광자가 서로 다른 출력단으로 나오는 경우만 선택하는 행위를 후선택(post-selection)이라고 부른다. 즉, 위 양자간섭을 이용하면 1/2의 확률로 양자얽힘 광자쌍을 후선택 할 수 있다.

사실 위의 수평-수직 편광의 반상관 관계 (anti-correlation)는 고전적으로도 설명할 수 있다. 이는 마치 흰 공과 검은 공을 섞은 후에 두 명이 공을 하나씩 나누어 가졌을 때, 이들이 가질 수 있는 상관관계와 같기 때문이다. 양자얽힘이 이러한 고전적인 상관관계와 구별되는 가장 큰 특징은 측정 기저(basis)에 상관없이 두 광자가 상관관계를 가진다는 것이다. 가령 위의 경우에는 두 광자쌍의 편광은 다른 기저에서도 반상관 관계(anti-correlation)를 가지는데, 만약 하나의 광자가 45° 편광을 가지면, 나머지 광자는 -45° 편광을 가지게 된다. 이러한 수평-수직 편광 외 다른 기저에서의 상관관계는 편광을 제외한 다른 모든 모드에서 구별불가능한 두 단일광자를 빔분할기에 입사할 때만 얻을 수 있는 특성이며, 따라서 양자간섭을 통해 얽힘광자쌍을 얻기 위해서는 두 단일광자가 완전히 동일해야 한다.

2. 후선택이 필요없는 양자얽힘 광자쌍 생성

양자얽힘 광자쌍을 만드는 다른 방법은 SPDC를 이용해 생성된 광자쌍이 만들어지는 과정에서 양자간섭을 통해 양자얽힘을 구성하는 것이다. 사실 SPDC는 비선형 광학 과정을 통해 펌프광에서 두 개의 딸 광자가 생성되는 과정으로, 두 딸 광자가 하나의 펌프광에서 기인한 만큼, 이들은 생성된 시간이나 파장, 진행 방향 등에서 이미 양자얽힘을 가지고 있다. 하지만 편광상태 양자얽힘처럼 쉽게 조작하고 측정할 수 있어 양자 네트워크에 유용한 모드에 대한 양자얽힘을 만들기 위해서는 특별한 SPDC 실험장치가 필요하다 [13, 14].

〈그림 4 (b)〉는 Sagnac 간섭계를 이용해 SPDC 과정을 통해 발생한 두 단일광자의 간섭을 발생시켜 편광상태 양자얽힘 광자쌍을 생성하는 실험장치를 보여준다. 405 nm의 파장을 가지는 펌프 레이저는 편광 빔분할기 (Polarizing Beamsplitter, PBS)에 의해서 Sagnac 간섭계에서 시계방향과 반시계 방향으로 진행하게 된다. Sagnac 간섭계에 있는 PPKTP 크리스탈에서 SPDC 과정을 통해서 810 nm의 수평 편광 단일광자와 수직 편광 단일광자 동시에 생성되는데, 이 광자쌍은 펌프 레이저와 같은 진행 방향인 시계 방향 또는 반시계 방향으로 진행할 수 있다. 이들 광자쌍은 펌프 레이저가 갈라졌던 편광 빔분할기를 통해서 두 경로로 갈라져서 나오게 된다. 시계 방향으로 진행하는 광자쌍과 반시계 방향으로 진행하는 광자쌍은 편광에 따라 다른 광경로를 선택하게 된다. 이 방식을 이용하면 두 단일광자는 같은 출력단을 통해



〈그림 4〉 (a) 중국에서 구현한 인공위성 기반 양자얽힘 광자쌍 분배 실험 모식도 [16]. 지상 두 노드는 1,120 km 떨어져 있다. (b) 인공위성에 실린 Sagnac 간섭계 기반 양자얽힘 광자쌍 생성 장치. PBS와 반파장판 (Half waveplate, HWP)로 구성된 Sagnac 간섭계 내부의 PPKTP 크리스탈에서 SPDC 과정을 통해 수평과 수직 편광을 가지는 광자쌍이 시계 방향 또는 반시계 방향으로 발생한다. 이들이 PBS를 나올 때 시계 방향 광자쌍과 반시계 방향 광자쌍의 양자간섭을 통해 양자얽힘 광자쌍이 생성된다. (c) 지상 노드에 설치된 단일광자 편광 측정 장치

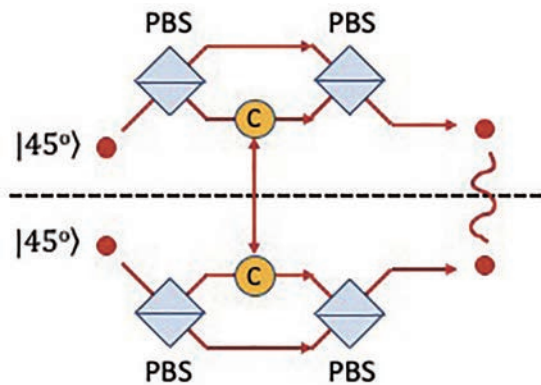
나오는 경우 없이, 항상 두 출력단을 통해 나오며, 이들의 편광상태는 양자얽힘을 가진다. 그러므로, 이 방식을 이용하면 후선택 없이 양자얽힘 광자쌍을 만들 수 있다. 또한 위 방식을 이용하면, 양자얽힘을 이루는 두 단일광자 간 구별 불가능할 필요가 없어, 서로 다른 파장대역의 단일광자 간 양자얽힘을 만들 수 있다. 이러한 특성은 양자 네트워크에서 유용하게 이용할 수 있는데, 가령 800 nm 파장대역의 단일광자와 1550 nm 파장대역의 단일광자 간 양자얽힘은 유무선 양자 네트워크에 활용하는데 용이하다 [15].

이러한 Sagnac 간섭계를 이용한 편광상태 양자얽힘 광자쌍 생성장치는 고궤도의 양자얽힘 광자쌍을 매우 안정적으로 생성할 수 있어서 최근 인공위성을 이용해 1,000 km가 넘는 거리의 양자얽힘 광자쌍 분배 실험의 광원으로 사용되기도 하였다 [16]. 〈그림 4 (a)〉는 인공위성 기반 양자얽힘 광자쌍 분배 실험의 모식도를 〈그림 4 (b)〉와 〈그림 4 (c)〉는 각각 인공위성과 지상에 설치된 양자얽힘 생성 장치와 광자 큐비트 측정 장치를 보여준다.

3. 정보 대칭적인 양자얽힘 광자쌍 생성 및 분배

위에서 설명한 두 양자얽힘 생성 방법에서 양자얽힘은 모두 특정한 광학장치에서 발생한다. 〈그림 3 (c)〉에서는 두 단일광자가 만나는 빔분할기에서, 〈그림 4 (b)〉에서는 PPKTP에서 발생한 광자쌍이 편광 빔분할기에서 갈라질 때 양자얽힘이 발생한다. 따라서 이러한 양자얽힘 생성 장치는 네트워크 형태로는 구성할 수 없으며, 누군가가 독점을 하고, 양자얽힘 광자쌍을 만들어 멀리 떨어져 있는 양자노드에 전달하는 형태로 양자얽힘 분배가 진행된다. 가령, 〈그림 4〉의 양자얽힘 광자쌍 분배 실험은 양자얽힘 광자쌍을 인공위성에서 생성하고, 각 단일광자를 지상의 두 양자노드에 전달하는 구조를 가지고 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 양자얽힘은 LOCC를 통해 생성할 수 없으므로, 양자얽힘 광자쌍을 국소적으로 생성하고 멀리 보내는 것은 불가피해 보인다. 하지만 이러한 양자얽힘 생성 장치의 독점은 중요한 정보의 비대칭성으로 이어질 수 있으며, 이는 양자암호통신을 포함한 양자정보 처리에서 문제를 야기할 수 있다 [17]. 이러한 정보의 비대칭성은 멀리 떨어진 두 노드간 양자얽힘 실험장치를 대칭



〈그림 5〉 정보적으로 대칭적인 양자얽힘 광자쌍 생성 장치.
멀리 떨어진 양자노드에서 각각 45° 편광의 단일광자를 입력하면,
1/2의 후선택 확률로 두 노드는 양자얽힘 광자쌍을 나누어 가지게 된다.

적으로 공유함으로써 해결할 수 있다.

〈그림 5〉는 멀리 떨어진 두 노드가 실험장치를 구성하여 양자얽힘 광자쌍을 나누어가지는 실험 장치를 나타낸 것이다^[18]. 멀리 떨어진 두 양자노드에서 각각 45° 편광의 단일광자를 입사하면, 1/2의 확률로 이들 둘은 양자얽힘 광자쌍을 나누어 가질 수 있다. 나머지 1/2의 확률로 하나의 양자노드가 두 개의 단일광자 모두를 가지고, 양자얽힘 광자쌍 생성에 실패하게 된다. 그러므로 이 방법의 양자얽힘 광자쌍 생성 후선택 확률은 1/2인데, 이는 〈그림 3 (c)〉 방법과 같은 수준이다. 하지만 〈그림 3 (c)〉 방법과는 다르게 양자얽힘 광자쌍이 하나의 광학장치에서 발생하는 것이 아니라 전체 과정에 걸쳐 발생하며, 특히 점선을 기준으로 두 양자노드의 실험장치가 대칭이며, 이들은 하나의 양자채널로 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 〈그림 5〉의 실험 장치를 이용하면, 멀리 떨어진 두 양자노드에서 양자얽힘 생성 장치를 누군가 독점하지 않은 정보적으로 대칭적인 양자얽힘 광자쌍 생성과 분배가 가능하다. 이러한 정보적으로 대칭적인 양자얽힘 광자쌍 생성 장치는 더 많은 양자노드로도 확장할 수 있는데, 지금까지 3 양자노드 간 양자얽힘 분배가 실험적으로 구현되었다^[19].

IV. 전망과 결론

지난 30 여년간 단일광자를 이용한 양자간섭과 양자얽

힘 생성기술은 눈부신 발전을 해왔다. 오늘날 양자광학 실험실에서 이광자 양자얽힘은 비교적 손쉽게 생성할 수 있으며, 이를 다양한 양자정보 실험에 이용하고 있다. 양자얽힘 광원은 이제 인공위성에서도 동작을 하며, 광섬유 네트워크를 통해 장거리 양자통신 실험에도 널리 활용되고 있다. 이처럼 양자얽힘 광자쌍 생성 및 분배 기술은 어느덧 실제 양자통신에 활용하는 수준으로 발전하였다. 하지만 실용적인 양자 네트워크에 응용하기 위해서는, 양자얽힘 생성 및 분배 기술에 대한 후속 연구개발이 필요하다.

우선 효율적으로 단일광자를 생성하고 이를 이용해 다광자 양자얽힘 생성과 분배에 대한 연구개발이 필요하다. 오늘날 대부분의 양자얽힘 광자쌍을 이용한 양자 네트워크 실험은 이광자 실험에 머물러 있다. 다수의 단일광자를 생성하여 양자정보 실험에 활용하는 연구가 있지만, 대부분은 기초 실험에 머물러 있다^[20]. 이는 구별불가능한 다수의 단일광자를 만들고 이들의 양자얽힘을 생성하는 것이 기술적으로 어렵기 때문이다. 두 노드간 양자통신을 넘어, 다수의 양자노드가 참여하는 진정한 의미의 양자 네트워크를 구현하기 위해서는 다광자 양자얽힘 생성 및 분배 기술이 반드시 필요하다.

다음으로 원자나 이온 등 매질과 상호작용하는 단일광자를 이용한 양자얽힘 광자쌍 생성 기술에 대한 연구가 필요하다. 양자컴퓨터나 양자센서의 양자노드나 양자메모리는 보통 원자나 이온, 초전도체와 같은 매질로 구성된다. 따라서 양자 네트워크를 이용한 양자노드간 연결성 향상은 양자 네트워크를 구성하는 광자 큐비트와 양자노드에 있는 매질간의 상호작용을 필요로 한다. 양자노드를 구성하는 대부분의 매질이 수십 kHz에서 수 MHz의 선폭을 가지는 반면, 양자얽힘 광자쌍 광원은 작게는 수 백 MHz에서 크게는 수 GHz 수준의 선폭을 가지는 것이 일반적이다^[21]. 따라서 광공진기 등을 활용하여 양자얽힘 광자쌍 광원의 선폭을 조절하여 매질과의 상호작용을 극대화하기 위한 연구가 필요하다.

마지막으로 양자 네트워크의 실용화를 위해서 양자얽힘 광자쌍 생성 기술을 광집적 회로 등을 이용해 소형화하는 기술이 필요하다. 광집적 회로 기반 양자얽힘 광자



쌍 생성 기술은 널리 연구가 진행되고 있지만, 아직 양자 네트워크에 활용할 수 있는 수준의 광원으로 발전하기 위해서는 부족한 것이 사실이다^[22]. 양자얽힘 광원의 집적화는 안정적인 광원 실용화에 크게 기여할 것으로 기대한다.

양자얽힘 광자쌍 광원은 양자물리를 실험적으로 검증하고 다양한 원천기술을 연구하는데 널리 이용되어왔다. 향후 양자얽힘 광원의 기술적 발전으로 양자 네트워크에 다양하게 활용하는 미래를 기대해본다.

참고 문헌

- [1] S.-H. Wei *et al.*, "Towards real-world quantum networks: a review," *Laser & Photon. Rev.* **16**, 2100219 (2022).
- [2] D. Gottesman and I. L. Chuang, "Demonstrating the viability of universal quantum computation using teleportation and single-qubit operations," *Nature* **402**, 390 (1999).
- [3] R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, and K. Horodecki, "Quantum entanglement," *Rev. Mod. Phys.* **81**, 865 (2019).
- [4] S. Pirandola *et al.*, "Advances in quantum cryptography," *Adv. Opt. & Photon.* **12**, 1012 (2020).
- [5] S.-W. Jeon, J. Lee *et al.*, "Bright nitrogen-vacancy centers in diamond inverted nanocones," *ACS Photon.* **7**, 2739 (2020).
- [6] H. Mäntynen, N. Anttu, Z. Sun, and H. Lipsanen, "Single-photon sources with quantum dots in III-V nanowires," *Nanophoton.* **8**, 747 (2019).
- [7] E. Kaneda, and P. G. Kwiat, "High-efficiency single-photon generation via large-scale active time multiplexing," *Sci. Adv.* **5**, eaaw8586 (2019).
- [8] E. Lee, S. M. Lee, and H. S. Park, "Relative time multiplexing of heralded telecom-band single-photon sources using switchable optical fiber delays," *Opt. Express* **27**, 24545 (2019).
- [9] A. V. Zasedatelev *et al.*, "Single-photon nonlinearity at room temperature," *Nature* **597**, 493 (2021).
- [10] E. Knill, R. Laflamme, and G. J. Milburn, "A scheme for efficient quantum computation with linear optics," *Nature* **409**, 46 (2001).
- [11] C. K. Hong, Z. Y. Ou, and L. Mandel, "Measurement of subpicosecond time intervals between two photons by interference," *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2044 (1987).
- [12] M. R. Barros *et al.*, "Entangling bosons through particle indistinguishability and spatial overlap," *Opt. Express* **28**, 38083 (2020).
- [13] P. G. Kwiat, K. Mattle, H. Weinfurter, A. Zeilinger, A. V. Sergienko and Y. Shih, "New High-Intensity Source of Polarization-Entangled Photon Pairs," *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4337 (1995).
- [14] T. Kim, M. Fiorentino, and Franco N. C. Wong, "Phase-stable source of polarization-entangled photons using a polarization Sagnac interferometer," *Phys. Rev. A* **73**, 012316 (2006).
- [15] M. Hentschel, H. Hübel, A. Poppe, and A. Zeilinger, "Three-color Sagnac source of polarization-entangled photon pairs," *Opt. Express* **17**, 23153 (2009).
- [16] J. Yin *et al.*, "Entanglement-based secure quantum cryptography over 1,120 kilometres," *Nature* **582**, 501 (2020).
- [17] T. Pramanik *et al.*, "Equitable multiparty quantum communication without a trusted third party," *Phys. Rev. Appl.* **14**, 064074 (2020).
- [18] Y.-S. Kim *et al.*, "Informationally symmetrical Bell state preparation and measurement," *Opt. Express* **26**, 29539 (2018).
- [19] D. Lee, T. Pramanik, S. Hong, Y.-W. Cho, H.-T. Lim, S. Chin, and Y.-S. Kim, "Entangling three identical particles via spatial overlap," *Opt. Express* **30**, 30525 (2022).
- [20] H.-S. Zhong *et al.*, "12-Photon Entanglement and Scalable Scattershot Boson Sampling with Optimal Entangled-Photon Pairs from Parametric Down-Conversion," *Phys. Rev. Lett.* **121**, 250505 (2018).
- [21] K. Heshamia, D. G. Englanda, P. C. Humphreysb, P. J. Bustarda, V. M. Acostac, J. Nunn, B. J. Sussman, "Quantum memories: emerging applications and recent advances," *J. Mod. Opt.* **63**, 2005 (2016).
- [22] E. Pelucchi *et al.*, "The potential and global outlook of



integrated photonics for quantum technologies,” Nature Rev. Phys. **4**, 194 (2022).



김용수

- 2006년 2월 연세대학교 물리학 학사
- 2007년 8월 POSTECH 물리학 석사
- 2012년 2월 POSTECH 물리학 박사
- 2012년 3월 ~ 2013년 5월 National Institute of Standards and Technology 박사후 연구원
- 2013년 6월 ~ 현재 한국과학기술연구원 연구원, 선임연구원, 책임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교 조교수, 부교수

〈관심 분야〉

양자광학, 양자정보, 양자통신, 양자컴퓨팅, 양자시뮬레이션

양자 얽힘 증류 과정 소개 및 증류 과정에서의 양자 오류정정부호

I. 서론

양자 상태에 존재하는 얽힘 특성은 teleportation, superdense coding^[1], quantum key distribution(QKD)^[2], quantum computation 등 다양한 양자 분야에 활용된다.

Teleportation 및 superdense coding에서는 각각 양자 상태 정보와 고전 정보를 전송하기 위해서 얽힘 상태가 활용된다. QKD에서는 얽힌 양자상태에 임의의 기저를 활용하여 측정 후, 측정 기저 공개를 통해서 양자 키를 분배한다. 또한 quantum computation의 다양한 알고리즘에서 CNOT을 활용하여 양자 얽힘을 생성하고 연산을 수행한다. 특히 Teleportation, superdense coding, QKD에서는 서로 확실한 EPR pair 혹은 얽힘 상태를 공유하는 것이 공유하는 정보의 정확성 결정에 중요한 역할을 하게 되며, 따라서 높은 fidelity를 가지는 bell state를 공유하는 것이 필수적이다.

얽힘 증류^[3]는 높은 fidelity를 가진 얽힘 상태를 공유하기 위한 기술로서 두 파티(혹은 그 이상의 파티) 사이에서 다수의 낮은 fidelity를 가진 EPR pair로부터 소수의 높은 fidelity를 가진 EPR pair를 생성하는 기술이다. 이 때 local Unitary, local measurement, classical message 연산을 활용한다.

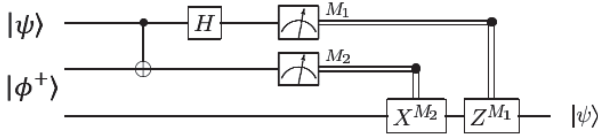
얽힘 증류는 recurrence, breeding^[5], hashing^[6] 등의 다양한 프로토콜이 개발된 바 있으며, 실제로 실험적으로도 보여진 바 있다^[7,8]. 양자 증류 프로토콜의 성공 확률을 높이기 위한 시도로서 비선형 광 소자를 활용하기도 하며^[9,10], 프로토콜의 소요자원을 줄이기 위한 연구도 수행되고 있다^[10,11].



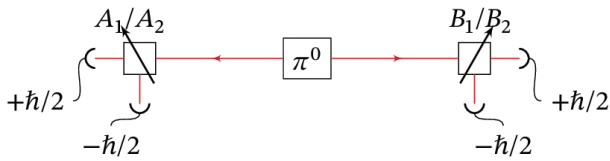
이종현
고려대학교



허준
고려대학교



〈그림 1〉 Quantum teleportation



〈그림 2〉 E91 QKD 프로토콜

본 고에서는 양자 얽힘 증류기법의 대표적인 형태인 recurrence 및 breeding 프로토콜, 얽힘 증류와 양자 오류정정 부호의 상관성에 대해 간략히 소개한다. 또한 간략한 예시를 통해, 양자오류정정부호를 활용하여 얽힘 증류 과정을 소개한다.

II. 양자 얽힘 증류 기법

얽힘 증류를 위해서 필요한 classical communication의 방향성에 따라 one-way 및 two-way 얽힘 증류 방식으로 구분된다. 얽힘을 공유하고자 하는 두 파티 Alice와 Bob에서 Alice와 Bob이 서로 고전 정보를 주고받아 증류를 하는 경우 two-way 얽힘 증류, Alice가 Bob으로 고전 정보를 전송하나 Bob은 Alice에게 정보전송을 할 수 없는 경우를 one-way 얽힘 증류라 한다.

본 장에서는 two-way 및 one-way 얽힘 증류 프로토콜의 한 종류인 recurrence method와 breeding method를 소개한다^[5]. Bell state는 아래와 같이 정의되며 이 때 $|\phi^+\rangle$ 상태로 증류하는 것을 목적으로 한다.

$$\begin{aligned} |\phi^+\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \\ |\phi^-\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle) \\ |\psi^+\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}(|10\rangle + |01\rangle) \\ |\psi^-\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}(|10\rangle - |01\rangle). \end{aligned} \quad (1)$$

1. Recurrence protocol

Alice와 Bob은 아래와 같은 Fidelity를 가진 Werner state를 공유한다. 해당 상태는 Alice가 Bob에게 symmetric depolarizing channel을 통해 bell pair 중 한 큐비트를 전송했을 때 얻어지는 상태이다(그림 3).

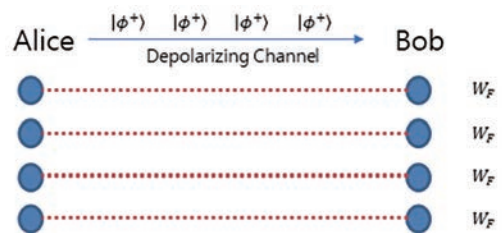
$$\begin{aligned} W_F &= F|\phi^+\rangle\langle\phi^+| + \frac{1-F}{3}|\phi^-\rangle\langle\phi^-| \\ &+ \frac{1-F}{3}|\psi^+\rangle\langle\psi^+| + \frac{1-F}{3}|\psi^-\rangle\langle\psi^-|. \end{aligned} \quad (2)$$

Alice와 Bob은 다음과 같은 순서로 증류를 진행한다.

(STEP 1) 공유된 Werner state를 CNOT 연산을 수행한다. 〈그림 3〉과 같이 4쌍의 공유된 Werner state에서 Alice와 Bob은 각각 2개의 CNOT을 수행한다. Bell pair 사이의 CNOT을 수행할 경우 〈그림 4〉와 같이 변화하게 되며, 따라서 Werner state는 아래와 같이 상태 변화가 이루어진다.

$$\begin{aligned} W_F^{\otimes 2} &\rightarrow \\ &F^2|\phi^+\phi^+\rangle\langle\phi^+\phi^+| + \frac{F(1-F)}{3}|\phi^+\psi^+\rangle\langle\phi^+\psi^+| \\ &+ \frac{F(1-F)}{3}|\phi^-\psi^-\rangle\langle\phi^-\psi^-| + \frac{F(1-F)}{3}|\phi^-\phi^-\rangle\langle\phi^-\phi^-| \\ &+ \frac{F(1-F)}{3}|\psi^+\psi^+\rangle\langle\psi^+\psi^+| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^+\phi^+\rangle\langle\psi^+\phi^+| \\ &+ \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^-\phi^-\rangle\langle\psi^-\phi^-| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^-\psi^-\rangle\langle\psi^-\psi^-| \\ &+ \frac{F(1-F)}{3}|\psi^-\psi^+\rangle\langle\psi^-\psi^+| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^-\phi^+\rangle\langle\psi^-\phi^+| \\ &+ \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^-\phi^-\rangle\langle\psi^-\phi^-| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\psi^+\psi^+\rangle\langle\psi^+\psi^+| \\ &+ \frac{F(1-F)}{3}|\phi^-\phi^+\rangle\langle\phi^-\phi^+| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\phi^-\psi^+\rangle\langle\phi^-\psi^+| \\ &+ \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\phi^-\psi^-\rangle\langle\phi^-\psi^-| + \left(\frac{1-F}{3}\right)^2|\phi^+\phi^-\rangle\langle\phi^+\phi^-|. \end{aligned} \quad (3)$$

(STEP 2) Alice와 Bob은 각각 CNOT의 Target 큐비트를 Z 측정한다. 이후 측정 결과를 공유하여 같은 측정결과를 얻는 경우는 이후 상태를 보존하며, 그렇지 않으면 상태를 버리게 된다. Target 큐비트가 $|\phi^+\rangle$ 혹은



〈그림 3〉 Alice와 Bob의 bell pair 공유

CNOT			
Before		After	
Control	Target	Control	Target
$\phi^{\pm}$	ϕ^+	$\phi^{\pm}$	ϕ^+
$\psi^{\pm}$	ϕ^+	$\psi^{\pm}$	ψ^+
$\psi^{\pm}$	ψ^+	$\psi^{\pm}$	ϕ^+
$\phi^{\pm}$	ψ^+	$\phi^{\pm}$	ψ^+
$\phi^{\pm}$	ϕ^-	$\phi^{\mp}$	ϕ^-
$\psi^{\pm}$	ϕ^-	$\psi^{\mp}$	ψ^-
$\psi^{\pm}$	ψ^-	$\psi^{\mp}$	ϕ^-
$\phi^{\pm}$	ψ^-	$\phi^{\mp}$	ψ^-

〈그림 4〉 Bell state transformation by CNOT

$|\phi^-\rangle$ 상태인 경우로 측정된 경우에 Alice와 Bob은 같은 측정 결과를 공유하게 됨으로, 따라서 측정이후의 정규화 되지 않은 상태는 다음과 같다.

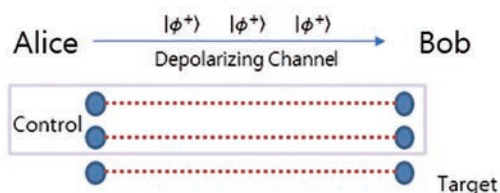
$$\begin{aligned} \rho = & F^2 |\phi^+\phi^+\rangle\langle\phi^+\phi^+| + \frac{F(1-F)}{3} |\phi^-\phi^-\rangle\langle\phi^-\phi^-| \\ & + (\frac{1-F}{3})^2 |\psi^+\phi^+\rangle\langle\psi^+\phi^+| + (\frac{1-F}{3})^2 |\psi^-\phi^-\rangle\langle\psi^-\phi^-| \\ & + (\frac{1-F}{3})^2 |\psi^-\phi^+\rangle\langle\psi^-\phi^+| + (\frac{1-F}{3})^2 |\psi^+\phi^-\rangle\langle\psi^+\phi^-| \\ & + \frac{F(1-F)}{3} |\phi^-\phi^+\rangle\langle\phi^-\phi^+| + (\frac{1-F}{3})^2 |\phi^+\phi^-\rangle\langle\phi^+\phi^-|. \end{aligned} \quad (4)$$

이 때 공유된 bell state 의 Fidelity는 초기 수식 (2) 에서의 Werner state의 Fidelity 에서 $\langle\phi^+|W_F|\phi^+\rangle = F$ 수식 (4)로부터 다음과 같이

$$\langle\phi^+|\rho|\phi^+\rangle = \frac{F^2 + (\frac{1-F}{3})^2}{F^2 + 2(\frac{1-F}{3})F + 5(\frac{1-F}{3})^2} = F' \text{ 로 변형}$$

된다. $F > 1/2$ 인 경우, 위의 과정을 통해 높은 Fidelity F' 를 얻게 된다.

증류 프로토콜의 Yield 는 사용되는 얽힘 쌍의 수 대비 생성된 증류된 얽힘 쌍의 수로 정의된다. Recurrence 프로토콜을 n 번 수행하여 Fidelity를 증가시킬 경우, yield



〈그림 5〉 보완된 Recurrence 프로토콜

는 $\frac{1}{2^n}$ 이 되며, 증류된 얽힘 쌍의 Fidelity를 1으로 만들기 위하여 프로토콜을 무수히 많이 수행할 경우, yield 는 0에 가까워진다. 따라서 recurrence 프로토콜을 〈그림 5〉와 같이 수정하여 Yield를 증가시키는 방법이 있다.

기존 방식에서 한번의 CNOT 수행 이후 Z 측정을 통해 bell pair를 버릴지 보존할지 판단한 반면, 보완된 프로토콜에서는 Z 측정 이전에 다수의 CNOT을 수행한 후 Target 큐비트를 측정한다. 해당 방식의 경우, Fidelity $1 - \frac{2}{3}(1-F)$ 를 가지는 bell pair 들이 생성된다. 반면 버려지는 비율은 $\frac{2}{3}(1-F)^{\frac{1}{2}}$ 로 0보다 큰 yield를 가지는 프로토콜이다.

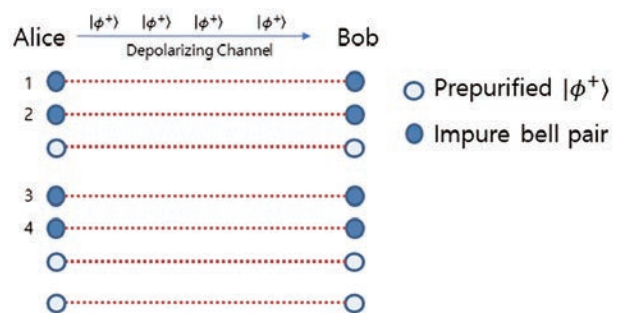
2. Breeding protocol

Breeding 프로토콜은 pure한 $m(=n[S(W)+\delta])$ 개의 bell pair를 활용하여 n 개의 impure한 bell pair를 n 개의 pure한 bell pair로 증류시키는 프로토콜이다. 이 때 $S(W)(=-\text{Tr}(W \log_2 W))$ 는 Werner state 의 entropy 로 정의된다. 〈그림 6〉은 3개의 pure한 bell pair를 활용하여 4개의 bell pair를 증류시키는 과정이다. 4개의 불순한 bell pair는 Werner state로 준비된다.

Breeding 프로토콜은 다음과 같은 순서로 진행된다.

(STEP 1) 준비된 pure state를 target 큐비트로 하여 BXOR test를 시행한다. 이 때 BXOR test란 특정한 impure 한 bell pair를 control 큐비트로, pure 한 bell pair를 target 으로 CNOT을 수행하여 Z 측정을 하는 것을 의미한다.

Werner state로 bell pair가 준비될 때, CNOT 연산 이후의 상태는 다음과 같이 변화한다.



〈그림 6〉 Breeding 프로토콜



$$\begin{aligned}
& F[F|\phi^+\phi^+\phi^+ \rangle \langle \phi^+\phi^+\phi^+| + \frac{1-F}{3}|\psi^+\phi^+\psi^+ \rangle \langle \psi^+\phi^+\psi^+| \\
& + \frac{1-F}{3}|\psi^-\phi^+\psi^+ \rangle \langle \psi^-\phi^+\psi^+| + \frac{1-F}{3}|\phi^-\phi^+\phi^+ \rangle \langle \phi^-\phi^+\phi^+|] \\
& + (\frac{1-F}{3})[F|\phi^+\psi^+\psi^+ \rangle \langle \phi^+\psi^+\psi^+| + \frac{1-F}{3}|\psi^+\psi^+\phi^+ \rangle \langle \psi^+\psi^+\phi^+| \\
& + \frac{1-F}{3}|\psi^-\psi^+\phi^+ \rangle \langle \psi^-\psi^+\phi^+| + \frac{1-F}{3}|\phi^+\psi^+\psi^+ \rangle \langle \phi^+\psi^+\psi^+|] \\
& + (\frac{1-F}{3})[F|\phi^+\psi^-\psi^+ \rangle \langle \phi^+\psi^-\psi^+| + \frac{1-F}{3}|\psi^+\psi^-\phi^+ \rangle \langle \psi^+\psi^-\phi^+| \quad (5) \\
& + \frac{1-F}{3}|\psi^-\psi^-\phi^+ \rangle \langle \psi^-\psi^-\phi^+| + \frac{1-F}{3}|\phi^+\psi^-\psi^+ \rangle \langle \phi^+\psi^-\psi^+|] \\
& + \frac{1-F}{3}[F|\phi^+\phi^-\phi^+ \rangle \langle \phi^+\phi^-\phi^+| + \frac{1-F}{3}|\psi^+\phi^-\psi^+ \rangle \langle \psi^+\phi^-\psi^+| \\
& + \frac{1-F}{3}|\psi^-\phi^-\psi^+ \rangle \langle \psi^-\phi^-\psi^+| + \frac{1-F}{3}|\phi^-\phi^-\phi^+ \rangle \langle \phi^-\phi^-\phi^+|]
\end{aligned}$$

따라서 Z 측정 결과를 Alice 와 Bob이 공유함에 따라, 두 개의 bell pair에 $|\psi\rangle$ 가 홀수로 구성되는 space로 projection 되었는지 혹은 짝수 개가 있는 space로 projection 되었는지를 알게 된다.

이후 Alice 와 Bob은 다른 state를 서로 다른 조합으로 다른 pure 한 bell pair에 BXOR test를 수행한다. 예를 들어, 이전 BXOR에서 1, 2번을 control로 하여 Z 측정 수행을 하였다면 그 다음은 1,3번을 control 큐비트로 BXOR test를 수행한다. 만약 두 측정결과가 alice와 bob 사이에서 모두 일치한다면, 두 검증에서 모두 활용되는 bell pair인 1번 bell pair는 $|\psi\rangle$ 상태가 아니라고 판단한다. 이와 같이 측정 결과의 조합으로 $|\psi\rangle$ 의 위치를 찾아낸다.

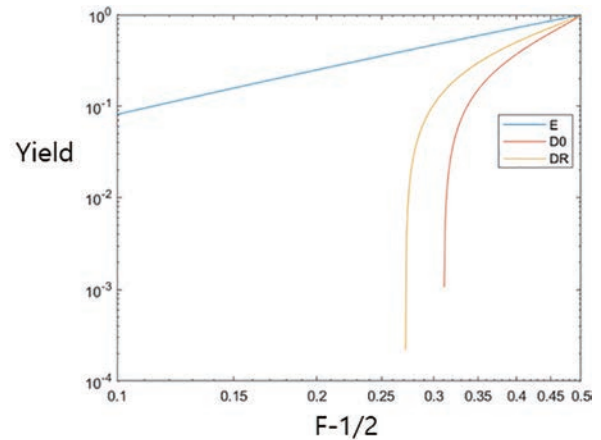
(STEP 2) STEP 1에서는 $|\psi\rangle$ 를 찾아내는 작업을 수행하였지만, $|\phi^-\rangle$ 를 증류시키는 작업을 수행하지 않았으므로 Bilateral Y 연산 B_Y 연산을 수행하여 $|\phi^-\rangle$ 를 $|\phi^+\rangle$ 로 변경하여 STEP 1을 다시 수행한다.

$$\begin{aligned}
B_Y|\phi^-\rangle &= |\phi^+\rangle \\
B_Y|\phi^+\rangle &= |\phi^-\rangle \quad (7)
\end{aligned}$$

적절한 Fidelity를 가지는 Werner state가 준비된 경우 Breeding protocol 이후의 상태는 impure 한 n개의 bell pair 가 pure한 $|\phi^+\rangle$ 로 증류된 상태를 얻을 수 있다.

이 때 하나의 EPR pair당 $S(W)$ 의 BXOR test를 수행하면 오류가 없이 $|\phi^+\rangle$ 로 증류된 상태를 얻을 수 있으며, Breeding protocol의 yield 는 따라서 $1 - S(W)$ 로 정의될 수 있다.

<그림 7>은 Breeding 및 Breeding 프로토콜과 recurrence 프로토콜을 모두 활용한 경우, 초기 Werner state의 Fidelity에 따른 Yield를 보여준다. recurrence



<그림 7> 프로토콜에 따른 Fidelity vs Yield 그래프. E : yield 의 upper bound, D0 : Breeding만 활용한 경우, DR : breeding 과 recurrence를 모두 활용한 경우

protocol 로 fidelity를 증가시킨 다음, Breeding 프로토콜을 활용할 경우, 더 높은 yield 값을 획득할 수 있다.

III. 양자오류정정부호를 이용한 얽힘 증류 연구 기법 및 동향

본 장에서는 양자오류정정부호와 얽힘 증류 과정의 연관성 및 증류 방식에 대해서 소개한다^[6,13]. 양자 오류정정부호를 활용한 얽힘 증류는 오류 정정부호를 활용하는 경우 one-way 방식의 얽힘 증류 기법과, 오류 검출부호를 활용하는 경우 two-way 방식의 얽힘 증류기법과 동일한 기법으로 알려져있다^[14]. 얽힘 상태를 CSS-H 상태, CSS 상태, 임의의 stabilizer 상태로 구분하여 다양한 형태의 양자오류정정부호를 활용한다. CSS 상태란 상태의 stabilizer 가 X 혹은 Z 만으로 구성되어 있는 상태를 의미하며 H invariant 상태란 Hadamard transform 에 대해서 상태의 stabilizer가 닫혀있는 상태를 의미한다.

$$\langle H^{\otimes n} S_i H^{\otimes n} \rangle = \langle S_j \rangle \quad (8)$$

CSS 부호란 부호의 stabilizer 가 X 혹은 Z 로만 구성된 부호를 의미하며 대표적으로 $[[4,2,2]]$ 부호, $[[7,1,3]]$ 부호가 있다. $[[4,2,2]]$ 부호의 stabilizer 는 ZZZZ, XXXX이다.

state	stabilizer	CSS state 유무	H Invariant state 유무
$(00\rangle + 11\rangle)$	XX, ZZ	O	O
$(000\rangle + 111\rangle)$	XXX, ZZI, IZZ	O	X
$(00\rangle + 10\rangle + 01\rangle - 11\rangle)$	XZ, ZX	X	O
$(000\rangle + 001\rangle + 010\rangle - 011\rangle + 100\rangle - 101\rangle - 110\rangle - 111\rangle)$	XZZ, ZXZ, ZZX	X	X

〈그림 8〉 다양한 state에 따른 CSS 유무, H invariant 유무

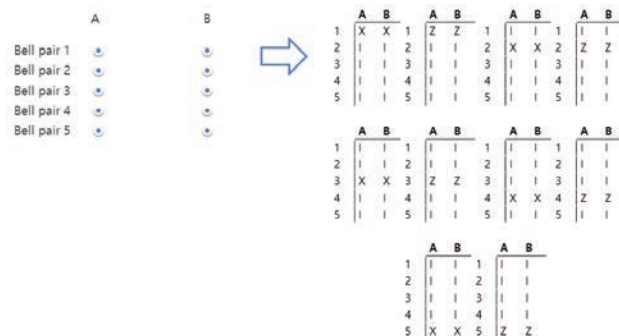
CSS-H 부호란 Logical Hadamard가 transversal 한 H로 표현되는 부호이며, 대표적으로 $[[7,1,3]]$ 부호가 있다.

1. CSS-H 상태에 따른 증류

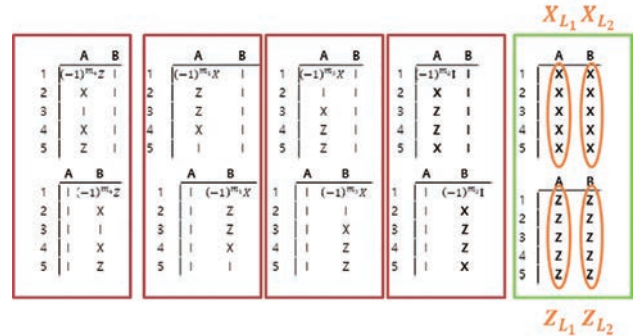
CSS-H 상태는 대표적으로 bell state가 있으며 임의의 stabilizer 부호를 활용하여 정정할 수 있다. $[[5,1,3]]$ 부호를 활용하여 증류를 진행하는 순서는 다음과 같다.

(STEP 1) $[[5,1,3]]$ 부호를 활용함으로 〈그림 9〉와 같이 5쌍의 bell pair를 Alice와 Bob이 준비한다. 우측은 상태의 stabilizer를 표기한 것이다. 1,2,...,5는 bell pair 쌍의 순서를 의미하며, A와 B는 Alice와 Bob이 가진 큐비트를 의미한다. Alice와 Bob이 공유하는 state가 오류가 없다면 〈그림 9〉의 우측 도표와 같이 나타낼 수 있다.

(STEP 2) $[[5,1,3]]$ 부호의 stabilizer 측정을 Alice와 Bob이 각각 수행한다. $[[5,1,3]]$ 부호의 stabilizer는 XZZXI, IXZZX, XIXZZ, ZXIXZ로 구성된다. stabilizer 측정 이후 〈그림 10〉과 같이 상태가 변화하게 되며 따라



〈그림 9〉 CSS-H 상태의 증류방법



〈그림 10〉 $[[5,1,3]]$ 부호의 stabilizer 측정 이후의 상태

서 Alice와 Bob은 항상 같은 결과 값을 공유하게 된다.

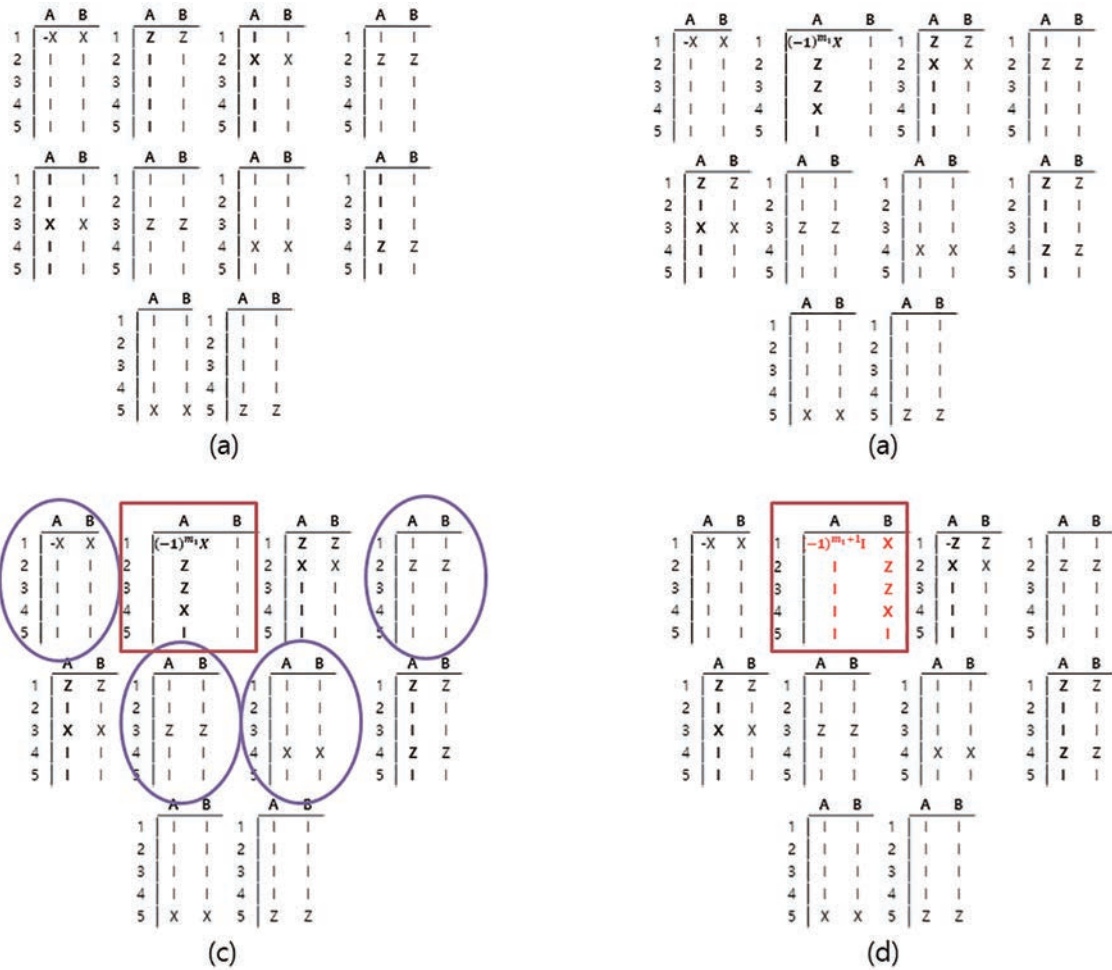
만약 초기 bell pair에서 오류가 발생하고, 해당 오류가 측정 과정을 통한 projection에 영향을 미칠 경우, Alice와 Bob은 서로 다른 측정 결과 값을 가지게 되며 따라서 해당 오류를 정정할 수 있다. 〈그림 11〉은 stabilizer 측정을 통해 첫 번째 bell pair가 Alice의 큐비트에 Z 오류가 난 상태로 확장되는 공간에 projection된 경우의 예시이다. 첫 번째 큐비트의 Z_1 오류, 오류는 XZZXI stabilizer와 anti-commute 관계에 있으므로, Alice와 Bob은 서로 다른 측정 결과를 얻게된다.

(STEP 3) Alice와 Bob은 적절한 Correction operator를 수행하여, logical한 bell pair를 공유한다.

Logical bell pair가 아닌 physical bell pair를 공유하기 위해서는 공유된 logical bell pair에서 decoding 과정을 수행할 수 있으며, 혹은 ^[15]과 같이 stabilizer 측정을 활용하는 기법이 아닌 Encoding 회로에 기반한 연산을 수행해줌으로서 physical bell pair를 공유할 수 있다.

2. CSS 상태 혹은 임의의 stabilizer 상태에 따른 증류

CSS-H 상태와 유사하게 CSS 상태 혹은 임의의 상태는 증류될 수 있다. 하지만, CSS 상태(e.g. GHZ 상태)에서는 CSS-H invariant 부호를 활용하는 경우, 오류 유무에 관련 없이 Alice, Bob, Charlie는 random하게 stabilizer 측정 결과를 얻게 됨으로, CSS 부호를 활용하여 증류를 진행한다. 〈그림 12〉은 $[[4,2,2]]$ 부호를 활용한 경우 GHZ 상태의 증류결과이며, 오류가 발생하지 않는 경우 Charlie의 XXXX stabilizer 측정 결과는 Alice와 Bob 측정결과와 곱과 같으며, ZZZZ stabilizer 측정



〈그림 11〉 Alice의 첫 번째 큐비트에 Z 오류가 발생한 경우의 Stabilizer 의 변화

- (a) Alice의 첫 번째 큐비트에 Z 오류가 발생한 경우 (b) Alice와 Bob이 XZZI의 stabilizer 측정을 수행한 이후의 상태
(c) Alice의 XZZI stabilizer 측정 결과 (d) Bob의 XZZI stabilizer 측정 결과

결과는 Alice, Bob, Charlie 가 모두 동일하다.

$$\begin{aligned} M_{XXXX,C} &= M_{XXXX,A} \times M_{XXXX,B} \\ M_{ZZZZ,C} &= M_{ZZZZ,A} = M_{ZZZZ,B} \end{aligned} \quad (7)$$

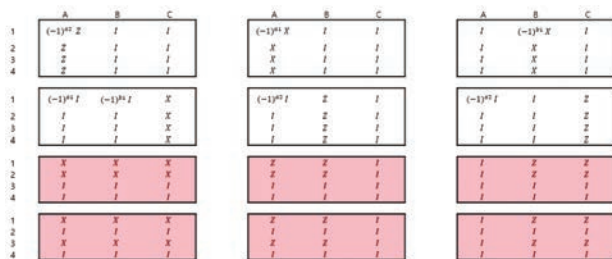
반면 Alice의 큐비트에 Z 오류가 발생한 경우, Charlie

의 XXXX stabilizer 는 Alice 와 Bob 측정결과의 곱과는 다른 결과를 얻게 된다.

IV. 결론

본 고에서는 다양한 양자 프로토콜에 활용되는 양자 얽힘 상태의 증류 기법에 대해 소개하였다. 먼저 초기에 제안된 양자 증류 기법인 recurrence 와 breeding 프로토콜에 대해서 소개하였다. 각각 프로토콜에서 동작과정을 소개하였으며 Yield를 분석하여 그 성능을 보여주었다.

또한 양자 얽힘 증류 프로세스에서 양자 오류정정부호가 활용되는 방법에 대해 소개하였다. 먼저 증류 프로세



〈그림 12〉 CSS 부호를 활용한 GHZ 상태의 증류

스와 양자 오류정정부호와의 연관성을 소개하였다, 이후 증류하고자 하는 목표 상태인 bell pair 및 GHZ 상태를 포함한 다양한 양자 얽힘 상태에 임의의 stabilizer 부호, CSS 부호 및 CSS-H 부호를 활용하여 증류하는 기법 상태의 stabilizer 변화를 보여주며 예시와 함께 설명하였다.

참 고 문 헌

- [1] Nielsen, Michael A., and Isaac Chuang. "Quantum computation and quantum information." (2002): 558–559.
- [2] Ekert, Artur K., et al. "Practical quantum cryptography based on two-photon interferometry." *Physical Review Letters* 69.9 (1992): 1293.
- [3] Bennett, Charles H., et al. "Concentrating partial entanglement by local operations." *Physical Review A* 53.4 (1996): 2046.
- [4] Jogenfors, Jonathan. *Breaking the Unbreakable: Exploiting Loopholes in Bell's Theorem to Hack Quantum Cryptography*. Vol. 1875. Linköping University Electronic Press, 2017.
- [5] Bennett, Charles H., et al. "Purification of noisy entanglement and faithful teleportation via noisy channels." *Physical review letters* 76.5 (1996): 722.
- [6] Bennett, Charles H., et al. "Mixed-state entanglement and quantum error correction." *Physical Review A* 54.5 (1996): 3824.
- [7] Pan, Jian-Wei, et al. "Experimental entanglement purification of arbitrary unknown states." *Nature* 423.6938 (2003): 417–422.
- [8] Chen, Luo-Kan, et al. "Experimental nested purification for a linear optical quantum repeater." *Nature Photonics* 11.11 (2017): 695–699.
- [9] Sheng, Yu-Bo, Fu-Guo Deng, and Hong-Yu Zhou. "Efficient polarization-entanglement purification based on parametric down-conversion sources with cross-Kerr nonlinearity." *Physical Review A* 77.4 (2008): 042308.
- [10] Zhu, Meng-Zheng, and Liu Ye. "Efficient entanglement purification for Greenberger–Horne–Zeilinger states via the distributed parity-check detector." *Optics Communications* 334 (2015): 51–57.
- [11] Zhou, Lan, Wei Zhong, and Yu-Bo Sheng. "Purification of the residual entanglement." *Optics Express* 28.2 (2020): 2291–2301.
- [12] Lu, Lu-Cong, et al. "General Quantum Entanglement Purification Protocol using a Controlled-Phase-Flip Gate." *Annalen der Physik* 532.4 (2020): 2000011.
- [13] Glancy, Scott, Emanuel Knill, and Hilma M. Vasconcelos. "Entanglement purification of any stabilizer state." *Physical Review A* 74.3 (2006): 032319.
- [14] Aschauer, Hans. *Quantum communication in noisy environments*. Diss. Imu, 2005.
- [15] Stephens, Ashley M., et al. "Hybrid-system approach to fault-tolerant quantum communication." *Physical Review A* 87.5 (2013): 052333.



이종현

- 2015년 8월 고려대학교 전기전자공학과 학사
- 2022년 8월 고려대학교 전기전자공학과 박사

<관심 분야>

서피스부호, 양자오류정정부호, 양자 컴퓨터, 양자 정보이론, 얽힘 증류



허준

- 1989년 2월 서울대학교 전자공학 학사
- 1991년 2월 서울대학교 전자공학 석사
- 2002년 8월 University of Southern California 박사
- 1991년 1월 ~ 1996년 2월 LG 전자 주임연구원
- 1996년 3월 ~ 2002년 9월 LG 전자 반도체 선임연구원
- 2002년 8월 ~ 2003년 2월 하이닉스 반도체(주) System IC comp 책임연구원
- 2003년 3월 ~ 2007년 2월 건국대학교 전자공학과 조교수
- 2014년 삼성종합기술원 양자통신 미래기술 자문위원
- 2014년 양자통신 발전위원회 기획위원
- 2015년 7월 ~ 2021년 3월 스마트 양자 통신 연구센터 센터장
- 2017년 ~ 2018년 양자 ICT 예비타당성 기획위원
- 2007년 3월 ~ 현재 고려대학교 전기전자공학부 교수
- 2021년 6월 ~ 현재 초신뢰 양자인터넷 연구센터 센터장

〈관심 분야〉

서피스부호, 양자오류정정부호, 양자 컴퓨터, 양자 정보이론, 얽힘 증류, 양자 알고리즘, 양자 암호통신, 양자 암호통신 구현

양자 중계기의 원리와 얽힘

I. 서론

양자정보처리는 양자 원리를 바탕으로 정보처리를 수행한다. 이를 실현하기 위해서 양자 원리를 따르는 미시 세계의 물리계를 정보처리에 활용해야 하며 따라서 실제 구현에서는 원자와 광자 등의 양자 시스템을 활용한 정보처리에 해당한다.

양자정보 연구의 방법 중 하나는 양자 원리를 바탕으로 정보처리를 어떻게 수행하는지를 고안하고 개발하는 것이다. 그리고, 개발된 양자 정보처리, 예를 들어, 양자 통신 프로토콜 혹은 양자 컴퓨팅 및 알고리즘 등이, 어떠한 장점을 지니는지 규명하는 것이다. 이 때, 양자정보처리는 기존의 비트를 기반으로 하는 새논의 통신 이론 혹은 튜링의 전산 이론과 비교하여 어떠한 장점을 지니는지 답해야 한다.

무엇이 어떻게 다르고 어떤 장점을 갖게 될지 규명하는 것은 중요하다. 정보기술에서 무엇이 다른지를 규명하는 것은 구현에서 새로운 인프라를 요구하는 것을 의미한다. 양자정보처리는 양자 기술 기반의 인프라를 요구한다. 어떻게 다른지는 규명해야 할 필요가 있다는 것은 원리에 대한 새로운 이해가 요구됨을 의미한다. 양자정보처리는 양자 원리를 정보처리의 원리로 활용한다. 장점을 규명하는 것은 새로운 기술에 대한 이해와 인프라 구현에 대한 동기와 당위성을 제공한다. 양자 원리를 활용한 양자 알고리즘은 기존 컴퓨팅 대비 속도 향상을 제공한다는 사실이 알려졌다^[1,2]. 양자 암호는 더 높은 수준의 보안성을 가능하게 한다^[3]. 양자 통신은 더 높은 채널 용량을 통해 더 효율적인 통신과 잡음 제거가 가능하도록 한다^[4,5,6].

구현의 관점에서 접근하자. 현재 정보기술의 최전선은 높은 집적도의 정밀 기술을 요구하는 반도체 공정이다. 반도체 공정 기술의 발전으로 얻게 되는 높은 집적도를 통해 정보처리의 단위는 원자 크기 ($10^{-10}m$)



배 준 우
KAIST



의 기술 수준으로 수렴하게 될 것이다. 이 때 양자 물리학에 기반을 둔 정보처리의 방법의 요구는 필연적으로 등장한다. 정보처리를 개념적으로 바라볼 때, 양자정보처리는 기존 기술의 연장선이 아니라 양자 원리의 새로운 패러다임이라는 것을 기억할 필요가 있다.

1. 원자와 광자

양자 물리계인 원자와 광자는 모두 양자 물리학의 법칙을 따르고 양자 이론을 통해 기술된다. 양자 이론을 각각 원자와 광자에 적용하여 양자정보처리를 수행하려고 할 때, 원자와 광자에 대한 물리적인 성질을 각각 추가로 고려해야 한다.

먼저, 원자는 일반적으로 주변 시스템과의 상호작용에 민감하다는 특성이 있다. 이 특성은 원자들 간 상호작용을 통해 원자의 양자 상태를 조작할 수 있다는 가능성을 의미하고, 동시에 원하지 않는 상호작용들이 또한 발생한다는 것을 의미한다. 원하지 않는 상호작용이 발생할 때 양자 잡음이라고 부르며 양자 잡음은 소위 결맞음 풀림(decoherence)이라 불리는 양자-고전 전이의 원인이다. 양자 오류 정정의 목적은 양자 잡음을 제거하는 것이다^[7].

다음으로 광자는 상호작용할 확률이 매우 낮다는 낮은 성질을 지니고 있다. 따라서, 광자의 양자 상태에서 잡음이 발생할 가능성은 비교적 낮다. 이를 장점으로 활용하여 광자는 즉 큐비트를 주고 받는 양자정보처리에 해당하는 양자 통신에서 높은 활용도를 지닌다. 단점은 다중 큐비트를 서로 상호작용하여 양자 컴퓨팅과 같은 양자정보처리를 수행할 때, CNOT 게이트와 같은 다중 큐비트 게이트의 구현은 상대적으로 어렵다는 점이다.

2. 광자에 기반한 양자 통신

광자를 활용한 양자정보처리의 특징은 광자 측정에서 발생하는 낮은 효율이다. 광자의 에너지는 낮아서 광자가 측정 장치에 도착하더라도 측정 장치가 반응하지 않을 수 있다. 혹은 측정 장치 주변의 잡음으로 인해 광자가 도착하지 않아도 낮은 광자의 에너지를 감지하는 측정 장치는 측정의 결과를 보고할 수 있다.

광자를 전송할 때 광자의 손실 확률은 거리가 증가할수록 지수함수적으로 증가한다. 전송과 관련된 변수들 - 예를 들어 광섬유의 성질-를 α 라 할 때, 거리 l 간에 송신된 광자가 도착 장소에 수신될 확률은 어떤 상수 c 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다^[8],

$$p = c \times 10^{-\alpha l}.$$

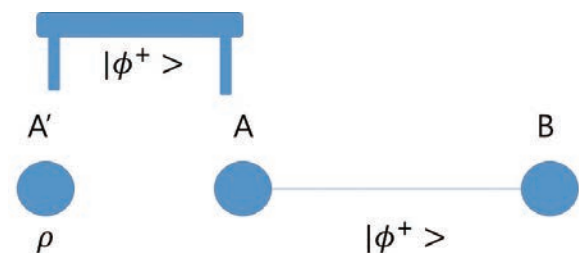
실제 환경에서 가능한 거리는 대략 수십 km 정도이다. 거리가 약 100km를 넘게 되면 도착하는 광자의 수는 급격히 줄어든다. 따라서 양자 통신은 거리의 확장에서 한계를 갖게 된다.

광자를 통한 양자 통신은 광자의 낮은 확률의 상호작용으로 인해 오류 비율이 낮을 수 있지만, 전송 거리 및 측정 효율에서 한계점을 지닌다. 전송 거리는 통신 거리의 제한을 의미하고, 낮은 측정 효율은 양자 암호의 보안성에서 결함을 야기한다.

II. 양자 통신 거리 한계의 극복

광자 큐비트를 통해 양자 통신을 수행할 때 발생하는 거리의 한계를 어떻게 극복할 수 있을까. 기존 통신 기술에서는 신호의 세기가 낮아질 때 증폭을 적용한다. 증폭은 낮아진 신호에 대해 동일한 신호를 더 많이 새롭게 생성하여 더 먼 거리까지 신호를 전송할 수 있다. 이 접근은 양자 통신에서 적용할 수 없다. 양자 상태의 증폭, 즉 양자 상태의 복제는 일반적으로 불가능하기 때문이다^[9].

양자 상태를 어떻게 멀리 전송할 수 있을까. 양자 얽힘과 이를 활용한 양자 텔레포테이션 프로토콜^[10]은 양자 통신의 거리 한계를 극복하는 방법을 제시한다.



〈그림 1〉 양자 텔레포테이션은 양자 상태에 대해 잡음 없는 채널을 구현한다. A' 위치의 양자 상태와 AB 간 최대 얽힘 상태가 공유되었을 때 A' A 간 벨 측정을 통해 A'의 양자 상태는 B의 위치로 전송된다.

1. 양자 텔레포테이션

양자 텔레포테이션을 다음과 같이 유도할 수 있다. 양자 텔레포테이션은 잡음 없는 양자 채널에 해당한다.

임의의 큐비트 양자 상태에 대해서 다음의 식이 성립하는 것을 활용한다:

$$\rho_B = 2 \operatorname{tr}_A \rho_A^T |\phi^+ \rangle_{AB} \langle \phi^+|, \quad \text{---(1)}$$

위 식에서 T 는 Transpose 이고, $|\phi^+ \rangle$ 는 다음의 최대 얽힘 상태이다

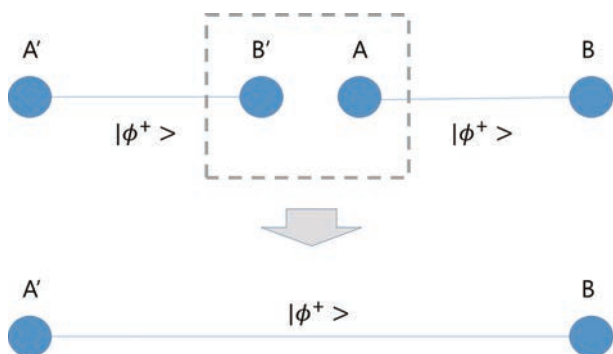
$$|\phi^+ \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00 \rangle + |11 \rangle).$$

이제 식 (1)에서 주어진 Transpose를 제거하기 위해 다시 한 번 쓰면 다음과 같다:

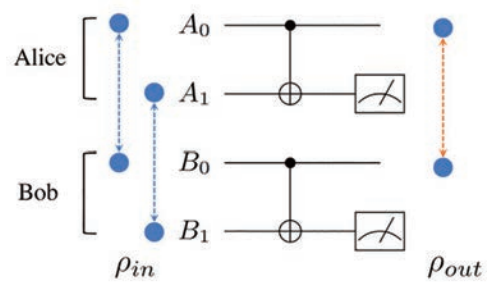
$$\rho_B = 4 \operatorname{tr}_{A'A} [\rho_{A'} \times |\phi^+ \rangle_{AB} \langle \phi^+| |\phi^+ \rangle_{AA'} \langle \phi^+|]$$

위의 식은 다음과 같이 해석될 수 있다 (<그림 1 참조>). 시스템 A' 이 ρ 의 상태에 준비되어 있고, 시스템 AB 는 최대 얽힘을 지닌 상태 $|\phi^+ \rangle$ 를 공유하고 있다. 시스템 $A'A$ 에 대해서 벨 측정을 수행할 때 측정 $|\phi^+ \rangle_{AA'} \langle \phi^+|$ 이 발생할 확률은 1/4인데, 위의 식 앞에 4가 곱해져서 확률이 1로 주어진다. A' 의 양자 상태는 이제 B 의 양자 상태로 옮겨져 있다. 이를 양자 텔레포테이션이라고 하며 전체 과정은 양자 상태에 대한 잡음 없는 채널에 해당한다.

양자 텔레포테이션의 핵심 자원은 AB 간 공유한 최대 얽힘 상태이다. 그리고, AA' 간 수행하는 벨 측정이다. 양



<그림 2> 얽힘 상태를 활용하여 텔레포테이션을 수행하면 장거리에서 얽힘을 공유할 수 있다.



<그림 3> 두 얽힘 상태 $\rho_F^{\otimes 2}$ 를 A_0B_0 및 A_1B_1 에 각각 공유하여 A_0A_1 에서 CNOT 게이트를 적용하고 B_0B_1 에서 CNOT 게이트를 적용한다. 그리고 두 번째 큐비트 A_1B_1 를 측정하여 측정 결과를 비교한다. 측정 결과가 같으면 A_0B_0 의 첫 번째 상태를 유지하고, 측정 결과가 다르면 모두 버린다. 성공할 경우, 첫 번째 A_0B_0 에서 얻은 상태의 singlet fidelity를 F' 이라고 하자.

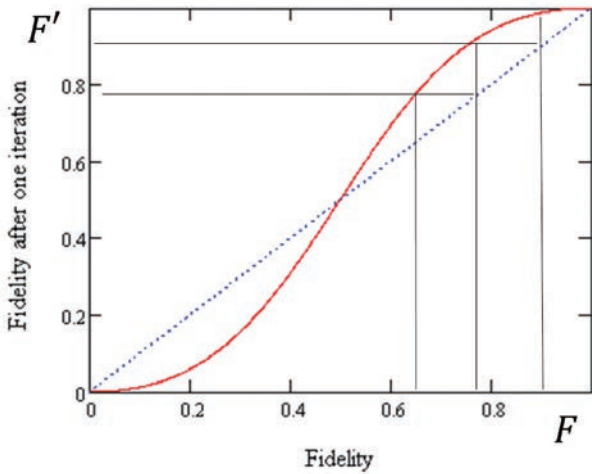
자 텔레포테이션을 <그림 2>과 같이 $A'B'$ 간 얽힘 상태를 추가하여 확장하자. $B'A$ 간 벨 측정을 수행하면 B' 의 상태는 B 의 위치로 전송되어, B' 과 동일한 상태인 A' 의 상태는 B 와 최대 얽힘 상태를 공유하게 된다. $A'B$ 간의 장거리 얽힘 공유를 통해 양자 통신을 수행할 수 있다 [11].

양자 텔레포테이션은 잡음 없는 양자 채널을 구성하는 것이 원칙적으로 가능함을 보여준다. 동시에 단거리에서 공유된 얽힘 상태를 활용하여 장거리의 얽힘으로 확장 및 공유하는 것이 가능하다는 것을 보여준다. 양자 통신에서 얽힘은 거리 한계를 극복할 수 있게 한다. 얽힘과 벨 측정의 키워드를 기억하자.

2. 얽힘 정제 (Entanglement distillation)

실제 얽힘을 공유하기 위해 두 개의 큐비트 간 얽힘을 생성하고 첫 번째 큐비트를 보관하고 다른 큐비트를 전송한다. 이 때 전송되는 큐비트는 주변 환경과 상호작용을 겪으면서 잡음을 포함하게 된다. 그리고 공유한 상태는 일반적으로 혼합 상태이다. 이 상태를 다시 최대 얽힘으로 복원하는 것은 가능하지 않다. 양자 잡음이 발생하는 채널이 비가역적이기 때문이다.

얽힘 정제는 많은 개수의 얽힘 상태에서 적은 개수의 순도 높은 얽힘 상태인 $|\phi^+ \rangle$ 를 LOCC를 통해 얻어내는 과정이다. 이 때, 얽힘을 생성하지 않는 LOCC (Local Operations and Classical Communication)를 활용하여 얽힘을 얻어낼 수 있다.



〈그림 4〉는 F' 과 F 의 관계를 보여준다. $F > 1/2$ 이면 프로토콜에 의해 singlet fidelity F 는 항상 증가하여 1의 값으로 수렴한다. 최대 얽힘 상태를 얻을 수 있다.

얽힘 정제 프로토콜의 과정은 다음과 같다^[12]. AB 간 공유한 임의의 두 개 큐비트 상태를 ρ 라고 하자. 많이 반복하여 다수의 상태를 공유할 때, 먼저 양자 Twirl 프로토콜을 적용하여, 다음의 특정 상태로 변환한다.

$$\rho_F = F|\phi^+ \rangle \langle \phi^+| + \frac{1-F}{3}(|\phi^- \rangle \langle \phi^-| + |\psi^- \rangle \langle \psi^-| + |\psi^+ \rangle \langle \psi^+|) \quad (2)$$

이와 같은 상태를 Isotropic state라고 한다. 위의 식에서 이라면 최대 얽힘 상태를 공유하게 된다. F 를 singlet fidelity 라고 부른다. AB는 위와 같은 상태 두 개 $\rho_F^{\otimes 2}$ 에 대해서, 〈그림 3〉의 얽힘 정제 프로토콜을 수행한다. 이 프로토콜은 암호 프로토콜 중 Classical Advantage Distillation의 방법을 양자 시스템에 응용하여 얻은 결과이다^[13]. 양방향 CC를 활용한다.

III. 양자 중계기

〈그림 2〉에서 B'A를 포함하여 벨 측정을 수행하는 부분을 양자 중계기라고 한다. 양자 중계기는 두 노드 A'과 B를 연계하는 역할을 수행한다. 양자 중계기의 두 가지 중요한 기능은 벨 측정과 양자 얽힘 정제 프로토콜의 구현이다. 이러한 기능들을 수행하기 위해 양자 상태를 잠시 저장할 수 있는 양자 메모리가 요구된다.

1. 벨 측정

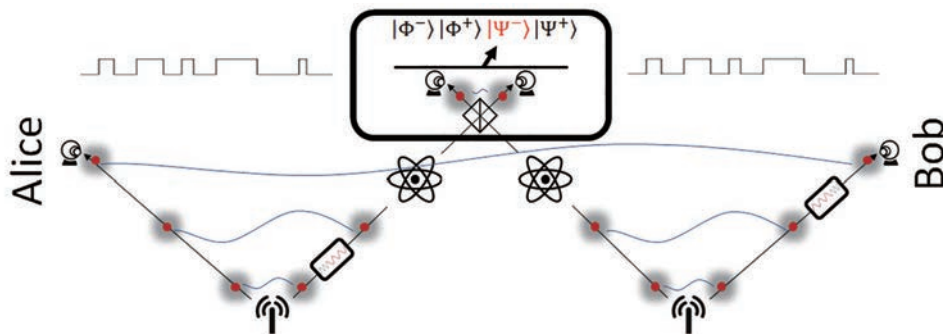
〈그림 2〉에서 B'을 B로 양자 텔레포테이션을 구현하기 위해 B'A에 벨 측정을 수행한다. 벨 측정은 벨 기저로 두 개의 큐비트를 측정하는 과정을 의미하며, 벨 기저는 다음과 같다:

$$|\phi^\pm \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00 \rangle \pm |11 \rangle)$$

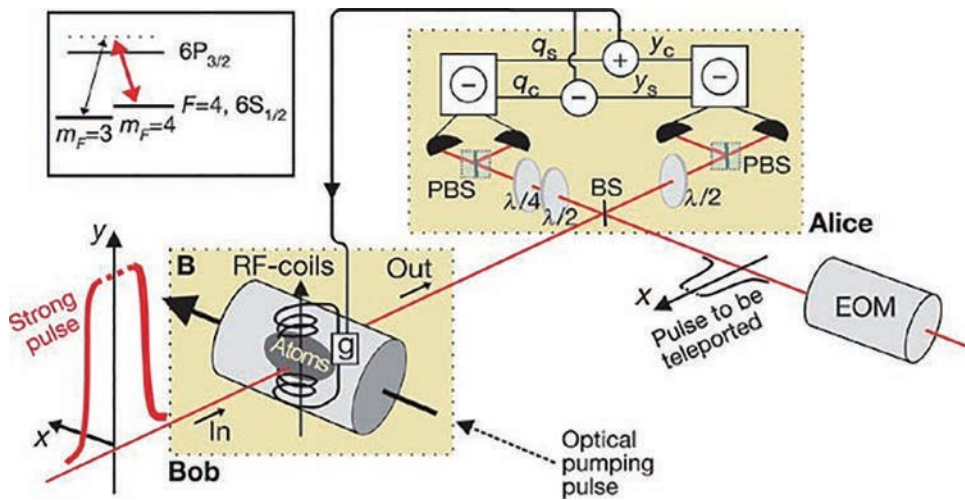
$$|\psi^\pm \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01 \rangle \pm |10 \rangle).$$

두 개 큐비트를 측정하는 방법은 개별 측정 (individual measurement)과 두 개 큐비트를 함께 측정하는 집단 측정 (collective measurement)으로 분류되는데 벨 측정은 집단 측정에 해당한다. 집단 측정은 두 개 큐비트의 상호작용 후 개별 측정을 수행하는 것과 동일하다. 실제 구현에서, 이러한 방법으로 집단 측정을 구현한다.

양자 중계기에서 벨 측정을 수행하기 위해, 두 개의 광자는 중계기에 도착하고 상호작용한다. 〈그림 6〉 참조. 여기서 두 개의 광자가 동시에 도착하면 곧 상호작용할



〈그림 5〉 양자 중계기는 얽힘 정제와 벨 측정을 수행하여 장거리에서 양자 얽힘을 공유한다.



〈그림 6〉 물질의 양자계인 원자와 빛의 양자계인 광자 상태의 양자 텔레포테이션^[15]. 이중 큐비트를 연계하는 방법에 해당한다.

수 있는데, 실제 구현에서 동시에 도착하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 두 광자 중 하나가 먼저 도착한다면 다른 광자가 도착할 때까지 잠시 보관해야 한다. 광자 상태를 왜곡없이 저장하는 과정은 양자 메모리를 통해 구현 가능하다. 양자 메모리는 양자 상태를 저장 후 읽어낼 수 있는 과정을 의미한다.

양자 메모리는 이중간 큐비트를 연계하는 방법을 활용한다. 광자의 상태를 원자의 상태에 저장했다가 다시 광자의 상태로 읽어내는 과정을 양자 메모리로 활용할 수 있다. 〈그림 6〉 참조. 광자의 상태를 다양한 원자계에 적용하는 노력들이 진행 중이다^[14].

2. 얽힘 상태 조작을 수행하는 LOCC

〈그림 3〉의 양자 얽힘 정제 과정은 공유한 큐비트들 간 LO (Local operations)를 적용하여 큐비트 간 상호작용과 측정의 과정을 요구한다. 이 때, Alice와 Bob은 각각 두 개의 큐비트에 대해 CNOT 게이트를 적용하고 두 번째 큐비트를 측정하여 그 결과에 따라 첫 번째 큐비트를 유지할지 혹은 버릴지를 결정한다. 첫 번째 큐비트를 유지하더라도, 또 다시 다른 큐비트와 상호작용 및 측정의 과정을 겪어야 하므로 큐비트의 양자 상태는 측정되지 않은 채 보관되어야 하는데, 이 때 양자 메모리가 필요하다.

양자 메모리는 양자 상태를 측정하지 않은 채로 저장하

는 것을 의미한다. 광자의 경우 한 곳에 정지하기 어렵기 때문에 양자 상태를 고정된 물리 시스템인 원자계에 양자 텔레포테이션을 통해 전송하고 원자계를 측정하지 않고 결맞음을 오랫동안 유지하며 보관할 수 있다. 광자-원자 텔레포테이션 구현을 통해 양자 메모리를 구현할 수 있다. 〈그림 6〉 참조. 또한, 저장된 원자계에 대해서 LO를 수행하여 얽힘 정제 프로토콜을 적용하고 다시 저장된 상태를 광자로 읽어낼 수도 있다. 이 때, 양자 메모리의 성능은 피델리티로서 정량화한다. 저장 전의 양자 상태를 $|\psi\rangle$ 라 하고 저장 후 읽은 상태를 ρ 라고 할 때, 피델리티는 다음과 같다: $F = \langle \psi | \rho | \psi \rangle$. 완벽한 양자 메모리는 $F = 1$ 의 값을 제공한다.

요약하면, 양자 중계기는 벨 측정을 구현하기 위해 두 개 큐비트의 중계기 도착을 동기화하는 과정과 LOCC를 통해 공유한 얽힘 상태를 조작하는 과정에서 양자 메모리의 구현을 필요로 한다.

IV. 얽힘 정제와 얽힘 상태

양자 얽힘 정제는 LOCC를 통해 순도가 낮은 얽힘을 포함한 상태를 최대 순도의 얽힘 상태로 변환하는 다음의 과정을 수행한다,

$$\rho_{AB}^{\otimes N} \rightarrow |\phi^+\rangle^{\otimes M}$$



위에서 비율 $Y = M/N$ 을 얽힘 정제 수율 혹은 얽힘 정제 효율이라고 한다.

$Y = 0$ 인 경우, 해당 상태에서 얽힘을 얻을 수 없음을 의미한다. 이러한 양자 상태를 얽힘 증류 불가능 상태 (undistillable state)라고 한다. 예를 들어, 얽힘을 포함하지 않은 양자 상태 (separable state)로부터 얽힘을 얻어낼 수 없으므로 이들은 모두 얽힘 증류 불가능하다. 즉, 다음이 성립한다:

$$\rho \text{ separable} \Rightarrow \rho \text{ undistillable}.$$

$Y > 0$ 인 경우, 얽힘 상태를 얻어낼 수 있으므로, 해당 상태 ρ 는 얽힘 증류 가능 (distillable state)라고 한다. 얽힘 증류 가능 상태는 최초로 얽힘을 포함하고 있으므로 반드시 얽힘 상태임이 분명하다. 즉, 다음이 성립한다:

$$\rho \text{ distillable} \Rightarrow \rho \text{ entangled}.$$

위의 명제에서 역은 어떠한가? 예를 들어, 두 개 큐비트 얽힘 정제 프로토콜에서 사용되었던 식 (2)의 Isotropic state의 경우 얽힘의 조건은 $F > 1/2$ 이다. 동일하게, $F \leq 1/2$ 인 경우 상태는 얽힘을 포함하고 있지 않다. <그림 4>에서 살펴볼 수 있듯이 $F > 1/2$ 인 경우 모두 얽힘의 증류가 가능하다. 따라서, 큐비트 상태의 경우 얽힘 증류 조건과 얽힘 조건이 서로 일치한다.

하지만, 일반적으로는 얽힘 증류 조건과 얽힘 조건은 일치하지 않는다. 이와 관련한 정리는 다음과 같다.

정리. Partial Transpose 후에 양의 고윳값만을 갖는 양자 상태는 얽힘 증류 불가능하다. 즉, 두 시스템에 대해서 한 시스템에 대해 Transpose를 T_A 라 할 때, 다음이 성립한다.

$$\rho^{T_A} \geq 0 \Rightarrow \rho \text{ undistillable}.$$

위의 정리를 적용해 보자. $\rho^{T_A} \geq 0$ 의 조건을 만족하는 얽힘 상태들도 존재한다. 이 경우에 해당하는 양자 상태들에 대해서는 얽힘 정제가 가능하지 않다.

위의 정리에서 명제의 역은 어떠한가. 얽힘 정제가 가능하지 않으면 반드시 다음의 조건 $\rho^{T_A} \geq 0$ 을 만족하는 상태일까. 즉, 얽힘 정제가 가능하지 않으면서, Partial transpose 후에 음의 고윳값을 갖는 상태가 있을까. 이는 양자정보이론의 오랜 난제 중 하나이다.

양자정보이론 2번 난제^[16]. 얽힘 증류가 불가능한 양자 상태 중에 Partial Transpose 후에 음의 고윳값을 갖는 상태 (NPPT, non-positive partial transpose)가 존재할까?

위의 문제는 양자정보이론에서 현재까지 미해결로 남아있다^[16].

V. 전망과 결론

양자 얽힘은 양자정보처리를 가능하게 한다. 양자정보 처리가 기존 정보처리 대비 우월성을 확보하게 하는 데에 양자 얽힘은 필수 자원이다. 양자 원리를 따르는 광자와 원자를 활용할 때, 실제 구현은 원자와 광자의 특성을 수반한다. 광자는 매우 낮은 확률로 상호작용하여 이를 장점으로 통신에 활용하기에 좋은 양자 시스템이지만, 전송에서 손실 확률이 발생하여 거리 확장에서 한계를 갖게 된다. 또한, 양자 상태는 복제 불가능하여, 기존 통신에서 거리 확장을 위해 사용했던 신호 증폭이라는 개념을 적용할 수 없다.

양자 통신의 거리 한계는 양자 얽힘을 통해 극복될 수 있다. 양자 얽힘을 공유하고 양자 텔레포테이션을 활용하여 거리를 확장하고 장거리에서 양자 통신을 수행할 수 있다. 이 때, 노드 간 양자 텔레포테이션을 구현하기 위해 양자 중계기의 개념을 정립하였다.

양자 중계기는 두 가지의 양자정보처리 프로토콜을 수행해야 한다. 첫 번째는 벨 측정이다. 이를 통해 양자 텔레포테이션을 수행할 수 있다. 두 번째는 얽힘 정제 프로토콜의 수행이다. 이를 통해, 노드 간 높은 순도를 갖는 얽힘의 공유가 가능하다.

양자 중계기의 두 가지 기능을 모두 수행하기 위해, 양자 메모리는 필수적이다. 첫 번째 기능인 중계기 내 두 개 큐비트에 대해 벨 측정을 수행하기 위해, 두 개 큐비트의 중계기 도착을 동기화해야 한다. 양자 메모리를 통해 큐비트 도착을 동기화하고 벨 측정을 수행할 수 있다. 두 번째 기능인 얽힘 정제 프로토콜의 수행에서 LOCC는 양자 메모리를 반드시 필요로 한다.

마지막으로, 얽힘 정제 프로토콜을 통해 얽힘을 얻기



위해 어떤 상태를 공유해야 하는지 살펴보자. 이 질문은 공유한 상태를 통해 얽힘 정제 및 양자 통신 거리 확장이 궁극적으로 가능한지를 살펴보는 핵심적인 내용에 해당한다. 두 개 큐비트의 경우, 얽힘 조건과 얽힘 증류 가능성은 서로 동치임이 밝혀졌다. 즉, 임의의 두 개 큐비트 얽힘 상태를 공유하면 얽힘 정제 프로토콜을 통해 최대 얽힘 상태를 얻어낼 수 있다. 하지만, 큐비트를 넘어서서 3차원 이상의 양자 상태에 대해서 얽힘 증류 가능성에 대한 일반적인 조건은 양자정보이론의 난제 중 하나로 남아 있다.

양자정보처리에는 전송 거리의 한계와 같은 실제 구현에서 부딪히는 문제들의 해결을 위해 얽힘의 성질을 활용하고 얽힘을 활용한 프로토콜 고안한다. 기존 정보통신에서 접근하지 않는 새로운 방법으로 그 방향과 답을 얻어낸다. 그리고 다시, 얽힘 조건과 얽힘 증류 조건은 동치인지, 매우 흥미로운 이론적인 질문을 정의한다. 이 질문은 갇힌 얽힘 (bound entanglement)의 새로운 개념을 소개했다^[17]. 중계기에서 얽힘을 공유할 때 갇힌 얽힘이 발생한다면 어떻게 활용될 수 있을까. 양자 중계기 연구는 벨 측정과 양자 메모리 등의 구현 기술 개발을 통해 얽힘 정제 프로토콜을 구현하고 얽힘을 활용하는 방법을 고안하여 양자 네트워크 구축 및 응용의 시작점이 될 것이다.

참고 문헌

- [1] P. W. Shor "Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring". Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. IEEE Comput. Soc. Press: 124–134 (1994).
- [2] L. K. Grover, "Quantum Mechanics helps in searching for a needle in a haystack", Phys. Rev. Lett, 79 325 (1997).
- [3] R. Renner and R. Wolf, "Quantum Advantages in Cryptography", arXiv:2206.04078
- [4] Y. Quek and P. W. Shor, "Quantum and Super-quantum enhancements to two-sender, two-receiver channels", Phys. Rev. A 95, 052329 (2017).
- [5] F. Leditzky, M. A. Alhejji, J. Levin, and G. Smith, "Playing games with multiple access channels", Nat. Commun 11, 1497 (2020).
- [6] J. Yun, A. Rai, and J. Bae, "Nonlocal network coding in interference channels, Phys. Rev. Lett, 125, 150502 (2020).
- [7] J. Kempe, "Approaches to quantum error correction", In: Duplantier, B., Raimond, J.M., Rivasseau, V. (eds) Quantum Decoherence. Progress in Mathematical Physics, vol 48. (2006).
- [8] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, and H. Zbinden, "Quantum Cryptography", Rev. Mod. Phys. 74, 145 (2002).
- [9] W. Wootters and W. Zurek, "A Single Quantum Cannot be Cloned". Nature, 299 (5886): 802–803 (1982).
- [10] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. Wootters, "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein–Podolsky–Rosen channels", Phys. Rev. Lett, 70 (13): 1895–1899 (1993).
- [11] H.-J. Briegel, W. Dür, J. I. Cirac, and P. Zoller, "Quantum Repeaters: The Role of Imperfect Local Operations in Quantum Communication", Phys. Rev. Lett, 81, 5932 (1998).
- [12] C. H. Bennett, G. Brassard, S. Popescu, B. Schumacher, J. A. Smolin, and W. K. Wootters, "Purification of Noisy Entanglement and Faithful Teleportation via Noisy Channels", Phys. Rev. Lett, 76, 722 (1996).
- [13] U. M. Maurer, "Secret key agreement by public discussion from common information", IEEE Trans. on Inf. Theory, Vol. 39, 3 (1993).
- [14] N. Kalb et. al., "Entanglement Distillation between Solid-State Quantum Network Nodes", Science, 356, 928–932 (2017).
- [15] Jacob F. Sherson, Hanna Krauter, Rasmus K. Olsson, Brian Julsgaard, Klemens Hammerer, Ignacio Cirac and Eugene S. Polzik, Quantum teleportation between light and matter, Nature volume 443, 557–560 (2006)
- [16] O. Krueger, R. F. Werner, "Some open problems in quantum information theory", arXiv:0504166
- [17] P. Horodecki, M. Horodecki, and R. Horodecki, "Bound entanglement can be activated", Phys. Rev. Lett, 82 1056–1059 (1999).



배 준 우

- 2001년 2월 한양대학교 수학과 (물리학과) 학사
- 2003년 2월 한양대학교 물리학과 석사
- 2007년 4월 ICFO-Institute of Photonic Sciences 박사
- 2007년 5월 ~ 2011년 9월 한국 고등과학원 연구원
- 2011년 10월 ~ 2014년 8월 Centre for Quantum Technologies (싱가포르) 연구원
- 2014년 9월 ~ 2015년 8월 독일 프라이부르크 고등과학원 주니어펠로우/ EU 마리퀴리 펠로우
- 2015년 3월 ~ 2018년 6월 한양대학교 응용수학과 조교수/부교수
- 2018년 7월 ~ 현재 한국과학기술원 전기및전자공학부 부교수

〈관심 분야〉
양자정보이론

QKD 네트워크 구성 및 현황



이원혁
한국과학기술정보연구원



김용환
한국과학기술정보연구원



손일권
한국과학기술정보연구원



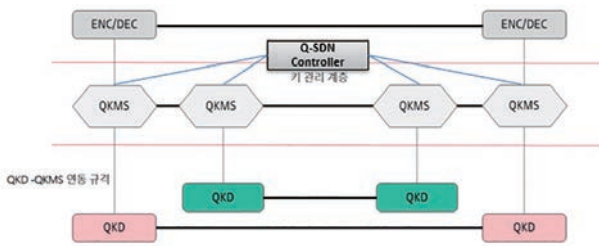
심규석
한국과학기술정보연구원

I. 서론

최근 4차 산업혁명, 빅데이터 환경 등의 데이터 중심 연구환경이 강화되고 있으며, 100Gbps에 달하는 네트워크 전송용량은 물론, 5G를 통한 고성능의 유무선 네트워크가 구축, 확대되고 있다. 기존 컴퓨팅 파워의 증대와 연구데이터의 증가, 그리고 이를 연결하는 빠른 유무선 네트워크는 중요 연구환경에 대한 해킹 이슈를 제공하고 있다. 특히 양자 컴퓨터 등의 새로운 기술 출현으로 인하여, 보안 취약성을 더 높아져 가고, 국가별 양자컴퓨터 및 양자암호기술에 투자하는 비율은 점차 높아지고 있는 상황이다.

현재 상황에서는 양자키분배(QKD) 기술을 이용하여 안전한 양자암호통신망을 구축 서비스하기 위한 노력이 추진되고 있다. 특별히 양자키분배(QKD) 기술은 비교적 오랜 기간 연구되어, 상용화 수준의 기술 성숙도를 보이는 양자정보 분야 응용기술 중 하나이다. ETSI나 ITU-T 등의 표준화 문서에서도 양자키 전달을 위한 표준 제안을 진행하고 있으며, 이를 이용하여 구현하는 상용 장비도 존재한다. 물론, 양자 전송(quantum teleportation)에 기반한 양자 중계기로 신뢰노드 없이 얽힘 상태가 분배되는 거리를 연장하는 것이 필요하나, 양자 메모리 기술 등 요소기술이 양자 중계기가 활용 가능할 정도로 충분히 성숙하지 않은 상황이다. 이에 현실적으로 신뢰노드를 고려한 양자통신 연구가 다양한 방향으로 수행되고 있으며, 신뢰할 수 있는 중계기(trusted repeater)를 활용한 네트워크 상에 양자키분배 기능을 구현하는 기술 개발도 지속되고 있다.

양자키분배 프로토콜은 송수신자 사이의 통신을 보호하기 위한 대칭키를 기존의 공개키 방식을 사용하지 않고 안전하게 분배할 수 있는 기법이다. 암호키 분배를 위해 고전 신호 대신 양자 상태를 전송/측정하



〈그림 1〉 양자암호통신 계층구조 (TTA기준)

는 방식으로 수행되는 양자키분배 프로토콜은 그 안전성이 양자역학적 원리에 기반하여 정보이론적으로 보장되는 특성을 갖고 있다. 이는 암호키 분배의 안전성이 기존의 고전적 방식과 달리 계산복잡도에 의존하지 않음을 의미한다.

본 고에서는 이러한 양자키분배(QKD) 장비를 이용하여 안전한 통신네트워크를 구축하기 위한 표준화 동향과 이를 바탕으로 추진하고 있는 국내외 적용 추진현황 등에 대하여 소개하고자 한다.

II. QKDN의 개요

QKDN은 양자키분배(QKD) 기술을 활용하여 네트워크를 구성하여 안전한 통신망을 구현하기 위한 것으로서, 신뢰하는 두 지점 사이에 양자기술을 이용하여 안전하게 비밀키를 분배하고, 이 비밀키를 활용하여 데이터를 암호화하여 교환하는 네트워크라고 할 수 있다. TCP/IP 스택에서 물리적 계층부터 통신계층까지, OTNSec, MACSec, IPSec, TLS 등의 다양한 계층의 암호통신 프로토콜에 대하여 QKD로부터 분배된 키를 활용하고 있다.

TTA에서 정의된 구조에 따르면, 〈그림 1〉과 같이 QKD 계층과 양자키관리 계층, 그리고 서비스 계층으로 이루어지며, 국내외 표준화 기구에서 정의된 사항을 준수하여 구현함으로써, QKDN의 안전한 구현 및 활용이 가능하다.

III. QKDN 기술 동향

1. 국내 기술 동향

① 표준화 기술 동향

국내 양자암호통신 표준화는 한국정보통신기술협회(TTA)에서 주도하고 있으며, ETSI ISG-QKD, ITU-T SG13 양자키 분배 네트워크 준용표준을 도입하고 네트워크 구조/인터페이스, 보안인증 규격을 고유표준으로 별도 제정 중에 있다¹⁾.

국내 표준의 주요 방향은 효율적인 양자키 제공 및 전달, QKD 장치로의 직접 제어 방지 및 보안 방안, 개방화된 인터페이스, 멀티 벤더 상호운용성(Multi-vendor interoperability), 장애 검출 및 회복, QoS 및 과금 정책 제어 관리, P2P & MP2MP 등 다양한 토폴로지 및 장거리 네트워크 고려 등이다.

② 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN)

SKT, KT, KISTI는 양자암호 네트워크를 중앙에서 통합·제어할 수 있는 소프트웨어 정의 기반 자동화 솔루션(Q-SDN: Quantum-Software Defined Network)을 개발했다. Q-SDN을 통하여 양자키가 부족한 구간에서 양자키 경로를 실시간 재설정하거나 해킹이 발생했을 때 빠르게 원인을 파악해 키 삭제 혹은 해킹 구간 우회 제어 등 보안 조치를 할 수 있다. 또한 KT와 SKT는 세계에서 처음 국가 통합 연구시험망인 코렌(KOREN) 망에서 서로 다른 통신장비사간 Q-SDN 연동 실증을 추진하였다.

③ 멀티 벤더 상호운용성(Multi-vendor interoperability)

SKT와 KT는 이중 QKD간의 원활한 서비스 연동과 제어를 위해서 Q-SDN 및 오케스트레이션 인터페이스 규격과 구현을 통해서 양자키 기반의 인터넷 서비스가 가능하도록 기술 개발을 추진하였다. IDQ와 도시바가 제안한 이기종 QKD간 양자키 관리 시스템(QKMS)를 이용한 연동방안이 ETSI GS QKD 020(Draft)으로 표준화가 진행되고 있으며, 디지털 뉴딜사업에서 IDQ와 KT간에 연동을 성공적으로 수행한 바 있다.

④ 양자키 서비스(Quantum Key Service)

SKT는 2016년 2월 Wifi Backhaul에 상용 양자암호통신망을 적용하고 성수국사~분당국사 구간에 외부 온도 환경과 진동에 대한 안정화 검증을 추진한 바 있다.

KT는 양자가 전달되는 채널을 이중화된 구조로 만들어 장애가 발생하거나 해킹 시도가 인지되는 즉시 기존 회선 대신 백업 회선에서 새로운 양자키를 만들어 공급하는 서비스 중단 없는 양자암호 기술을 개발하였다. 이는 양자암호통신 네트워크 제어 및 관리(ITU-T Y.3804) 표준을 기술로 구현한 사례이다.

KT는 양자키 분배 네트워크가 제공하는 양자키를 기반으로 한 서비스 품질을 측정하기 위하여 ITU-T Y.3807 QKDN QoS parameters를 제안하였고 국제 표준으로 채택되었다. 해당 표준에서는 양자암호 서비스 관점에서의 처리율, 응답 지연, 지연 변이, 에러율, 손실율, 가용도 등을 제시하였다. 또한 서울-부산 구간 490km의 양자암호통신망을 구축하고 품질평가를 추진 중에 있다.

KISTI는 안정적인 양자암호통신망 운영을 위하여 QKMS 이중화 구조를 채택하였다. 이는 DRDB를 이용하여 예비 노드와 자동 동기화하고 장애 발생 시 자동으로 주 노드에서 예비 노드로 설정 변경을 수행한다. 또한 양자암호통신망에서 양자키 보유량이 일정 수준 이상으로 상시 유지되도록 하여 QKD 기반의 양자암호통신 서비스에서 양자키의 부족으로 인해 발생할 수 있는 장애를 방지한다.

⑤ 비용 최적화(Cost Optimization)

SK텔레콤은 IDQ와 함께 QKD 분야에서 최대 120km까지 전송할 수 있는 기술과 파장분할다중화(WDM, Wavelength Division Multiplexing) 기술을 개발해 시범 인프라에 적용할 계획이다^[3]. 기존 양자암호시스템은 양자신호를 별도의 파이버로 보내어 구축비용이 증가하였으나, 기존신호와 양자신호를 MUX하여 보낼 경우 간섭으로 구축이 불가능 하였으나, 양자신호 파장을 변경하여 간섭을 줄이고, 하나의 파이버로 전송하여 구축비용을 줄일 수 있다.

⑥ 인증(Certification)

국가정보원은 양자통신암호화장비(QENC), QKMS, QKD 세 종류에 대한 보안요구사항을 마련하고 보안적 합성 검증을 2022년도 TTA와 ETRI에서 시범 시행하고 2023년도부터 본격 시행할 예정이다.

QENC에 대해서는 공급기 요청과 수신·비밀키생성·하이브리드 키 조합 여부, QKMS에 대해서는 비밀키 수신·키 가공 및 동기화, QKD에 대해서는 국가표준과학연구원의 양자특성시험성적과 이를 기반으로 ETRI와 TTA에서 난수생성기능, 양자상태 생성 등을 검증받는 것이 요구사항으로 제시되었다.

2. 국외 기술 동향

① 국제 표준화 기술 동향

양자키 분배 네트워크와 관련하여 유럽전기통신표준협회(ETSI), 국제전기통신연합 전기통신표준화부문(ITU-T) 국제 표준화 그룹에서 QKD 네트워크 계층, 양자키 관리 계층, 서비스 계층으로 구성되는 양자암호통신망 구조 및 절차, 보안 요구사항 등에 대하여 활발하게 정의하고 있다.

② ETSI

ETSI ISG-QKD(Industry Specification Group for QKD)은 QKD를 보편적으로 수용하기 위한 표준을 만들기 위한 포럼을 제공하고 QKD 연구, 기술 개발 및 비즈니스 적용을 위한 조정, 협력 및 수렴에 대한 상당한 레버리지 효과를 촉진하기 위하여 2008년에 설립되었다. ETSI ISG-QKD에서는 QKDN의 구성요소와 프로토콜의 상호 운용성을 보장하고 공통 인터페이스 정의를 통하여 QKD를 네트워크에 통합하고 상용화를 촉진하기 위한 표준을 제정 중에 있다.

현재까지 발간된 문서의 주제는 애플리케이션 인터페이스, 보안 증명, 모듈 사양, 구성 요소의 특성화, 애플리케이션에 핵심 자료를 제공하는 표준 인터페이스, QKD 배포를 위한 장치 및 통신 채널 매개변수이며, 현재 작업 중인 문서의 주제는 QKD 시스템용 보호 프로파일, 단방향 QKD 시스템에서 트로이 목마 공격 보호, QKD 송

신기 모듈의 광 출력 특성화, 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN, Software-Defined Networking)을 위한 제어 인터페이스, 네트워크 아키텍처 검토, 새로운 네트워크 발전에 대응하는 API 등이다.

④ ITU-T

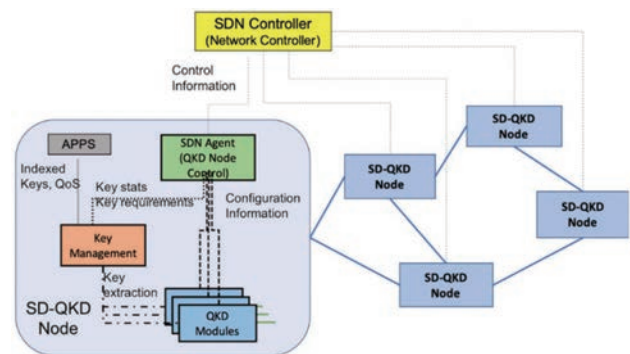
ITU-T SG13 산하 Q16과 Q6에서는 2018년도부터 양자암호 분배 네트워크 관련 기술 표준 제정 작업 중이며, 첫 번째 제정된 표준인 Y.3800(Overview on networks supporting quantum key distribution)에서 양자키 분배 네트워크의 설계, 배치, 운용 및 관리에 대한 개념 구조, 계층 모델, 그리고 기본 기능을 정의하였다. 이 후 이를 기반으로 QKDN 기능 요구사항, QKDN 기능 구조, 키 관리, 그리고 QoS를 포함하는 QKDN 제어 및 관리 등의 표준으로 세분화하여 정의하는 작업을 진행 중이다.

마찬가지로 2018년도부터 시작된 ITU-T SG17 산하 Q15, Q4에서는 양자키 분배 네트워크를 위한 보안 요구사항에 대한 표준 제정 작업 중이며, X.1710 시리즈에서 양자키 분배 네트워크 구성요소의 보안 위협, 보안 요구사항, 조치, 인증 등 전반적인 양자암호통신망 보안 프레임워크에 대하여 정의하는 작업을 진행 중이다.

② 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN)

SDN은 중앙집중형 방식의 SDN 컨트롤러에서 전체 네트워크의 유연하고 프로그래밍 가능한 구성을 통하여 효율적인 네트워크 제어 및 관리를 수행한다. 또한 SDN은 이기종 장비, 시스템, 네트워크를 연계하여 통합하는 것을 단순화할 수 있는 방안을 제공한다.

ETSI ISG-QKD에서는 양자키 분배 네트워크에 SDN 기술을 적용하여 효율적인 네트워크 제어 및 관리를 수행하기 위하여 아래 그림과 같은 네트워크 모델과 인터페이스를 정의하였다. 해당 표준에서는 다수의 QKD 모듈과 양자키 관리 시스템 그리고 SDN 에이전트를 동일한 물리적 위치에 배치하고, SDN 에이전트와 SDN 컨트롤러와의 인터페이스를 통하여 전체 양자키 분배 네트워크의 정보 수집, 성능 장애 모니터링, 경로 설정, 네트워크 구성요소 제어, 노스바운드 인터페이스 기반 애플리케이션 서비스 개발 등을 가능케 한다. 또한, ETSI



〈그림 2〉 SD-QKD 네트워크 모델 및 인터페이스 기능 정의

ISG-QKD에서 이기종 양자키 관리시스템을 연계하여 통합하기 위한 인터페이스 및 양자키 분배 네트워크와 광 전달망을 통합 제어하기 위한 인터페이스에 대한 표준화도 진행 중에 있다.

한편, SDN 기반 QKDN 모델과 라우팅 방안이나, SDN 기반의 프로그래밍 가능한 양자 스위치를 사용하여 양자 채널 설정을 지원하는 양자 네트워크 스위칭 기술 등 SDN 기반의 네트워킹 기술 연구가 진행 중에 있다. 또한 양자키 분배 기반의 암호화키 서비스 제공을 위한 QaaS(Quantum as a Service), KoD(Key on demand)에 SDN 기술이 접목되어 유연하고 효율적인 암호화키 서비스 제공 기술이 연구 중에 있다^[1].

③ 자원 할당(Resource Allocation)

양자키 분배 네트워크를 운영하기 위해서는 양자 채널, 일반 채널, 데이터 채널을 모두 고려해야 한다. 이에 따라, 다양한 네트워크 채널의 효율적인 자원 할당을 위한 파장 분할 다중화(WDM, Wavelength Division Multiplexing), 시간 분할 다중화(TDM, Time Division Multiplexing), 공간 분할 다중화(SDM, Space Division Multiplexing) 등의 다중화 기술에 관한 연구가 추진되었다^[1].

초기에는 QKD/WDM 네트워크에서 서로 다른 채널에 대해 한 쌍의 파장 할당 기술에 대한 연구가 시작되었으며^[2], 이후 양자키 분배 네트워크를 일반 네트워크에 통합하여 네트워크 자원을 활용도를 향상시키기 위하여

QKD/WDM 기술에 TDM 기술을 결합한 형태의 연구가 진행되었다^[3]. 또한 최근에는 MCF(Multi-Core Fibers) 및 SDM 기술을 활용하여 기존 SMF(Single Mode Fibers)의 용량 한계를 극복하고 주파수 슬롯의 수를 최소화하는 기술이 주목 받고 있다^[4].

한편, 양자키 분배 네트워크에서 고유 자원인 양자키는 핵심 자원이기 때문에 효율적인 양자키 할당을 위한 다양한 연구가 추진 중에 있다. 대표적으로, 양자키를 할당함에 있어 보안 요구 사항을 적시에 충족하기 위한 KoD 기술^[5]이나 가상 광 네트워크(VON, Virtualized Optical Network), 수동 광 네트워크(PON, Passive Optical Network), 멀티캐스트 서비스를 보호하기 위한 양자키 할당 방안도 고안되었다^[6,7,8].

④ 키 전달(Key Relay) 및 라우팅(Routing)

QKD는 단대단 양자키 분배 기술이기 때문에 QKD 노드 사이에 직접적인 QKD 채널이 없을 경우, 네트워크 단위의 양자키 분배를 위해서는 임의의 두 노드 간의 양자키 전달이 요구된다. 하지만 양자 특성에 의하여 보호되는 QKD 간 양자키 분배와 달리 양자키 분배 네트워크에서의 양자키 분배는 디지털 영역에서 이뤄지기 때문에 암호화적으로 안전하다고 증명된 일회성 패드(OTP, One-Time Pad) 기반의 양자키 전달이 이뤄져야 한다.

ITU-T Y.3803^[9]에서는 Y.3800 양자키 분배 네트워크 계층 구조 및 참조 모델 하에 양자키를 전달하는 방법으로 출발지부터 목적지까지 양자키를 단대단 방식으로 연속적으로 전달하는 방식, KMA(Key Management Agent) 링크를 이웃 노드와 연결하지 않고 목적지 KMA와 연결하는 방식, 양자키 릴레이를 위한 KMA를 중앙 노드에 두는 방식 등을 제안하였다.

한편, 네트워크 단위의 양자키 분배를 위한 양자키 관리 시스템이 별도로 존재하지 않는 경우 신뢰할 수 있는 양자암호통신 중계기(Trusted Repeater) 기반 양자키 분배 네트워크 구성 및 양자키 전달을 위한 라우팅 프로토콜이 요구된다. 이와 관련하여 기 구축된 미국, 유럽, 일본, 중국 등의 양자키 분배 네트워크에서는 최단 경로 우선 프로토콜(OSPF, Open Shortest Path First)을 기반

으로 양자키 분배 네트워크의 요구사항 및 특성을 반영하여 적용한 바 있다^[10].

⑤ 서비스 연속성(Service Continuity)

일반적으로 단대단 QKD 시스템에서 달성 가능한 양자키 생성 속도는 QKD 프로토콜 및 거리에 따라 상이하겠지만 매우 낮기 때문에 충분한 양자키 암호화 서비스를 제공하기에 한계가 있다. 이에 따라, 희소한 양자키 자원을 효율적으로 활용하여 양자키 암호화 서비스의 연속성을 보장하기 위한 키 풀링(Key Pooling) 기술이 연구되었다.

양자키 암호화 서비스의 연속성을 보장하기 위한 양자키 풀(QKP, Quantum Key Pool)은 각 QKD 도메인을 담당하는 QKMS에 관리되며, 불법적인 수단으로 접근 불가능하도록 물리적인 보안 경계 하에 보호되어야 한다. 또한 상응하는 타 도메인의 QKP와 동기화가 유지되어야 한다. 그리고 QKP에 저장되는 양자키의 생성, 저장, 중계, 공급, 파괴 등 생애주기가 엄밀하게 관리되어야 한다. 이에 따라, QKP 관리 및 모니터링을 위한 다양한 키 풀링 기술이 제안된 바 있다^[11].

양자키 암호화 서비스 연속성을 보장하기 위한 또 다른 주요 이슈는 양자암호통신망 보호(Protection)와 복구(Restoration)이다. 양자암호통신망을 구성하는 노드 및 채널 등의 물리적인 인프라에 장애가 발생하더라도 양자키 분배 네트워크가 중단 없이 정상적으로 운영되어야 하며 제공 중인 서비스에 영향을 주어서는 안 된다. 이와 관련하여 양자키 분배 네트워크를 다중 경로로 구성하고 임의의 두 노드 간의 일반 경로 외에 보호 경로와 복구 경로를 선 지정 하고 필요에 따라 선택하는 체계가 고안되었다. 또한 양자암호통신망 장애에 대응하기 위하여 양자키 분배 네트워크의 채널 오류 원인 및 외부 공격에 따른 변화 등을 사전 분석하여 활용하는 기술에 대한 연구도 수행 중에 있다.

⑥ 비용 최적화(Cost Optimization)

양자암호통신망을 구축하고 운영함에 있어 주요 진입장벽 중 하나는 많은 비용이 소요되는 QKD 장비와 이들



을 연결하는 다크 파이버다. 특히 QKD 백본 네트워크 구축은 규모가 크고 고려해야 할 사항이 다양하기 때문에 비용 최적화가 더욱 요구된다.

QKD 백본 네트워크가 신뢰할 수 있는 양자암호통신 중계기 기반으로 구축되는 모델의 경우 중계기를 어떻게 배치하는지에 따라 QKD 성능과 비용이 상이해진다. 이에 따라, 최소의 비용으로 양자암호통신망 사용자의 성능 요구사항을 충족하기 위한 중계기 노드 및 채널 배치 최적화 기술에 대한 연구가 추진되었다. 또한 최근에는 신뢰할 수 있는 양자암호통신 중계기와 비신뢰 노드가 함께 포함된 양자암호통신망 환경을 상정하여 양자키 분배 네트워크의 최적화 배치 기술에 관한 연구가 이뤄지기도 했다. 한편, 채널 다중화 기술 기반의 양자암호통신망 환경을 상정하고 QKD 노드 트랜시버, 네트워킹 장비, 다중화 채널 비용 등을 대상으로 양자키 분배 네트워크 배치 최적화 기술 연구 또한 추진된 바 있다^[11].

IV. QKDN 구축 사례

1. 국내 구축 사례

① 양자암호통신 인프라 시범구축 사업 사례

양자암호통신 인프라 시범구축 사업은 양자암호통신과 양자난수발생기, 양자 내성 암호 등 양자 관련 기술을 민간·공공 영역에서 실증하고 시장 활성화를 위한 응용서비스 발굴을 위해 작년 2020년부터 2021년까지 총 290억 원을 투자하였다.

2020년에는 군·관 협력용 비화통신서비스(해군3함대, 전남도청), 실손 보험처리를 위한 환자의료정보 전달 서비스(연세의료원 등) 등 16개 분야에서 적용하여 실증 사례를 확보하고 기존 서비스와 연계한 응용서비스를 발굴했다.

2021년에는 공공기관 행정·시설보안(대전시청, 대전상수도본부, 정수사업소), 의료기관 간 원격협진(순천향대병원 서울·부천) 등 15개의 수요기관에 19개의 서비스를 개발 및 실험하였다.

〈표 1〉 2020년 양자암호통신 인프라 시범구축 사업 세부 항목

분야	수행기관	수요기관	응용서비스
공공 분야 (4개구간)	KT	전남도청 (해군3함대사령부)	비화통신
		강원도청 (춘천시청)	폐쇄회로텔레비전(CCTV) 데이터 저장
	SKB	광주광역시청 (CCTV센터, 교통정보센터)	폐쇄회로텔레비전(CCTV) 비밀번호(패스워드) 관리
			차량 정보 관리
의료 분야 (6개구간)	SKB	세브란스병원 (신촌·강남·용인)	블록체인 실손보험청구
			의료 빅데이터 전송
			사고예방 알림 시스템
	KT	성모병원 (서울·은평)	인공지능음성인식 진료기록 기록 시스템
	LGU+	을지대병원 (노원·대전)	의료 데이터 전송
산업 분야 (6개구간)	SKB	한화시스템 (본사·데이터센터)	스마트 오피스 시스템
		우리은행 (콜센터·전산센터)	비대면 생체정보(안면인식) 측정
		CJ ICD 센터	가상사설망(VPN) 서비스
	KT	현대중공업	산업기밀 데이터 전송
			증강현실(AR) 원격시설 점검
	LGU+	LG이노텍 (평택·부산)	산업기밀 데이터 관리

㉠ 공공

공공분야에서는 전남도청과 해군3함대 사령부간 관·군협력(을지훈련 등)업무를 위한 QKD 키를 통한 암호화가 적용된 스마트폰으로 비화통신을 구현하였다.

㉡ 의료

의료분야에서는 보험청구업 '메디패스'로 실손보험 청구시 신촌세브란스 강남·용인 거점병원에 블록체인 기반으로 안전한 진료정보 전송과 무결성을 갖춘 발급 여부 확인을 가능하게 하였다.



〈표 2〉 2021년 양자암호통신 인프라 시범구축 사업 세부 항목

분야	수행 기관	수요기관	응용서비스	
공공 분야 (7개구간)	SKB	대전상수도사업본부 (송촌사업소, 대전광역시)	인공지능 실시간 얼굴인식 통제 범용직렬버스(USB) 보안토큰	
		광주보건환경연구원 (북구보건소)	양자(Quantum)-스마트폰	
		한국수력원자력 발전소(새울-고리)	-	
	KT	강원도청 (2군단사령부)	양자(Quantum)-액화수소드론	
		제주도청 (교통안전체험관)	양자(Quantum)-자율주행차	
	LGU+	충남도청 (공무원교육원)	데이터베이스(DB) 암호화 및 IC카드	
민간 분야 (10개구간)	SKB	대구계명대병원 (성서-중구)	자율주행 로봇(지정맥인증) 사물인터넷(IoT) 스마트 빌딩 관리 시스템	
		ADT 캡스 (보라매, 장안, 삼성)	무인센서 보안시스템 보안 출입ID카드 USB 보안토큰	
			고려대병원 (안암-K-Bio)	클라우드 병원시스템
			평화홀딩스	수소차 설계도 PDF 암호화
		KT	순천향대병원 (서울-부천)	양자(Quantum)-원격의료협진
	현대로보틱스		양자(Quantum)-사물인터넷(IoT) 로봇관제	
	블록체인컴퍼니		양자(Quantum)-비트코인거래	
	LGU+	빅히트엔터테인먼트	유심(USIM)	
		GS EPS	안면인식 출입보안	

㉠ 산업

산업 분야에서는 Q-VPN, 증강현실(AR) 원격시설 점검, IDC 보안 통신, 자율 주행에 양자암호통신이 적용되었다.

산업기밀정보를 특수선 통신실과 해양플랜트·플랜트 본관 데이터 서버 사이의 산업기밀정보 전송을 양자암호통신으로 수행하는 Q-VPN이 구현되었다. 그리고 KT는 울산에서 AR 기술로 현대중공업 특수선 통신실의 시설물

을 원격 제어·점검·관리하는 AR원격시설 점검 사례도 나왔다. 또한 가입자정보·서비스트래픽 등 민감한 기업 데이터를 CJ 송도IDC에서 SK브로드밴드 분당IDC로 전송하면서 보안통신을 적용해 정보를 보호하기도 했다.

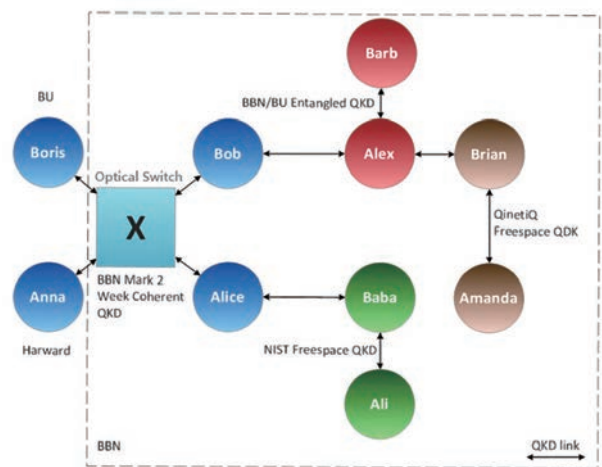
한편, KT와 제주도청은 양자암호 기반의 C-ITS (Cooperative- Intelligent Transport Systems) 시범서비스를 제안하며 자율주행차량을 대상으로 양자암호통신 시범망을 구축하였다. 제주도는 테스트 중인 레벨 4단계 특수 차량을 투입하여 긴급차량 우선 신호 서비스와 위치 기반 정보제공 서비스, 돌발 상황 발생 시 센터에서 긴급 주정차 가능 구역을 알리는 주행 관련 전송정보 등을 양자암호를 기반으로 암호화하여 통신한다.

2. 국외 구축 사례

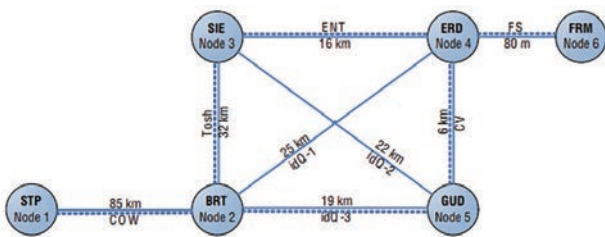
① DARPA 양자키 분배 네트워크

DARPA 양자키 분배 네트워크는 세계 최초의 양자키 분배 네트워크로 2012년 12월 BBN 테크놀로지스와 하버드, 보스턴 대학교 연구진에 의해 공개하였다. DARPA는 하버드 대학교와 보스턴 대학교 사이의 광 스위치를 통하여 구성되었으며 최대 거리 29km, 최대 양자키 생성 속도는 400bps이다.

DARPA는 아래 그림과 같이 QKD 시스템 간의 거리 한계를 극복하기 위하여 신뢰할 수 있는 양자암호통신 중



〈그림 3〉 DARPA 양자키 분배 네트워크 구성도



〈그림 4〉 SECOQC 양자키 분배 네트워크 구성도

계기와 스위칭 방식 모두 활용하여 양자키 분배 네트워크를 구축하였으며 키 리피터 프로토콜을 자체 개발하여 사용하였

또한 양자키 분배 네트워크에서의 양자키 전달을 위하여 OSPF 프로토콜을 수정하여 활용하였다. 핵심 아이디어는 각 노드별 인접 노드와 특성 수의 비트를 교환하여 교환 비율과 교환된 총 비트 수를 측정하고 이를 OSPF 프로토콜 가중치에 반영하는 것이다.

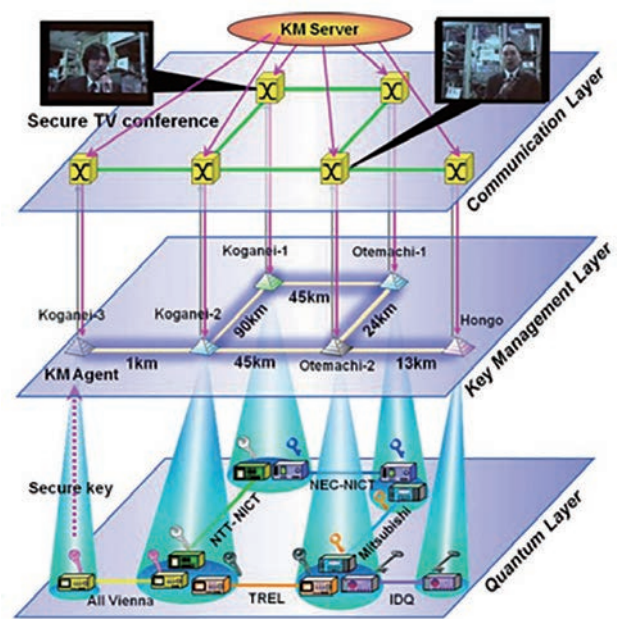
② SECOQC 양자키 분배 네트워크

DARPA 양자키 분배 네트워크는 2004년에 유럽 위원회 (European Commission)의 FP6 프로젝트로 11개 유럽 연합 국가, 러시아, 스위스의 41개 연구 및 산업 파트너들이 참여했다. SECOQC 프로젝트의 주요 목표는 QKD 네트워크 프로토콜의 보안, 설계 및 아키텍처, 통신 프로토콜, 구현, 데모 및 테스트 운영을 포함하여 QKD 네트워크 문제를 체계적으로 정리하는 것이었다.

SECOQC는 신뢰할 수 있는 양자암호통신 중계기 기반 양자키 분배 네트워크를 구축하였으며, QKD 네트워크 통신에 대하여 저장 및 전달의 hop-by-hop 메시지 전송 방식을 채택하였다. 또한 양자키 분배 네트워크에서의 양자키 전달을 위하여 OSPFv2 프로토콜을 수정하여 활용하였다. SECOQC의 라우팅 프로토콜과 기존 OSPFv2와의 주요한 차이는 단일 최단 경로에 중점을 둔 OSPFv2와 달리 네트워크의 부하 분산과 보호 및 복구 등의 요구사항을 충족하기 위하여 다중 경로를 고려한 점이다.

③ Tokyo UQCC 양자키 분배 네트워크

Tokyo UQCC 양자키 분배 네트워크는 2010년에 일



〈그림 5〉 Tokyo UQCC 양자키 분배 네트워크 구성도

본과 유럽 연합의 9개 기관이 참여한 NICT가 추진하는 Japan giga Bit Network 2 Plus 프로젝트 일환으로 추진된 테스트베드 네트워크이다.

Tokyo UQCC는 SECOQC와 유사한 3-layer 구조를 사용하여 점대점 통신 백본망 형태로 구성하였다. 그러나 기존 양자키 분배 네트워크는 달리 중앙 집중식 관리를 위하여 양자키 관리 서버(KMS)를 처음으로 사용하였으며 KMS를 활용하여 양자키를 저장하고 망 운영 관리 데이터를 수집하였다.

④ 중국 위성-광섬유 통합 광대역 양자키 분배 네트워크

중국에서는 광섬유 기반 베이징~상하이 간 백본 양자키 분배 네트워크, 허페이/지난/베이징/상하이 도시 내의 Metropolitan 규모 양자키 분배 네트워크에 위성 네트워크를 통합한 총 4600km 규모의 양자키 네트워크를 구축하여 QKD 전달 실험에 성공하였다.

중국 위성-광섬유 통합 광대역 양자키 분배 네트워크는 5개 계층(Application, Classical Logical, Classical Physical, Quantum Logical, Quantum Physical)으로 네트워크를 구성하였으며, 광섬유 구간의 양자키 분배 네트워크의 라우팅을 위하여 중앙 제어 서버를 두고 각 네



〈그림 6〉 Madrid 양자키 분배 네트워크 구성도

트위크 노드에 대한 라우팅 테이블을 관리하였으며, 클라이언트 서버 구조를 활용하여 채널 효율성을 높이고 사용자 요구(On-demand)에 따른 양자키를 제공하였다.

⑤ Madrid 양자키 분배 네트워크

스페인 Madrid 양자키 분배 네트워크는 최초로 구축된 SDN 기반 양자키 분배 네트워크이다. 해당 네트워크는 SDN 기술을 사용하여 양자 및 클래식 채널 간에 물리적 및 논리적 인프라를 공유하는 양자-고전 네트워크를 생성하고 시연함으로써 현재 네트워크 사업자 인프라에서 QKD 시스템의 통합 가능성을 보여주었다. Madrid 양자키 분배 네트워크는 ETSI 표준에 따른 3 계층(QKD 계층, 양자키 관리 계층, 서비스 계층) 구조에 따라 구성되었으며 네트워크에서 사용되는 SDN 지원 QKD 노드의 추상화 모델은 ETSI GS QKD 015를 사용하였다.

V. QKDN 적용 분야

1. 금융 산업

금융 산업은 자본주의 사회에서 매우 중요한 거래 및 개인 정보를 취급한다. 이에 따라, 다양한 양자키 분배 네트워크에서 금융 산업을 주요 적용 분야로 보고 있다. 중국에서는 기 구축된 양자키 분배 네트워크를 기반으로 많은 중국 은행이 QKD 보안 데이터 전송과 기업 사용자를 위한 온라인 बैं킹 및 거래를 구현하였다. 또한 2018년에 시작된 스타트업 퀀텀 엑스체인지(Quantum Xchange)는 미국 최초의 상용 양자 통신망 파이오(Phio)를 발표하였으며, Phio는 월스트리트의 금융 시장과 뉴저지의 데이터 센터를 연결하는 링크를 포함하여 워싱턴 DC 및 뉴

욕스에서 운영하는 양자키 분배 네트워크이다. 스위스의 금융 기관도 재난 복구 목적의 네트워크 보안을 위해 상용 QKD 시스템을 사용하였으며, 스위스의 중요한 금융 거래를 보호하기 위해 IPsec 내에서 QKD를 사용하는 시나리오를 공개하기도 하였다.

2. 정부 및 국방

정부와 국방 기관의 기밀 데이터는 장기간 보호되어야 하는 등 엄밀한 보안 요구사항을 지닌다. 양자키 분배 네트워크는 이러한 정부 및 국방 기관의 보안 요구사항을 보장하고 데이터 주권을 확립하기 위하여 적용될 수 있다. 스위스 정부는 2007년 총선 개표 전용선 확보를 위해 양자키 분배 네트워크를 적용하였으며, 호주 수도 캔버라에서는 정부 기관 간 통신 보안을 확보하기 위하여 양자키 분배 네트워크를 구현 중에 있다. 또한 Quantum Xchange는 미국 기관 간의 국가 보안 통신을 암호화하기 위한 양자키 분배 네트워크를 제안하기도 하였다.

3. 클라우드 및 데이터 센터

점점 더 많은 조직에서 클라우드와 데이터 센터를 사용하여 데이터를 백업, 저장 및 복구에 따라 데이터 개인 정보 보호 및 보안을 보장하는 것이 중요해지고 있다. 기존 보안 솔루션이 양자 컴퓨팅이 제기하는 위협에 취약해짐을 감안할 때 양자키 분배 네트워크는 클라우드 데이터 보호 및 데이터 센터 상호 연결의 보안을 강화하는데 적용될 수 있다. 네덜란드에서는 헤이그와 로테르담에 있는 KPN 데이터 센터 간의 중단 간 양자키 분배 네트워크를 구축하고 데이터 전송을 보호함을 입증한 바 있으며, 중국의 Beijing-Shanghai QKD 네트워크가 베이징과 상하이 간의 데이터 센터 백업을 보호하는 데 사용되기도 하였다. 또한 기업 클라우드 보안 애플리케이션 분야에서도 Acronis 및 Alibaba와 같은 여러 회사도 퀀텀 세이프 암호화 기술을 클라우드 데이터 보호에 적용하고 있다^[1].

4. 국가 기반 시설

에너지, 운송 및 통신과 같은 국가 기반 시설은 사회를 뒷받침하는 필수 서비스를 지원하며, 해당 인프라에 가

해지는 위협은 국가 및 기업 서비스에 지장을 주고 큰 경제적 피해를 초래할 수 있다. 양자키 분배 네트워크는 이러한 국가 기반 시설 인프라의 데이터 보호 및 기밀성을 제공하기 위하여 활용될 수 있다. 가령, 중국의 State Grid Corp, Oak Ridge, Los Alamos National Labs 등의 기관에서는 에너지 그리드 보호를 위한 양자키 분배 네트워크 적용에 대하여 연구 중에 있으며^[1], Quantum Xchange는 미국의 중요 기반 시설을 보호하고 침입 탐지하기 위한 양자키 분배 네트워크를 제안하기도 하였다. 한편, 전 세계의 일부 통신 사업자 및 서비스 제공업체(예: Telefónica, China Telecom, British Telecom 등)는 통신 네트워크를 통한 데이터 전송을 보호하기 위해 양자키 분배 네트워크를 기존 광섬유 인프라와 통합하는 연구를 수행 중에 있다.

5. 의료

의료 기관은 환자 개인 정보 및 의료 기록과 같은 민감 정보를 다루기 때문에 매우 안정적인 네트워크가 필요하기 때문에 양자키 분배 네트워크가 적절한 대안이 될 수 있다. 가령, Toshiba와 ToMMo는 양자키 분배 네트워크를 통하여 확보한 게놈 염기서열 데이터의 실시간 전송을 성공적으로 입증함으로써 QKD가 유전체 의학 분야에서 실제 적용될 수 있음을 보였으며, 평생 보호되어야 하는 개인 의료 정보를 위하여 데이터 저장 수명이 탁월한 QKD 기반 저장 시스템이 제시되기도 하였다.

VI. 전망과 결론

고속화되고 대용량되어가는 컴퓨팅자원과 네트워크의 환경에 맞추어, 중요 연구환경에 대한 해킹이 다양하게 발전하고 있고, 특히나 양자컴퓨터를 이용한 새로운 연산 알고리즘이 기존 암호체계에 대한 보안 취약성을 높이고 있는 시점에서, 양자암호통신 등의 새로운 기술에 대한 연구와 투자가 가속화되고 있다. 양자키분배(QKD) 기술을 활용하여 안전한 네트워크 구현을 위한 QKDN의 기술 개발과 적용이 확대되고 있고, 국내외 표준화 기구를 중심으로 구현에 대한 중요 항목에 대한 정의가 이루어

지고 있다. 정부 주도로 디지털뉴딜 사업의 일환으로, 통신사업자를 중심으로 한 다양한 양자암호통신망의 구축이 수행되고 있으며, 국가정보원은 양자통신암호화장비(QENC), QKMS, QKD 세 종류에 대한 보안요구사항을 마련하고 보안적합성 검증 가이드라인 수립과 함께 적용 방안을 모색 중이다.

고도의 안전성을 요구하는 분야부터 점차 적용 가능성이 보이며, 금융산업분야, 정부 및 국방분야, 클라우드 및 데이터 센터 및 국가 기반시설등에 우선시되어 적용이 고려되고 있다. 특히 의료정보나 바이오, 유전체 등의 민감성 정보를 안전하게 보존하고 활용되게 하기 위한 방안도 고려 중이다.

정부의 연구 및 적용에 대한 투자는 물론, 통신사업자와 민간 기업에서도 관련 기술을 구현하기 위한 안전성 확보 및 과감한 투자와 적용을 통한 새로운 보안 패러다임이 지속적으로 추진 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Cao, Y., Zhao, Y., Wang, Q., Zhang, J., Ng, S. X., & Hanzo, L. (2022). The evolution of quantum key distribution networks: On the road to the qinternet. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(2), 839–894.
- [2] Cao, Y., Zhao, Y., Wang, J., Yu, X., Ma, Z., & Zhang, J. (2019). KaaS: Key as a service over quantum key distribution integrated optical networks. *IEEE Communications Magazine*, 57(5), 152–159.
- [3] Zhao, Y., Cao, Y., Wang, W., Wang, H., Yu, X., Zhang, J., Mukherjee, B. (2018). Resource allocation in optical networks secured by quantum key distribution. *IEEE Communications Magazine*, 56(8), 130–137.
- [4] Moghaddam, E. E., Beyranvand, H., & Salehi, J. A. (2021). Resource allocation in space division multiplexed elastic optical networks secured with quantum key distribution. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39(9), 2688–2700.
- [5] Cao, Y., Zhao, Y., Colman-Meixner, C., Yu, X., & Zhang, J. (2017). Key on demand (KoD) for software-defined optical networks secured by quantum key distribution (QKD). *Optics*

express, 25(22), 26453–26467.

- [6] Yu, X., Wang, Y., Lu, L., Zhao, Y., Zhang, H., & Zhang, J. (2021). VON embedding in elastic optical networks(EON) integrated with quantum key distribution (QKD). *Optical Fiber Technology*, 63, 102486.
- [7] Dong, K., Zhao, Y., Yang, T., Li, Y., Nag, A., Yu, X., & Zhang, J. (2020). Tree-topology- based quantum-key- relay strategy for secure multicast services. *Journal of Optical Communications and Networking*, 12(5), 120–132.
- [8] Wang, H., Zhao, Y., Tornatore, M., Yu, X., & Zhang, J. (2021). Dynamic secret-key provisioning in quantum-secured passive optical networks (PONs). *Optics Express*, 29(2), 1578–1596.
- [9] ITU-T Y3803, Key management for Quantum Key Distribution Network, Dec. 2020.
- [10] Mehic, M., Niemiec, M., Rass, S., Ma, J., Peev, M., Aguado, A., Voznak, M. (2020). Quantum key distribution: a networking perspective. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(5), 1–41.
- [11] Cao, Y., Zhao, Y., Wang, J., Yu, X., Ma, Z., & Zhang, J. (2019). Cost-efficient quantum key distribution (QKD) over WDM networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, 11(6), 285–298.
- [12] ETSI GS QKD 015 V1.1.1, Quantum key distribution (QKD); Control interface for software defined networks, Mar. 2021.
- [13] ETSI GS QKD 018 V1.1.1, Quantum key distribution (QKD); Orchestration interface of software defined networks, Apr. 2022.



이원혁

- 2001년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사
- 2003년 2월 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2010년 8월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사
- 2003년 3월 ~ 현재 한국과학기술정보연구원 책임연구원
현재: 양자&차세대연구망팀 팀장
[ORCID: 0000-0002-1571-9638]

〈관심 분야〉

네트워크 관리 및 설계, 망 성능향상, 양자암호기반 통신망 구축관리



김용환

- 2010년 8월 한국기술교육대학교 정보미디어공학과 석사
- 2015년 8월 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2016년 2월 ~ 현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
[ORCID: 0000-0003-3323-0323]

〈관심 분야〉

양자키 분배 네트워크, 소프트웨어 정의 네트워킹, 네트워크 가상화



손일권

- 2018년 8월 고려대학교 공과대학 전기전자공학부 박사
- 2019년 11월 한국과학기술정보연구원 박사후연구원
- 2019년 11월 ~ 현재 한국과학기술정보연구원
선임연구원

〈관심 분야〉

양자암호, 양자컴퓨팅, 양자오류정정부호



심규석

- 2014년 2월 고려대학교 컴퓨터정보학과 학사
- 2016년 8월 고려대학교 컴퓨터정보학과 석사
- 2020년 2월 고려대학교 컴퓨터정보학과 박사
- 2020년 6월 고려대학교 초빙교수
- 2020년 7월 ~ 현재 한국과학기술정보연구원
박사후연구원

[ORCID: 0000-0002-3317-7000]

〈관심 분야〉

네트워크 트래픽 분류, 네트워크 관리 및 설계,
양자암호기반 통신 키관리

통신 분야

[ITS]

- 5G NR V2X에서 데이터 처리량 기준 QoS 유지를 위한 적응 수비확-DMRS 기법
김명진

반도체 분야

[광파 및 양자전자공학]

- 현장조립 가능한 광섬유 융착방식의 광커넥터 연구
박병철, 서석현

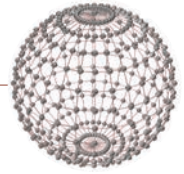
[SoC 설계]

- 메모리 감소와 저전력을 위한 BNN 가속기의 구조 최적화
차준원, 김영민

컴퓨터 분야

[멀티미디어]

- 비대응 데이터를 활용하는 순환 네트워크 구조와 도메인 적대적 손실함수를 통한 실제 환경 얼굴 초해상도 연구
최익규, 박해슬, 김익재
- TPM(Trusted Platform Module) 기반 암호 키 체인을 이용한 무결성 검증 구조
이현숙



인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

- 적대적 생성 신경망을 이용한 조직병리학 영상 초해상화
박준현, 신우명훈

[영상 이해]

- Handcrafted Cost 기반의 다중뷰 스테레오 정합 네트워크
전윤배, 정태현, 박인규

시스템 및 제어 분야

[회로 및 시스템]

- 가변 게이트 전압 회로를 적용하여 온-저항의 변화가 작은 Back-To-Back 구조 MOSFET 기반 매트릭스 스위치
이나혁, 김성중

산업전자 분야

[신호처리 및 시스템]

- 의료영상 인증을 위한 연성 워터마킹 방법
안일영, 김영천
- 키넥트 센서 데이터 기반 보행분석 Ground-Truth 데이터 모델링
장용준

[컴퓨터 응용]

- 가상화 기반 통합기관제어체계 함상 훈련 시스템 설계 및 개발
송경섭, 곽승철, 이현식, 손나영, 한영신

2021년 추계종합학술대회 우수논문

- 인공 신경망 모델을 이용한 Work Function Variation (WFV), Random Dopant Fluctuation (RDF)가 유발하는 5nm 노드 FinFET의 전기적 특성 변화 예측
김지환, 이재준, 이진웅, 임재혁, 신창환

김선혁
KIM, SEON HYEONG
한국전자통신연구원

학위논문 제목	국문 : 배터리 에너지 저장 시스템의 모니터링 및 강화학 습 기반 운영 관리법
	영문 : Battery Energy Storage System Monitoring and Energy Management Based on Reinforcement Learning
학위취득	연세대학교
취득년월	2022년 2월
지도교수	신용준(연세대학교 교수)
KEY WORD	Aging Monitoring, Aging Index, Battery Diagnostics, Battery Electric Circuit Model, Battery Energy Storage System (BESS), Deep Reinforcement Learning, Harmonic Analysis, Long Short-Term Memory (LSTM), Scheduling , Signal Decomposition

〈논문 요약〉

스마트 그리드는 전력 정보를 기반으로 안정적인 전력 시스템 운영과 효율적인 에너지 활용을 가능하게 한다. 배터리 에너지 저장 시스템 (BESS: Battery Energy Storage System)은 스마트 그리드의 유연성과 안정성 향상에 큰 역할을 하는 자원이다. BESS는 전력 자원 및 스마트 그리드에 더 유연한 제어 기능을 제공한다. 구체적으로 BESS는 발전 출력 안정화, 그리드 정제 안정화, 수요관리, 정전 후 블랙 스타트 등 충전/방전을 통한 다양한 서비스가 가능한 중요 시스템이다. 전원 시스템의 최적 작동만큼이나 BESS의 유지관리도 중요하다. BESS는 인버터와 전지의 조합으로 구성된 복합시스템으로 자체 에너지를 보유하고 있어 화재 등 안전 위험으로 인한 특별한 노화/고장 관리가 필요하다. 따라서 상태 추정, 상태 모니터링, 진단, 최적의 성능 관리 등의 BESS 기법이 필요하다.

본 논문은 신호처리 기반 고조파분석을 통한 배터리 진단법과 기계학습을 활용한 수요예측 방법을 제시하고, 이를 바탕으로 한 강화학습 기반 에너지 관리 방법을 제시한다. 첫째, 충전/방전 동안 리튬이온 배터리(Li-ion battery)를 모니터링하기 위한 실시간 진단 방법으로 배터리 내 리튬 이온의 양방향성 및 열화에 따른 노화 요인을 고려한 진단 신호를 인가한 뒤 왜곡도 분석 방법을 응용하여 새로운 노화 지표로 제시한다. 둘째, 전력 시스템의 에너지 관리를 최적화하기 위한 단계별 신호 분해 방법이 포함된 딥러닝을 적용하여 정확도 높은 부하 예측 알고리즘을 제안한다. 이 방법론에서는 딥러닝에서 데이터처리 문제를 제거하는 3단계 정규화 프로세스가 포함된다. 마지막으로, BESS 열화 모델, 부하 예측 불확실성 등 스마트 그리드의 복잡한 환경에서 최적화된 운영 스케줄을 학습하기 위한 심층 보강 학습을 기반으로 한 BESS 스케줄링을 제안하여 스마트 그리드 내에서 효율적이고 안정적인 운영 방법을 제안한다. 제안된 상태 모니터링 및 에너지 관리 최적화 기법은 스마트 그리드의 운영 안정성을 높이고 유지관리 비용을 절감할 것으로 기대된다. 본 논문은 실제 스마트 그리드 운영 데이터를 활용하고, 배터리 테스트 시스템 실증과 구현을 통해 기존 방법들과 성능을 비교 검증한다

국 내 외 학 술 행 사 안 내

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

>>2022년 10월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 01. - 10. 03.	2022 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)	Event Format: Virtual	https://icacsis.cs.ui.ac.id/front/
10. 01. - 10. 03.	2022 7th International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)	Event Format: Virtual	https://iwbis.cs.ui.ac.id/front/
10. 02. - 10. 05.	2022 IEEE Communication Theory Workshop (CTW)	Marbella, Spain	https://ctw2022.ieee-ctw.org/
10. 02. - 10. 07.	2022 IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control, and Communication (ISPCS)	Vienna, Austria	https://2022.ispcs.org/
10. 02. - 10. 07.	2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)	Cape Town, South Africa	https://iclp2022.org/
10. 03. - 10. 05.	2022 IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)	Beijing, China	http://www.iaeac.org/
10. 03. - 10. 07.	2022 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)	Limassol, Cyprus	https://cyprusconferences.org/icsme2022/
10. 03. - 10. 04.	2022 IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage (NAS)	Philadelphia, Pennsylvania, USA	http://www.nas-conference.org/NAS-2022/
10. 03. - 10. 05.	2022 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea)	Milazzo, Italy	https://www.metrosea.org/
10. 03. - 10. 06.	2022 IEEE 29th Annual Software Technology Conference (STC)	Event Format: Virtual	https://www.ieee-stc.org/
10. 03. - 10. 05.	2022 IFIP/IEEE 30th International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC)	Patras, Greece	https://vlsisoc2022.com/
10. 03. - 10. 04.	2022 International Conference on IT and Industrial Technologies (ICIT)	Chiniot, Pakistan	https://icit.nu.edu.pk/
10. 03. - 10. 05.	2022 13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)	Kharagpur, India	https://13icccnt.com/
10. 03. - 10. 07.	2022 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)	Event Format: Virtual	https://attend.ieee.org/mwp-2022/
10. 04. - 10. 07.	2022 International Conference on Interactive Media, Smart Systems and Emerging Technologies (IMET)	Limassol, Cyprus	http://imet.cyens.org.cy/
10. 05. - 10. 07.	2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)	Novi Sad, Serbia	https://ieee-isgt-europe.org/
10. 05. - 10. 07.	2022 13th International Conference on Network of the Future (NoF)	Ghent, Belgium	https://nof2022.dnac.org/
10. 05. - 10. 07.	2022 International Conference on Informatics Electrical and Electronics (ICIEE)	Yogyakarta, Indonesia	https://iciee.untirta.ac.id/
10. 05. - 10. 08.	2022 International Conference on Ocean Studies (ICOS)	Vladivostok, Russia	https://icos.ieeesiberia.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 06. - 10. 08.	2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)	Varna, Bulgaria	http://www.ica-conf.org/
10. 06. - 10. 08.	2022 3rd International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp)	Flic-en-Flac, Mauritius	https://www.nextcomp.org/
10. 06. - 10. 07.	2022 9th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)	Event Format: Virtual	http://eecs.org/2022/
10. 06. - 10. 07.	2022 International Conference on Cyber Resilience (ICCR)	Dubai, United Arab Emirates	https://iccr.gaftim.com/
10. 06. - 10. 07.	2022 V International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)	Sofia, Bulgaria	https://hitechconf.org/
10. 06. - 10. 07.	2022 Interdisciplinary Conference on Mechanics, Computers and Electrics (ICMECE)	Barcelona, Spain	http://www.icmece.org/
10. 07. - 10. 09.	2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)	Bangaluru, India	http://globeconf.org/
10. 08. - 10. 10.	2022 IEEE 7th International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)	Shanghai, China	http://www.cloud-conf.net/smartcloud/2022/index.html
10. 08. - 10. 12.	2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)	Macau, China	https://www.ieee-itsc2022.org/
10. 08. - 10. 09.	2022 4th International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)	Prapat, Indonesia	http://icoris.org/
10. 09. - 10. 12.	2022 IEEE 31st Conference on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS)	San Jose, California, USA	http://www.epeps.org/
10. 09. - 10. 14.	2022 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)	Detroit, Michigan, USA	https://ias.ieee.org/2022annualmeeting
10. 09. - 10. 13.	2022 IEEE Energy Conversion Conversion Congress and Expo (ECCE)	Detroit, Michigan, USA	https://www.ieee-ecce.org/2022/
10. 09. - 10. 14.	2022 Embedded Systems Week (ESWEEK)	Event Format: Virtual	https://esweek.org/
10. 09. - 10. 14.	2022 Antenna Measurement Techniques Association Symposium (AMTA)	Denver, Colorado, USA	https://2022.amta.org/
10. 09. - 10. 12.	2022 12th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations (ESGCO)	Vysoké Tatry, Štrbské Pleso, Slovakia	https://esgco2022.sk/
10. 09. - 10. 11.	2022 North American Power Symposium (NAPS)	Salt Lake City, Utah, USA	https://naps2022.utah.edu/
10. 09. - 10. 12.	2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)	Prague, Czech Republic	https://ieeesmc2022.org/
10. 09. - 10. 14.	2022 IEEE International Integrated Reliability Workshop (IIRW)	South Lake Tahoe, California, USA	https://www.iirw.org/
10. 10. - 10. 14.	2022 International Conference on Compilers, Architecture, and Synthesis for Embedded Systems (CASES)	Event Format: Virtual	https://esweek.org/cases/
10. 10. - 10. 14.	2022 International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS)	Event Format: Virtual	https://esweek.org/codes-iss/
10. 10. - 10. 14.	2022 International Conference on Embedded Software (EMSOFT)	Event Format: Virtual	https://esweek.org/emsoft/
10. 10. - 10. 13.	2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)	Venice, Italy	https://2022.ieee-ius.org/
10. 10. - 10. 12.	2022 18th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)	Thessaloniki, Greece	http://wimob.org/
10. 10. - 10. 13.	2022 IEEE International Conference and Expo on Real Time Communications at IIT (RTC)	Chicago, Illinois, USA	https://www.rtc-conference.com/2022/
10. 10. - 10. 14.	2022 16th Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves, and Device Applications (SPAWDA)	Nanjing, China	http://spawda.cacmeeting.com/main.aspx

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 10. - 10. 12.	2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)	Riga, Latvia	http://www.conference.rtu.lv/
10. 11. - 10. 14.	2022 IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology (PAST)	Waltham, Massachusetts, USA	https://array2022.org/
10. 11. - 10. 14.	2022 IEEE 18th International Conference on e-Science (e-Science)	Salt Lake City, Utah, USA	https://www.escience2021.org/
10. 11. - 10. 15.	2022 World Automation Congress (WAC)	Event Format: Virtual	https://tsiepress.com/wac/event/2022/
10. 11.	2022 Austrochip Workshop on Microelectronics (Austrochip)	Villach, Austria	https://www.austrochip.at/
10. 11. - 10. 12.	2022 International Conference on Sustainable Islamic Business and Finance (SIBF)	Event Format: Virtual	https://sibf.uob.edu.bh/
10. 11. - 10. 14.	2022 IEEE Sixth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)	Quito, Ecuador	https://attend.ieee.org/etcm-2022/
10. 12. - 10. 14.	2022 Global Fluid Power Society PhD Symposium (GFPS)	Naples, Italy	https://www.gfps2022.com/
10. 12. - 10. 14.	2022 New Trends in Signal Processing (NTSP)	Liptovský Mikuláš, Slovakia	http://ntsp2022.aos.sk/
10. 12. - 10. 13.	2022 IEEE 1st International Conference on Cognitive Mobility (CogMob)	Event Format: Virtual	https://scitope.com/cogmob22/
10. 12. - 10. 14.	2022 Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications (SDF)	Bonn, Germany	https://www.fkie.fraunhofer.de/de/Veranstaltungen/sdf2022.html
10. 12. - 10. 14.	2022 IEEE 4th International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)	Dali, China	http://www.iccasit.org/
10. 12. - 10. 14.	2022 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)	Austin, Texas, USA	http://www.dfts.org/
10. 12. - 10. 14.	2022 IEEE 16th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)	Washington DC, District of Columbia, USA	http://www.aict.info/?csc=2022
10. 12. - 10. 14.	2022 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)	Winnipeg, Manitoba, Canada	https://attend.ieee.org/wisee-2021/
10. 12. - 10. 13.	2022 20th International Conference on Language Engineering (ESOLEC)	Event Format: Virtual	https://esolec20.conferences.ekb.eg/
10. 12. - 10. 14.	2022 International Semiconductor Conference (CAS)	Poiana Brasov, Romania	https://www.imt.ro/cas/
10. 12. - 10. 13.	2022 4th International Conference on Pattern Analysis and Intelligent Systems (PAIS)	Oum El Bouaghi, Algeria	http://www.univ-oeb.dz/4th-international-conference-on-pattern-analysis-and-intelligent-systems-pais2022/
10. 13. - 10. 14.	2022 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)	Event Format: Virtual	http://www.ieee.org.br/pcicbr/
10. 13. - 10. 15.	2022 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)	Taipei, Taiwan	https://2022.ieee-biocas.org/site/page.aspx?pid=901&sid=1419&lang=en
10. 13. - 10. 15.	2022 International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)	Tamilnadu, India	http://icecc.co.in/
10. 13. - 10. 15.	2022 International Conference on Assessment and Learning (ICAL)	Bali, Indonesia	https://www.ical-id.org/
10. 13. - 10. 14.	2022 International Conference on Multimedia Analysis and Pattern Recognition (MAPR)	Phu Quoc, Vietnam	https://mapr.uit.edu.vn/
10. 13. - 10. 15.	2022 SBFoton International Optics and Photonics Conference (SBFoton IOPC)	Recife, Brazil	https://www.sbfoton.org.br/
10. 13. - 10. 15.	2022 International Conference on Trends in Quantum Computing and Emerging Business Technologies (TQCEBT)	Pune, India	https://sites.google.com/christuniversity.in/icbaqcaiml-2022/home
10. 13. - 10. 16.	2022 IEEE 9th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)	Shenzhen, China	http://dsaa2022.dsaa.co/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 14. - 10. 16.	2022 IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)	Bournemouth, United Kingdom	https://conferences.computer.org/icebe/2022/index.htm
10. 14. - 10. 16.	2022 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)	Guangzhou, China	https://icus2022.c2.org.cn/
10. 14. - 10. 16.	2022 12th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)	Kaifeng, China	https://conference.cs.cityu.edu.hk/icist/
10. 14. - 10. 17.	2022 14th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)	Nanjing, China	http://www.ic-wcsp.org/2022/
10. 14. - 10. 15.	2022 International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER)	Shivamogga, India	http://www.ieee-discover.org/
10. 14. - 10. 16.	2022 10th International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://www.icsgce.org/
10. 14. - 10. 16.	2022 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)	Suzhou, China	http://cyberc.org/
10. 16. - 10. 19.	2022 28th International Semiconductor Laser Conference (ISLC)	Matsue, Japan	https://islc2022.org/
10. 16. - 10. 19.	2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)	Bordeaux, France	https://2022.ieeeicip.org/
10. 16. - 10. 22.	2022 ACM/IEEE 25th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)	Montreal, Quebec, Canada	https://conf.researchr.org/home/models-2022
10. 16. - 10. 17.	2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)	Mysuru, India	https://www.mysurucon.com/
10. 16. - 10. 19.	2022 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS)	Phoenix, Arizona, USA	https://bcicts.org/
10. 16. - 10. 19.	2022 16th ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME)	Zhongshan, China	http://www.cme2022.org/
10. 16. - 10. 19.	2022 IEEE Nanotechnology, Materials and Devices Conference (NMDC)	Nanjing, China	https://ieeenmdc.org/
10. 16. - 10. 17.	2022 Cross Strait Radio Science & Wireless Technology Conference (CSRSWTC)	Haidian, China	http://www.myconf.com.cn/conference/CSRSWTC2022/
10. 16. - 10. 21.	2022 IEEE Visualization and Visual Analytics (VIS)	Oklahoma City, Oklahoma, USA	http://ieeevis.org/year/2022/welcome
10. 17. - 10. 21.	2022 Formal Methods in Computer-Aided Design (FMCAD)	Trento, Italy	https://fmcad.org/FMCAD22/
10. 17. - 10. 19.	2022 International Conference on Communications, Computing, Cybersecurity, and Informatics (CCCI)	Event Format: Virtual	http://atc.udg.edu/CCCI2022/
10. 17. - 10. 21.	2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)	Singapore, Singapore	https://ismar2022.org/
10. 17. - 10. 19.	2022 International SpaceWire & SpaceFibre Conference (ISC)	Pisa, Italy	http://2022.spacewire-conference.org/
10. 17. - 10. 19.	2022 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)	Genoa, Italy	https://healthcom2022.ieee-healthcom.org/?_ga=2.34866537.996328609.1646846944-1930568954.1634242130
10. 17. - 10. 19.	2022 International Symposium on Electromobility (ISEM)	Puebla, Mexico	http://escueladeingenieria.itesm.mx/workshops/electromobility-2022/
10. 17. - 10. 21.	2022 XLVIII Latin American Computer Conference (CLEI)	Armenia, Colombia	http://clei2022.uniquindio.edu.co/
10. 17. - 10. 19.	2022 2nd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)	Thessaloniki, Greece	https://synergymed2022.gr/
10. 17. - 10. 22.	OCEANS 2022, Hampton Roads	Hampton Roads, Virginia, USA	https://hamptonroads22.oceansconference.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 17. - 10. 21.	2022 XVII Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)	Armenia, Colombia	http://lacio.uniquindio.edu.co/
10. 18. - 10. 21.	2022 10th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)	Nara, Japan	https://acii-conf.net/2022/
10. 18. - 10. 20.	2022 IEEE Secure Development Conference (SecDev)	Atlanta, Georgia, USA	https://secdev.ieee.org/2022/home/
10. 18. - 10. 20.	2022 IEEE Broadcast Symposium (BTS)	Merritt Island, Florida, USA	https://bts.ieee.org/broadcastsymposium.html
10. 18. - 10. 19.	2022 14th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)	Event Format: Virtual	http://icitee.ugm.ac.id/
10. 18. - 10. 19.	2022 4th International Conference on Biomedical Engineering (IBIOMED)	Event Format: Virtual	http://ibiomed.ugm.ac.id/2022/
10. 19. - 10. 21.	2022 26th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)	Sinaia, Romania	https://icstcc.ugal.ro/2022/
10. 19. - 10. 21.	2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)	Panama, Panama	https://congreso.utp.ac.pa/
10. 19. - 10. 21.	2022 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)	Osijek, Croatia	https://sst-conference.org/
10. 19. - 10. 21.	2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)	Jeju Island, Korea (South)	https://ictc.org/
10. 19. - 10. 21.	2022 27th Asia Pacific Conference on Communications (APCC)	Jeju Island, Korea (South)	http://apcc2022.org/
10. 19. - 10. 23.	2022 IEEE 19th International Conference on Mobile Ad Hoc and Smart Systems (MASS)	Denver, Colorado, USA	https://sites.google.com/view/ieee-mass-2022/
10. 19. - 10. 21.	2022 IEEE 39th International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT)	Kuala Lumpur, Putrajaya, Malaysia	https://www.iemt.com.my/
10. 19. - 10. 21.	2022 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)	Pattaya Chonburi, Thailand	http://www.icpei.net/2022/
10. 19. - 10. 22.	2022 19th International SoC Design Conference (ISOCC)	Gangneung-si, Korea (South)	http://isocc.org/
10. 19. - 10. 21.	2022 14th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)	Nha Trang, Vietnam	https://kse2022.tbd.edu.vn/
10. 19. - 10. 20.	2022 First International Conference for Physics and Mathematics (ICPM)	Anbar, Iraq	https://icpm2022.uoanbar.edu.iq/
10. 20. - 10. 22.	2022 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)	Ha Noi, Vietnam	https://atc-conf.org/
10. 20. - 10. 22.	2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)	Trichy, India	http://icsec.in/2022/
10. 20. - 10. 22.	2022 International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)	Ankara, Turkey	http://www.ismsitconf.org/
10. 20. - 10. 21.	2022 IEEE International Symposium on Integrated Circuits and Systems (ISICAS)	Bordeaux, France	https://www.ieee-isicas2022.org/
10. 20. - 10. 21.	2022 IEEE Cloud Summit	Fairfax, Virginia, USA	https://www.ieeecloudsummit.org/
10. 20. - 10. 22.	2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)	Iasi, Romania	http://www.epe.tuiasi.ro/2022/
10. 20. - 10. 21.	2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EEXPolytech)	St. Petersburg, Russia	https://eexpolytech.spbstu.ru/
10. 21. - 10. 23.	2022 IEEE 13th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)	Event Format: Virtual	http://www.icsess.org/
10. 21. - 10. 24.	2022 International Conference on Cyber-Physical Social Intelligence (ICCSI)	Nanjing, China	https://iccsi2022.agist.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 21. - 10. 23.	2022 Asian Conference on Frontiers of Power and Energy (ACFPE)	Chengdu, China	https://acfpe.org/
10. 21. - 10. 24.	2022 16th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP)	Beijing, China	http://www.icsp-ieee.org/
10. 22. - 10. 24.	2022 4th International Conference on Control and Robotics (ICCR)	Guangzhou, China	http://www.iccr.net/
10. 22. - 10. 23.	2022 IEEE 10th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)	Event Format: Virtual	http://www.iccsnt.org/ICCSNT2022/
10. 22. - 10. 24.	2022 6th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)	Chengdu, China	http://www.csgsc.net/index.html
10. 22. - 10. 24.	2022 4th Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)	Giza, Egypt	http://www.nilesconf.org/
10. 22. - 10. 24.	2022 15th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)	Beijing, China	http://www.cisp-bmei.cn/
10. 22. - 10. 25.	2022 6th International Conference on Universal Village (UV)	Boston, Massachusetts, USA	https://universalvillage.org/ieee-uv2022/
10. 23. - 10. 27.	2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	Kyoto, Japan	https://iros2022.org/
10. 23. - 10. 26.	2022 14th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (ASDAM)	Smolenice, Slovakia	http://uef.fei.stuba.sk/asdam/index.php
10. 23. - 10. 26.	2022 7th International Advanced Research Workshop on Transformers (ARWtr)	Baiona, Spain	http://arwtr2022.webs.uvigo.es/
10. 23. - 10. 26.	2022 IEEE 40th International Conference on Computer Design (ICCD)	Olympic Valley, California, USA	https://www.iccd-conf.com/Home.html
10. 23. - 10. 26.	2022 IEEE 67th Holm Conference on Electrical Contacts (HLM)	Tampa, Florida, USA	https://ieee-holm.org/
10. 24. - 10. 26.	2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)	Vienna, Austria	https://ieeesystemscouncil.org/
10. 24. - 10. 27.	2022 IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	http://www.ijcb2022.org/#/
10. 24. - 10. 28.	2022 21st Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)	Natal, Brazil	https://www.sbgames.org/
10. 24. - 10. 26.	2022 29th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)	Glasgow, United Kingdom	https://2022.ieee-icecs.org/
10. 24. - 10. 28.	2022 10th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)	Event Format: Virtual	https://conisoft.org/2022/
10. 24. - 10. 25.	2022 IEEE International Conference on Blockchain, Smart Healthcare and Emerging Technologies (SmartBlock4Health)	Bucharest, Romania	http://smartblock4health.upb.ro/
10. 24. - 10. 27.	2022 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)	Boca del Río, Veracruz, Mexico	https://www.ieeeicev.com/
10. 24. - 10. 26.	2022 Symposium on Internet of Things (SIoT)	São Paulo, Brazil	https://sbmicro.org.br/eventos/siot
10. 25. - 10. 28.	2022 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm)	Singapore, Singapore	https://sgc2022.ieee-smartgridcomm.org/
10. 25. - 10. 27.	2022 International Radar Conference (RADAR)	Edinburgh, United Kingdom	https://radar2022.theiet.org/?utm_source=cross_promo&utm_medium=digital&utm_campaign=radar&utm_content=ieee
10. 25. - 10. 28.	2022 IEEE 16th International Conference on Solid-State & Integrated Circuit Technology (ICSICT)	Nanjing, China	http://www.icsict.com/
10. 25. - 10. 27.	2022 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)	Xi'an, China	http://www.icspcc.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 25. - 10. 27.	2022 IEEE Physical Assurance and Inspection of Electronics (PAINE)	Washington, District of Columbia, USA	https://paine-conference.org/
10. 25. - 10. 28.	2022 IEEE 13th International Green and Sustainable Computing Conference (IGSC)	Event Format: Virtual	https://www.igsc.org/
10. 25. - 10. 26.	2022 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI)	Event Format: Virtual	https://data.uob.edu.bh/
10. 25. - 10. 26.	2022 2nd International Conference on Emerging Smart Technologies and Applications (eSmarTA)	Ibb, Yemen	https://esmarta.yostr.org/
10. 26. - 10. 28.	2022 IEEE International Conference on Metrology for Extended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRINE)	Rome, Italy	https://metroxraine.org/
10. 26. - 10. 29.	2022 Global Energy Conference (GEC)	Batman, Turkey	https://gec2022.batman.edu.tr/
10. 26. - 11. 12.	2022 IEEE 8th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)	Yokohama, Japan	https://wfot2022.iot.ieee.org/
10. 26. - 10. 28.	2022 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)	Event Format: Virtual	https://gecost.curtin.edu.my/
10. 26. - 10. 28.	2022 IEEE International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)	Tunis, Tunisia	https://cistem2022.sciencesconf.org/resource/page/id/14
10. 26. - 10. 28.	2022 IEEE Engineering International Research Conference (EIRCON)	Event Format: Virtual	http://www.eircon.org.pe/2022/
10. 26. - 10. 27.	2022 New Trends in Civil Aviation (NTCA)	Prague, Czech Republic	https://ntca.fd.cvut.cz/
10. 26. - 10. 29.	2022 9th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)	Rabat, Morocco	http://www.wincom-conf.org/WINCOM_2022/
10. 26. - 10. 28.	2022 17th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT)	Taipei, Taiwan	https://www.impact.org.tw/site/page.aspx?pid=901&sid=1283&lang=en
10. 26. - 10. 28.	2022 International Conference on Modern Network Technologies (MoNeTec)	Moscow, Russia	https://monetec.ru/
10. 26. - 10. 29.	2022 IEEE 28th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)	Bucharest, Romania	https://siitme.ro/
10. 27. - 10. 28.	2022 30th National Conference with International Participation (TELECOM)	Sofia, Bulgaria	http://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/index.php?konf=37
10. 27. - 10. 30.	2022 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)	Shenzhen, China	http://www.apccas2022.org/
10. 27. - 10. 30.	2022 IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia)	Shenzhen, China	http://www.apccas2022.org/primeasia.html
10. 27. - 10. 30.	2022 4th International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems (SPIES)	Beijing, China	http://www.icspies.org/
10. 27. - 10. 28.	2022 IEEE 12th International Conference on Engineering Education (ICEED)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://enter.uitm.edu.my/iceed2022/
10. 27. - 10. 28.	2022 8th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability (ISSSR)	Chongqing, China	https://issr22.techconf.org/
10. 28. - 10. 30.	2022 IEEE 4th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)	Yunlin, Taiwan	https://www.ecice.asia/
10. 28. - 10. 30.	2022 5th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE)	Changchun, China	http://www.rcae.net/
10. 28. - 10. 30.	2022 IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2022/TrustCom/
10. 28. - 10. 30.	2022 IEEE International Conference on Big Data Science and Engineering; Computational Science and Engineering; Embedded and Ubiquitous Computing; Smart City and Informatization (BigDataSE/CSE/EUC/SCI)	Wuhan, China	http://www.ieee-hust-ncc.org/2022/BigDataSE/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 28. - 10. 30.	2022 IEEE 7th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)	Beijing, China	http://www.icite.org/
10. 28. - 10. 30.	2022 International Communication Engineering and Cloud Computing Conference (CECCC)	Nanjing, China	http://ceccc.org/
10. 28. - 10. 30.	2022 IEEE 2nd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA)	Dalian, China	http://www.icdscanet/
10. 28. - 10. 30.	2022 6th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI)	Nanjing, China	http://www.ascl.jlu.edu.cn/vci/cvci2022/Home.htm
10. 28. - 10. 30.	2022 6th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology (ACAIT)	Changzhou, China	http://www.acait.cn/
10. 28. - 10. 30.	2022 International Conference on Financial Innovation, FinTech and Information Technology (FFIT)	Shenzhen, China	http://icffit.org/
10. 28. - 10. 30.	2022 7th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing (ICBSP)	Nanning, China	http://www.icbsp.org/
10. 29. - 10. 31.	2022 2nd International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE)	Constantine, Algeria	http://www.aagee.dz/icaee2022/
10. 30. - 11. 02.	2022 IEEE 30th International Conference on Network Protocols (ICNP)	Lexington, Kentucky, USA	https://icnp22.cs.ucr.edu/
10. 30. - 11. 02.	2022 56th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers	Event Format: Virtual	https://www.asilomarsscconf.org/
10. 30. - 11. 02.	2022 25th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)	Herning, Denmark	http://wpmc-home.com/wpmc2022-silver-jubilee-anniversary/
10. 30. - 11. 02.	2022 IEEE Sensors	Dallas, Texas, USA	https://2022.ieee-sensorsconference.org/
10. 31. - 11. 04.	2022 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM)	Minneapolis, Minnesota, USA	https://magnetism.org/
10. 31. - 11. 03.	2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)	Sydney, Australia	https://isap2022.org/
10. 31. - 11. 05.	2022 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)	Italy	https://www.ieee.org/oops.html
10. 31. - 11. 03.	2022 IEEE 63rd Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)	Denver, Colorado, USA	https://focs2022.eecs.berkeley.edu/index.html
10. 31. - 11. 04.	2022 18th International Conference on Network and Service Management (CNSM)	Thessaloniki, Greece	http://www.cnsm-conf.org/2022/

>>2022년 11월

11. 01. - 11. 03.	2022 Connecting the Unconnected Summit (CTUS)	Event Format: Virtual	https://ctu.ieee.org/summit
11. 01. - 11. 02.	2022 International Visualization, Informatics and Technology Conference (IVIT)	Event Format: Virtual	https://www.canva.com/design/DAEvlbKW0M/0SceN6xIAN1UgK_CllcViA/view?website=&utm_medium=CFP#1:home
11. 01. - 11. 04.	2022 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)	Merced, California, USA	https://events.vtsociety.org/vppc2022/
11. 01. - 11. 04.	2022 IEEE Ninth International Conference on Communications and Networking (ComNet)	Hammamet, Tunisia	https://comnet.ieee.tn/
11. 01. - 11. 04.	TENCON 2022 - 2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON)	Hong Kong, Hong Kong	https://www.tencon2022.org/
11. 01. - 11. 05.	2022 3rd International Conference on Applied Electromagnetic Technology (AEMT)	Mataram, Indonesia	https://aemt-geomagnetic.org/aemt/
11. 01. - 11. 02.	2022 Sustainability and Resilience Conference: Climate Change (SRC)	Event Format: Virtual	https://src.uob.edu.bh/
11. 02. - 11. 04.	2022 IEEE Workshop on Signal Processing Systems (SiPS)	Rennes, France	http://sips2022.insa-rennes.fr/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 02. - 11. 05.	2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)	Singapore, Singapore	https://ieee-isgt-asia.org/
11. 02. - 11. 05.	2022 IEEE 34th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD)	Bordeaux, France	https://project.inria.fr/sbac2022/
11. 02. - 11. 05.	2022 International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing Workshops (SBAC-PADW)	Bordeaux, France	https://project.inria.fr/sbac2022/
11. 02. - 11. 03.	2022 IEEE 27th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)	Paris, France	https://camad2022.ieee-camad.org/
11. 03. - 11. 05.	2022 IEEE Women in Engineering (WIE) Forum USA East	Providence, Rhode Island, USA	https://site.ieee.org/wie-forum-usa-east/
11. 03. - 11. 05.	2022 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)	Perugia, Italy	https://www.metroagrifor.org/
11. 03. - 11. 04.	2022 17th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization (SMAP)	Event Format: Virtual	https://hilab.di.ionio.gr/smap2022/
11. 03. - 11. 04.	2022 International Symposium on Accreditation of Engineering and Computing Education (ICACIT)	Cusco, Peru	https://easychair.org/conferences/icacit2022
11. 03. - 11. 05.	2022 International Automatic Control Conference (CACS)	Kaohsiung, Taiwan	https://cacs2022.nsysu.edu.tw/
11. 03. - 11. 05.	2022 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)	Event Format: Virtual	http://comnetsat.org/
11. 03. - 11. 05.	2022 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (IFUZZY)	Kaohsiung, Taiwan	https://ifuzzy2022.nsysu.edu.tw/
11. 04. - 11. 06.	2022 2nd International Conference on Computation, Communication and Engineering (ICCCCE)	Guangzhou, China	http://www.iccce.net/
11. 04. - 11. 06.	2022 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON)	Silchar, India	https://www.iesilcon.in/
11. 04. - 11. 07.	2022 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)	Guangzhou, Guangdong, China	http://www.peac-conf.org/
11. 04. - 11. 05.	2022 IEEE 7th International Conference on Information Technology and Digital Applications (ICITDA)	Event Format: Virtual	https://icitda.org/
11. 04. - 11. 06.	2022 IEEE 13th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming (PAAP)	Event Format: Virtual	http://www.paap2022.net/index.html
11. 05. - 11. 08.	2022 Asia Communications and Photonics Conference (ACP)	Shenzhen, China	http://www.acp2022.org/index.html
11. 06. - 11. 09.	2022 IEEE Information Theory Workshop (ITW)	Mumbai, India	https://itw2022.in/
11. 06. - 11. 09.	2022 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)	Taipei, Taiwan	http://www.a-sscc2022.org/
11. 06. - 11. 09.	2022 IEEE International Symposium on Workload Characterization (IISWC)	Austin, Texas, USA	http://iiswc.org/
11. 06. - 11. 09.	2022 20th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)	Antalya, Turkey	https://www.ithet.net/
11. 07. - 11. 09.	2022 IEEE 22nd International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)	Taichung, Taiwan	https://bibe2022.asia.edu.tw/
11. 07. - 11. 08.	2022 IEEE Green Energy and Smart Systems Conference (IGESSC)	Long Beach, California, USA	https://site.ieee.org/clas-sysc/call-for-papers/
11. 07. - 11. 10.	2022 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)	Chiang Mai, Thailand	https://www.apsipa2022.org/
11. 07. - 11. 09.	2022 IEEE 9th Workshop on Wide Bandgap Power Devices & Applications (WiPDA)	Redondo Beach, California, USA	https://wipda.org/
11. 08. - 11. 11.	2022 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA)	Stellenbosch, South Africa	https://site.rapdasa.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 08. - 11. 09.	2022 IEEE Electrical Energy Storage Application and Technologies Conference (EESAT)	Austin, Texas, USA	https://cmte.ieee.org/pes-eesat/
11. 08. - 11. 10.	2022 11th IFIP International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wireless and Wired Networks (PEMWN)	Rome, Italy	https://sites.google.com/view/pemwn2022/home
11. 09. - 11. 11.	2022 International EOS/ESD Symposium on Design and System (IEDS)	Chengdu, China	https://www.esda.org/events/
11. 09. - 11. 11.	2022 IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ)	Kyoto, Japan	http://www.ieee-csj.org/
11. 09. - 11. 11.	2022 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)	Ixtapa, Mexico	https://ropec.org/
11. 09. - 11. 12.	2022 IEEE 40th Central America and Panama Convention(CONCAPAN)	Panama, Panama	https://attend.ieee.org/concapan-2022/
11. 10. - 11. 13.	2022 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)	Event Format: Virtual	https://asonam.cpsc.ucalgary.ca/2022/
11. 10. - 11. 12.	2022 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)	Hong Kong, Hong Kong	https://technologyandsociety.org/announcing-istas22-will-be-held-november-10-12-2022-in-hong-kong/
11. 10. - 11. 12.	2022 Sixth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)	Event Format: Virtual	https://i-smac.org/ismac2022/
11. 10. - 11. 11.	2022 6th International Conference on Information Technology (InCIT)	Nonthaburi, Thailand	https://citt.or.th/incit2022/
11. 10. - 11. 11.	2022 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)	Timisoara, Romania	https://conference.etc.upt.ro/setc2022/
11. 10.	2022 International Conference on Information Technology Research and Innovation (ICITRI)	Event Format: Virtual	https://icitri.nusamandiri.ac.id/
11. 10. - 11. 13.	2022 14th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON)	Songkhla, Thailand	http://www.bmeicon.org/bmeicon2022/index.php
11. 10. - 11. 12.	2022 International Conference of Science and Information Technology in Smart Administration (ICSINTESA)	Denpasar, Bali, Indonesia	https://icsintesa.universitasmulia.ac.id/
11. 10. - 11. 12.	2022 International Conference on Smart Systems and Power Management (IC2SPM)	Beirut, Lebanon	http://lreee.org/ic2spm/
11. 11. - 11. 12.	2022 2nd Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)	Bhubaneswar, India	http://www.odicon2022.in/
11. 11. - 11. 13.	2022 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)	Austin, Texas, USA	https://www.ipccc.org/
11. 11. - 11. 12.	2022 3rd International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)	Ghaziabad, India	https://www.kiet.edu/icit2022/
11. 11. - 11. 12.	2022 International Interdisciplinary Conference on Mathematics, Engineering and Science (MESIICON)	Event Format: Virtual	http://www.ieee-icct.org/index.html
11. 11. - 11. 12.	2022 7th National Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATIGB)	Da Nang, Vietnam	http://atigb2022.ute.udn.vn/EN/default.aspx
11. 11. - 11. 13.	2022 Asia Power and Electrical Technology Conference (APET)	Shanghai, China	http://www.apet.net/
11. 12. - 11. 15.	2022 14th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC)	Event Format: Virtual	https://sepoc.com.br/
11. 12. - 11. 13.	2022 14th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS)	Karachi, Pakistan	https://macs.iobm.edu.pk/
11. 13. - 11. 18.	2022 9th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)	Kitakyushu, Japan	http://www2.iee.or.jp/~cmd2022/
11. 13. - 11. 15.	2022 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)	Guangzhou, China	http://www.em-conf.com/imws-amp2022/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 13. - 11. 18.	2022 First Combined International Workshop on Interactive Urgent Supercomputing (CIW-IUS)	Dallas, Texas, USA	https://www.interactivehpc.com/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems (ScalAH)	Dallas, Texas, USA	https://www.csm.ornl.gov/srt/conferences/Scala/2022/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM International Workshop on Heterogeneous High-performance Reconfigurable Computing (H2RC)	Dallas, Texas, USA	https://h2rc.cse.sc.edu/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM International Workshop on Exascale MPI (ExaMPI)	Dallas, Texas, USA	https://sites.google.com/site/workshopexampi/
11. 13. - 11. 17.	2022 IEEE Photonics Conference (IPC)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://ieee-ipc.org/
11. 13. - 11. 18.	SC22: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis	Dallas, Texas, USA	https://sc22.supercomputing.org/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM Redefining Scalability for Diversely Heterogeneous Architectures Workshop (RSDHA)	Dallas, Texas, USA	https://sc22.supercomputing.org/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM 7th International Workshop on Extreme Scale Programming Models and Middleware (ESPM2)	Dallas, Texas, USA	http://nowlab.cse.ohio-state.edu/espm2/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM International Workshop on Innovating the Network for Data-Intensive Science (INDIS)	Dallas, Texas, USA	https://scinet.supercomputing.org/community/indis/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM International Workshop on Hierarchical Parallelism for Exascale Computing (HiPar)	Dallas, Texas, USA	https://www.hipar.net/
11. 13. - 11. 18.	2022 4th Annual Workshop on Extreme-scale Experiment-in-the-Loop Computing (XLOOP)	Dallas, Texas, USA	https://wordpress.cels.anl.gov/xloop-2022/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM Third International Symposium on Checkpointing for Supercomputing (SuperCheck)	Dallas, Texas, USA	https://supercheck.lbl.gov/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM International Workshop on Interoperability of Supercomputing and Cloud Technologies (SuperCompCloud)	Dallas, Texas, USA	https://sites.google.com/view/supercompcloud/sc22-6th-supercompcloud-workshop?authuser=0#h.ebs9i3z1ima0
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM Workshop on Irregular Applications: Architectures and Algorithms (IA3)	Dallas, Texas, USA	https://hpc.pnl.gov/IA3/
11. 13. - 11. 18.	2022 IEEE/ACM Workshop on Memory Centric High Performance Computing (MCHPC)	Dallas, Texas, USA	https://sc22.supercomputing.org/
11. 13.	2022 IEEE/ACM Third International Workshop on Quantum Computing Software (QCS)	Dallas, Texas, USA	https://sc21.supercomputing.org/
11. 14. - 11. 16.	2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)	Event Format: Virtual	http://www.cis-ram.org/2022/
11. 14. - 11. 15.	2022 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)	Event Format: Virtual	https://ieee-hst.org/
11. 14. - 11. 17.	2022 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)	Guangzhou, China	https://www.2022ieeecama.com/
11. 14. - 11. 16.	2022 IEEE 6th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT)	Johor Bahru, Malaysia	https://istt2022.mycmvit.info/
11. 14. - 11. 16.	2022 IEEE International Conference on Computing (ICOCO)	Kota Kinabalu, Malaysia	https://ieeecomputer.my/icoco2022/
11. 14. - 11. 16.	2022 IEEE Conference on Software-Defined Networking and Network Function Virtualization (NFV-SDN)	Phoenix, Arizona, USA	https://nfvsdn2022.ieee-nfvsdn.org/
11. 14.	2022 IEEE/ACM 4th International Workshop on Containers and New Orchestration Paradigms for Isolated Environments in HPC (CANOPIE-HPC)	Dallas, Texas, USA	https://www.canopie-hpc.org/
11. 15. - 11. 17.	2022 IEEE 4th International Conference on BioInspired Processing (BIP)	Cartago, Costa Rica	https://www.bipconference.org/
11. 15. - 11. 16.	2022 30th Telecommunications Forum (TELFOR)	Belgrade, Serbia	https://www.telfor.rs/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 15. - 11. 17.	2022 3rd International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)	Dubai, United Arab Emirates	http://amity.edu/iccakm2022/
11. 16. - 11. 17.	2022 Third International Conference on Latest trends in Electrical Engineering and Computing Technologies (INTELLECT)	Karachi, Pakistan	https://intellect.kiet.edu.pk/
11. 16. - 11. 18.	2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)	Maldives, Maldives	http://www.iceccme.com/
11. 16. - 11. 19.	2022 IEEE ANDESCON	Barranquilla, Colombia	https://attend.ieee.org/andescon/
11. 16. - 11. 17.	2022 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICWS)	Islamabad, Pakistan	https://www.nccs.pk/conference/ICWS-2022-home
11. 16. - 11. 18.	2022 37th Conference on Design of Circuits and Integrated Circuits (DCIS)	Pamplona, Spain	http://www.unavarra.es/dcis2022
11. 16. - 11. 17.	2022 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)	Event Format: Virtual	https://2022.icimcis.org/
11. 17. - 11. 19.	2022 6th International Conference on Measurement Instrumentation and Electronics (ICMIE)	Hangzhou, China	http://www.icmie.org/index.html
11. 17. - 11. 18.	2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)	Iasi, Romania	http://www.ehbconference.ro/Home.aspx
11. 17. - 11. 19.	2022 IEEE/ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)	Washington, District of Columbia, USA	https://conferences.computer.org/chase2022/
11. 18. - 11. 19.	2022 3rd International Conference on Computing, Analytics and Networks (ICAN)	Rajpura, Punjab, India	https://www.chitkara.edu.in/cse-can/
11. 18. - 11. 20.	2022 5th International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA)	Guangzhou, China	http://www.icpea.org/
11. 18. - 11. 20.	2022 7th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP)	Chengdu, China	https://www.ccisp.org/
11. 18. - 11. 20.	2022 IEEE 5th International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE)	Shenyang, China	http://www.auteee.org/
11. 18. - 11. 20.	2022 7th International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)	Singapore	http://www.icrae.org/
11. 18. - 11. 19.	2022 International Conference on Emerging Trends in Engineering and Medical Sciences (ICETEMS)	Event Format: Virtual	http://www.ycce.edu/icetems/index.php
11. 18. - 11. 21.	2022 25th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT)	Kaohsiung, Taiwan	http://icmt2022.nkust.edu.tw/
11. 18. - 11. 20.	2022 5th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM)	Ma'anshan, China	http://wcmeim.org/
11. 19. - 11. 20.	2022 International Conference on Advancements in Smart, Secure and Intelligent Computing (ASSIC)	Bhubaneswar, India	http://assic.info/
11. 20. - 11. 23.	2022 IEEE PES 14th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)	Melbourne, Australia	https://ieee-appeec.org/
11. 20. - 11. 21.	2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)	Sakheer, Bahrain	http://iiict.uob.edu.bh/3ict22/
11. 20. - 11. 21.	2022 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference (NKCon)	Vijaypur, India	https://www.ieeenkcon.org/
11. 21. - 11. 24.	2022 11th International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)	Hanoi, Vietnam	http://iccais2022.org/
11. 21. - 11. 24.	2022 IEEE 31st Asian Test Symposium (ATS)	Taichung City, Taiwan	https://ats2022.ee.nthu.edu.tw/
11. 22. - 11. 24.	2022 4th International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronic and Communications Engineering (ELECTOM)	Mauritius	https://www.electom2022.com/
11. 22. - 11. 23.	2022 IEEE Creative Communication and Innovative Technology (ICCIIT)	Event Format: Virtual	https://icciit-conference.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 22. - 11. 23.	2022 First International Conference on Computer Communications and Intelligent Systems (I3CIS)	Jijel, Algeria	http://i3cis.org/index.html
11. 22. - 11. 23.	2022 1st International Conference on Software Engineering and Information Technology (ICoSEIT)	Event Format: Virtual	https://icoseit.org/
11. 23. - 11. 24.	2022 International Conference Engineering and Telecommunication (En&T)	Dolgoprudny, Russia	http://2022.en-t.info/pages/home
11. 23. - 11. 25.	2022 32nd International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)	Wellington, New Zealand	https://itnac.org.au/
11. 23. - 11. 25.	2022 20th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)	Bangkok, Thailand	https://www.ict-ke.org/
11. 23. - 11. 25.	2022 6th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)	Venice, Italy	http://www.icsrs.org/index.html
11. 23. - 11. 25.	2022 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)	Montevideo, Uruguay	http://fbln.me/lacci/
11. 24. - 11. 26.	2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)	Event Format: Virtual	http://www.iciibms.org/
11. 24. - 11. 26.	2022 2nd International Conference on Social Sciences and Intelligence Management (SSIM)	Taichung, Taiwan	http://www.ssim.asia/
11. 24. - 11. 25.	2022 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC)	Event Format: Virtual	https://anzcc.org.au/ANZCC2022/
11. 24. - 11. 26.	2022 International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS)	Trichy, India	http://www.icaiss.in/
11. 24. - 11. 26.	2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTais)	BALI, Indonesia	http://iotais.org/
11. 24. - 11. 26.	2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)	Kochi, India	http://indicon2022.org/
11. 25. - 11. 27.	2022 International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)	Belgaum, India	https://incoft.org/
11. 25. - 11. 27.	2022 5th International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA)	Wuhan, China	http://www.icmra.org/
11. 25. - 11. 27.	2022 International Conference on Environmental Science and Green Energy (ICESGE)	Event Format: Virtual	https://www.icesge.net/
11. 25. - 11. 27.	2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON)	New Delhi, India	https://piicon2022.com/
11. 26.	2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)	KualaLumpur, Malaysia	http://2022.icecie.com/
11. 26. - 11. 27.	2022 IEEE International Conference of Electron Devices Society Kolkata Chapter (EDKCON)	Kolkata, India	https://r10.ieee.org/kolkata-eds/2022-ieee-edkcon/
11. 27. - 12. 01.	2022 22nd International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)	Event Format: Virtual	http://2022.iccas.org/
11. 28. - 11. 30.	2022 IEEE-RAS 21st International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)	Ginowan, Japan	https://www.humanoids2022.org/
11. 28. - 12. 01.	2022 IEEE 27th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC)	Event Format: Virtual	http://prdc.dependability.org/PRDC2022/
11. 28. - 12. 02.	MILCOM 2022 - 2022 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)	Rockville, Maryland, USA	https://milcom2022.milcom.org/
11. 28. - 12. 01.	2022 9th International Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications (TTC)	Noordwijk, Netherlands	https://atpi.eventsair.com/ttc-2022
11. 28. - 11. 30.	2022 IEEE International Conference on Agents (ICA)	Adelaide, Australia	https://zhcaonctu.wixsite.com/ieee-ica-2022
11. 29. - 12. 02.	2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS)	Ise, Japan	http://scis-j-soft.org/2022/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 29. - 12. 02.	2022 18th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)	Madrid, Spain	http://atvs.ii.uam.es/avss2022/
11. 29. - 12. 01.	2022 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)	Palapye, Botswana	https://smartnets.ieee.tn/
11. 29. - 12. 02.	2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	Yokohama, Japan	http://apmc2022.org/
11. 29. - 11. 30.	2022 17th International Conference on Emerging Technologies (ICET)	Swabi, Pakistan	http://icet.org.pk/2022/
11. 29. - 11. 30.	2022 5th International Symposium on Informatics and its Applications (ISIA)	M'sila, Algeria	http://www.univ-msila.dz/ISIA22/
11. 29. - 11. 30.	2022 12th International Electric Drives Production Conference (EDPC)	Regensburg, Germany	https://www.edpc.eu/
11. 30. - 12. 03.	2022 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)	Orlando, Florida, USA	https://icdm22.cse.usf.edu/
11. 30. - 12. 01.	2022 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)	Event Format: Virtual	https://ickg2022.zhonghuapu.com/
11. 30. - 12. 02.	2022 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)	Rio de Janeiro, Brazil	https://latincom2022.ieee-latincom.org/

>>2022년 12월

12. 01. - 12. 02.	2022 IEEE 3rd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)	Fez, Morocco	https://www.amirs.ma/icecocs2022/
12. 01. - 12. 03.	2022 6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)	Coimbatore, India	http://icoeca.org/2022/
12. 01. - 12. 02.	2022 IFAC Workshop on Cyber-Physical Human Systems (CPHS)	Houston, Texas, USA	https://www.cphs2022.org/
12. 01. - 12. 02.	2022 6th SLAAI International Conference on Artificial Intelligence (SLAAI-ICAI)	Event Format: Virtual	https://slaa.ik/ica/2022/
12. 01. - 12. 03.	2022 IEEE 7th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)	MANGALORE, India	https://icraie.nitk.ac.in/
12. 01. - 12. 03.	2022 5th International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE)	Bhubaneswar, India	https://www.cineconf.org/
12. 01. - 12. 03.	2022 8th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)	Event Format: Virtual	http://www.jit.ac.in/jiit/ICSC/
12. 01. - 12. 03.	2022 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)	Bangalore, India	http://icwite.ieeebangalore.org/
12. 01. - 12. 04.	2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)	Boracay Island, Philippines	https://www.hnicem.org/
12. 02. - 12. 04.	2022 Global Congress on Electrical Engineering (GC-ElecEng)	Valencia, Spain	https://mosharaka.net/?Area=Conferences&Page=CongSite&Cong=39
12. 02. - 12. 04.	2022 International Conference on Emerging Trends in Electrical, Control, and Telecommunication Engineering (ELECTE)	Lahore, Pakistan	http://etecte.uol.edu.pk/
12. 02. - 12. 03.	2022 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST)	Mumbai, India	https://sites.google.com/somaiya.edu/ieee-icast-2022/home
12. 02. - 12. 04.	2022 IEEE 16th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID)	Xiamen, China	https://asid.xmu.edu.cn/
12. 02. - 12. 03.	2022 IEEE 1st International Conference on Data, Decision and Systems (ICDDS)	Bangalore, India	http://icdds.org/
12. 02. - 12. 05.	2022 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)	Event Format: Virtual	https://conf.ewdtest.com/
12. 02. - 12. 04.	2022 14th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)	Phnom Penh, Cambodia	http://skimanetwork.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 03	2022 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB)	Event Format: Virtual	https://www.ieeespmb.org/2022/
12. 03. - 12. 04.	2022 IEEE 2nd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNWC)	Tumkur, Karnataka, India	http://icmnwc.com/index.php
12. 03. - 12. 05.	2022 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IoE)	Hadhramaut, Yemen	https://ritechs.org/conferences/ITSS-IoE2022
12. 04. - 12. 08.	GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference	Rio de Janeiro, Brazil	https://globecom2022.ieee-globecom.org/
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	Singapore, Singapore	https://ieeessci2022.org/
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (ISPEC)	Perth, Australia	https://attend.ieee.org/ispec-2022/
12. 04. - 12. 07.	2022 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)	Hung Hom, Hong Kong	https://www.tale2022.org/
12. 04. - 12. 06.	2022 14th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)	Al-Khobar, Saudi Arabia	http://cicn.in/
12. 04. - 12. 08.	2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)	Rio de Janeiro, Brazil	https://globecom2022.ieee-globecom.org/
12. 04. - 12. 07.	2022 International Conference on Microelectronics (ICM)	Casablanca, Morocco	https://ieeicm2022.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE Micro- and Nanoengineering in Medicine Conference (MNMCM)	Kapolei, Hawaii, USA	https://ieeembsconf.wpengine.com/
12. 05. - 12. 06.	2022 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)	Langkawi, Kedah, Malaysia	https://attend.ieee.org/pecon-2022/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)	Seattle, Washington, USA	https://acm-ieee-sec.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)	Houston, Texas, USA	http://2021.rtss.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE International Conference on Smart Data Services (SMDS)	Barcelona, Spain	https://conferences.computer.org/services/2022/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE Eighth International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)	Naples, Italy	https://www.bigmm.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)	Italy	https://www.ieee-ism.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 Sixth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)	Italy	https://www.ieee-irc.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)	Jinghong, China	http://robio2022.org/
12. 05. - 12. 07.	2022 IEEE 5th International Conference on Image Processing Applications and Systems (IPAS)	Genova, Italy	https://ipas.ieee.tn/
12. 05. - 12. 09.	2022 International Conference on Field-Programmable Technology (ICFPT)	Hong Kong	https://fpt22.hkust.edu.hk/
12. 05. - 12. 06.	2022 IEEE 9th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://oes.ieeemy.org/
12. 05. - 12. 08.	2022 IEEE/ACS 19th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)	Abu Dhabi, United Arab Emirates	https://www.aiccsa.net/AICCSA2022/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE 22nd International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS)	Guangzhou, China	https://qrs22.techconf.org/
12. 05. - 12. 09.	2022 IEEE 22nd International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C)	Guangzhou, China	https://qrs22.techconf.org/
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC)	Cancun, Mexico	https://cdc2022.ieeecss.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE 6th Southern Power Electronics Conference (SPEC)	Nadi, Fiji	https://alloracucina.com.au/
12. 06. - 12. 09.	2022 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)	Las Vegas, Nevada, USA	https://ieeebibm.org/BIBM2022/
12. 07. - 12. 09.	2022 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.iecbes.org/
12. 07. - 12. 09.	2022 IEEE/ACIS 23rd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)	Taichung, Taiwan	https://acisinternational.org/conferences/snpd-2022/
12. 07. - 12. 10.	2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.ieem.org/public.asp?page=index.asp
12. 07. - 12. 09.	2022 20th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)	Pilsen, Czech Republic	https://mechatronika.fel.cvut.cz/
12. 07. - 12. 09.	2022 International Conference on Emerging Technologies in Electronics, Computing and Communication (ICETECC)	Jamshoro, Sindh, Pakistan	https://icetecc.muett.edu.pk/
12. 07. - 12. 09.	2022 TRON Symposium (TRONSHOW)	Tokyo, Japan	https://tronshow.org/index-e.html
12. 07. - 12. 08.	2022 5th International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS)	Dubai, United Arab Emirates	https://icspis.com/
12. 07. - 12. 09.	2022 Picture Coding Symposium (PCS)	San Jose, California, USA	https://2022.picturecodingsymposium.org/
12. 07. - 12. 08.	2022 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICWS)	Islamabad, Pakistan	https://www.nccs.pk/conference/ICWS-2022-home
12. 07. - 12. 09.	2022 ITU Kaleidoscope: Extended reality – How to boost quality of experience and interoperability (ITU K)	Accra, Ghana	https://www.itu.int/en/ITU-T/academia/kaleidoscope/2022/Pages/default.aspx
12. 08. - 12. 10.	2022 IEEE 50th Semiconductor Interface Specialists Conference (SISC)	San Diego, California, USA	https://www.ieeesisc.org/
12. 08. - 12. 09.	2022 Datacom School and Conference	Event Format: Virtual	https://datacomsc.com/
12. 08. - 12. 09.	2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)	Chennai, India	https://icpects2022.com/
12. 08. - 12. 09.	2022 5th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)	Event Format: Virtual	https://isriti.utdi.ac.id/
12. 08. - 12. 10.	2022 IEEE 21st International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC)	Toronto, Ontario, Canada	https://easychair.org/conferences/?conf=ieeiccicc22
12. 09. - 12. 10.	2022 4th International Conference on Artificial Intelligence and Speech Technology (AIST)	Delhi, India	https://www.aist2022.com/
12. 09. - 12. 10.	2022 11th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)	Moradabad, India	http://www.smart2022.tmu.ac.in/
12. 09. - 12. 10.	2022 IEEE 3rd International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET)	Mysuru, India	https://www.temsmetviet.com/
12. 09. - 12. 11.	2022 2nd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI)	Singapore, Singapore	http://www.raai.net/index.html
12. 09. - 12. 11.	2022 IEEE 4th International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)	Taichung, Taiwan	http://www.icaceh.asia/
12. 09. - 12. 11.	2022 7th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research (ICMERR)	Krakow, Poland	http://www.icmerr.com/
12. 09. - 12. 12.	2022 IEEE 8th International Conference on Computer and Communications (ICCC)	Chengdu, China	http://www.iccc.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 09. - 12. 10.	2022 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)	Bandung, Indonesia	https://apwimobconf.org/
12. 09. - 12. 11.	2022 International Conference on High Performance Big Data and Intelligent Systems (HDIS)	Tianjin, China	https://www.hdis.world/
12. 10. - 12. 11.	2022 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR)	Event Format: Virtual	https://www.bitsathy.ac.in/events/STCR-2022/
12. 10. - 12. 11.	2022 IEEE Calcutta Conference (CALCON)	Kolkata, India	https://ewh.ieee.org/r10/calcutta/calcon2022/index.html
12. 10. - 12. 12.	2022 8th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)	Kunming, China	http://icsai.sei.ynu.edu.cn/
12. 11. - 12. 12.	2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS)	Event Format: Virtual	http://www.ictocs.com/
12. 11. - 12. 14.	2022 IEEE International Conference on Emerging Electronics (ICEE)	Bangalore, India	https://ieee-icee.org/
12. 12. - 12. 15.	2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)	Nassau, Bahamas	https://icmla-conference.org/icmla22/
12. 12. - 12. 16.	2022 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON)	Bangalore, India	https://www.ieeeemapcon.org/
12. 12. - 12. 13.	2022 International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM)	Tokyo, Japan	http://www.semiconportal.com/issm/
12. 12. - 12. 14.	2022 5th International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet)	Marrakech, Morocco	http://www.commnet-conf.org/
12. 12. - 12. 15.	2022 International Conference on Maintenance and Intelligent Asset Management (ICMIAM)	Anand, India	https://irma.ac.in/conference/icmiam-2022/overview
12. 12. - 12. 14.	2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)	Event Format: Virtual	https://aivr.science.uu.nl/
12. 12. - 12. 14.	2022 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)	Riyadh, Saudi Arabia	https://saudi-sg.com/e/
12. 12. - 12. 13.	2022 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)	Islamabad, Pakistan	https://fit.edu.pk/
12. 12. - 12. 16.	2022 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2022)	Wellington, New Zealand	https://www.cpem2022.nz/
12. 12. - 12. 14.	2022 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)	Event Format: Virtual	http://edaps.org/
12. 13. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	Bangkok, Thailand	https://www.2022.cloudcom.org/
12. 13. - 12. 15.	2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)	Cairo, Egypt	http://mepcon.edu.eg/
12. 13. - 12. 15.	2022 International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)	Pudukkottai, India	http://www.icacrs.com/
12. 13. - 12. 15.	2022 13th International Renewable Energy Congress (IREC)	Hammamet, Tunisia	https://irec-conference.com/
12. 13. - 12. 16.	2022 21st International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS)	Salt Lake City, Utah, USA	https://www.powermems.org/
12. 13. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP)	Suzhou, China	http://vcip2022.org/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)	Jaipur, India	https://pedes2022.com/
12. 14. - 12. 16.	2022 IEEE 2nd International Conference on Intelligent Reality (ICIR)	Event Format: Virtual	https://icir.ieee.org/
12. 14. - 12. 16.	2022 IEEE 28th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)	Nanjing, China	http://ieee-icpads.net/2022/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 14. - 12. 16.	2022 3rd International Conference on Innovations in Computer Science & Software Engineering (ICONICS)	Karachi, Pakistan	http://www.nediconics.com/
12. 14. - 12. 16.	2022 18th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN)	Guangzhou, China	https://ieee-msn.org/2022/
12. 14. - 12. 16.	2022 Asian Hardware Oriented Security and Trust Symposium (AsianHOST)	Singapore, Singapore	http://asianhost.org/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 8th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)	Event Format: Virtual	https://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cic/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 4th International Conference on Cognitive Machine Intelligence (CogMI)	Event Format: Virtual	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/cogmi/2022/
12. 14. - 12. 17.	2022 IEEE 4th International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems, and Applications (TPS-ISA)	Event Format: Virtual	http://www.sis.pitt.edu/lersais/conference/tps/2022/calls.html
12. 14. - 12. 15.	2022 International Conference on Electrical Engineering and Sustainable Technologies (ICEEST)	Event Format: Virtual	https://conferences.uet.edu.pk/iceest/2022/
12. 14. - 12. 16.	2022 Eighth Indian Control Conference (ICC)	Chennai, India	https://controlsociety.org/icc/
12. 14. - 12. 16.	2022 OITS International Conference on Information Technology (OCIT)	Bhubaneswar, India	https://www.oits-icit.org/
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE 3rd International Conference on VLSI Systems, Architecture, Technology and Applications (VLSI SATA)	Bangalore, India	https://www.vlsi-sata.in/
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)	Event Format: Virtual	https://punecon.org/
12. 15. - 12. 17.	2022 7th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC)	Zhanjiang, China	http://www.icrc.org/
12. 15. - 12. 18.	2022 4th International Conference on System Reliability and Safety Engineering (SRSE)	Guangzhou, China	http://www.srse.org/index.html
12. 15. - 12. 16.	2022 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)	Event Format: Virtual	https://icmlant.com/
12. 15. - 12. 17.	2022 IEEE 2nd International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (ISSSC)	Gunupur, Odisha, India	http://ieee-issc.in/
12. 15. - 12. 16.	2022 3rd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC)	Ankara, Turkey	https://iisec.tbdakademi.org.tr/2022/
12. 15. - 12. 16.	2022 3rd International Conference on Communication, Computing and Industry 4.0 (C2I4)	Event Format: Virtual	https://sites.google.com/cmrit.ac.in/c2i4-2022/conference
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON)	Kollam, India	https://iprecon.org/
12. 16. - 12. 17.	2022 International Conference on Automation, Robotics and Computer Engineering (ICARCE)	Event Format: Virtual	https://www.icarce.com/
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE 5th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)	Chongqing, China	http://www.imcec.org/
12. 16. - 12. 18.	2022 4th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEEET)	Shanghai, China	https://www.cceet.org/
12. 16. - 12. 19.	2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Chengdu, China	http://www.ieeeiciea.org/2022/
12. 16. - 12. 17.	2022 4th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)	Greater Noida, India	http://www.icac3n.in/
12. 16. - 12. 17.	2022 4th International Symposium on Smart and Healthy Cities (ISHC)	Shanghai, China	http://ishc2022.iaast.cn/
12. 16. - 12. 18.	2022 IEEE 5th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE)	Xi'an, China	http://www.icece.net/
12. 17. - 12. 2022 .	2022 IEEE 10th Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)	Malacca, Malaysia	https://sites.google.com/view/icspc/home

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 17. - 12. 20.	2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	Kyoto, Japan	https://bigdataieee.org/BigData2022/index.html
12. 17. - 12. 18.	2022 Human-Centered Cognitive Systems (HCCS)	Shanghai, China	http://hccs.gaasnetwork.org/
12. 17. - 12. 19.	2022 IEEE 6th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)	Durgapur, India	https://www.catcon2022.com/
12. 17. - 12. 18.	2022 4th International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)	Dhaka, Bangladesh	http://www.fse.green.edu.bd/sti-2022/
12. 17. - 12. 19.	2022 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)	Event Format: Virtual	http://www.swinflow.org/confs/2022/ispa/
12. 17. - 12. 20.	2022 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)	Toyama, Japan	http://web.tuat.ac.jp/~deng/ICAMechS2022/icamechs2022.html
12. 17. - 12. 18.	2022 15th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)	Hangzhou, China	http://iukm.zju.edu.cn/iscid/index.html
12. 18. - 12. 22.	2022 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (ISES)	Warangal, India	https://ieee-ises.org/2022/
12. 18. - 12. 21.	2022 IEEE 29th International Conference on High Performance Computing, Data, and Analytics (HiPC)	Bengaluru, India	https://hipc.org/
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)	Marietta, Georgia, USA	https://honet-ict.org/
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://rfm2022.apmttemc.org/
12. 19. - 12. 20.	2022 10th International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications, and Computations (JAC-ECC)	Alexandria, Egypt	https://ejust.edu.eg/
12. 19. - 12. 22.	2022 IEEE 15th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc)	Penang, Malaysia	https://mcsoc-forum.org/
12. 19. - 12. 21.	2022 IEEE 21st International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (IUCC/CIT/DSCI/SmartCNS)	Chongqing, China	http://iucc2022.cqupt.edu.cn/index.html
12. 20. - 12. 22.	2022 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)	Ho Chi Minh City, Vietnam	https://rivf2022.hufit.edu.vn/
12. 20. - 12. 22.	2022 International Conference on Computer and Applications (ICCA)	Cairo, Egypt	http://icca-conf.net/
12. 21. - 12. 22.	2022 2nd International Conference on New Technologies of Information and Communication (NTIC)	Event Format: Virtual	http://ntic22.centre-univ-mila.dz/
12. 21. - 12. 23.	2022 IEEE Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)	Gwalior, India	http://iatmsi.iitm.ac.in/
12. 21. - 12. 23.	2022 26th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)	Sakon Nakhon, Thailand	https://kuse.csc.ku.ac.th/icsec2022
12. 22. - 12. 23.	2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE)	Event Format: Virtual	https://ismode.unkris.ac.id/
12. 22. - 12. 23.	2022 International Conference on Artificial Intelligence and Data Engineering (AIDE)	Karkala, India	http://aide2022.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 2nd International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies (CISCT)	Dehradun, India	https://cisct.geu.ac.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology (CCET)	Bhopal, India	https://ccet.sageuniversity.edu.in/
12. 23. - 12. 25.	2022 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)	Bangalore, India	https://smartgencon.org/
12. 23. - 12. 24.	2022 International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI)	Greater Noida, India	http://iccsai.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 23. - 12. 25.	2022 12th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)	Guangzhou, China	http://iccsai.in/
12. 23. - 12. 24.	2022 Fourth International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)	Bengaluru, India	http://ccip2022.jssateb.ac.in/index.html
12. 26. - 12. 27.	2022 IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)	Event Format: Virtual	https://icsecc.president.ac.id/
12. 26. - 12. 27.	2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)	Mandya, India	http://www.pesceconference.in/
12. 27. - 12. 29.	2022 5th International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA)	Cairo, Egypt	https://2022.iccspace.org/
12. 27. - 12. 29.	2022 International Conference on Mechanical Engineering and Power Engineering (MEPE)	Wuhan, China	http://www.mepe.org/index.html
12. 28. - 12. 29.	2022 18th International Computer Engineering Conference (ICENCO)	Cairo, Egypt	http://icenco2022.eng.cu.edu.eg/
12. 28. - 12. 30.	2022 International Conference on Recent Trends in Microelectronics, Automation, Computing and Communications Systems (ICMACC)	Hyderabad, India	http://ieee-icmacc.org/
12. 28. - 12. 29.	2022 8th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)	Behshahr, Iran	http://www.icspis.ir/
12. 28. - 12. 29.	2022 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)	Chickballapur, India	https://www.ickecs.com/

The Magazine of the IEIE

특별회원사 명단

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)디비하이텍	최창식	경기도 부천시 수도로 90(도당동)	032-680-4700	www.dbhitek.com
(주)레티널	김재혁	경기도 안양시 동안구 부림로170번지 41-10, 4층	02-6959-7007	https://letinar.com
(주)마르시스	박용규	서울시 강남구 언주로 85길 7	02-3445-3999	http://www.marusys.com
(주)세미파이브	조명현	경기도 성남시 분당구 양현로 322, 코리아디자인센터 2층		http://www.semifive.com
(주)센서위드유	이윤식	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 501-4호	052-912-4282	http://www.sensorwyou.com
(주)에스비솔루션	변영재	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 401-3호	052-217-7343	http://www.sb-solutions.co.kr
(주)에어포인트	백승준	대전광역시 유성구 테크노2로 187, 204호(용산동, 미건테크노월드 2차)	042-484-5460	http://www.airpoint.co.kr
(주)와이솔	염상덕	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	구현모, 박종욱	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍(주)	정철동	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자(주)	조주완, 배두용	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG넥스원	김지찬	서울시 서초구 강남대로 369(서초동, 나라빌딩)	02-1644-2005	http://www.lignex1.com
LPKF Laser&Electronics	이웅상, 벤델레코츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤(주)	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스(주)	박정호, 이석희	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버(주)	한성숙	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	https://www.navercorp.com
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
대덕전자(주)	신영환	경기도 안산시 단원구 강촌로230 (목내동 475)	031-8040-8000	http://www.daeduck.com
대전테크노파크	임헌문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djtp.or.kr
도요일렉트론코리아(주)	원제형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
리얼텍코리아 주식회사	팅치창	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.cpm/en
비전테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
삼성전자(주)	한종희	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	02-1588-3366	https://www.samsung.com
스카이칩스	이강윤	수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 85511호	031-299-6848	http://www.skaichips.co.kr
스테코(주)	박영우	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨(주)	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmmed.com
오토아이티(주)	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템(주)	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr
정보통신정책연구원	권호열	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
(주)LX세미콘	손보익	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com

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

박사학위 논문초록 게재 안내

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

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

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130

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

사무국 회지담당자앞

E-mail : biz@theieie.org

TEL : (02)553-0255(내선 5)

FAX : (02)552-6093



대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 <월간>

제49권 제8호(통권 제459호)

The Magazine of the IEIE

2022년 8월 20일 인쇄

2022년 8월 25일 발행

발행및

편집인

인쇄인

발행인

(사) 대한전자공학회

한림원(주)

사 단 법 인 대 한 전 자 공 학 회

회장 서 승 우

대표 김 흥 중

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

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

E-mail : ieie@theieie.org

Homepage : http://www.theieie.org

씨티은행 102-53125-258



2022년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

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

◆ 2022년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.

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

2. 논문지(eBook) 제공

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

3. 회비의 납부방법

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

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

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

◎ 가입 대상 및 할인 혜택

- 가입 대상 : 2022년 석·박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년당 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)
3년 90,000원(1년당 30,000원) → 3년 70,000원(22.2% 할인)
4년 120,000원(1년당 30,000원) → 4년 90,000원(25% 할인)
5년 150,000원(1년당 30,000원) → 5년 110,000원(26.7% 할인)

6. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 변은정 부장(회원담당)

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

지속가능한 MICE 도시, JEJU



A Sustainable MICE City, JEJU

