70th Anniversary
IEIE 대한전자공학회

ISSN 1016-9288
제43권 10호
2016년 10월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.43. no.10

압축센싱을 활용한 통신 및 레이더 신호처리

- 압축센싱 기술을 적용한 초광대역 수신기 개발 동향
- 압축센싱과 광대역 레이더신호 획득 기술
- 실리콘 공정기술 기반 초고속 압축센싱용 수신기의 집적화 구현 연구
- 데이터플로우 기법이 적용된 OMP 알고리즘의 HDL 구형
- 탐색레이더에서의 압축센싱기술 기반 ISAR 영상 획득 기법
- 차량용 레이더의 기술발전과 동향

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

SAMSUNG

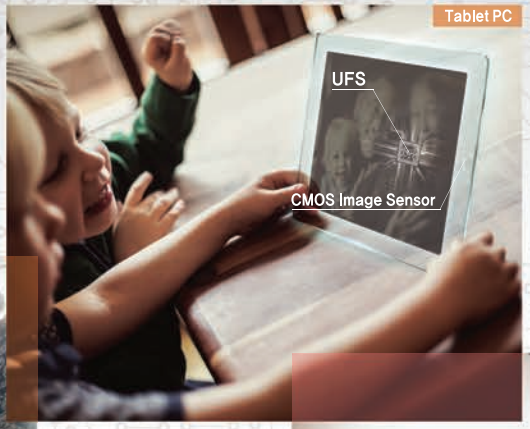
냉장고를 중심으로
온 가족이
대화하고 공유하고 함께하는
익숙한 듯
완전히 새로운 삶

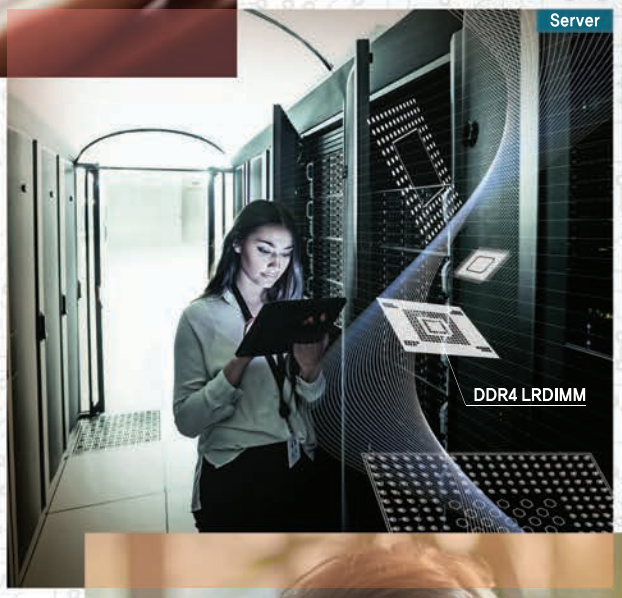
가족이 사랑하는 냉장고
가족을 사랑하는 냉장고

삼성 패밀리허브

모델명 : RF85K99935G 에너지 소비효율등급 2등급

냉장고 안을 실시간으로 확인하는 **푸드알리미** | 스케줄을 공유하는 **스티키 캘린더** | 음성으로 따라하는 **푸드레시피** | 손글씨로 메세지를 **화이트보드** | TV화면 그대로 **키친TV**

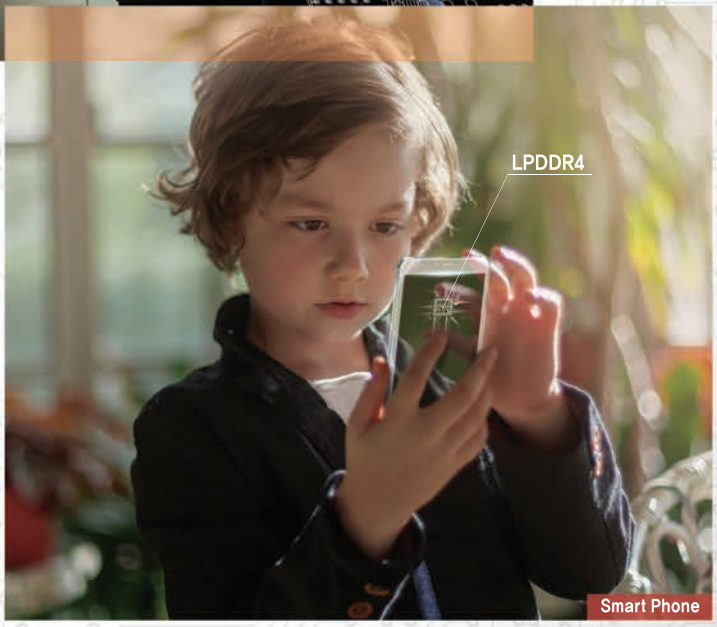




안에서 밖을 만들다

인류가 누리고 있는 IT 디바이스의 진화
보이지 않는 곳에서 끝없이
반도체가 진화하고 있기 때문입니다

SK hynix



"디지털 한국의 내일, Display기술을 선도하는 TLi가 함께 합니다."

대한민국의 앞선 디스플레이 기술을 선도해온 티엘아이는 사랑, 자율, 도전 정신으로 21세기 반도체 집적회로를 이끌어가는
The World Best SoC(System-on-a-Chip) Company가 되겠습니다.

채용분야	응시자격
Display Analog설계	▷ Analog설계 회로 경력자(2년이상) ▷ Display Driver IC 개발 경력자(2년이상) ▷ RF IC개발 신입(관련 전공자)/경력자 ▷ 전문연구요원
Display Digital 설계	▷ Display IC(T-con)개발 신입/경력자(2년이상)
신호처리 개발	▷ 신호처리관련/생체신호 처리 석사 이상 ▷ 관련 경력 1년 이상자 우대
디바이스 FW 개발	▷ 전자/전산/컴퓨터 계열 학사 이상 ▷ 관련 경력 2년 이상자 우대

(주)티엘아이 경기도 성남시 중원구 여수동 195 티엘아이 빌딩 7,8,9,10층 | TEL. 031-784-6800 | www.tli.co.kr

TLi와 함께 반도체 산업의 미래를 이끌어갈 인재를 모십니다!

■ **접수방법**

접수방법 : 이메일 접수(recruit@tli.co.kr)
접수기한 : 상시채용
제출서류 : 자유양식의 이력서, 경력 중심의 자기소개서 1부

■ **지원문의**

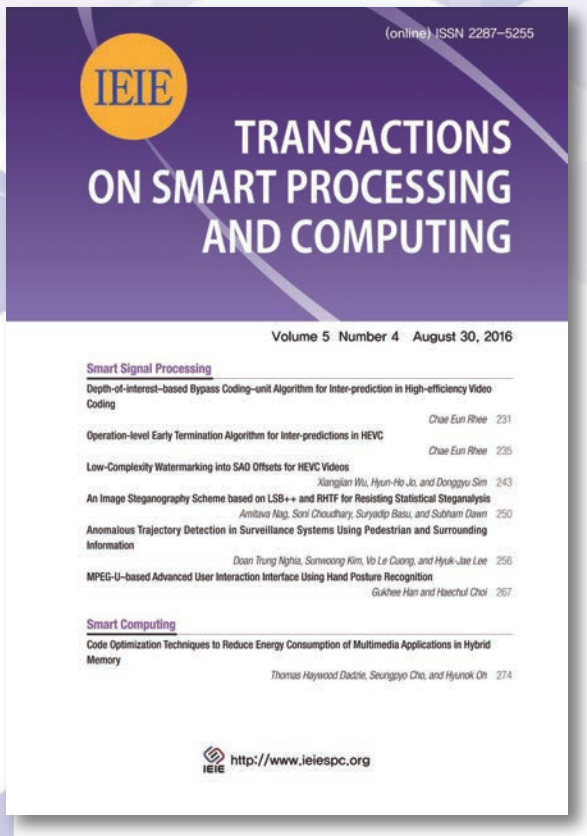
㈜티엘아이 인사팀 031-784-6817

■ **기타사항**

이력서에 지원분야, 연락처, 희망연봉 기재 필수
서류전형 합격자에 한해 면접일정 개별통보

IEIE SPC

한국연구재단 등재후보지로 선정



2012년에 창간하여 격월로 발행하는 우리학회 영문학술지 SPC 영문논문지(IEIE Transactions on Smart Processing and Computing)가 지난 8월 한국연구재단 등재후보지로 선정되었다.

이로써 한국연구재단에 등재된 논문지로는 전자공학회 논문지(2000년), JSTS(Journal of Semiconductor Technology and Science, 2009년)에 이어 세 번째 등재지가 된다.

논문에 관한 내용은 홈페이지 www.ieiespc.org 에서 확인 가능하며, 논문 투고 분야로는 Smart Signal Processing, Smart Wireless Communications, Smart Computing, SoC 분야로 구성 되어 있다.

문의처 02-553-0255(내선 4), inter@theieie.org

http://www.iceic2017.org

ICEIC 2017

International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) 2017

Jan 11 (Wed) ▶ Jan 14 (Sat), 2017
Hilton Phuket Arcadia Resort & Spa, Phuket, Thailand

Call for Papers

The 16th International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2017) is a forum open to all the participants who are willing to broaden professional contacts and to discuss the state-of-the-art technical topics. Especially the participation from Asia-pacific region is encouraged.
The general session of ICEIC 2017 will include more than 300 oral and poster presentations. In addition, the conference will offer special sessions, invited talk, keynote speeches, and tutorials to cover a broader spectrum of topics on electronics, information, and communication technologies.

ICEIC 2017 is soliciting papers in the following areas, but not limited:

- **Regular Sessions**

Communications
Communication & Information Theories, Communication Networks & Systems, Microwave & Optics, Switching and Routing, Microwave, Antennas and Propa gation, Intelligent Transportation System (ITS), Wireless PAN/BAN, Future Networks

Semiconductor and Devices
Analog/Digital Circuits & Systems, , RF Integrated Circuits, Computer-Aided Design & Modeling, SoC Design & Applications, Semiconductors, Materials and Components, Lightwave and Quantum Electronics, PCB & Packaging, Solar Cell & Semiconductor Devices

Computer and Information
Computer Systems & Applications, Software for Smart Systems, Human Computer Interaction (HCI), Convergence Computing, and Multimedia, Graphics, Ubiquitous System, Information Security, Artificial Intelligence, Neural Networks

Signal Processing
Computer Vision, Digital Signal Processing, Digital Image/Video Processing, Audio, Speech & Acoustic Signal Processing

System and Control
Vehicular Electronics, Instrumentation and Control, Power Electronics & Circuits

Emerging Technologies
Biomedical Electronics and Bioengineering, Bioelectronics, IT-Convergence, Renewable Energy, Car & Aviation IT

- **Special Sessions**

Special session proposals are invited to ICEIC 2017, and inquiries regarding your submission should be directed to TPC Chair or Special Session Chairs. The proposal needs to be submitted by July 31, 2016. The proposal template can be found at the conference homepage.

Best Paper Awards

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

Paper submission

The prospective authors can submit their papers by selecting regular oral presentation or poster presentation. The regular papers are recommended to be in 2~4 pages and the papers shortended 2-page format, according to the guidelines by the official website (http://www.iceic2017.org).

Author's Schedule

- Submission date: ~~September 23, 2016~~ October 14, 2016
- Final paper submission date: November 18, 2016
- Notification of acceptance date: October 28, 2016
- General information: inter@theieie.org

IEIE IEEE

ITC-CSCC 2017

The 32nd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications

July 2~July 5, 2017 | Haeundae Grand Hotel, Busan

Welcome to ITC-CSCC

The 32nd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2017) will be held on July 2-July 5 at Haeundae Grand Hotel, Busan, Korea.

Topics

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

- **Circuits & Systems**
  - Computer Aided Design
  - Analog Circuits
  - Modern Control
  - Semiconductor Devices & Technology
  - Sensors & Related Circuits
  - Power Electronics & Circuits
  - RF Circuits
  - Medical Electronics & Circuits
  - VLSI Design
  - Intelligent Transportation Systems & Technology
  - Linear / Nonlinear Systems
  - Neural Networks
  - Verification & Testing
- **Computers**
  - Artificial Intelligence
  - Internet Technology & Applications
  - Multimedia Service & Technology
  - Face Detection & Recognition
  - Watermarking
  - Image Processing
  - Computer Systems & Applications
  - Computer Vision
  - Security
  - Biocomputing
  - Motion Analysis
  - Object Extraction & Technology
  - Image Coding & Analysis
- **Communications**
  - Antenna & Wave Propagation
  - Optical Communications & Components
  - IP Networks & QoS
  - Ubiquitous Networks
  - Visual Communications
  - Network Management & Design
  - Circuits & Components for Communications
  - Communication Signal Processing
  - Multimedia Communications
  - Future Internet Architectures
  - Audio / Speech Signal Processing
  - Radar / Remote Sensing
  - MIMO & Space-Time Codes
  - UWB - Mobile & Wireless Communications

PROCEEDINGS

All registered participants are provided with conference proceedings. Authors of the accepted papers are encouraged to submit full-length manuscripts to IEIE JSTS (Journal of Semiconductor Technology and Science) or IEICE Transactions. Papers passed through the standard editing procedures of the IEIE JSTS or IEICE Transactions will be published in regular issues. The authors (or their institute) are requested to pay the publication charge for the IEIE JSTS or IEICE Transactions when their paper is accepted.

SUBMISSION OF PAPERS

Prospective authors are invited to submit original papers of either MS Word or PDF format written in English. Abstracts are limited to two pages of text and figures. Paper submission procedures will be announced later.

AUTHOR'S SCHEDULE

Will be announced later.

Hosted by

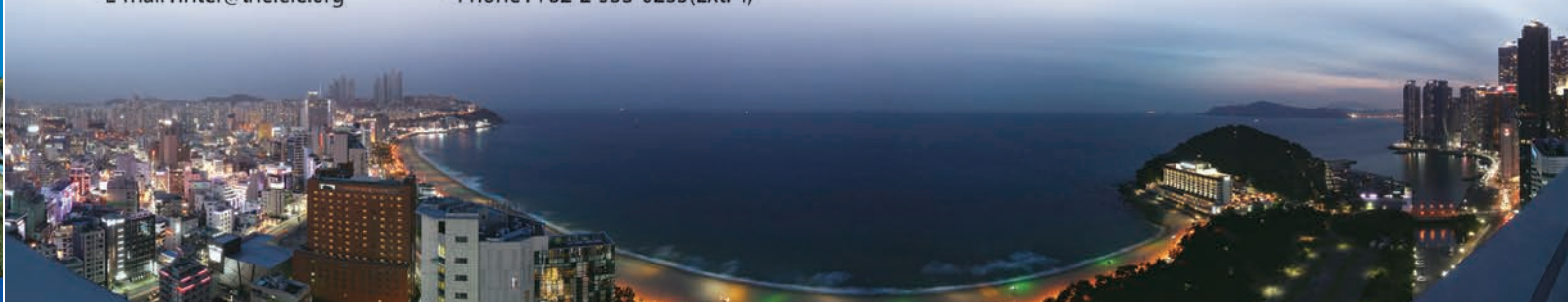
The Institute of Electronics and Information Engineers (IEIE), Korea
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japan
The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Association, Thailand

Sponsored by

Busan Tourism Organization Korea Tourism Organization

Contact Point

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



Develop

Search

Design

Create

Produce

IEL/ASTM 컨소시엄과 함께 미래를 준비하세요.

올해도 80여 곳이 넘는 국내 대학교와 국가 연구기관에서
특별한 IEL/ ASTM 컨소시엄 혜택을 이용해 주셨습니다.

2017년을 위한 특별한 혜택을 지금 만나보실 수 있습니다.

what's next @
IEEE/ASTM

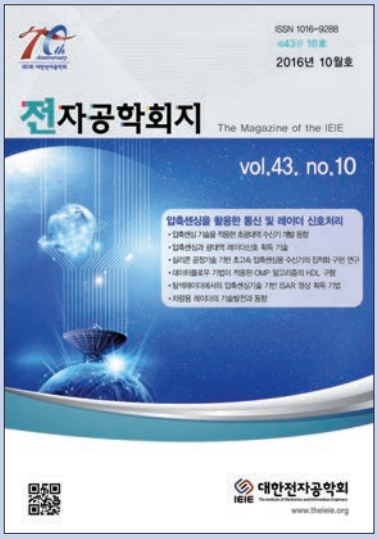
컨소시엄 가입관련 문의: hjlee@kitis.co.kr

IHS IEEE SAE INTERNATIONAL
Authorized Dealer in Korea

KITIS 키티스産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd
http://www.kitis.co.kr TEL. 02-3474-5290(代)

CONTENTS

제43권 10호 (2016년 10월)



※ 학회지 10월호 표지 (vol 43, No 10)

회지편집위원회

- 위원장 황 인 철 (강원대학교 교수)
- 위 원 김 동 규 (한양대학교 교수)
  김 문 철 (한국과학기술원 교수)
  김 수 찬 (한경대학교 교수)
  김 시 호 (연세대학교 교수)
  김 영 진 (한국항공대학교 교수)
  김 재 현 (아주대학교 교수)
  김 정 태 (이화여자대학교 교수)
  김 현 (부천대학교 교수)
  남 기 창 (동국대학교 교수)
  박 승 영 (강원대학교 교수)
  백 동 현 (중앙대학교 교수)
  송 민 규 (동국대학교 교수)
  신 종 원 (광주과학기술원 교수)
  유 명 식 (숭실대학교 교수)
  이 병 근 (광주과학기술원 교수)
  이 승 호 (한밭대학교 교수)
  이 용 구 (한림성심대학교 교수)
  이 희 덕 (충남대학교 교수)
  인 치 호 (세명대학교 교수)
  전 병 태 (한경대학교 교수)
  조 제 광 (LG전자 책임연구원)
  진 훈 (경기대학교 교수)
  채 관 엽 (삼성전자 수석연구원)
  한 완 옥 (여주대학교 교수)
- 사무국 편집담당
  변 은 정 과장(내선 3)
  TEL : (02)553-0255(대)
  FAX : (02)552-6093
- 학회 홈페이지
  http://www.theieie.org

학회소식

12 학회소식 / 편집부

14 학회일지

15 금속 3D 프린팅 설계 기술 동향
/ 변기영, 이창우, 김건희, 김형균, 이병수

23 특집편집기 / 이흥노

특집 : 압축센싱을 활용한 통신 및 레이더 신호처리

24 압축센싱 기술을 적용한 초광대역 수신기 개발 동향
/ 강종진, 강희석, 안우현

29 압축센싱과 광대역 레이더 신호 획득 기술
/ 박정, 장재혁, 이흥노

35 실리콘 공정기술 기반 초고속 압축센싱 수신기의 집적화 연구
/ 박정동, 박준식

43 데이터플로우 기법이 적용된 OMP 알고리즘의 HDL 구현
/ 서근수, 윤의현, 이민재

49 탐색레이더에서의 압축센싱기술 기반 ISAR 영상획득 기법
/ 김형주, 송원영, 명로훈

55 차량용 레이더의 기술발전과 동향 / 고석준

61 논문지 논문목차

63 박사학위논문

64 신간안내

정보교차로

65 국내외 학술행사 안내 / 편집부

73 특별회원사, 단체회원

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

2016년도 임원 및 각 위원회 위원

회 장 구 용 서 (단국대학교 교수) – 총괄
수석부회장 홍 대 식 (연세대학교 교수) – 총괄
고 문 구 원 모 (전자신문사 대표이사)
박 청 원 (전자부품연구원 원장)
양 웅 철 (현대자동차㈜ 부회장)
이 재 욱 (노키아티엠씨 명예회장)
천 경 준 (㈜씨젠 회장)
김 기 남 (삼성전자(주) 사장)
백 만 기 (김&장법률사무소 변리사)
이 상 훈 (한국전자통신연구원 원장)
이 희 국 ((주)LG 상근고문)
감 사 이 필 중 (포항공과대학교 교수)
정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
부 회 장 박 홍 준 (포항공과대학교 교수) – 회원, 지부, 표준화
백 준 기 (중앙대학교 교수) – 하계, 영문논문편집, 회지편집, 국제협력
안 승 권 (LG전자㈜ 사장) – 산학연
임 혜 숙 (이화여자대학교 교수) – 사업, 추계, 재무
최 천 원 (단국대학교 교수) – 기획, 국문논문편집, 교육/홍보
소사이어티 회장 안 현 식 (동명대학교 교수) – 컴퓨터소사이어티
오 승 록 (단국대학교 교수) – 시스템 및 제어소사이어티
원 영 진 (부천대학교 교수) – 산업전자소사이어티
이 재 진 (숭실대학교 교수) – 통신소사이어티
전 영 현 (삼성전자㈜ 사장) – 반도체소사이어티
조 남 익 (서울대학교 교수) – 신호처리소사이어티
산업체부회장 김 창 용 (삼성전자㈜ DMC연구소장)
박 성 욱 (SK하이닉스㈜ 대표이사)
협동부회장 김 기 호 (삼성전자㈜ 부사장)
김 달 수 ((주)티엘아이 대표이사)
김 부 균 (숭실대학교 교수)
김 상 태 (한국산업기술평가관리원 단장)
김 수 원 (고려대학교 교수)
김 종 대 (한국전자통신연구원 소장)
김 철 동 ((주)세원텔레텍 대표이사)
남 상 엽 (국제대학교 교수)
박 찬 구 (인피니언테크놀로지스파워세미텍 대표이사)
박 형 무 (동국대학교 교수)
서 승 우 (서울대학교 교수) – 사업
성 하 경 (전자부품연구원 선임연구본부장)
송 문 섭 ((유)엠세븐시스템 대표이사)
유 현 규 (한국전자통신연구원 박사)
유 회 준 (한국과학기술원 교수)
윤 기 방 (인천대학교 교수)
이 상 홍 (정보통신기술진흥센터 센터장)
이 상 회 (동서울대학교 교수)
이 승 훈 (서강대학교 교수)
이 윤 종 ((주)동부하이텍 부사장)
이 재 훈 (유정시스템㈜ 사장)
장 태 규 (중앙대학교 교수)
전 성 호 ((주)솔루엠 대표이사)
정 준 ((주)쏠리드 대표이사)
정 은 승 (삼성전자㈜ 부사장)
정 진 용 (인하대학교 교수)
정 항 근 (전북대학교 교수)
조 상 복 (울산대학교 교수)
최 승 원 (한양대학교 교수)
한 대 근 ((주)실리콘웍스 대표이사)
허 염 ((주)실리콘마이터스 대표이사)
허 영 (한국전기연구원 본부장)
호 요 성 (광주과학기술원 교수)
상 임 이 사 공 준 진 (삼성전자㈜ 마스터) – 국제협력
김 선 욱 (고려대학교 교수) – 학술(하계)
김 종 옥 (고려대학교 교수) – 회원/정보화
박 종 일 (한양대학교 교수) – 사업
백 광 현 (중앙대학교 교수) – 총무
범 진 욱 (서강대학교 교수) – 사업
심 동 규 (광운대학교 교수) – SPC
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 소장) – 산학연
유 창 동 (한국과학기술원 교수) – 사업
윤 일 구 (연세대학교 교수) – 교육/홍보
이 충 용 (연세대학교 교수) – 재무
이 혁 재 (서울대학교 교수) – 논문편집
이 흥 노 (광주과학기술원 교수) – 기획
최 중 호 (서울시립대학교 교수) – 학술(추계)
홍 용 택 (서울대학교 교수) – 표준화
황 인 철 (강원대학교 교수) – 회지편집
산업체이사 고 요 환 ((주)매그나칩반도체 전무)
김 보 은 ((주)라온텍 사장)
김 진 선 (SK이노베이션 전무)
김 태 진 ((주)더즈텍 사장)
김 현 수 (삼성전자㈜ 상무)
민 경 오 (LG전자㈜ 부사장)
박 동 일 (현대자동차㈜ 전무)
손 광 준 (산업통상자원부 PD)
송 창 현 (네이버 CTO)
오 의 열 (LG디스플레이㈜ 연구위원)
윤 영 권 (삼성전자㈜ 마스터)
정 원 영 ((주)다우인큐브 전무)
정 한 욱 ((주)MOS 강남 대표이사)
조 영 민 ((주)스카이크로스코리아 사장)
조 재 문 (삼성전자㈜ 전무)
차 종 범 (구미전자정보기술원 원장)
최 승 종 (LG전자㈜ 전무)
최 정 아 (삼성전자㈜ 전무)
최 진 성 (Sk텔레콤 전무)
함 철 희 (삼성전자㈜ 마스터)
홍 국 태 (LG전자㈜ 연구위원)
이 사 강 문 식 (강릉원주대학교 교수) – 학술(하계)
공 배 선 (성균관대학교 교수) – ICCE
권 기 원 (성균관대학교 교수) – 국제협력
권 종 기 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 사업
권 혁 인 (중앙대학교 교수) – 총무
김 대 환 (국민대학교 교수) – 표준화
김 동 규 (한양대학교 교수) – 회지편집
김 동 식 (인하공업전문대학 교수) – 사업

협 동 이 사

김 문 철 (한국과학기술원 교수) – 회지편집
김 승 천 (한성대학교 교수) – 기획
김 용 신 (고려대학교 교수) – 총무
김 창 익 (한국과학기술원 교수) – 사업
노 태 문 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 학술(하계)
문　 용 (숭실대학교 교수) – 논문편집
박 현 창 (동국대학교 교수) – 사업
성 해 경 (한양여자대학교 교수) – 교육/홍보
송 상 헌 (중앙대학교 교수) – 기획
심 정 연 (강남대학교 교수) – 총무
유 윤 섭 (한경대학교 교수) – 회원/정보화
이 광 엽 (서경대학교 교수) – 산학연/학술(추계)
이 병 선 (김포대학교 교수) – 교육/홍보
이 성 수 (숭실대학교 교수) – 기획
이 용 식 (연세대학교 교수) – 교육/홍보
이 찬 호 (숭실대학교 교수) – 산학연
이 호 진 (숭실대학교 교수) – 표준화
임 기 택 (전자부품연구원 센터장) – 사업
정 의 영 (연세대학교 교수) – ICCE
조 성 환 (한국과학기술원 교수) – ICCE
최 병 호 (전자부품연구원 센터장) – 산학연
최 용 수 (성결대학교 교수) – 논문편집
한 종 기 (세종대학교 교수) – 학술(추계)
허 재 두 (한국전자통신연구원 실장) – ICCE
강 석 형 (울산과학기술대학교 교수) – 교육/홍보
권 호 열 (강원대학교 교수) – 학술(하계)
김　 현 (부천대학교 교수) – 회지
김 동 순 (전자부품연구원 박사) – 학술(하계)
김 승 구 (충북대학교 교수) – 회원/정보화
김 영 희 (창원대학교 교수) – 회원
김 준 모 (한국과학기술원 교수) – 사업
김 창 수 (고려대학교 교수) – SPC
남 대 경 (전자부품연구원 선임연구원) – 사업
류 수 정 (삼성전자(주) 상무) – 국제협력
박 승 영 (강원대학교 교수) – 회지
박 주 현 (픽셀플러스 실장) – 산학연
박 천 수 (세종대학교 교수) – 회원/정보화
변 철 우 (원광대학교 교수) – 회원
서 춘 원 (김포대학교 교수) – 사업
송 병 철 (인하대학교 교수) – 학술(하계)
안 길 초 (서강대학교 교수) – 사업
유 경 식 (한국과학기술원 교수) – 학술(하계)
이 강 윤 (성균관대학교 교수) – 학술(추계)
이 문 구 (김포대학교 교수) – 회원/정보화
이 석 필 (상명대학교 교수) – 교육/홍보
이 창 우 (가톨릭대학교 교수) – 기획
장 길 진 (경북대학교 교수) – 사업
전 문 구 (광주과학기술원 교수) – 기획
전 준 표 (한국산업기술평가관리원 책임연구원) – 학술(추계)
정 윤 호 (한국항공대학교 교수) – 논문
조 수 현 (홍익대학교 교수) – 총무
최 윤 경 (삼성전자(주) 마스터) – 총무
한 완 옥 (여주대학교 교수) – 회지
김 성 호 (한국산업기술평가관리원 실장) – 학술(하계)
김 용 석 (성균관대학교 교수) – 학술(추계)
김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 표준화
노 원 우 (연세대학교 교수) – 논문편집
동 성 수 (용인송담대학교 교수) – 회원/정보화
민 경 식 (국민대학교 교수) – 학술(추계)
변 영 재 (울산과학기술대학교 교수) – 학술(추계)
송 민 규 (동국대학교 교수) – 회지편집
송 용 호 (한양대학교 교수) – 학술(추계)
예 종 철 (한국과학기술원 교수) – 논문편집
윤 석 현 (단국대학교 교수) – 기획
이 병 근 (광주과학기술원 교수) – 회지편집
이 상 근 (중앙대학교 교수) – SPC
이 승 호 (한밭대학교 교수) – 회지편집
이 윤 식 (울산과학기술대학교 교수) – 교육/홍보
이 한 호 (인하대학교 교수) – 국제협력
인 치 호 (세명대학교 교수) – 논문편집
정 영 모 (한성대학교 교수) – 논문편집
조 성 현 (한양대학교 교수) – 국제협력
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) – 학술(하계)/ SPC
최 수 용 (연세대학교 교수) – 재무
한 재 호 (고려대학교 교수) – 회원/정보화
한 태 희 (성균관대학교 교수) – 교육/홍보
현 경 숙 (세종대학교 교수) – 논문편집
고 윤 호 (충남대학교 교수) – 산학연
김　 짐 (한국산업기술평가관리원 선임연구원) – 사업
김 남 용 (강원대학교 교수) – 회원
김 소 영 (성균관대학교 교수) – 학술(추계)
김 영 진 (한국항공대학교 교수) – 회지
김 윤 희 (경희대학교 교수) – 재무
김 지 훈 (서울과학기술대학교 교수) – 학술(추계)
김 태 원 (상지영서대학교 교수) – 기획
노 정 진 (한양대학교 교수) – 회원/정보화
박 기 찬 (건국대학교 교수) – 표준화
박 재 형 (전남대학교 교수) – 회원
박 준 희 (이화여자대학교 교수) – 기획
변 대 석 (삼성전자(주) 마스터) – 국제협력
서 진 수 (강릉원주대학교 교수) – 사업
선 우 경 (이화여자대학교 교수) – 교육/홍보
신 종 원 (광주과학기술원 교수) – 기획
연 규 봉 (자동차부품연구원 팀장) – 표준화
이 가 원 (충남대학교 교수) – 논문
이 기 성 (고려대학교 교수) – ICEIC
이 민 영 (반도체산업협회 본부장) – 산학연
이 용 구 (한림성심대학교 교수) – 논문
이 채 은 (인하대학교 교수) – 논문
장 익 준 (경희대학교 교수) – 논문
전 병 태 (한경대학교 교수) – 회지
정 용 규 (을지대학교 교수) – 기획
조 명 진 (네이버 박사) – 학술(하계)
최 병 덕 (한양대학교 교수) – 표준화
한 영 선 (경일대학교 교수) – 학술(하계)

지부장 명단

강 원 지 부	임 해 진 (강원대학교 교수)
대구 · 경북지부	박 정 일 (영남대학교 교수)
부산 · 경남 · 울산지부	이 장 명 (부산대학교 교수)
제 주 지 부	강 민 제 (제주대학교 교수)
호 서 지 부	장 은 영 (공주대학교 교수)
미 국 지 부	최 명 준 (텔레다인 박사)
광주 · 전남지부	이 배 호 (전남대학교 교수)
대전 · 충남지부	이 희 덕 (충남대학교 교수)
전 북 지 부	조 경 주 (원광대학교 교수)
충 북 지 부	최 영 규 (한국교통대학교 교수)
일 본 지 부	백 인 천 (AIZU대학교 교수)

위원회 명단

자문위원회

위 원 장 박 진 옥 (명예회장)
부 위 원 장 김 영 권 (명예회장)
위 원 고 성 제 (고려대학교 교수) 김 덕 진 (명예회장) 김 도 현 (명예회장)
김 성 대 (한국과학기술원 교수) 김 수 중 (명예회장) 김 재 희 (연세대학교 교수)
김 정 식 (대덕전자 회장) 나 정 웅 (명예회장) 문 영 식 (한양대학교 교수)
박 규 태 (명예회장) 박 병 국 (서울대학교 교수) 박 성 한 (명예회장)
박 항 구 (소암시스텔 회장) 변 증 남 (명예회장) 서 정 욱 (명예회장)
성 굉 모 (서울대학교 명예교수) 윤 종 용 (삼성전자 비상임고문) 이 문 기 (명예회장)
이 상 설 (명예회장) 이 재 홍 (서울대학교 교수) 이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
이 충 웅 (명예회장) 이 태 원 (명예회장) 임 제 탁 (명예회장)
전 국 진 (서울대학교 교수) 전 홍 태 (중앙대학교 교수) 정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
홍 승 홍 (명예회장)

기획위원회

위 원 장 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
위 원 김 승 천 (한성대학교 교수) 김 태 원 (상지영서대학교 교수) 박 인 규 (인하대학교 교수)
박 준 희 (이화여자대학교 교수) 박 현 창 (동국대학교 교수) 송 상 헌 (중앙대학교 교수)
신 종 원 (광주과학기술원 교수) 윤 석 현 (단국대학교 교수) 이 병 선 (김포대학교 교수)
이 성 수 (숭실대학교 교수) 이 창 우 (가톨릭대학교 교수) 정 용 규 (을지대학교 교수)
최 준 원 (한양대학교 교수)

학술연구위원회

위 원 장 김 선 욱 (고려대학교 교수) – 하계 최 중 호 (서울시립대학교 교수) – 추계
위 원 강 문 식 (강릉원주대학교 교수) 구 형 일 (아주대학교 교수) 권 호 열 (강원대학교 교수)
김 경 연 (제주대학교 교수) 김 동 순 (전자부품연구원 박사) 김 성 호 (한국산업기술평가관리원 실장)
김 영 로 (명지전문대학 교수) 김 용 권 (건양대학교 교수) 김 용 신 (고려대학교 교수)
김 종 옥 (고려대학교 교수) 김 철 우 (고려대학교 교수) 노 원 우 (연세대학교 교수)
노 태 문 (한국전자통신연구원 실장) 박 상 윤 (명지대학교 교수) 박 재 홍 (서울대학교 교수)
변 영 재 (울산과학기술대학교 교수) 서 성 규 (고려대학교 교수) 송 병 철 (인하대학교 교수)
유 경 식 (한국과학기술원 교수) 윤 일 구 (연세대학교 교수) 이 병 근 (광주과학기술원 교수)
이 용 구 (한림성심대학교 교수) 이 채 은 (인하대학교 교수) 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
정 승 원 (동국대학교 교수) 제 민 규 (한국과학기술원 교수) 조 명 진 (네이버 박사)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) 한 영 선 (경일대학교 교수) 한 영 선 (경일대학교 교수)
한 완 옥 (여주대학교 교수) 황 인 철 (강원대학교 교수)

논문편집위원회

위 원 장 이 혁 재 (서울대학교 교수)
위 원 김 경 기 (대구대학교 교수) 김 지 훈 (서울과학기술대학교 교수) 김 진 성 (선문대학교 교수)
노 원 우 (연세대학교 교수) 노 태 문 (한국전자통신연구원 책임연구원) 성 해 경 (한양여자대학교 교수)
유 명 식 (숭실대학교 교수) 윤 석 현 (단국대학교 교수) 이 상 근 (중앙대학교 교수)
이 수 열 (경희대학교 교수) 이 용 구 (한림성심대학교 교수) 이 재 성 (교통대학교 교수)
이 채 은 (인하대학교 교수) 장 익 준 (경희대학교 교수) 정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
최 용 수 (성결대학교 교수) 한 태 희 (성균관대학교 교수) 홍 민 철 (숭실대학교 교수)

국제협력위원회

위 원 장 공 준 진 (삼성전자 마스터)
위 원 권 기 원 (성균관대학교 교수) 김 훈 (Synopsys Korea 이사) 김 준 모 (한국과학기술원 교수)
남 병 규 (충남대학교 교수) 류 수 정 (삼성전자 상무) 류 현 석 (삼성전자 마스터)
박 성 정 (건국대학교 교수) 변 대 석 (삼성전자 마스터) 신 원 용 (단국대학교 교수)
유 경 동 (SK하이닉스 상무) 이 영 주 (광운대학교 교수) 이 한 호 (인하대학교 교수)
장 익 준 (경희대학교 교수) 정 재 웅 (Atto Research CEO) 정 진 섭 (Innowireless SVP)
조 상 연 (삼성전자 상무) 조 성 현 (한양대학교 교수) 최 우 영 (연세대학교 교수)

산학연협동위원회

위 원 장 엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 소장)
위 원 고 윤 호 (충남대학교 교수) 김 현 (부천대학교 교수) 김 수 환 (서울대학교 교수)
남 병 규 (충남대학교 교수) 박 주 현 (픽셀플러스 실장) 방 극 준 (인덕대학교 교수)
이 광 엽 (서경대학교 교수) 이 민 영 (한국반도체산업협회 본부장) 이 정 석 (인하공업전문대학 교수)
이 창 석 (한밭대학교 교수) 이 한 호 (인하대학교 교수) 제 민 규 (한국과학기술원 교수)
차 철 웅 (전자부품연구원 책임연구원) 최 병 호 (전자부품연구원 센터장) 한 태 희 (성균관대학교 교수)

회원관리위원회

위 원 장 김 종 옥 (고려대학교 교수)

위 원 권 구 락 (조선대학교 교수) 김 승 구 (충북대학교 교수) 김 용 신 (고려대학교 교수)
김 창 수 (고려대학교 교수) 박 천 수 (세종대학교 교수) 유 윤 섭 (한경대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) 한 재 호 (고려대학교 교수)

회지편집위원회

위 원 장 황 인 철 (강원대학교 교수)

위 원 김 동 규 (한양대학교 교수) 김 문 철 (한국과학기술원 교수) 김 수 찬 (한경대학교 교수)
김 시 호 (연세대학교 교수) 김 영 진 (한국항공대학교 교수) 김 재 현 (아주대학교 교수)
김 정 태 (이화여자대학교 교수) 김 현 (부천대학교 교수) 남 기 창 (동국대학교 교수)
박 승 영 (강원대학교 교수) 백 동 현 (중앙대학교 교수) 송 민 규 (동국대학교 교수)
신 종 원 (광주과학기술원 교수) 유 명 식 (숭실대학교 교수) 이 병 근 (광주과학기술원 교수)
이 승 호 (한밭대학교 교수) 이 용 구 (한림성심대학교 교수) 이 희 덕 (충남대학교 교수)
인 치 호 (세명대학교 교수) 전 병 태 (한경대학교 교수) 조 제 광 (LG전자 책임연구원)
진 훈 (경기대학교 교수) 채 관 엽 (삼성전자 수석연구원) 한 완 옥 (여주대학교 교수)

사업위원회

위 원 장 박 종 일 (한양대학교 교수) 범 진 욱 (서강대학교 교수) 유 창 동 (한국과학기술원 교수)

위 원 고 균 병 (한국교통대학교 교수) 고 중 혁 (중앙대학교 교수) 권 종 기 (한국전자통신연구원 책임연구원)
권 혁 인 (중앙대학교 교수) 김 짐 (한국산업기술평가관리원 선임연구원) 김 동 식 (인하공업전문대학 교수)
김 용 신 (고려대학교 교수) 김 종 선 (홍익대학교 교수) 김 종 옥 (고려대학교 교수)
김 준 모 (한국과학기술원 교수) 김 창 익 (한국과학기술원 교수) 김 형 탁 (홍익대학교 교수)
남 대 경 (전자부품연구원 팀장) 노 원 우 (연세대학교 교수) 노 정 진 (한양대학교 교수)
노 태 문 (한국전자통신연구원 책임연구원) 문 현 욱 (동원대학교 교수) 민 경 식 (국민대학교 교수)
박 강 령 (동국대학교 교수) 박 정 욱 (연세대학교 교수) 박 현 창 (동국대학교 교수)
서 인 식 (라이트웍스 대표이사) 서 진 수 (강릉원주대학교 교수) 서 춘 원 (김포대학교 교수)
송 용 호 (한양대학교 교수) 신 현 출 (숭실대학교 교수) 심 동 규 (광운대학교 교수)
안 길 초 (서강대학교 교수) 윤 일 구 (연세대학교 교수) 윤 재 철 (삼성전자 수석)
이 용 식 (연세대학교 교수) 임 기 택 (전자부품연구원 센터장) 장 길 진 (경북대학교 교수)
조 면 균 (세명대학교 교수) 조 제 광 (LG전자 박사) 최 병 호 (전자부품연구원 센터장)
최 수 용 (연세대학교 교수) 최 윤 경 (삼성전자 마스터) 최 중 호 (서울시립대학교 교수)
최 진 호 (LG전자 수석연구원) 홍 민 철 (숭실대학교 교수)

교육홍보위원회

위 원 장 윤 일 구 (연세대학교 교수)

부 위 원 장 이 석 필 (상명대학교 교수)

위 원 김 정 구 (부산대학교 교수) 김 준 태 (건국대학교 교수) 류 시 복 (자동차부품연구원 책임연구원)
이 동 훈 (삼성전자 수석연구원) 이 용 식 (연세대학교 교수) 이 종 호 (서울대학교 교수)
임 기 택 (전자부품연구원 센터장) 장 길 진 (경북대학교 교수) 장 준 혁 (한양대학교 교수)
허 준 (고려대학교 교수)

표준화위원회

위 원 장 홍 용 택 (서울대학교 교수)

위 원 김 원 종 (한국전자통신연구원 책임연구원) 구 정 래 (한국심사자격인증원 팀장) 권 기 원 (성균관대학교 교수)
김 대 환 (국민대학교 교수) 김 동 규 (한양대학교 교수) 김 병 철 (한양대학교 교수)
김 시 호 (연세대학교 교수) 김 옥 수 (인피니언코리아 이사) 김 종 훈 (한국과학기술원 교수)
박 기 찬 (건국대학교 교수) 박 주 현 (픽셀플러스 실장) 신 성 호 (우석대학교 교수)
연 규 봉 (자동차부품연구원 팀장) 윤 대 원 (법무법인 다래 이사) 이 민 영 (한국반도체산업협회 본부장)
이 상 근 (성균관대학교 교수) 이 상 미 (IITP 팀장) 이 상 준 (수원과학대학 교수)
이 서 호 (한국기계전기전자시험연구원 과장) 이 종 묵 (SOL 대표) 이 호 진 (숭실대학교 교수)
장 미 혜 (연세대학교 교수) 정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원) 좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수)
차 철 웅 (전자부품연구원 책임연구원) 최 병 덕 (한양대학교 교수) 한 태 수 (국가기술표준원/표준협회 표준코디)

정보화위원회

위 원 장 김 종 옥 (고려대학교 교수)

위 원 권 구 락 (조선대학교 교수) 김 승 구 (충북대학교 교수) 김 용 신 (고려대학교 교수)
김 창 수 (고려대학교 교수) 박 천 수 (세종대학교 교수) 유 윤 섭 (한경대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) 한 재 호 (고려대학교 교수)

지부담당위원회

위 원 장 박 홍 준 (포항공과대학교 교수)

위 원 강 민 제 (제주대학교 교수) 박 정 일 (영남대학교 교수) 백 인 천 (AIZU대학교 교수)
이 장 명 (부산대학교 교수) 이 희 덕 (충남대학교 교수) 임 해 진 (강원대학교 교수)
장 은 영 (공주대학교 교수) 조 경 주 (원광대학교 교수) 최 명 준 (텔레다인 박사)
최 영 규 (한국교통대학교 교수) 최 조 천 (목포해양대학교 교수)

선거관리위원회

위 원 장 이 진 구 (동국대학교 석좌교수)

위 원 김 선 욱 (고려대학교 교수) 김 종 옥 (고려대학교 교수) 백 광 현 (중앙대학교 교수)
심 정 연 (강남대학교 교수) 이 충 용 (연세대학교 교수) 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)

포상위원회

위 원 장 전 국 진 (서울대학교 교수)

위 원 김 선 욱 (고려대학교 교수) 백 광 현 (중앙대학교 교수) 유 창 동 (한국과학기술원 교수)
이 충 용 (연세대학교 교수) 이 혁 재 (서울대학교 교수) 홍 대 식 (연세대학교 교수)

재정위원회

위 원 장 구 용 서 (단국대학교 교수)

위 원 고 성 제 (고려대학교 교수) 백 준 기 (중앙대학교 교수) 이 충 용 (연세대학교 교수)
이 필 중 (포항공과대학교 교수) 전 국 진 (서울대학교 교수) 정 준 (쏠리드 대표이사)
한 대 근 (실리콘웍스 대표이사) 홍 대 식 (연세대학교 교수)

인사위원회

위 원 장 구 용 서 (단국대학교 교수)

위 원 박 종 일 (한양대학교 교수) 백 광 현 (중앙대학교 교수) 이 충 용 (연세대학교 교수)
임 혜 숙 (이화여자대학교 교수) 홍 대 식 (연세대학교 교수)

SPC위원회

위 원 장 심 동 규 (광운대학교 교수)

자 문 위 원 구 용 서 (단국대학교 교수) 김 선 욱 (고려대학교 교수) 박 종 일 (한양대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수) 이 혁 재 (서울대학교 교수) 전 병 우 (성균관대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수) 조 민 호 (고려대학교 교수) 홍 대 식 (연세대학교 교수)

위 원 김 창 수 (고려대학교 교수) 박 철 수 (광운대학교 교수) 이 기 성 (고려대학교 교수)
이 상 근 (중앙대학교 교수) 이 채 은 (인하대학교 교수) 정 승 원 (동국대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수) 한 영 선 (경일대학교 교수) 황 인 철 (강원대학교 교수)

JSTS위원회

위 원 장 Hoi-Jun Yoo (KAIST)

부 위 원 장 Dim-Lee Kwong (Institute of Microelectronics)

위 원 Akira Matsuzawa (Tokyo Institute of Technology) Byeong-Gyu Nam (Chungnam National Univ.)
Byung-Gook Park (Seoul National Univ.) Cary Y. Yang (Santa Clara Univ.)
Chang sik Yoo (Hanyang Univ.) Chennupati Jagadish (Australian National Univ.)
Deog-Kyoon Jeong (Seoul National Univ.) Dong S. Ha (Virginia Tech)
Eun Sok Kim (USC) Gianaurelio Cuniberti (Dresden Univ. of Technology)
Hi-Deok Lee (Chungnam Univ.) Hong June Park (POSTECH)
Hyoung sub Kim (Sungkyunkwan Univ.) Hyun-Kyu Yu (ETRI)
Jamal Deen (McMaster University, Canada) Jin wook Burm (Sogang Univ.)
Jong-Uk Bu (Sen Plus) Jun young Park (UX Factory)
Kofi Makinwa (Delft Univ. of Technology) Meyya Meyyappan (NASA Ames Research Center)
Min-kyu Song (Dongguk Univ.) Moon-Ho Jo (POSTECH)
Nobby Kobayashi (UC Santa Cruz) Paul D. Franzon (North Carolina State Univ.)
Rino Choi (Inha Univ.) Sang-Hun Song (Chung-Ang Univ.)
Sang-Sik Park (Sejong Iniv.) Seung-Hoon Lee (Sogang Univ.)
Shen-luan Liu (National Taiwan Univ.) Shi ho Kim (Yonsei Univ.)
Stephen A. Campbell (Univ. of Minnesota) Sung Woo Hwang (Korea Univ.)
Tadahiro Kuroda (Keio Univ.) Tae-Song Kim (KIST)
Tsu-Jae King Liu (UC Berkeley) Vojin G. Oklobdzija (Univ. of Texas at Dallas)
Weileun Fang (National Tsing Hua Univ.) Woo geun Rhee (Tsinghua Univ.)
Yang-Kyu Choi (KAIST) Yogesh B. Gianchandani (Univ. of Michigan, Ann Arbor)
Yong-Bin Kim (Northeastern Univ.) Yuhua Cheng (Peking Univ.)

통신소사이어티

회 장	이 재 진 (숭실대학교 교수)		
부 회 장	김 재 현 (아주대학교 교수) – 사업	이 흥 노 (광주과기원 교수) – 학술	유 명 식 (숭실대학교 교수) – 재무/편집
감 사	방 성 일 (단국대학교 교수)	이 호 경 (홍익대학교 교수)	
협동부회장	김 병 남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김 연 은 (㈜브르던 대표이사)	김 영 한 (숭실대학교 교수)
	김 용 석 (㈜답스 대표이사)	김 인 경 (LG전자 상무)	류 승 문 (㈜카서 대표이사)
	박 용 석 (㈜LICT 대표이사)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 부장)	연 철 흠 (LGT 상무)
	오 정 근 (㈜ATNS 대표이사)	이 승 호 (㈜하이게인 부사장)	정 진 섭 (이노와이어리스 부사장)
	이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사)	정 현 규 (한국전자통신연구원 부장)	
이 사	김 선 용 (건국대학교 교수)	김 성 훈 (한국전자통신연구원 박사)	김 정 호 (이화여자대학교 교수)
	김 진 영 (광운대학교 교수)	노 윤 섭 (한국전자통신연구원 박사)	서 철 헌 (숭실대학교 교수)
	성 원 진 (서강대학교 교수)	신 요 안 (숭실대학교 교수)	윤 석 현 (단국대학교 교수)
	윤 종 호 (한국항공대학교 교수)	이 인 규 (고려대학교 교수)	이 재 훈 (동국대학교 교수)
	이 종 창 (홍익대학교 교수)	임 종 태 (홍익대학교 교수)	장 병 수 (KT 상무)
	조 인 호 (에이스테크놀로지 박사)	최 진 식 (한양대학교 교수)	허 준 (고려대학교 교수)
	허 서 원 (홍익대학교 교수)		
연구회위원장	윤 석 현 (단국대학교 교수) – 통신연구회		
	유 태 환 (한국전자통신연구원 박사) – 스위칭 및 라우팅연구회		
	조 춘 식 (한국항공대학교 교수) – 마이크로파 및 전파전파연구회		
	이 철 기 (아주대학교 교수) – ITS연구회		
	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원) – 정보보안시스템연구회		
	김 강 욱 (경북대학교 교수) – 군사전자연구회		
	– 방송 · 통신융합기술연구회		
	박 광 로 (한국전자통신연구원 부장) – 무선 PAN/BAN연구회		
	김 봉 태 (한국전자통신연구원 소장) – 미래네트워크연구회		
간 사	신 오 순 (숭실대학교 교수)	윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)	

반도체소사이어티

회 장	전 영 현 (삼성전자 사장)		
자 문 위 원	권 오 경 (한양대학교 교수)	선우명훈 (아주대학교 교수)	신 윤 승 (삼성전자 고문)
	신 현 철 (한양대학교 교수)	우 남 성 (삼성전자 사장)	임 형 규 (SK하이닉스 부회장)
감 사	정 진 균 (전북대학교 교수)	최 준 림 (경북대학교 교수)	
수석부회장	조 중 휘 (인천대학교 교수)		
연구담당부회장	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)		
사업담당부회장	김 진 상 (경희대학교 교수)		
학술담당부회장	범 진 욱 (서강대학교 교수)		
총 무 이 사	공 준 진 (삼성전자 마스터)	김 동 규 (한양대학교 교수)	박 종 선 (고려대학교 교수)
	이 한 호 (인하대학교 교수)		
편 집 이 사	이 희 덕 (충남대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)	한 태 희 (성균관대학교 교수)
학 술 이 사	강 진 구 (인하대학교 교수)	김 영 환 (포항공과대학교 교수)	김 재 석 (연세대학교 교수)
	노 정 진 (한양대학교 교수)	박 성 정 (건국대학교 교수)	박 홍 준 (포항공과대학교 교수)
	송 민 규 (동국대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	정 연 모 (경희대학교 교수)
	정 진 용 (인하대학교 교수)	정 항 근 (전북대학교 교수)	최 우 영 (연세대학교 교수)
사 업 이 사	강 성 호 (연세대학교 교수)	강 태 원 (넥셀 사장)	공 배 선 (성균관대학교 교수)
	권 기 원 (성균관대학교 교수)	김 경 기 (대구대학교 교수)	김 달 수 (TLI 대표이사)
	김 동 현 (ICTK 사장)	김 보 은 (라온텍 사장)	김 소 영 (성균관대학교 교수)
	김 시 호 (연세대학교 교수)	김 준 석 (ADT 사장)	김 철 우 (고려대학교 교수)
	김 한 기 (코아로직 사장)	손 보 익 (LG전자 전무)	송 태 훈 (휴인스 사장)
	신 용 석 (케이던스코리아 사장)	안 흥 식 (Xilinx Korea 지사장)	양 영 인 (멘토 사장)
	유 경 동 (SK하이닉스 상무)	윤 광 섭 (인하대학교 교수)	이 도 영 (옵토레인 대표)
	이 윤 종 (동부하이텍 상무)	이 종 열 (FCI 부사장)	정 해 수 (Synopsys 사장)
	정 희 범 (한국전자통신연구원 본부장)	조 대 형 (스위스로잔연방공대 총장수석보좌관)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	조 태 제 (삼성전자 마스터)	최 승 종 (LG전자 전무)	최 윤 경 (삼성전자 마스터)
	최 종 찬 (전자부품연구원 본부장)	황 규 철 (삼성전자 상무)	
재 무 이 사	김 희 석 (청주대학교 교수)	임 신 일 (서경대학교 교수)	
회 원 이 사	이 광 엽 (서경대학교 교수)	최 기 영 (서울대학교 교수)	
연구회위원장	차 호 영 (홍익대학교 교수) – 반도체.재료부품연구회		
	오 민 철 (부산대학교 교수) – 광파및양자전자공학 연구회		
	이 찬 호 (숭실대학교 교수) – SoC설계연구회		
	신 현 철 (광운대학교 교수) – RF집적회로연구회		
	정 원 영 (다우인큐브 전무) – PCB&Package연구회		
간 사	김 형 탁 (홍익대학교 교수)	문 용 (숭실대학교 교수)	전 경 구 (인천대학교 교수)
	어 영 선 (한양대학교 교수)	이 성 수 (숭실대학교 교수)	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	차 호 영 (홍익대학교 교수)		

컴퓨터소사이어티

회 장	안 현 식 (동명대학교 교수)		
명 예 회 장	김 형 중 (고려대학교 교수)	박 인 정 (단국대학교 교수)	박 춘 명 (한국교통대학교 교수)
	신 인 철 (단국대학교 교수)	안 병 구 (홍익대학교 교수)	이 규 대 (공주대학교 교수)
	임 기 욱 (선문대학교 교수)	허 영 (한국전기연구원 본부장)	홍 유 식 (상지대학교 교수)
자 문 위 원	이 강 현 (조선대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)	
감 사	남 상 엽 (국제대학교 교수)	심 정 연 (강남대학교 교수)	
부 회 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	김 도 현 (제주대학교 교수)	김 승 천 (한성대학교 교수)
	조 민 호 (고려대학교 교수)		
협동부회장	권 호 열 (강원대학교 교수)	김 영 학 (한국산업기술평가관리원 본부장)	김 천 식 (세종대학교 교수)
	임 병 민 (㈜Agerigna Co.,Ltd 회장)	정 용 규 (을지대학교 교수)	조 병 순 (㈜시엔시 인스트루먼트 사장)
총 무 이 사	박 수 현 (국민대학교 교수)	최 용 수 (성결대학교 교수)	
재 무 이 사	김 진 홍 (한성대학교 교수)	이 기 영 (을지대학교 교수)	
홍 보 이 사	황 인 정 (명지병원 책임)		
편 집 이 사	강 병 권 (순천향대학교 교수)	기 장 근 (공주대학교 교수)	변 영 재 (울산과학기술대학교 교수)
	윤 은 준 (경일대학교 교수)	이 석 환 (동명대학교 교수)	진 성 아 (성결대학교 교수)
	진 훈 (경기대학교 교수)		
학 술 이 사	강 상 욱 (상명대학교 교수)	김 선 욱 (고려대학교 교수)	성 해 경 (한양여자대학교 교수)
	손 경 락 (한국해양대학교 교수)	우 운 택 (한국과학기술원 교수)	이 문 구 (김포대학교 교수)
	이 민 호 (경북대학교 교수)	이 성 로 (목포대학교 교수)	이 찬 수 (영남대학교 교수)
	허 준 (경민대학교 교수)		
사 업 이 사	김 종 윤 (경동대학교 교수)	김 홍 균 (이화여자대학교 교수)	박 세 환 (한국과학기술정보연구원 전문연구위원)
	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	전 병 태 (한경대학교 교수)	
산 학 이 사	김 대 휘 (㈜경봉 대표이사)	김 성 길 (㈜K4M 이사)	김 종 국 (㈜이로젠 대표)
	노 소 영 (월송출판 대표이사)	서 봉 상 (㈜올포랜드 이사)	송 치 봉 (웨이버스 이사)
	오 승 훈 (LG C&S 과장)	유 성 철 (LG히다찌 산학협력팀장)	
논문편집위원장	최 용 수 (성결대학교 교수)		
연구회위원장	윤 은 준 (경일대학교 교수) – 융합컴퓨팅연구회		
	이 민 호 (경북대학교 교수) – 인공지능/신경망/퍼지 연구회		
	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) – 멀티미디어연구회		
	진 훈 (경기대학교 교수) – 유비쿼터스시스템연구회		
	김 도 현 (제주대학교 교수) – M2M/IoT 연구회		

신호처리소사이어티

회 장	조 남 익 (서울대학교 교수)		
자 문 위 원	김 홍 국 (광주과학기술원 교수)	이 영 렬 (세종대학교 교수)	홍 민 철 (숭실대학교 교수)
	전 병 우 (성균관대학교 교수)		
감 사	김 원 하 (경희대학교 교수)	최 해 철 (한밭대학교 교수)	
부 회 장	김 문 철 (한국과학기술원 교수)	김 창 익 (한국과학기술원 교수)	박 종 일 (한양대학교 교수)
	심 동 규 (광운대학교 교수)		
협동부회장	강 동 욱 (정보통신기술진흥센터 CP)	김 진 웅 (한국전자통신연구원 그룹장)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	변 혜 란 (연세대학교 교수)	신 원 호 (LG전자 상무)	양 인 환 (TI Korea 이사)
	오 은 미 (삼성전자 마스터)	이 병 욱 (이화여자대학교 교수)	지 인 호 (홍익대학교 교수)
	최 병 호 (전자부품연구원 센터장)		
이 사	강 현 수 (충북대학교 교수)	권 기 룡 (부경대학교 교수)	김 남 수 (서울대학교 교수)
	김 정 태 (이화여자대학교 교수)	김 해 광 (세종대학교 교수)	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)
	박 인 규 (인하대학교 교수)	서 정 일 (한국전자통신연구원 선임연구원)	신 지 태 (성균관대학교 교수)
	엄 일 규 (부산대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)	이 상 근 (중앙대학교 교수)
	이 상 윤 (연세대학교 교수)	임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)	장 길 진 (울산과학기술대학교 교수)
	장 준 혁 (한양대학교 교수)	한 종 기 (세종대학교 교수)	
협 동 이 사	강 상 원 (한양대학교 교수)	강 제 원 (이화여자대학교 교수)	구 형 일 (아주대학교 교수)
	권 구 락 (조선대학교 교수)	김 기 백 (숭실대학교 교수)	김 상 효 (성균관대학교 교수)
	김 용 환 (전자부품연구원 선임연구원)	김 응 규 (한밭대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
	김 창 수 (고려대학교 교수)	박 상 윤 (명지대학교 교수)	박 현 진 (성균관대학교 교수)
	박 호 종 (광운대학교 교수)	서 영 호 (광운대학교 교수)	신 재 섭 (㈜픽스트리 대표이사)
	신 종 원 (광주과학기술원 교수)	양 현 종 (울산과학기술대학교 교수)	이 기 승 (건국대학교 교수)
	이 종 설 (전자부품연구원 책임연구원)	이 창 우 (카톨릭대학교 교수)	임 재 윤 (제주대학교 교수)
	장 세 진 (전자부품연구원 센터장)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)
	최 준 원 (한양대학교 교수)	홍 성 훈 (전남대학교 교수)	
연구회위원장	김 무 영 (세종대학교 교수) – 음향및신호처리연구회		
	송 병 철 (인하대학교 교수) – 영상신호처리연구회		
	이 찬 수 (영남대학교 교수) – 영상이해연구회		
	예 종 철 (한국과학기술원 교수) – 바이오영상신호처리연구회		
총 무 간 사	허 용 석 (아주대학교 교수)		

시스템 및 제어소사이어티

회 장	오 승 록 (단국대학교 교수)		
부 회 장	정 길 도 (전북대학교 교수)	김 영 철 (군산대학교 교수)	이 경 중 (연세대학교 교수)
	유 정 봉 (공주대학교 교수)	주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	
자 문 위 원	박 종 국 (경희대학교 교수)	서 일 홍 (한양대학교 교수)	김 덕 원 (연세대학교 교수)
	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 교수)	오 창 현 (고려대학교 교수)
	오 상 록 (한국과학기술연구원 분원장)		

감 사	김 영 진 (생산기술연구원 박사)	남 기 창 (연세대학교 교수)	
총 무 이 사	권 종 원 (한국산업기술시험원 박사)	김 용 태 (한경대학교 교수)	
재 무 이 사	최 영 진 (한양대학교 교수)	김 준 식 (KIST 박사)	
학 술 이 사	서 성 규 (고려대학교 교수)	김 용 권 (건양대학교 교수)	박 재 흥 (서울대학교 교수)
편 집 이 사	남 기 창 (연세대학교 교수)	이 수 열 (경희대학교 교수)	김 시 호 (연세대학교 교수)
기 획 이 사	최 현 택 (한국해양과학기술원 박사)	이 덕 진 (군산대학교 교수)	김 수 찬 (한경대학교 교수)
사 업 이 사	이 석 재 (대구보건대학교 교수)	고 낙 용 (조선대학교 교수)	양 연 모 (금오공과대학교 교수)
산학연이사	조 영 조 (한국전자통신연구원 박사)	강 대 희 (유도㈜ 박사)	
홍 보 이 사	김 호 철 (을지대학교 교수)	박 재 병 (전북대학교 교수)	여 희 주 (대진대학교 교수)
회 원 이 사	이 학 성 (세종대학교 교수)	변 영 재 (울산과학기술대학교 교수)	문 정 호 (강릉원주대학교 교수)
연구회위원장	한 수 희 (POSTECH 교수) – 제어계측연구회		
	이 성 준 (한양대학교 교수) – 회로및시스템연구회		
	남 기 창 (동국대학교 교수) – 의용전자 및 생체공학연구회		
	김 규 식 (서울시립대학교 교수) – 전력전자연구회		
	조 영 조 (한국전자통신연구원 박사) – 지능로봇연구회		
	전 순 용 (동양대학교 교수) – 국방정보및제어연구회		
	– 자동차전자연구회		
	오 창 현 (고려대학교 교수) – 의료영상시스템연구회		
	권 종 원 (한국산업기술시험원 선임연구원) – 스마트팩토리연구회		

산업전자소사이어티

회 장	원 영 진 (부천대학교 교수)		
명 예 회 장	강 창 수 (유한대학교 교수)	남 상 엽 (국제대학교 교수)	윤 기 방 (인천대학교 교수)
	이 상 회 (동서울대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	
자 문 위 원	김 용 민 (충청대학교 교수)	김 종 부 (인덕대학교 교수)	윤 한 오 (동국대학교 교수)
	이 상 준 (수원과학대학교 교수)	최 영 일 (조선이공대학교 총장)	
부 회 장	김 동 식 (인하공업전문대학 교수)	김 태 원 (상지영서대학교 교수)	동 성 수 (용인송담대학교 교수)
	서 춘 원 (김포대학교 교수)	이 병 선 (김포대학교 교수)	이 용 구 (한림성심대학교 교수)
	한 완 옥 (여주대학교 교수)		
감 사	김 영 선 (대림대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)	
협동부회장	강 현 웅 (핸즈온테크놀로지 대표)	곽 은 식 (경봉 부사장)	김 대 휘 (한국정보기술 대표)
	김 영 주 (훼스텍 상무)	김 응 연 (인터그래택 대표)	김 정 석 (ODA테크롤로지 대표)
	김 종 인 (LG엔시스 본부장)	김 진 선 (청파이엠티 대표)	김 창 일 (아이지 대표)
	김 태 형 (하이버스 대표)	남 승 우 (상학당 대표)	박 용 후 (이디 대표)
	박 현 찬 (나인플러스EDA 대표)	성 재 용 (오픈링크시스템 대표)	송 광 헌 (복두전자 대표)
	이 영 준 (비츠로시스 본부장)	장 철 (LG히타찌 본부장)	진 수 춘 (한백전자 대표)
	한 성 준 (아이티센 부사장)		
이 사	강 민 구 (경기과학기술대학교 교수)	강 희 훈 (여주대학교 교수)	고 정 환 (인하공업전문대학 교수)
	곽 칠 성 (재능대학교 교수)	구 자 일 (인하공업전문대학 교수)	권 오 복 (국제대학교 교수)
	권 오 상 (경기과학기술대학교 교수)	김 현 (부천대학교 교수)	김 남 섭 (서일대학교 교수)
	김 덕 수 (동양미래대학교 교수)	김 덕 영 (부천대학교 교수)	김 상 범 (폴리텍인천 교수)
	김 영 로 (명지전문대학 교수)	김 영 우 (두원공과대학교 교수)	김 영 준 (인하공업전문대학 교수)
	김 윤 석 (상지영서대학교 교수)	김 은 원 (대림대학교 교수)	김 태 용 (구미대학교 교수)
	문 현 욱 (동원대학교 교수)	박 성 욱 (인하공업전문대학 교수)	박 종 우 (재능대학교 교수)
	박 진 홍 (혜전대학교 교수)	반 기 종 (부천대학교 교수)	방 경 호 (명지전문대학 교수)
	방 극 준 (인덕대학교 교수)	배 효 관 (동원대학교 교수)	백 승 철 (우송정보대학교 교수)
	변 상 준 (대덕대학교 교수)	서 병 석 (상지영서대학교 교수)	성 해 경 (한양여자대학교 교수)
	성 홍 석 (부천대학교 교수)	손 병 희 (인하공업전문대학 교수)	송 도 선 (우송정보대학교 교수)
	송 정 태 (동서울대학교 교수)	신 진 섭 (경민대학교 교수)	신 철 기 (부천대학교 교수)
	심 완 보 (충청대학교 교수)	안 성 수 (명지전문대학 교수)	안 태 원 (동양미래대학교 교수)
	엄 우 용 (인하공업전문대학 교수)	오 태 명 (명지전문대학 교수)	용 승 림 (인하공업전문대학 교수)
	우 찬 일 (서일대학교 교수)	윤 중 현 (조선이공대학교 교수)	이 철 (인하공업전문대학 교수)
	이 규 희 (상지영서대학교 교수)	이 동 영 (명지전문대학 교수)	이 명 문 (수원과학대학교 교수)
	이 상 철 (재능대학교 교수)	이 승 우 (동원대학교 교수)	이 시 현 (동서울대학교 교수)
	이 정 석 (인하공업전문대학 교수)	이 종 근 (부천대학교 교수)	이 종 성 (부천대학교 교수)
	이 종 용 (광운대학교 교수)	이 종 하 (전주비전대학교 교수)	이 태 동 (국제대학교 교수)
	장 기 동 (동양미래대학교 교수)	장 성 석 (영진전문대학 교수)	전 종 원 (상지영서대학교 교수)
	정 환 익 (경복대학교 교수)	조 경 식 (국제대학교 교수)	주 진 화 (오산대학교 교수)
	최 선 정 (국제대학교 교수)	최 의 선 (폴리텍아산 교수)	최 현 식 (충북보건과학대학교 교수)
	허 윤 석 (충청대학교 교수)	황 수 철 (인하공업전문대학 교수)	
협 동 이 사	강 현 석 (로보웰코리아 대표)	고 강 일 (핸즈온테크놀로지 부장)	김 민 준 (베리타스 부장)
	김 세 종 (SJ정보통신 부사장)	김 순 식 (청파이엠티 이사)	김 연 길 (대보정보통신 본부장)
	김 태 웅 (윕스 부장)	박 정 민 (오므론 과장)	서 봉 상 (올포랜드 이사)
	송 치 봉 (웨이버스 이사)	신 우 현 (경봉 상무)	양 영 규 (아이지 상무)
	오 승 훈 (LG-CNS 과장)	오 재 곤 (세인 부사장)	원 우 연 (이디 부장)
	유 성 철 (LG히다찌 산학팀장)	유 제 욱 (한빛아카데미 부장)	이 성 대 (비츠로시스 이사)
	이 요 한 (유성SDS 대표)	이 재 준 (한백전자 부장)	이 진 우 (글로벌이링크 대표)
	이 현 성 (한국마케팅 대표)	장 대 현 (지에스비텍 상무)	조 규 남 (로봇신문사 대표)
	조 병 영 (태진인포텍 전무)	조 한 일 (투데이게이트 이사)	한 상 우 (인터그래택 팀장)

제21대 평의원 명단

강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
강 성 호 (연세대학교 교수)
강 창 수 (유한대학교 교수)
고 윤 호 (충남대학교 교수)
공 준 진 (삼성전자 마스터)
권 기 룡 (부경대학교 교수)
권 종 기 (한국전자통신연구원 책임연구원)
권 호 열 (강원대학교 교수)
김 규 식 (서울시립대학교 교수)
김 남 용 (강원대학교 교수)
김 덕 진 (명예회장)
김 동 규 (한양대학교 교수)
김 동 식 (한국외국어대학교 교수)
김 보 은 (㈜라온텍 사장)
김 상 태 (한국산업기술평가관리원 실장)
김 선 일 (한양대학교 교수)
김 소 영 (성균관대학교 교수)
김 수 찬 (한경대학교 교수)
김 시 호 (연세대학교 교수)
김 영 철 (군산대학교 교수)
김 용 민 (충청대학교 교수)
김 원 종 (한국전자통신연구원 팀장)
김 재 석 (연세대학교 교수)
김 재 희 (연세대학교 교수)
김 종 대 (한국전자통신연구원 연구위원)
김 준 모 (KAIST 교수)
김 진 선 (SK이노베이션 전무)
김 창 수 (고려대학교 교수)
김 철 동 (㈜세원텔레텍 대표이사)
김　현 (부천대학교 교수)
김 형 탁 (홍익대학교 교수)
김 희 석 (청주대학교 교수)
남 기 창 (동국대학교 교수)
남 일 구 (부산대학교 교수)
노 태 문 (한국전자통신연구원 책임연구원)
류 수 정 (삼성전자 상무)
민 경 식 (국민대학교 교수)
박 광 석 (서울대학교 교수)
박 래 홍 (서강대학교 교수)
박 성 한 (명예회장)
박 정 일 (영남대학교 교수)
박 진 옥 (명예회장)
박 현 욱 (KAIST 교수)
박 홍 준 (포항공과대학교 교수)
백 만 기 (김&장법률사무소 변리사)
범 진 욱 (서강대학교 교수)
변 증 남 (명예회장)
서 진 수 (강릉원주대학교 교수)
선 우 경 (이화여자대학교 교수)
성 하 경 (전자부품연구원 선임연구본부장)
손 광 훈 (연세대학교 교수)
송 병 철 (인하대학교 교수)
송 창 현 (네이버 CTO)
신 현 동 (경희대학교 교수)
심 동 규 (광운대학교 교수)
안 병 구 (홍익대학교 교수)
안 현 식 (동명대학교 교수)
엄 일 규 (부산대학교 교수)
오 민 철 (부산대학교 교수)
오 의 열 (LG디스플레이㈜ 연구위원)
원 영 진 (부천대학교 교수)
강 민 제 (제주대학교 교수)
강 의 성 (순천대학교 교수)
고 성 제 (고려대학교 교수)
고 현 석 (한국전자통신연구원 선임연구원)
구 용 서 (단국대학교 교수)
권 기 원 (성균관대학교 교수)
권 종 원 (한국산업기술시험원 선임연구원)
김 강 욱 (경북대학교 교수)
김 기 남 (삼성전자 사장)
김 달 수 (㈜티엘아이 대표이사)
김 도 현 (명예회장)
김 동 순 (전자부품연구원 박사)
김 무 영 (세종대학교 교수)
김 봉 태 (한국전자통신연구원 소장)
김 선 용 (건국대학교 교수)
김 성 대 (KAIST 교수)
김 수 원 (고려대학교 교수)
김 수 환 (서울대학교 교수)
김 영 권 (명예회장)
김 영 환 (포항공과대학교 교수)
김 용 석 (성균관대학교 교수)
김 원 하 (경희대학교 교수)
김 재 하 (서울대학교 교수)
김 정 식 (대덕전자 회장)
김 종 선 (홍익대학교 교수)
김 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)
김 진 영 (광운대학교 교수)
김 창 용 (삼성전자 DMC 연구소장)
김 철 우 (고려대학교 교수)
김 현 수 (삼성전자 상무)
김 홍 국 (광주과학기술원 교수)
김 희 식 (서울시립대학교 교수)
남 상 엽 (국제대학교 교수)
노 원 우 (연세대학교 교수)
도 양 회 (제주대학교 교수)
문 영 식 (한양대학교 교수)
민 경 오 (LG전자 부사장)
박 규 태 (연세대학교 명예교수)
박 병 국 (서울대학교 교수)
박 수 현 (국민대학교 교수)
박 종 일 (한양대학교 교수)
박 찬 구 (인피니언테크놀로지스파워세미텍 대표이사)
박 현 창 (동국대학교 교수)
방 성 일 (단국대학교 교수)
백 준 기 (중앙대학교 교수)
변 대 석 (삼성전자 마스터)
서 승 우 (서울대학교 교수)
서 철 헌 (숭실대학교 교수)
선우명훈 (아주대학교 교수)
성 해 경 (한양여자대학교 교수)
송 문 섭 ((유)엠세븐시스템 대표이사)
송 상 헌 (중앙대학교 교수)
신 오 순 (숭실대학교 교수)
신 현 철 (광운대학교 교수)
심 정 연 (강남대학교 교수)
안 승 권 (LG전자 사장)
양 일 석 (한국전자통신연구원 부장)
연 규 봉 (자동차부품연구원 팀장)
오 상 록 (한국과학기술연구원 분원장)
오 창 현 (고려대학교 교수)
유 경 식 (KAIST 교수)
강 석 형 (울산과학기술대학교 교수)
강 진 구 (인하대학교 교수)
고 요 환 (㈜매그나칩반도체 전무)
공 배 선 (성균관대학교 교수)
구 자 일 (인하공업전문대학 교수)
권 오 경 (한양대학교 교수)
권 혁 인 (중앙대학교 교수)
김 경 기 (대구대학교 교수)
김 기 호 (삼성전자 부사장)
김 대 환 (국민대학교 교수)
김 도 현 (제주대학교 교수)
김 동 식 (인하공업전문대학 교수)
김 문 철 (KAIST 교수)
김 부 균 (숭실대학교 교수)
김 선 욱 (고려대학교 교수)
김 성 호 (한국산업기술평가관리원 책임연구원)
김 수 중 (명예회장)
김 승 천 (한성대학교 교수)
김 영 선 (대림대학교 교수)
김 영 희 (창원대학교 교수)
김 용 신 (고려대학교 교수)
김 윤 희 (경희대학교 교수)
김 재 현 (아주대학교 교수)
김 정 호 (이화여자대학교 교수)
김 종 옥 (고려대학교 교수)
김 진 상 (경희대학교 교수)
김　짐 (한국산업기술평가관리원 선임연구원)
김 창 익 (KAIST 교수)
김 태 원 (상지영서대학교 교수)
김 현 철 (울산대학교 교수)
김　훈 (인천대학교 교수)
나 정 웅 (명예회장)
남 상 욱 (서울대학교 교수)
노 정 진 (한양대학교 교수)
동 성 수 (용인송담대학교 교수)
문　용 (숭실대학교 교수)
박 광 로 (한국전자통신연구원 부장)
박 동 일 (현대자동차㈜ 전무)
박 성 욱 (SK하이닉스㈜ 대표이사)
박 인 규 (인하대학교 교수)
박 주 현 (영남대학교 교수)
박 항 구 (명예회장)
박 형 무 (동국대학교 교수)
백 광 현 (중앙대학교 교수)
백 흥 기 (전북대학교 교수)
변 영 재 (울산과학기술대학교 교수)
서 정 욱 (명예회장)
서 춘 원 (김포대학교 교수)
성 굉 모 (명예회장)
손 광 준 (한국산업기술평가관리원 PD)
송 민 규 (동국대학교 교수)
송 용 호 (한양대학교 교수)
신 요 안 (숭실대학교 교수)
신 현 철 (한양대학교 교수)
안 길 초 (서강대학교 교수)
안 태 원 (동양미래대학교 교수)
엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 소장)
예 종 철 (KAIST 교수)
오 승 록 (단국대학교 교수)
우 남 성 (삼성전자 사장)
유 명 식 (숭실대학교 교수)

유 윤 섭 (한경대학교 교수)
유 태 환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
윤 기 방 (인천대학교 교수)
윤 영 권 (삼성전자 마스터)
윤 일 동 (한국외국어대학교 교수)
이 가 원 (충남대학교 교수)
이 광 만 (제주대학교 교수)
이 문 구 (김포대학교 교수)
이 민 호 (경북대학교 교수)
이 병 욱 (이화여자대학교 교수)
이 상 윤 (연세대학교 교수)
이 성 수 (숭실대학교 교수)
이 신 섭 (프라임에어웨이브 대표이사)
이 원 석 (동양미래대학교 교수)
이 인 규 (고려대학교 교수)
이 재 홍 (서울대학교 교수)
이 진 구 (명예회장)
이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
이 충 용 (연세대학교 교수)
이 필 중 (포항공과대학교 교수)
이 호 경 (홍익대학교 교수)
이 희 국 (㈜LG 상근고문)
임 기 택 (전자부품연구원 센터장)
임 제 탁 (명예회장)
장 길 진 (경북대학교 교수)
장 익 준 (경희대학교 교수)
전 병 우 (성균관대학교 교수)
전 준 표 (한국산업기술평가관리원 책임연구원)
정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
정 영 모 (한성대학교 교수)
정 은 승 (삼성전자 부사장)
정 종 문 (연세대학교 교수)
정 진 용 (인하대학교 교수)
조 경 순 (한국외국어대학교 교수)
조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
조 상 복 (울산대학교 교수)
조 영 조 (한국전자통신연구원 책임연구원)
주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)
차 형 우 (청주대학교 교수)
최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
최 병 호 (전자부품연구원 센터장)
최 영 규 (한국교통대학교 교수)
최 윤 경 (삼성전자 마스터)
최 준 림 (경북대학교 교수)
최 천 원 (단국대학교 교수)
한 수 희 (포항공과대학교 교수)
한 태 희 (성균관대학교 교수)
허　　영 (한국전기연구원 본부장)
호 요 성 (광주과학기술원 교수)
홍 대 식 (연세대학교 교수)
홍 용 택 (서울대학교 교수)
황 인 철 (강원대학교 교수)
유 정 봉 (공주대학교 교수)
유 현 규 (한국전자통신연구원 책임연구원)
윤 석 현 (단국대학교 교수)
윤 은 준 (경일대학교 교수)
윤 종 용 (삼성전자 비상임고문)
이 강 윤 (성균관대학교 교수)
이 광 엽 (서경대학교 교수)
이 문 기 (명예회장)
이 배 호 (전남대학교 교수)
이 상 근 (중앙대학교 교수)
이 상 홍 (정보통신기술진흥센터 센터장)
이 승 호 (한밭대학교 교수)
이 영 렬 (세종대학교 교수)
이 윤 식 (울산과학기술대학교 교수)
이 장 명 (부산대학교 교수)
이 재 훈 (유정시스템㈜ 사장)
이 찬 수 (영남대학교 교수)
이 채 은 (인하대학교 교수)
이 충 웅 (명예회장)
이 한 호 (인하대학교 교수)
이 호 진 (숭실대학교 교수)
이 희 덕 (충남대학교 교수)
임 신 일 (서경대학교 교수)
임 해 진 (강원대학교 교수)
장 영 찬 (금오공과대학교 교수)
장 태 규 (중앙대학교 교수)
전 순 용 (동양대학교 교수)
전 창 율 (서울시립대학교 교수)
정 길 도 (전북대학교 교수)
정 원 영 (㈜다우인큐브 전무)
정 의 영 (연세대학교 교수)
정　　준 (쏠리드 대표이사)
정 한 유 (부산대학교 교수)
조 경 주 (원광대학교 교수)
조 명 진 (네이버 연구원)
조 성 현 (한양대학교 교수)
조 재 문 (삼성전자 전무)
진　　훈 (경기대학교 교수)
차 호 영 (홍익대학교 교수)
최 기 영 (서울대학교 교수)
최 승 원 (한양대학교 교수)
최 용 수 (성결대학교 교수)
최 윤 식 (연세대학교 교수)
최 중 호 (서울시립대학교 교수)
한 대 근 (㈜실리콘웍스 대표이사)
한 완 옥 (여주대학교 교수)
함 철 희 (삼성전자 마스터)
허 재 두 (한국전자통신연구원 실장)
홍 국 태 (LG전자 연구위원)
홍 민 철 (숭실대학교 교수)
홍 유 식 (가톨릭상지대학교 교수)
유 창 동 (KAIST 교수)
유 회 준 (KAIST 교수)
윤 성 로 (서울대학교 교수)
윤 일 구 (연세대학교 교수)
윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)
이 경 중 (연세대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)
이 민 영 (반도체산업협회 본부장)
이 병 선 (김포대학교 교수)
이 상 설 (명예회장)
이 상 회 (동서울대학교 교수)
이 승 훈 (서강대학교 교수)
이 용 구 (한림성심대학교 교수)
이 윤 종 (㈜동부하이텍 부사장)
이 재 진 (숭실대학교 교수)
이 종 호 (서울대학교 교수)
이 찬 호 (숭실대학교 교수)
이 천 희 ((전)청주대학교 교수)
이 태 원 (명예회장)
이 혁 재 (서울대학교 교수)
이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
인 치 호 (세명대학교 교수)
임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)
임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
장 은 영 (공주대학교 교수)
전 국 진 (서울대학교 교수)
전 영 현 (삼성전자 사장)
전 홍 태 (중앙대학교 교수)
정 승 원 (동국대학교 교수)
정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
정 정 화 (명예회장)
정 진 균 (전북대학교 교수)
정 항 근 (전북대학교 교수)
조 남 익 (서울대학교 교수)
조 민 호 (고려대학교 교수)
조 성 환 (KAIST 교수)
조 중 휘 (인천대학교 교수)
차 종 범 (구미전자정보기술원 원장)
천 경 준 (㈜씨젠 회장)
최 병 덕 (한양대학교 교수)
최 승 종 (LG전자 전무)
최 우 영 (서강대학교 교수)
최 정 아 (삼성전자 전무)
최 진 성 (SK텔레콤 전무)
한 동 석 (경북대학교 교수)
한 종 기 (세종대학교 교수)
허　　염 (실리콘마이터스 대표이사)
허　　준 (고려대학교 교수)
홍 규 식 (삼성전자 상무)
홍 승 홍 (명예회장)
황 승 구 (한국전자통신연구원 소장)

사무국 직원 명단

송기원 국장 – 업무총괄, 기획, 자문, 산학연, 선거
이안순 부장 – 국내학술대회, 총무, 포상, 임원관련, 컴퓨터(소)
배지영 차장 – 국문논문, JSTS, 시스템및제어(소)
배기동 차장 – 사업, 표준화, 용역, 반도체(소)
변은정 과장 – 재무(본회/소사이어티/연구회), 학회지, 산업전자(소)
김천일 과장 – 정보화, 교육/홍보, 회원, 홈페이지, 통신(소)
장다희 서기 – 국제학술대회, SPC, 국제협력, 신호처리(소)

제2차 자문위원회 개최

9월 23일(금) 학회 회의실에서 2차 자문위원회가 개최되었다. 이번 회의에서는 먼저 학회 사업보고와 자문에 이어 차기 자문위원장, 부위원장을 선출하였다. 자문위원회 회의 이후에는 서울 IT포럼이 개최되었고 ETRI 하원규 박사가 "제4차 산업혁명의 작동기제와 대한민국의 담대한 도전"이라는 주제로 강연하였다.

제2차 자문위원회 – 구용서 학회장 사업보고

의료전자융합 공동 워크샵 · 학술대회

'의료전자융합'의 주제를 가지고 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티, 신호처리소사이어티와 구미전자정보기술원이 공동 주최하는 워크샵 · 학술대회를 9월 29일(목) ~ 30일(금), 구미코에서 개최하였다.

한국의 전자분야 산업발전에 견인차 역할을 해온 구미에서 학계와 연구소 및 산업체간의 기술적 정보를 교류하기 위한 장으로서 학회와 지역의 연구소가 힘을 모아 본 행사를 개최하게 되었으며, 구미지역 산학연 관계자 참여를 통한 의료기기산업 관련 정보제공, 기술적 수요 해소 기회를 제공하였다.

기조강연으로 연세대학교 윤영로 교수가 "국내 의료기기 산업의 미래"를 강연하였으며, 의료IT융합 및 IoT 분야 등 4개 세션에서 69편의 논문이 발표되었다.

특히, 행사 마지막 날에는 구미전자정보기술원 산업시찰 등 구미기술원 내 모바일융합기술센터 및 3D디스플레이 부품소재실용화지원센터를 방문하는 등 다채로운 프로그램으로 진행되었다.

의료전자융합 공동 워크샵 · 학술대회 – 구용서 학회장 개회사

WLP(Wafer Level Package) Workshop 2016

반도체소사이어티 주최로 "WLP Workshop 2016"을 10월 6일(목) 경희대학교 국제캠퍼스에서 개최하였다.

WLP(Wafer Level Package) Workshop 2016

본 워크샵은 매년 하는 3D-TSV 워크샵의 연장선으로 진행되었으며, 국내외 FO-WLP 기술 동향 및 개발 등 어려움을 겪는 국내 부품 업체들에 전문지식을 제공하기 위해 마련되었으며, 약 200명이 참석하였다.

Machine Learning for Genome Precision Medicine from ground zero 워크샵

사업위원회(위원장 : 박종일 교수(한양대), 범진욱 교수(서강대), 유창동 교수(KAIST))에서는 10월 7일(금) "Machine Learning for Genome Precision Medicine from ground zero" 를 한국과학기술원 다목적홀에서 개최하였다.

최근 인공지능에 관한 뜨거운 관심을 반영하여 인공지능의 핵심 기술인 머신러닝 기법을 인간의 유전정보 이용하여 암을 포함한 다양한 질병을 예측하는 유전체 의학 (genomic medicine)에 적용하기 위한 강좌로 진행되었으며, 본 강좌에서는 머신러닝과 유전체학분야의 기본지식에서부터 최신 기술들을 소개되었다.

이번 워크샵에서 국내외 질병과 유전학과 머신러닝 관련 최고 전문가들을 모시고 인간의 유전학 (Human genome & genetics 주영석 MD/PhD), computational biology, bioinformatics 분야와 머신러닝 분야의 필요한 기초지식과 최신 기술들을 한국어 강연으로 우선 듣고 "Computation systems biology of Cancer"의 저자이며 프랑스 Center for Computation Biology의 Director이신 Jean-Philippe Vert 박사의 강연으로 구성되었다.

Machine Learning for Genome Precision Medicine from ground zero

제10회 군수용 초고주파 부품 워크샵

10월 13일(목) 더케이 서울호텔(구 서울교육문화회관, 양재동)에서 "제10회 군수용 초고주파부품 워크샵"을 개최하였다. 본 워크샵은 군수용 초고주파 시스템, 초고주파 소자 및 부품기술, RF 설계 및 부품 기반기술 등의 군수용 초고주파 핵심 원천기술의 확보 및 국산화를 도모하기 위하여 국내의 여러 연구단체의 공동 주관하에 초고주파 관련 최고 전문가를 초빙하여 군수용 초고주파부품 워크샵을 개최하여 왔으며, 지난 1-9회 워크샵에서는 이 분야에 관심이 많은 기업체 및

제10회 군수용 초고주파 부품 워크샵 – 구용서 학회장 인사말

학계 분들을 중심으로 매회 약 150명 정도 참석하여 성황을 이루었고, 상호간의 기술협력 및 정보교류가 성공적으로 진행되었다.

이번 워크샵은 대한전자공학회, 한국전자파학회, 한국군사과학기술학회 및 한국전자통신연구원이 공동주관기관으로 참여하였으며, 약 330명이 참가하였다.

신규회원 가입현황 (2016년 9월 7일 – 2016년 10월 12일)

정회원

강충환(건국대학교병원), 김기현(POSTECH 미래IT융합연구원), 김덕호(삼성전자 DMC연구소), 김민수(삼성전자), 김상준(한화탈레스), 박상욱(고려대학교), 박재영(한화탈레스), 서민승(한화탈레스), 서형규(한화탈레스), 신승철(한화탈레스), 이보원(인하대학교), 이상호(군산대학교), 이수호(고려대학교), 이재준(한화탈레스), 이종득(한국로봇융합연구원), 이태현(연세대학교), 임지훈(LIG넥스원), 최대규(한화탈레스), 한수영(한화탈레스)

이상 19명

학생회원

권동욱(금오공과대학교), 권종훈(금오공과대학교), 김규현(금오공과대학교), 김민섭(충남대학교), 김성윤(서울대학교), 김성태(고려대학교), 김성호(고려대학교), 김소연(아주대학교), 김치성(경북대학교), 김태형(연세대학교), 김현섭(홍익대학교), 남민호(충북대학교), 남종현(숭실대학교), 양희성(부산대학교), 오태호(경북대학교), 유지현(전북대학교), 이영로(고려대학교), 이재학(아주대학교), 전광명(광주과학기술원), 정경민(인하대학교), 조민기(홍익대학교), 조윤환(한양대학교), 한태영(인하대학교), 황승현(한양대학교)

이상 24명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

2016년 9월 21일 ~ 2016년 10월 17일

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제4차 선거관리위원회의	9.23 (17:00)	학회 회의실	– 차기 임원 선출 준비 논의 외
산업전자소사이어티 이사회의	9.23 (17:00)	해동자료실	– 후반기 행사 관련 논의 외
제6차 ICCE-Asia 2016 조직위원회의	9.27 (7:30)	JW 메리어트호텔	– 학회 관련 세부적인 안건 논의

2. 행사 개최

행사 명칭	일시	장소	주관
의료전자융합 공동 워크샵 · 학술대회	9.29~30	구미코	본회, 컴퓨터, 신호처리 소사이어티
WLP Workshop 2016	10.6	경희대학교	반도체소사이어티
Machine Learning for Genome Precision Medicine from ground zero	10.7	KAIST	사업위원회
제10회 군수용 초고주파 부품 워크샵	10.13	더케이 서울호텔	RF집적회로기술연구회

금속 3D 프린팅 설계 기술 동향

변기영
한국산업기술평가관리원

이창우
한국생산기술연구원

김건희
한국생산기술연구원

김형균
한국생산기술연구원

이병수
한국생산기술연구원

Ⅰ. 서 론

4차 제조혁명을 주도할 수 있는 기술 중 하나로 3D 프린팅 기술이 각광받고 있다. 3D 프린팅(또는 삼차원 프린팅)이란 삼차원형상의 구조물을 구현하기 위해 삼차원 도면을 자동화된 출력장치를 통해 입체화하는 기술을 의미한다. 기존의 성형 또는 사출기술과 비교하여 3D프린팅은 생산공정이 매우 간단하며 상대적으로 복잡하며, 기존 성형 또는 사출기술로는 제작이 불가능한 제품을 저비용으로 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다. 때문에 미국, 일본, 유럽과 같은 선진국에서는 3D프린팅 기술을 제조업 혁신을 위한 핵심기술로 선정하여 국가주도의 정책적 지원을 꾸준히 전개하고 있으며, Google, HP, Amazon과 같은 글로벌 기업들 또한 3D 프린팅 시장진출의 경쟁을 가속화 하고 있다.

우리 정부 또한 2014년 3D프린팅 산업 발전전략[1]을 수립하여 기술개발, 인프라조성, 산업인력양성, 법 · 제도 마련 등 초기 생태계 조성을 육성하고자 노력하고 있다. 그러나, 3D 프린팅 선진국과의 기술격차, 기존 주력산업분야의 활용 수요 부족, 핵심소재와 장비의 가격이 비싸 중소중견 기업 중심의 후발업체가 창의적 아이디어 만으로는 시장 진입 문턱이 높아 국내 산업 경쟁력은 여전히 미흡한 수준이다. 또한, 다품종 소량 생산의 시장수요에 걸맞아 3D프린팅의 유망 산업 중 하나로 손꼽히는 의료기기의 경우에도 사회적 기반, 인허가 문제에 대한 기반이 미약하여 산업적 실용화를 위한 난관이 많다 할 수 있다.

본 기고에서는 3D프린팅에 관한 일반적 기술동향과 함께 3D프린팅의 핵심기술 중 설계기술과

제조(공정) 기술 동향을 살펴보고, 산업적 실용화를 단축하기 위한 기술적 제언을 하고자 한다.

Ⅱ. 3D 프린팅의 일반적 기술동향

1. 3D 프린팅의 기술 방식 분류

삼차원 조형물을 제작하기 위한 기존 방식은 재료를 자르거나 깍아 생산하는 절삭가공방식이 대표적이며, 3D프린팅은 액체, 파우더형태의 폴리머(수지), 금속 등의 재료를 적층하여 제조하는 방식으로 제작한다는 점이 가장 큰 차이점이라 할 수 있다. 이렇게 제작하는 프로세스의 차이를 강조하여 3D 프린팅을 적층제조(Additive Manufactuing)기술이라 하며, 상대적으로 복잡하고 긴 기존 공정과 비교하여 상대적으로 빠르게 제작할 수 있는 점을 강조하여 쾌속조형 (Rapid Prototyping) 제작 방식이라 부르기도 한다. 3D 프린팅의 구현은 소재기술 또는 성형기법에 따라 다양하게 구현이 가능하며, 미국재료시험학회(ASTM)에서 대표적인 7가지 3D 프린팅 기술방식을 분류하였고, 다음과 같다[2].

- 광중합방식(PP, Photo Polymerization) 빛의 조사로 플라스틱 소재의 중합반응을 일으켜 선택적으로 고형화시키는 방식, SLA, DLP가 대표적 방식
- 재료압출방식(ME, Material Extrusion) 고온 가열한 재료를 노즐을 통해 압력으로 연속적으로 밀어내며 위치를 이동시켜 물체를 형성시키는 방식, FDM이 대표적 방식
- 접착제 분사방식(BJ, Binder Jetting) 가루형태의 모재위에 액체 형태의 접착제를 토출하여 모재를 결합시키는 방식, 3DP가 대표적 방식
- 재료분사방식(MJ, Material Jetting) 용액형태의 소재를 Jetting으로 토출하고 자외선 등으로 경화시키는 방식, Polyjet이 대표적 방식
- 분말적층용융방식(PBF Power Bed Fusion) 가루형태의 모재위에 고에너지빔(레이저 또는 전자빔)을 주사하며 조사해 선택적으로 결합시키는 방식, SLS가 대표적 방식
- 고에너지 직접조사방식(DED, Direct Energy Deposition) 고에너지원(레이저 또는 전자빔)으로 원소재를 녹여 부착시키는 방식, DMT가 대표적 방식
- 마지막으로 Sheet Lamination 방식이 있으며 얇은 필름 형태의 재료를 열, 접착제 등으로 붙여가며 적층하는 방식이다.

2. 3D 프린팅의 기술의 장점과 시장전망[3]

3차원 조형물을 만들어 내기 위해 기존 기술은 중간재를 대상으로 필요한 부분만 남기고 나머지 재료를 제거하거나(절삭가공), 소재를 용융시켜 틀에 주입하여 형상을 만드는 (주물가공, 주조) 방법을 사용하였다. 이러한 기존 제조방식과 달리 선택된 부분만 반복적으로 적층하여 3차원 조형물을 만들어 낼 수 있는 3D 프린팅 기술은 기존 기술 대비 상대적으로 복잡한 형상의 구현이 용이하고, 소재를 절감하며, 디자인 변경이 용이하고 다양한 산업과 연계 융합이 가능한 장점을 갖는다.

- (복잡한 형상 구현) 작업물과 공구간 간섭이 최소화되어 복잡한 형상 제조에 더욱 유리하며 적층방식의 제작으로 내부 형상 제작이 가능하다.

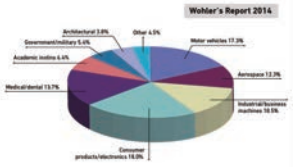
- (소재의 절감) 임의의 3차원 형상을 제작하는데 있어 전통적인 절삭가공과 비교하여 필요한 만큼의 소재를 사용하므로 소재를 크게 절감할 수 있고, 또한 고강도를 갖는 3차원 격자 구조의 설계기법을 기반으로 형상의 무게를 크게 줄일 수 있다.

- (디자인 변경이 용이) 별도의 금형이 필요 없기 때문

에 다품종 소량, 맞춤형 제작에 활용되며 제품개발 및 제작의 비용이 대폭 감소된다.

3D 프린팅의 다양한 산업분야로의 적용 가능성을 바탕으로 점차적인 시장확대가 예상되며 장비/서비스를 포함한 시장이 2020년 210억불 규모르 성장 전망이 예상된다.

〈시장현황 및 예상〉



〈응용분야별 이윤창출 설문결과〉

이와 같이 3D 프린팅의 다양한 산업분야로의 응용 및 미래시장에 대응하기 위해서는 3D 프린팅의 핵심 요소기술에 대한 이해와 접근전략이 필요하다 할 수 있다.

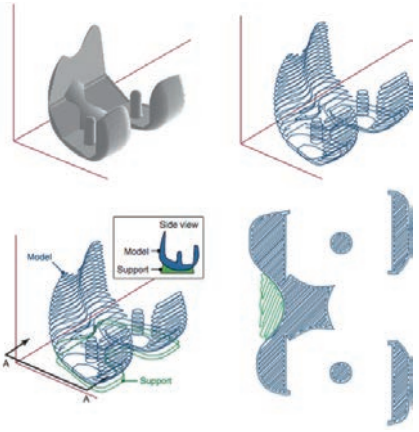
3. 3D 프린팅의 핵심요소기술 동향

3D 프린팅 기술은 크게 설계기술, 소재기술, 장비기술, 공정기술, 후처리 기술로 분류할 수 있다. 이들 중 본 기고문에서는 설계기술과 공정기술에 초점을 맞추고자 한다.

가. 3D 프린팅 설계 기술 동향

기존 제조공정으로는 구현이 불가능한 형상에 대한 제조가 3D 프린팅에서는 가능해 짐에 따라 3D 프린팅을 위한 기능성 복합구조 형상설계기술이 3D 프린팅의 핵심 원천기술로 부각되고 있다.

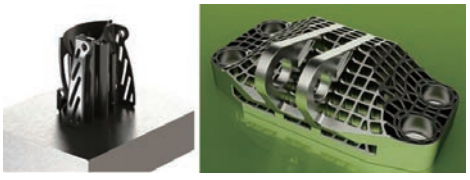
의료분야에서는 체내 삽입의료기기를 위한 기능성 표면 프로파일, 탄성구조 제어, 복합곡면 동시구현 설계를 통해 체내 식립 후 인체 친화성, 내구성 등의 요구가 존재하며 이에 대응하기 위한 stress-release구조 설계, 접



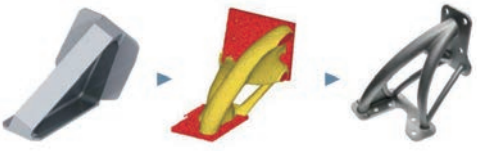
〈그림 1〉 3D 프린팅 모델 Layering 및 support 설계 예

촉 표면적 극대화를 통한 표면효과증진의 제품설계 기술이 필요하다. 〈그림 1〉과 같이 제조공정 중 Layering과 support 설계를 통해 공정 생산성, 치수정밀성, 빌드품의 물성등을 제어할 수 있다. 이는 빌드의 방향이나 속도 등이 물성에 영향을 미칠 뿐 아니라 제조공정의 속도에도 영향을 미치는 것을 의미한다[4-7].

항공분야에서는 항공부품 등의 요구강성을 만족하면서 경량화 실현가능한 구조 설계기술이 가장 큰 요구라 할 수 있다. 〈그림 2〉는 경량 · 고강도 항공기 구조부품의 예이며, Ti 합금분말을 이용하여 구현한 제품으로 고 비강



〈그림 2〉 경량 · 고강도 항공기 구조부품 (출처:EOS社)



〈그림 3〉 위상기하학 기반 경량 · 고강도 설계 예시
(출처 : laser Zentrum Nord社)

〈그림 4〉 Airbus社 경량 · 고강도 구조부품 설계/제작 예

도가 매우 높은 제품이다.

이와 같이 3D 프린팅 설계기술은 기존 제품의 설계도면을 기준으로 보다 효율적 디자인으로 변경하여 구현하는 방향으로 발전하고 있으며 주로 부가가치가 높은 다품종 소량생산품을 대상으로 위상기하학(topology), 생체공학 응용기반 경량 · 고강도 구조설계와 더불어 열 효율 증대를 위한 복합 구조설계기술이 가장 크게 대두되고 있다. 〈그림 3〉과 〈그림 4〉는 각각 위상기하학을 기반으로 한 경량 · 고강도 설계의 예시와 제품의 예시이다.

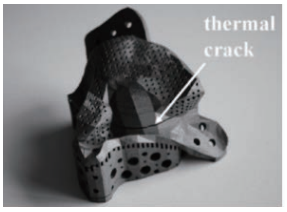
전술한 바와같이 자동차, 항공분야 등에서는 연료절감, 속도향상 등의 목적으로 제품의 중량감소가 큰 관심사가 되고 있으며 3D 프린팅의 설계/디자인을 통해 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 충분한 가능성을 보여주고 있다. 〈그림 5〉에서는 기존 제품과 3D 프린팅을 통해 제조된 제품의 설계/디자인의 차이를 통해 제품의 중량을 어느정도 감소시킬 수 있는지에 대한 가능성을 보여주고 있다.

〈그림 5〉는 동일한 기능에서 강도를 유지하면서 약 41%의 중량이 감소됨을 보여주는 예이다.

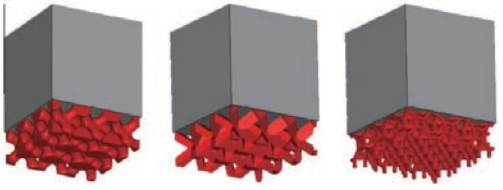
한편, 3D 프린팅제작의 공정에서 빌드품이 무너지지 않고 제작과정 중 형상을 유지할 수 있도록 지지대(supporter)를 설계하는 것 또한 기존 제작공정과는 차별화 되는 부분이며 매우 중요한 공정이다. 이러한 지지대는 단순히 형상구현과정상의 보조재 역할 뿐 아니라 제작공정상 발생하는 열을 외부로 방출할 수 있는 통로로서의 중요한 기능을 담당한다. 때문에 지지대의 개수, 방향, 크기는 빌드품의 물성을 결정하는 또 하나의 매우 중요한 변수라 할 수 있다. 일 예로 이러한 지지대에 대한 기능적

	original design	bionic design	integrated design* ("bracket" directly glued into honeycomb)
bracket weight	330 g	195 g	0 g
assembly weight	1.400 g incl. fiber mount and HiLocks	1.265 g incl. fiber mount and HiLocks	300 g
dimensioning load case	35 kN	35 kN	35 kN
weight saving		135 g per bracket -41%	1.100 g per assembly > - 80%

〈그림 5〉 생체공학 응용 경량 · 고강도 항공부품 설계[8,9]



〈그림 6〉 지지대 설계에 따른 열충격 크랙 발생 예[10]



〈그림 7〉 열 분산 효율평가를 위한 지지대 설계 예[11]

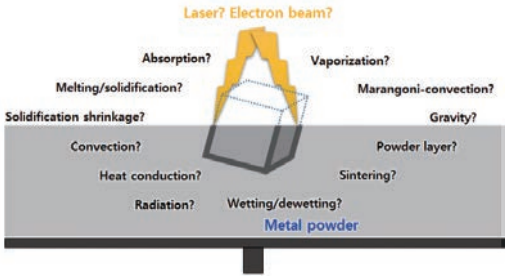
관점이 고려되지 않을 경우 제작과정상 발생하는 열응력에 의한 제품의 균열이 발생하는 문제가 나타날 수 있다. 〈그림 6〉은 지지대 설계 오류로 인해 열응력 차단기능이 부족하여 제품에 균열이 발생한 예를 보여준다.

이와 같이 3D프린팅 형상 제작 중 발생할 수 있는 열응력 문제에 대한 대응을 위해서는 효율적 열 분산 기능을 갖는 지지대 설계가 매우 중요하며, 〈그림 7〉은 그 시뮬레이션 이미지의 예이다.

〈그림 7〉의 시뮬레이션 이미지에서 보듯 지지대 수가 많고 표면적이 넓을수록 열 분산의 효과가 높고 성형되는 빌드품의 물성에 미치는 영향을 크게 달라진다.

나. 3D 프린팅 제조(공정) 기술 동향

금속 3D 프린팅의 경우 고에너지빔(레이저 또는 전자빔)과 금속분말의 상호반응에 따라 제품성형이 이루어 짐으로 제작과정상의 공정변수 제어가 필수 불가결하다 할 수 있다. 공정변수로는 분말의 형상과 크기, 분포 등의 조건과 빔의 종류에 따라 레이어의 두께 (layer thickness), 빔의 지름(beam diameter), 빔의 세기(beam power), 초점공차(focus offset), 점간거리(point distance), 노출시간(exposure time), 스캔속도(scan speed), 에너지 밀도(energy density), 선 에너지(line energy)등 다양한 변수가 있다. 이러한 변수들을 기반으로 한 공정조건 최적화를 통해 완전한 성능과 성형을 갖는 조형물을 만들어 낼 수 있으므로 이러한 공정조건에 대한 연구는 매우 중



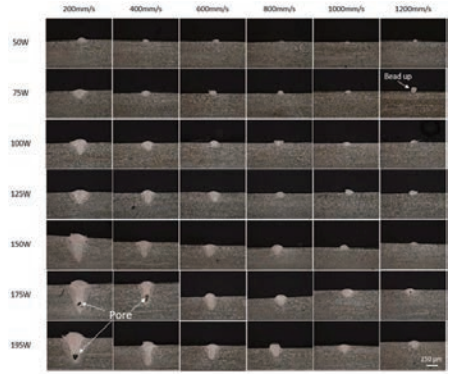
〈그림 8〉 에너지원과 금속간 상호작용 반응요소

요하다. 〈그림 8〉은 에너지원과 금속 분말의 상호작용에서 일어날 수 있는 반응요소들을 보인다.

〈그림 8〉에서 예시한 바와 같이 반응요소에서 고려할 사항은 "에너지가 어느정도 흡수될 수 있는지?", "기화현상은 일어나지 않는지?", "용융/응고가 적정 시점에서 일어나는지?", "응고시 수축이 발생하지 않는지?", "적층두께는 적정한지?" 등 14가지가 넘는다.

금속 3D 프린팅의 공정최적화를 위해 금속분말의 full melting조건을 선정한 후, SDW(Straight dense wall) 제조 조건을 확보, hatching distance를 최적화하는 과정을 거치며, 이를 기반으로 energy density별 데이터베이스를 구축하여 적용함으로써 공정최적화를 이룰 수 있다. 금속분말의 full melting을 위해 금속분말 소재에 대한 빔의 흡수율 계산값, 단위 부피별 금속소재가 용융될 수 있는 에너지를 열역학적으로 계산한 값과 3D 프린터가 가용한 energy density값과 상호 비교하여 공정을 선정하게 된다. 일반적으로 장비를 구축할 때, 장비 제조기업이 제시하는 공정조건은 형상을 만드는 것에 만족되지만 각 부품에 대한 물성, 예를 들어 강도, 경도, 연성, 피로강도 및 충격강도를 만족하는 공정조건은 아님으로 구축 후 각 장비의 조건을 잘 이해하여 최적 공정조건을 구축해야 한다.

공정 최적화를 위해 소재에 따라 기본적으로 melt pool과 SDW에 관한 연구가 필요하다. 최적 melt pool은 에너지 조사에 대해 분말이 어느정도의 깊이까지 녹는지를 나타내는 것으로 layer thickness에 따라 분말을 full melting하고 단계별 용융부위까지 열영향부(HAZ, Helt Affected Zone)을 형성시켜 주어 적정한 key hole이 형성될 수 있도록 해준다. 또한, 하단부와의 delamination

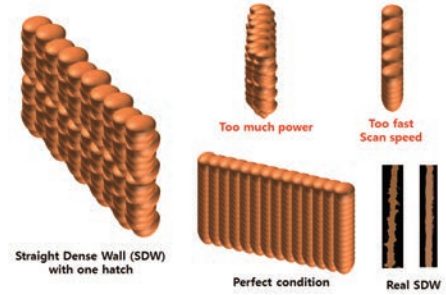


〈그림 9〉 3D 프린팅 공정조건별 Ti-6AL-4V melt pool 분석[12]

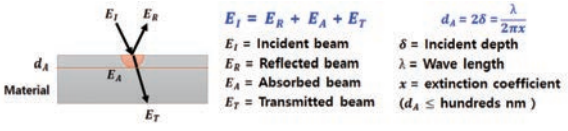
을 막기위한 에너지 조사조건을 찾는 것이 필요하다. Gong의 연구팀은 Ti-6AL-4V 합금분발로 레이저 파워와 scan-speed조건에 따른 melt-pool 형성기구와 bead up(balling effect)와 key hole 형성시 pore형성의 가능성에 대해 제시하였고, 그 분석결과를 〈그림 9〉에 보였다.

SDW는 얼마나 치밀한 조직을 최적의 공정으로 만들 수 있는가를 평가하는 지표로 적정한 melt pool 조건으로 hatch space를 넓혀 각각의 개별 wall을 만들어 기공도 등 결함여부와 wall의 조도를 평가하고 최적의 조건을 도출하는 항목이다. 이는 SLM 원천기술을 보유한 realizer社가 제안한 평가방법이며, 〈그림 10〉은 SDW 평가를 한 모식도 실제 시험결과의 단면을 보여주고 있다.

한편, 상기 두 항목에 대해 모두 에너지 밀도를 공정변수로 하여 어느정도의 에너지가 분말에 조사되는지를 예



〈그림 10〉 SDW(Straight Dense Wall) 평가(Realizer社)



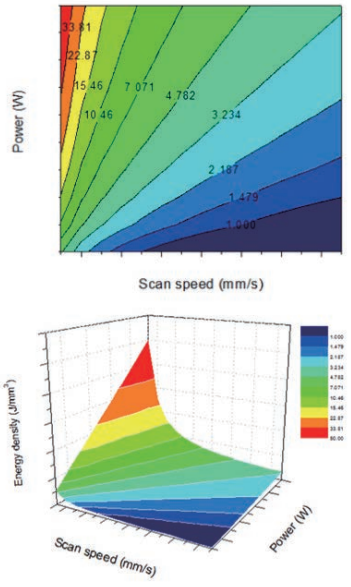
〈그림 11〉 입사된 레이저 에너지의 분리 및 영향 깊이

측하는 것이 중요하다. 3D프린팅 공정에서 조사에너지(EI)는 투과에너지(ET), 반사에너지(ER)와 흡수에너지(EA)의 합으로 정의된다.

금속의 경우 투과에너지가 없음으로 반사에너지와 흡수 에너지의 합으로 분말의 용융에 필요한 에너지가 구성되며, 금속의 경우 고상의 금속이 액상의 금속으로 상변태하는데는 Heat Capacity(열용량, HC), 용융잠열(Heat of fusion, Hf), 상변태 에너지(Pahse Transformation, Hp) 의 3 항목의 열량합으로 계산된다. 이러한 이론적 계산은 공정설계시 매우 중요한 인자로 상기식을 적용하여 기본 공정 설계를 진행한다.

금속의 용융에 필요한 최소에너지를 3D 프린팅 장비에 공급하기 위한 공정변수로 에너지 파워(W)와 스캔속도(scan speed, mm/s)를 활용한다. SLM(Selected Laser Melting)공정에서 단위당 가해지는 에너지 밀도(Energy Density) E(J/mm3)는 파워 P(W), 스캔속도 V, 해치공간(hatch space) h(mm)으로 계산될 수 있으며, 〈그림 12〉는 이러한 세 공정변수의 상관관계를 보여준다.

금속 용융에 대한 최적 공정조건을 보여주는 기본 그래프로 녹색영역은 용융과 응고에 적정한 공정조건 영역이라 할 수 있고, 붉은 영역은 과 용융, 청색영역은 미 용융 영역으로 공정에 적용이 어려운 조건이다. 보다 자세한



〈그림 12〉 SLM 활용가능한 에너지 밀도

이론적 접근과 실질적 데이터베이스 구축방식은 여러관점이 있을 수 있으나 각 부품의 요구 물성에 맞는 제조공정이 필요하며 상기 언급된 이론적 접근이외에도 빌드품의 방향성, 내부 응력 등이 고려되어야 한다.

4. 산업적 실용화 단축을 위한 제언

금속 3D프린팅 실용화를 위해 앞서 언급된 설계기술 및 제조공정기술이 가장 기반이 되는 기술이나 이외에도 사용하는 금속분말의 원소별 산화방지, 분말 크기제어, 불순물 제어 등 소재기술과 에너지원에 따른 스캔속도제어, 생산속도에 중요한 분말 도포방식의 개발, 분말회수기술 등 장비 연계기술 및 잔류응력의 제어, 표면조도의 제어, 내부물성제어 등을 위한 후처리 기술 또한 중요한 연계기술이다. 이미 글로벌 시장동향은 평균 5%이상의 성장을 보이고 있고, 선진국에서는 보잉 社, GE 등이 우주/항공분야에, conformis社(美), Alder Ortho社(伊) 등이 의료분야에서 각각 상용화 제품을 출시 판매하고 있는 현황이다. 국내에서도 다양한 산 · 학 · 연의 기관들이 다양하게 3D 프린팅의 기술과 제품을 개발하고 있는 상황에서 선진국의 기술개발 격차를 좁히고 독창적인 3D 프린팅 제품 적용을 가능하게 하기 위해 기초단계에서부터 각 기관이 보유하고 있는 기술을 결집하여 적용할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 미래창조과학부, 산업통상자원부, 3D프린팅 전략기술로드맵, 2014.12

[2] www.astm.org

[3] 산업통상자원 R&D전략기획단, 2016년 시스템산업 산업기술 R&BD전략, 2015.08

[4] Ravi Janardan etc. 'Geometric and Algorithmic Aspect of Computer-Aided Design and Manufacturing,' American Mathematical Society, 2013

[5] Tom Page, 'Design for Additive Manufacturing-Guidelines for cost effective manufacturing,' Lambert Academic Publishing, 2011

[6] G. Strano, L.Hao, R.M.Everson and K.E.Evans, 'A new

Approach to the design and optimisation of support structures in additive manufacturing,' The Int. J. of Adv. Manuf. Tech., Vol. 66, p.1247~1254, 2015

[7] Patent US 6596614 B2

[8] C.Emmelmann, P.Sander, J.Kranz and E.Wycisk, 'Laser Additive Manufacturing and Bionics: Redefing Lightweight Design,' Physics Procedia, Vol.12, p.364~368, 2011

[9] J.Kranz and D. Herzog and C. Emmelmann, 'Design guidelines for laser additive manufacturing of lightweight structures in Ti5Al4V,' Journal of Laser Applications, on-line published, 2016.

[10] Jukka-Pekka Jarvinen, etc, 'Characterization of Effect of Support Structures in Laser Additive Manufacturing of Stainless Steel,' Physics Procedia, Vil. 56, p72~81, 2014

[11] F. Calignano, 'Design optimization of supports for overhanging structures in aluminum and titanium alloys by selective laser melting,' Materials & Design, Vol. 64, p203~213, 2014

[12] H.Gong et al, 25th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, 2014

변기영

- 2003년 2월 인하대학교 전자공학과 (박사)
- 2003년 3월~2005년 6월 가톨릭대학교 강의교수
- 2005년 7월~2016년 7월 삼성전기 수석연구원(부장)
- 2016년 8월~현재 한국산업기술평가관리원 (스마트전자 PD)
- IT 기술사 (컴퓨터 시스템 응용)
- 정보처리/정보통신 수석감리원

〈관심분야〉
3D프린팅, 가상증강현실, IoT, 홈정보가전, LED/광(레이저)

이창우

- 2001년 9월 Tohoku Univ. 재료가공학(박사)
- 1994년 8월~1998년 10월 한국과학기술원 연구원
- 2001년 10월~2002년 7월 일본 VBL 연구소 선임연구원
- 2009년 3월~2011년 2월 조선대학교 초빙교수
- 2009년 3월~현재 UST 겸임교수
- 2002년 7월~현재 한국생산기술연구원 강원본부(본부장)

〈관심분야〉
적층성형가공, 금속재료 조직제어/분석

김건희

- 2010년 8월 인하대학교 기계공학과 (박사)
- 2005년 9월~2014년 9월 한국생산기술연구원 금형기술그룹 (연구원)
- 2014년 7월~현재 한국생산기술연구원 강원지역본부 (적층성형가공그룹 그룹장)

〈관심분야〉
3D프린팅 특화 설계, 응용제품/부품, 후가공

김형균

- 2013년 2월 강원대학교 신소재공학과 (박사)
- 2013년 3월~2014년 6월 강원대학교 산업기술연구소
- 2014년 7월~현재 한국생산기술연구원 강원지역본부 (적층성형가공그룹 선임연구원)

〈관심분야〉
금속소재, 적층성형가공, 재료분석

이 병 수

• 2012년 9월 Tohoku University 금속재료과 (박사)
• 2012년 10월~2013년 3월 Tohoku Univ. IMR
• 2013년 4월~현재 한국생산기술연구원 강원지역본부
(적층성형가공그룹 선임연구원)

〈관심분야〉
생체재료, 적층성형가공, 공정설계

특 · 집 · 편 · 집 · 기

압축센싱을 활용한 통신 및 레이더 신호처리

이흥노 편집위원
(GIST 전자전기컴퓨터공학부)

압축센싱의 주요 이론은 2011년 1월에 Introduction to Compressed Sensing(압축센싱 소개) 전자공학회지를 통해 소개한 바 있다. 이 이론은 2000년대 중반 IEEE 정보이론지에 소개된 이후로, 빠르게 이미징, 레이더, 통신 시스템 등 광범위한 분야에 적용되었으며, 이전에는 상상도 못 하였던 혁신 기술들의 집단적 출현을 추동하였다. 그 결과로, diffraction limit을 돌파하는 초고해상도 레이다 및 분광기, Sub-Nyquist rate ADC, 측정 속도가 매우 빠른 f-MRI 머신, 렌즈 없는 카메라, Single-Pixel 카메라 등 혁신적인 기술이 지속적으로 탄생하게 되었다. 2014년 6월 호에서는 압축센싱을 응용한 이미징 기술들을 모아 Seeing Through Computation이라는 부제를 붙여서 동향을 파악 해 보았었다.

본 특집호에서는 압축센싱 기술이 Radar에 응용된 연구와 차량용 레이더 기술 발전과 동향을 살펴보고자 한다.

첫 번째 원고에서는, 한화탈레스 강종진 연구원팀이 초 광대역 국방용 레이더 신호 수신기술 개발 현황을 소개한다. 수 십 GHz에 주파수 대역에 걸쳐서 산발적으로 발생하는 레이더 신호를 동시에 순시할 수 있는 Sub-Nyquist Sampling 기반 초 광대역 신호 레이더 신호 수신 시스템을 소개한다. 특히, 수신시스템을 구성하는 주요 요소부품과 FPGA등을 통해 구현하고 디지털 수신기 부분의 개발 현황을 소개한다. Nyquist rate을 사용하는 기존의 레이다 수신기에서는 주파수 sweep하는 중에 다른 부분의 주파수 대역에 동시에 존재하는 레이더 신호를 놓치기 쉽다. 그러나, 압축센싱 기반 수신기를 사용하면, 동시에 순시 가능한 레이더 신호의 갯 수를 늘릴 수 있음을 보여준다. 한화탈레스 초 광대역 수신기 개발 및 실증 사업에는 지스트 이흥노 교수, 지스트 이민재 교수, 동국대 박정동 교수 연구팀 등이 참여하고 있으며 아래 원고에서 차례로 연구 동향을 살펴 보고자 한다.

둘째 원고에서는, 지스트 이흥노 교수팀이 어떻게 초 광대역 레이더 신호를 sub-Nyquist rate으로 실시간으로 획득하는지 신호처리 이론적인 측면에서 소개한다.

셋째 원고에서는 동국대학교 박정동 교수 연구팀이 초 광대역 Sub-Nyquist 압축센싱 수신기의 가장 핵심이 되는 HW인 아날로그 수신체인 및 초고속 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)발생기의 직접화 방안과, 개발 현황을 살펴 준다.

넷째 원고에서는, 지스트 이민재 교수팀이 FPGA에 탑재되어, 실시간 처리가 가능한 압축센싱 기반 디지털 신호 복원 알고리즘 연구 동향을 정리해 준다. Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit 등 실시간 처리가 가능한 고속 알고리즘을 연구하고, FPGA를 통해 실증 할 수 있도록, HDL로 구현하는 문제를 다룬다.

다섯째 원고에서는 카이스트 명로훈 교수 연구팀이 Inverse synthetic aperture radar (ISAR)의 영상 획득에 압축센싱을 적용하는 연구를 소개한다. 일반적으로, 표적의 2차원 영상을 획득하기 위해서는 추적 레이더로부터 얻은 산란신호를 사용한다. 그러나, 추적레이더는 설치 비용이 비싸고 제한된 탐색 영역을 가진다. 상대적으로 저렴한 탐색 레이더의 사용을 통해, 불연속적이고 불충분하게 습득한 산란신호로부터, 압축센싱 신호 복원 기술을 적용하여 2차원 영상을 성공적으로 획득하는 방법을 소개한다.

여섯째 원고에서는 제주대학교 고석준 교수팀이 차량용 레이더의 기술 발전과 동향을 정리해 준다. 차량의 안전한 운행을 위해 쓰이는 장비는 영상장비, 레이저, 또는 초음파 센서 등이 사용되고 있으며, 이들은 주차를 돕는데 긴요하게 사용되고 있다. 이러한 장치들은 그러나 어두운 상황이나 눈비 내리는 안 좋은 날씨상황에서는 좋은 성능을 발휘하지 못한다. 차량용 레이더는 이러한 단점을 보완해 줄 수가 있으므로, 연구 개발 필요성이 매우 크다.

끝으로 연구에 전념하느라 바쁘신 중에도 원고 초대에 흔쾌히 응해 주시고, 촉박한 일정에도 불구하고, 기한 내에 원고를 마감해주신 저자분들과 학회지 편집위원님들께 감사의 말씀을 드리고자 한다.

압축센싱 기술을 적용한 초광대역 수신기 개발 동향

강종진
한화시스템(주)

강희석
한화시스템(주)

안우현
한화시스템(주)

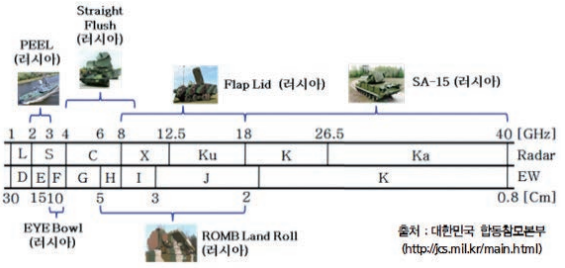
Ⅰ. 서 론

현대전은 스펙트럼 전쟁(Spectrum Warfare)이라고 표현하곤 하는데, 전자기 스펙트럼을 효과적으로 탐지 및 제압하는 것이 전쟁의 승패를 결정짓는 주요한 변수로 작용하고 있다. 걸프전(Gulf war)의 예를 들면, 다국적군은 전쟁 발발 수개월 전부터 감시위성과 조기경보기 등을 동원, 이라크의 통신 지휘 망과 제원, 레이더 및 미사일 기지 등에 대한 중요한 정보를 수집했다. 그리고 걸프전이 벌어지자 대규모 공습 이전에 먼저 EA-6B 프라울러(Prowler)기를 비롯한 전자전 공격기들을 출격시켰다. 전자전 공격기들은 이라크군의 방공망 레이더와 미사일 제어용 레이더를 교란시켰으며, 그 결과 미 전폭기들은 공습 시에 이라크군의 SA-2 미사일의 공격을 조기에 피할 수 있었다.

전자전(Electronic Warfare)이란 레이더, 통신장비 등의 각종 전자장비를 이용하여 벌이는 전쟁으로써, 적의 전자 병기 사용을 방해하고, 아군의 전자 병기 사용을 효과적으로 수행하려는 모든 군사 활동을 이른다[1].

〈그림 1〉은 알려져 있는 레이다 신호의 주파수 분포이다. 1GHz 이하부터 40GHz 까지 넓은 주파수 범위에서 다양한 레이다 신호들이 분포되어 있음을 알 수 있다. 전자전 수신기는 넓은 주파수 대역에서 출현하는 레이다 신호들을 신속하고 정확하게 탐지하기 위하여 점차 광대역의 주파수 대역폭 성능이 요구되고 있다.

종래의 전자전 수신기들은 이러한 넓은 대역의 신호들을 탐지하기 위하여 아날로그 방식의 수신기를 사용하였으나, 가격이 비싸고 성능의 열화가 심하여, 아나로그-디지털 변환기(ADC, Analog-to-Digital Converter)를 사용한 나이키스트이론 (Nyquist Theorem) 기반의 디지털 수신기로 발전하였으며, 최근에는 소프트웨어 기술의 발전으로 소프



〈그림 1〉 레이다 신호 주파수 분포

트웨어 정의 라디오(SDR, Software Defined Radio) 수신기로 발전되어 왔다. 그러나 이러한 디지털 수신기의 단점은 ADC 공정 기술의 한계로 인하여 그 속도를 높이는데 한계가 있다[2].

대역폭을 향상시키기 위하여 2006년부터 미국 MIT 대학교의 Donoho, Candes 등으로부터 압축센싱(compressed sensing) 이라 부르는 기술이 소개되었으며, 많은 분야에서 활발히 연구되고 있다. 이 기술은 센서로부터(ADC) 신호의 획득 과정에서 불필요한 신호 정보를 제외하고 획득함으로써 데이터량을 줄이는 획기적인 기술이다[3].

본 논문에서는 전자전에서 사용되는 수신기의 개요, 종류 및 그 특성에 대하여 소개하고 압축센싱 기술이 적용된 초광대역 수신기 개발동향에 대하여 살펴본다.

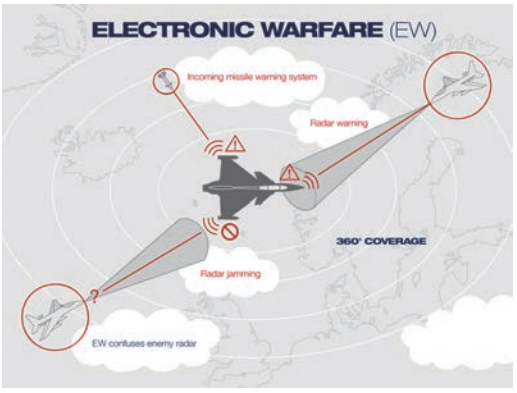
Ⅱ. 전자전 수신기술

1. 전자전 수신기 개요

수신기는 안테나와 함께 전쟁 환경에서 각종 전자전 장비들의 창문 역할을 한다. 안테나와 수신기는 그 유형에 따라 적용범위가 한정되며, 운용 목적과 장착 대상물의 요구 조건에 따라 두 기능을 효과적으로 조합함으로써 주워진 성능 요구사항을 만족할 수 있다.

전자전 수신기는 〈그림 2〉와 같이 다가오는 미사일이나 적기의 레이다를 경보해주거나 효율적으로 대항(Countermeasure)하기 위하여 신호탐지, 분류, 식별을 수행하며 전자공격(EA:Electronic Attack)에 필요한 정보를 제공한다.

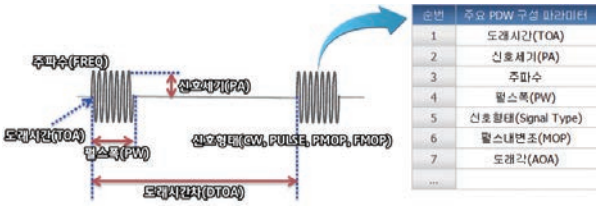
전자전 수신기는 수신되는 레이다 신호(특히 펄스)



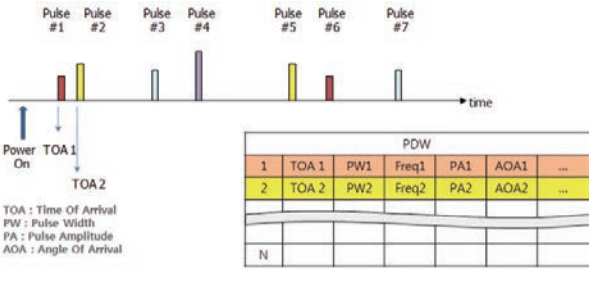
〈그림 2〉 전자전 수신기 역할

의 주파수, 펄스폭, 신호세기, 변조형태 등을 측정하여 PDW(Pulse Descriptor Word) 형태의 디지털 데이터를 생성하고, 생성된 다수의 PDW를 분석하여 레이다 신호 분류, 식별등의 기능을 수행한다. 〈그림 3〉은 PDW의 구성항목으로써 전자전 수신기가 측정해야할 레이다 신호 파라미터에 대한 설명이다.

신호 환경이 복잡한 경우 다양한 종류의 레이다 신호가 동시에 수신되며 〈그림 4〉는 다수의 레이다(4개) 신호가 동시에 수신되는 경우에 PDW가 수집되는 개념도이다. 서로 다른 주파수의 펄스 신호가 수신 주파수 전 대역에 분포하게 되므로, 전자전 수신기의 처리 대역폭이 광대역을 요구하게 된다. 수집된 PDW를 디지털 신호처리 및 고속의 프로세서(CPU/GPU 등)를 이용하여 정밀 분석을



〈그림 3〉 레이다 신호 파라미터(PDW 구성항목)



〈그림 4〉 PDW 수집 개념도

수행하고, 레이다의 주파수, 펄스폭, 펄스반복주기 등을 추출한다. 추출된 정보를 라이브러리와 비교하여 특정 위협(미사일, 레이다, 대공포 등)을 식별하게 된다.

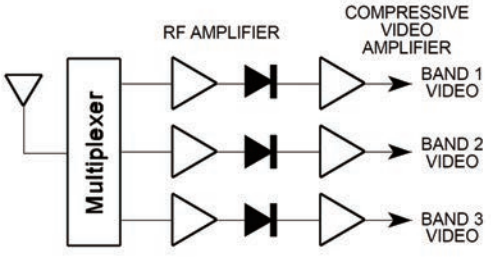
2. 전자전 수신기 종류[4-5]

전자전 수신기의 성능 평가에 사용되는 항목은 신호포착확률(POI:Probability Of Intercept), 감도, 선택도, 오경보율 등이 있다. 특히, 광대역 처리 능력은 높은 POI를 요구함으로써 다양한 신호들을 수신할 수 있음을 뜻한다.

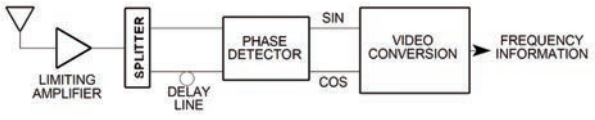
POI가 높은 수신기로는 크리스털 비디오(CV:Crystal Video) 수신기, 순시 주파수 측정(IFM:Instantaneous Frequency Measurement) 수신기 및 슈퍼헤테로다인(Super-Heterodyne) 수신기를 병렬로 구성한 채널화 수신기(Channelized Receiver) 등이 있다.

크리스털 비디오 수신기는 가장 간단한 수신기 형태로 〈그림 5〉와 같이 안테나, 검출기, 증폭기로 구성되어 있으며, 수신기의 민감도(sensitivity) 향상을 위해 RF 증폭기를 추가할 수 있다. 관심 대역외의 주파수 성분을 제거하기 위해 입력 신호에 대역통과 필터를 적용한 뒤, 신호를 제곱하여 신호의 포락선을 구한다. 비디오 증폭기에 의해 증폭된 신호는 이 후 신호처리 회로에 활용된다.

IFM 수신기는 펄스의 주파수를 측정하기 위해 개발되었으며 그 구조는 〈그림 6〉과 같다. 입력된 RF신호를 두 경로 나누고 한 경로를 지연시키면 주파수에 비례하여 위상이 지연되는 신호가 생성된다. 두 경로의 신호가 위상



〈그림 5〉 그리스털 비디오 수신기



〈그림 6〉 순시 주파수 측정 수신기

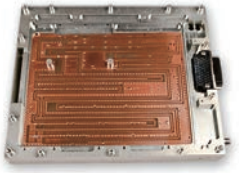
검출기에 입력되면 사인 및 코사인 신호가 출력이 되고, ADC 거쳐 디지털 주파수 정보로 변환 된다.

측정할 주파수 대역이 광대역인 경우 위상 검출기의 지연선을 서로 다르게 병렬로 설계하여 대역폭을 확장한다. 위상 검출기는 동적 범위가 낮기 때문에 앞단에 입력 신호의 전력을 일정하게 유지시켜주는 제한 증폭기가 장착된다. 〈그림 7〉은 위상 검출기이다[6].

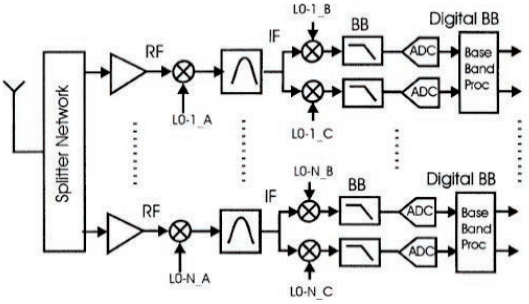
IFM 수신기는 크리스털 비디오 수신기 대비 수신감도, POI, 동적범위 측면에서 장점이 있다. 그러나 가장 큰 단점은 주파수를 다루는 수신기이므로 다중신호를 처리할 수 없다는 것이다.

슈퍼헤테로다인 수신기는 높은 감도와 넓은 동적 범위를 가지나, 대역폭의 제한으로 광대역 신호를 다룰 수 없으므로 POI가 낮다. IFM 수신기는 광대역 신호에 대해 100%의 POI를 나타내지만 다중 신호와 CW 신호를 처리할 수 없다. 이러한 수신기들의 단점을 보완하기 위해 서로 다른 RF 중심 주파수를 지닌 채널을 병렬로 구성한 채널화수신기가 있다. 〈그림 8〉은 채널화 수신기의 구조이다. 각 대역별 RF 분배기, 국부발진신호원, 대역통과 필터 및 기저대역 신호처리부로 구성된다.

이상으로 살펴본 수신기는 광대역특성이 좋아 POI 측면에서 유리하지만 신호분석을 위한 PDW 측정 시 모든 부분을 만족할 수 없으므로 통상 여러 종류의 수신기



〈그림 7〉 위상검출기(Phase Correlator)



〈그림 8〉 채널화 수신기

를 조합하여 시스템을 구성한다. 최근에는 아나로그 처리(conditioning)를 포함한 고속의 아나로그-디지털 변환기(ADC) 및 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 디지털 수신기가 적용 되고 있다. 디지털수신기의 순시 대역폭을 확장하기 위해서는 ADC의 샘플링 속도를 높이면 가능하지만 현재 사용 가능한 상용 ADC는 10~12bit 해상도에서 코어당 2.5 GHz가 한계이다. 이러한 고해상도 ADC의 샘플링 속도 한계를 극복하기 위하여 10GHz 이상의 단일비트(Mono-bit) 칩을 이용한 수신기가 개발 되었으나 양자화 오차로 인한 스퓨리어스 신호 증가로 동적범위 성능이 나쁘고, 동시신호 처리 성능이 좋지 않다.

Ⅲ. 초광대역 압축센싱 수신기 개발 동향

가. MWC(Modulated Wideband Converter)[7]

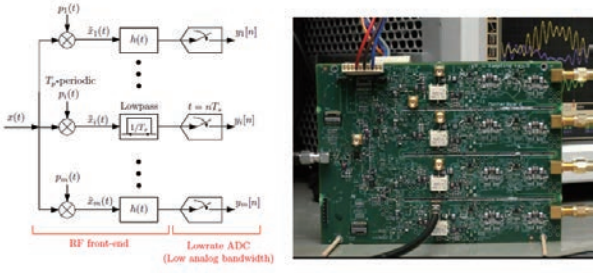
이스라엘 Technion 대학교의 Eldar 교수는 압축센싱 이론을 인지무선(CR) 분야에 적용하였으며, 프로토타입의 하드웨어를 개발하였다. MWC는 주파수 대역 약 1 GHz 내에 존재하는 다양한 무선통신 신호를 처리하기 위하여 그림 9와 같이 초고주파(RF) 입력과 4개의 광대역 믹서 및 저역통과 필터를 사용하여 기저대역 신호로 변환하는 MWC를 개발하였다. 그리고 압축을 위한 국부발진 신호원으로 상용 플립플롭을 링형태로 묶은 PRBS 생성기를 제작하였다.

나. RMPI(Random Modulation Pre-Integrator)[8]

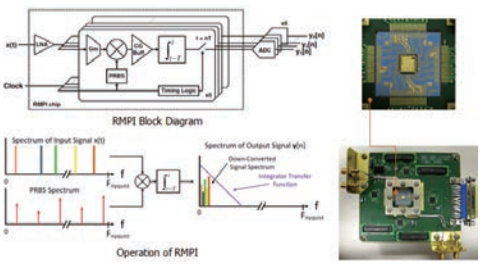
미국 Caltech 대학교 Azita 교수는 고등연구계획국(DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency)의 AIC(Analog to Information Converter) 프로젝트를 통해서 〈그림 10〉과 같이 주문형반도체(ASIC) 기반의 Sub-Nyquist 샘플링 하드웨어를 제작하였다. RMPI 칩은 약 2 GHz 내에 존재하는 레이더 펄스 신호를 5GHz로 동작하는 PRBS 발생기와 광대역 믹서 및 적분기를 이용하여 기저대역 신호로 압축하였다. RMPI 칩의 성능 확인을 위하여 14bit 해상도를 갖는 상용 ADC를 사용하였으며, 샘플링 클럭은 약 80MHz를 사용하였으며, 12배 이상의 서브나이키스트 성능을 달성하였다. 대상 신호는 레이더 펄스이며 신호가 중첩된 신호 환경에서 펄스 파라미터 추출성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안하였다.

Ⅵ. 결 론

전자기 스펙트럼을 사용하는 위협신호들의 종류와 목적이 다양화됨에 따라 전자전 수신기가 탐지하고 식별해야 하는 신호의 주파수 범위가 광대역화 되고 있다. 현재의 ADC의 발전 속도를 고려할 때 기존의 디지털 수신기술로 수십 GHz의 광대역을 커버하기는 불가능하다. 현재 압축센싱 기반 Sub-Nyquist 샘플링 기술에 관련된 선진국 수준이 2 GHz의 이하의 처리대역폭 성능을 프로토타입 형태로 제작된 수준이다. 압축센싱 하드웨어를 구성하는 핵심부품인 광대역 믹서는 수십 GHz를 커버하는 상용부품이 출시되어 있고, PRBS 신호발생기 또한 특수공정을 사용하여 수십 GHz 속도로 설계 및 제작된 논문들이 발표되고 있다. 국내에서도 광대역 믹서 및 PRBS 발생기, 그리고 관련 신호처리 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 수년 이내에 수십 GHz 처리 대역폭



〈그림 9〉 MWC 블록도 및 프로토타입 하드웨어



〈그림 10〉 RMPI 블록도 및 프로토타입 하드웨어

을 갖는 압축센싱 기반 초광대역 수신기 연구결과가 발표될 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Andrea De Martino, Introduction to Modern EW systems, Artech House, 2012

[2] James B. Tsui, Special Design Topics in Digital Wideband Receivers, Artech House, 2010

[3] 이흥노, 박상준, 박순철, "압축센싱 소개", 전자공학회지, 2011

[4] Richard G. Wiley, ELINT : The Interception and Analysis of RADAR Signals, Artech House, 2006

[5] 나선필, 송규하, "전자전 수신기 기술발전 동향", 국방과학기술 플러스, Vol. 226, 2015

[6] William Sullivan, Gauging Limitations On DFD Performance, http://mwrf.com/systems/gauging-limitations-dfd-performance, 2005

[7] Y. C. Eldar and G. Kutyniok, Compressed Sensing: Theory and Applications, Cambridge University Press, 2012

[8] Juhwan Yoo 외 10명, "A Compressed Sensing Parameter Extraction Platform for Radar Pulse Signal Acquisition", Ieee Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 2, no. 3, 2012

강종진

• 2003년 동명대학교 정보통신공학과 학사 졸업
• 2005년 동명대학교 정보통신공학과 석사 졸업
• 2016년현재 한화시스템(주) 전자전연구센터 전문연구원

〈관심분야〉
디지털 수신기, 전자전 신호처리

강희석

• 1990년 충남대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업
• 1992년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업
• 2016년현재 한화시스템(주) 전자전연구센터 수석연구원

〈관심분야〉
전자전 신호처리, 전자전 소프트웨어

안우현

• 2012년 충북대학교 전자공학과 학사 졸업
• 2014년 충북대학교 전자공학과 석사 졸업
• 2016년현재 한화시스템(주) 전자전연구센터 주임연구원

〈관심분야〉
전자전 신호처리, 무선통신시스템

압축센싱과 광대역 레이더 신호 획득 기술

박 정
광주과학기술원
전자전기컴퓨터공학부

장 재 혁
광주과학기술원
전자전기컴퓨터공학부

이 흥 노
광주과학기술원
전자전기컴퓨터공학부

Ⅰ. 서 론

기존의 통신/신호처리 분야에서 Shannon-Nyquist Sampling 이론 기반의 Analog-to-Digital Converter(ADC) 는 아날로그 신호를 디지털 신호로 샘플링 하는 장치이다. 그리고 이 Shannon-Nyquist Sampling 이론은 신호의 최대 주파수의 2배 이상의 sampling rate로 표본화 할 경우, 왜곡 없이 신호를 복원 할 수 있다는 것이다

하지만, 점차 연구들이 다양한 신호들을 다루면서 Shannon-Nyquist Sampling 이론이 제시한 기준은 신호처리 분야에서는 큰 한계로 변모하였다. 대표적으로 레이더 신호의 경우 매우 넓은 범위의 주파수 대역을 이용한다[1]. 즉, 레이더 신호가 갖는 최대주파수는 매우 높은 값을 지닐 수 있으며, 이 때 신호를 디지털화 하기 위해서는 최대 주파수의 2배인 Shannon-Nyquist Sampling rate만큼의 매우 높은 표본율을 지닌 ADC가 요구된다. 하지만, 지금까지 개발된 가장 우수한 성능을 갖는 ADC의 표본율 조차 Shannon-Nyquist Sampling rate에 비하면 매우 느리다. 그리하여, 광대역 신호를 획득하기 위하여 신호가 존재하는 넓은 주파수대역을 일정간격으로 분할하고 각각 분할된 대역마다 레이더를 순차적으로 수집하고 복원하는 방식을 통해 광대역 신호를 획득하는 방법이 제시 되었다[2]. 하지만, 이 방법은 분할된 시간 영역 마다 신호 수집하고 처리하기 위한 장비들과 컴퓨터 연산이 필요하기 때문에 하드웨어 및 소프트웨어 모두 많은 비용이 발생된다. 또한, 시간에 따라 순차적으로 분할된 영역을 처리하면 한번 신호를 탐지하고 복원한 후에, 다음번의 분할된 시간 영역에는 이전까지 존재하던 신호가 사라져 신호를 탐지하지 못하는 경우가 발생한다.

그리하여, 이러한 한계점을 극복하기 위한 연구들이 진행되었으며 압축센싱 이론이 이러한 문제의 해결책으로 제시 되었다. 즉, 압축센싱

기술에 따르면 특정한 조건 하에서 Shannon-Nyquist Sampling rate보다도 훨씬 낮은 표본율로 광대역 레이더 신호를 왜곡 없이 획득할 수 있다. 하지만, 압축센싱 기술을 적용하기 위해서는 해당 신호가 특정 기저(basis)에서 성긴 신호(sparse signal)이여야 한다. 성긴 신호란 해당 기저에서 대부분 신호의 값은 0이고, 나머지 몇몇의 위치에서만 신호 값이 0이 아닌 크기를 지니고 있는 신호를 말한다. 일정 시간 동안 여러 레이더 신호가 존재 할 때, 이 신호의 스펙트럼은 광대역에서 몇 개의 일정한 크기의 band를 갖는 성긴 신호이므로 압축센싱을 적용하여 시간에 따라 분할된 대역마다 신호를 처리하지 않고도, 한번에 ADC를 통해 신호를 획득하는 시스템을 구현하는 것이 가능하다[4].

본 논문에서는 Ⅱ장을 통해 압축센싱에 대해서 간략히 소개 하고, Ⅲ장에서 압축센싱 이론을 바탕으로 광대역 레이더 신호를 획득하기 위한 시스템 및 레이더 신호 복원 과정에 대하여 소개한다.

Ⅱ. 압축센싱

본 장에서는 압축센싱의 개념에 대하여 간략히 소개한다. 우선 압축센싱 기법을 적용하기 위해서는 신호가 K-sparse 신호 이여야 한다. 여기서 K는 신호의 벡터에서 0이 아닌 값을 갖는 원소의 개수를 나타낸다. 자연에 존재하는 대부분의 신호는 성긴 신호로써, 그 자체로도 압축센싱을 적용할 수 있으나, 그렇지 않은 경우는 성긴 신호가 아닌 s신호를 x = Bs와 같이 특정한 변환행렬 B를 통해 성긴 신호 x로 변환할 수 있다. 예를 들어, 시간축에 따라 일정한 값을 갖는 DC신호가 존재할 때, 이 신호는 시간 축에서 성긴 신호가 아니다. 하지만, 이 신호를 푸리에 변환을 통해 주파수 신호로 변환한다면, 이 변환된 신호는 0 주파수에서만 값이 존재하는 성긴 신호로 표현될 수 있다.

압축센싱의 핵심은 아래의 식의 관계에서, 측정된 신호 y로부터 원래의 성긴 신호 x를 복원 하는 것이다.

$$y = Ax \tag{1}$$

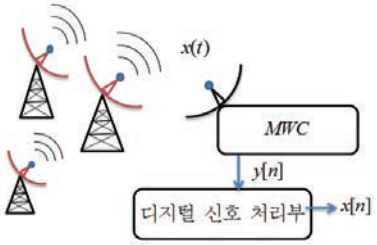
여기서 $x \in R^N$는 원래의 성긴 신호를 나타내고, $A \in R^{M \times N}$는 측정행렬, 그리고 $y \in R^M$는 측정된 신호를 나타낸다. 압축센싱은 $M << N$인 경우를 다룬다. 즉, 압축센싱은 원래 신호를 이 보다 훨씬 더 짧은 길이로 압축된 측정된 신호를 통해서 획득 할 수 있다는 것을 의미한다. 여기서의 손실 없음은 식의 개수가 미지수의 개수보다 적은 상황에서 해를 찾는 Under-determined 문제에서 성공적으로 y로부터 x를 복원하는 것을 나타낸다.

또한, Under-determined 문제를 압축센싱을 통해 해결하기 위해서는 시스템을 나타내는 측정행렬 A가 특정 조건을 만족해야 한다. 논문[3]에서, Candes와 Tao는 측정행렬 A가 Restricted Isometry Property(RIP)조건을 만족 할 경우 압축센싱 방식을 통해 높은 확률로 원래 신호를 왜곡 없이 복원가능 하다고 제시 하였다. RIP 조건을 나타내는 식은 다음과 같이 표현된다.

$$(1-\delta_{2K}) \le \frac{\| Ax \|_2}{\| x \|_2} \le (1+\delta_{2K}) \tag{2}$$

식(2)에서 $0 \le \delta_{2K} < 1$ 을 만족하는 δ_{2K}가 존재할 경우 측정행렬 A는 RIP 조건 만족한다. 이 RIP 조건은 측정행렬이 원래 신호 x의 에너지를 균일하게 y로 조사하는 행렬 이여야 한다는 것을 의미한다[5]. 반대로, 원래 신호 x를 복원하기 위한 정보를 갖는 y가 x의 에너지를 균일하게 모두 갖고 있지 않은 채 일부분을 손실한 상태라면, y를 통해 x를 복원할 경우 왜곡이 생길 수밖에 없다.

일반적으로 $M << N$인 Under-determined 문제에서 해는 무수히 많다. 반면에, 압축센싱에서는 측정행렬이 RIP조건을 만족하는 경우에 L0-norm 최소화를 이용하여 유일하게 존재하는 해를 구할 수 있다. 여기서, L0-norm 최소화는 측정행렬 A와 측정된 결과인 y를 알고 있는 경우, 모든 x중에서 0이 아닌 원소의 개수가 최소인 x를 찾는 것이다. 하지만, 이는 NP-hard 문제로써 구현하기에는 적절하지 못하다. 따라서 이후 L1-norm 최소화를 이용한 복원방법이 제안 되었지만 계산 복잡도가 약 $O(N^3)$로서 원래 신호의 길이(N)가 매우 길 경우 계산 복잡도가 지나치게 높아서 구현에 한계점을 안고 있다[3]. 따라서 압축센싱 분야에서는 신호를 복원하기 위



〈그림 1〉 광대역 다중 레이더 신호 획득 시스템

해 Least Shrinkage and Selection Operator(LASSO)[6], Least Angle Regression(LARS)[7], Orthogonal Matching Pursuit(OMP)[8] 등과 같은 알고리즘들이 제시되고 있다.

Ⅲ. 레이더 신호 획득 기술

광대역에 걸쳐져 있는 레이더 신호들을 획득하는 경우, 압축센싱 원리를 바탕으로 한 Random Demodulator (RD)[9], Random Modulation Preinteger(RMPI)[10], 그리고 Modulated Wideband Converter(MWC)[4]등의 시스템들을 통해서 높은 확률로 신호를 획득하는 기술들이 제시되어 왔다. 본 논문에서는 이들 가운데에서 MWC 시스템을 이용하여 광대역에서 다중 레이더 신호를 획득하는 방법에 대해서 논하겠다.

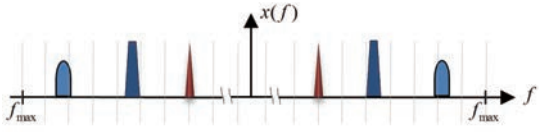
1. RSSR 시스템

우선, MWC 시스템을 이용하여 광대역에서 다중 레이더 신호를 획득하는 방법을 설명하기에 앞서서, 기존의 광대역 신호를 탐지하는 방식인 Rapidly Swept Super-Heterodyne Receiver(RSSR) 에 대해 소개한다. 이는 신호가 존재할 수 있는 넓은 주파수 영역을 일정 간격으로 나누고, 한 번의 관측 시간 동안 분할된 일부분의 주파수 영역만을 관측하고 다음 관측시간 동안 그 옆의 조각난 주파수영역을 관측하는 방식이다[2]. 이러한 기존의 방식은 한번 분할된 주파수 영역을 관측 및 복원 후 다음 차례의 주파수 부분을 관측할 경우, 관측 구간이 바뀜에 따라 기존에 존재하던 신호가 사라지거나 다른 신호로 대체되는 문제점을 안고 있다. 그리고 만약 이 문제점을 해결하기 위해, 위의 방식을 이용하여 매 주파수 영역마다 동시에 관측하고 한 번에 복원한다면, 첫째로 나뉜 주파수 대역폭 개수에 비례해서 무수히 많은 하드웨어가 반복되어 요구되고, 둘째로는 지나치게 많은 연산 량을 이 필요하게 됨에 따라 신호를 복구하는데 엄청난 시간을 소모하게 된다. 이와는 달리 MWC시스템[4]의 핵심은 이러한 문제점을 해소하고, 한 번의 관측시간 안에 넓은 주파수 영역 모두를 관측 및 복원하는 방법이다.

2. MWC 시스템

일정 관측시간 동안 몇 개의 레이더 신호가 존재하는 경우, 레이더 신호들의 스펙트럼들은 넓은 주파수 대역 걸쳐서 산재 된 신호로 나타낼 수 있으며, 각각의 스펙트럼의 대역폭의 크기는 일정하며 B이하라고 가정 한다. 〈그림 1〉은 레이더 신호가 R = 3개인 상황에서 레이더 신호들을 획득하고 복원하기 위한 시스템을 나타낸다. 그리고 관측된 레이더 신호는 실수 신호로써 레이더 스펙트럼은 양과 음의 주파수에 대칭으로 존재하게 된다. 다시 말하면, 〈그림 2〉에서 나타낸 바와 같이 R = 3인 경우, 레이더 신호가 존재할 수 있는 넓은 스펙트럼에서 각각 일정한 대역폭을 갖는 6개의 스펙트럼이 희소하게 산재되어 있으므로 압축센싱 이론과 Modulated Wideband Converter(MWC) 시스템을 통해 레이더 신호를 복원해 낼 수 있다.

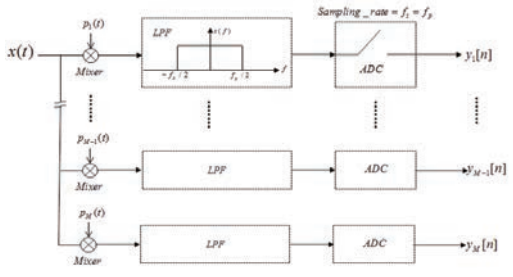
MWC시스템은 〈그림 3〉와 같이 구성된다. 관측시간 동안 MWC 시스템은 R개의 레이더 신호가 혼합된 신호 $x(t)$를 입력 받는다. 우선, 혼합된 레이더 신호 $x(t)$는 Mixer에서 Pseudo Random(PR) 시퀀스와 곱해진다. 이 PR 시퀀스는 시간 축에 따라서 ± 1의 값을 랜덤 하게 갖고 있으며 T_p주기로 반복되고, 스펙트럼 관점에서는 impulse train으로써 매 tone마다 다른 계수를 갖고 impulse가 $f_p = 1/T_p$간격으로 나열된 형태를 갖는다. 그리고 PR시퀀스와 곱해진 신호는 f_p의 band-width



〈그림 2〉 다중 레이더 신호 스펙트럼 (R = 3)

를 갖는 Low Pass Filter(LPF)를 거친다. 이 일련의 두 과정가운데 우선 Mixer를 통해, 〈그림 2〉와 같은 레이더 스펙트럼은 PR 시퀀스와 곱해진 후, 주파수 축을 따라 f_p 간격으로 각각의 PR 시퀀스의 계수들이 곱해진 채 이동하면서 반복되게 된다. 그리고 필터를 통하면, f_p 간격으로 반복되던 스펙트럼의 가운데 부분만이 LPF의 결과로써 나오게 되며, 이 안에는 전체 주파수축을 따라 존재하던 모든 sub-band들이 하나씩 들어 있다. 즉, 레이더 스펙트럼이 포함된 sub-band들도 LPF를 통해 모인 base-band 부분에 모두 존재한다. 따라서 신호는 〈그림 2〉에서 실선으로 구분한 것처럼 주파수 축이 f_p 간격으로 분할된 N개의 sub-band들로 구성된 형태로 생각 할 수 있다. 그리고 앞서 가정한 바와 같이 각각의 스펙트럼의 대역폭은 B를 넘지 않으며 $B \le f_p$라고 가정하면 각각의 스펙트럼은 최대 2개의 sub-band까지 걸쳐서 존재 할 수 있다.

그리고 앞서 처리된 신호를 Analog-to-Digital Converter(ADC)를 통해 디지털 신호로 변환시킨다. 이 때 ADC의 sampling-rate는 f_p와 같은 값을 갖는 f_s로서 기존의 Shannon-Nyquist Sampling rate에 비해 훨씬 낮은 값이다. 즉, 이는 레이더 신호가 존재할 수 있었던 $f_{nyq} = 2 \cdot f_{\max}$ 영역에서 레이더 스펙트럼이 위의 과정을 거쳐 base-band로 모였기 때문에 필터 다음에 위치한 ADC에서는 f_p 크기의 주파수 영역만을 처리하면 된다는 것을 의미한다. 다시 말하면, Shannon-Nyquist Sampling 이론에 따라 ADC를 적용할 시에는 f_s가 f_{nyq}의 값을 가져야 되지만, MWC시스템의 과정에서 ADC의 f_s는 f_p의 sampling-rate만으로도 광대역 레이더 신호를 표본화 할 수 있다.



〈그림 3〉 MWC 시스템 구성도[4]

일련의 Mixer, LPF, 그리고 ADC를 거쳐 시스템의 결과 y_i가 생성되며, 이는 매 i번째 채널을 통해 총 M개의 채널마다 반복 되어 얻어 진다. 다중 채널을 사용함에 따라 일련의 하드웨어들이 채널 수만큼 필요하게 되지만, 이는 앞서 Ⅲ-1절에서 소개한 RSSR 방식에 비해 훨씬 적은 하드웨어 양이다. 그리고 MWC시스템이 측정한 결과와 이미 알고 있는 설계된 시스템의 특성을 추가적인 디지털 신호처리와 복구 알고리즘에 입력하여 레이더 신호들을 복원 할 수 있다.

3. 레이더 신호 복원

MWC시스템의 결과인 $y_i[n]$은 시간 축에 따라 값을 갖는 $1 \times l$ 크기의 벡터 행렬이며, 여기서 l은 신호의 관측시간이 ADC의 샘플링에 의해 디지털화된 길이이다. 그리고 다중채널을 통해 총 M개의 $y_i[n]$을 모아서 $M \times l$ 측정 행렬을 구성할 수 있다. 즉, M개의 채널은 M개의 측정 벡터를 생성해 내며, 이는 레이더 신호들을 찾기 위한 정보를 M배 더 증가시켜서 복구에 도움을 준다[4].

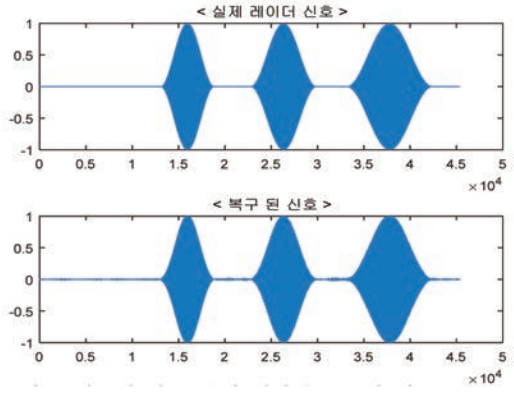
따라서 입력 레이더 신호 Z가 다중채널을 갖고 있는 MWC 시스템 행렬 C를 통해 결과 Y를 생성하는 관계를 표현하면 다음과 같다.

$$Y = CZ \tag{3}$$

여기서 $Y \in R^{M \times l}$, $C \in R^{M \times N}$, 그리고 입력 신호 Z는 $Z \in R^{N \times l}$의 크기를 갖는 행렬이다. 그리고 Ⅲ-2 절에서 설명한 바처럼 Z행렬은 입력 레이더가 존재하는 주파수 영역이 N개의 sub-band로 구성된 형태처럼 N개의 row들을 가지고 있으며, 각각의 스펙트럼의 대역폭은 B를 넘지 않으며 $B \le f_p$의 가정에 의해 각 레이더의 스펙트럼은 N개의 row들 가운데 연이은 2개의 row들에 위치해 있다. 또한, Z행렬의 열의 개수인 l은 관측시간이 ADC의 샘플링에 의해 디지털화 된 길이를 나타낸다. 그리고 Mixer에서 한 주기 T_p 동안 PR 시퀀스의 패턴 개수가 N이므로, 한 채널에서 시스템 행렬 C 또한 각 sub-band들에 대응되는 N개의 값들로써 표현 될 수 있다. 즉, 한 채널의 MWC시스템은 $1 \times N$ 크기의 벡터로써 표현 될 수 있으며, 이 또한 매 채널마다 합성하여 결과적으로 $M \times N$

크기의 시스템행렬 C를 구성할 수 있다. 여기서 매 채널의 시스템 특성을 나타내는 벡터는 PR 시퀀스가 랜덤 하기 때문에 채널마다 모습이 다르다.

그리고 MWC 시스템에 의한 관계식 (3)은 식 (1)에서 설명한 압축센싱의 모델에서 y와 x가 벡터인 것과는 달리 행렬의 모습을 갖고 있으며, 이러한 형태를 Multiple Measurement Vector(MMV)라고 한다. 그리고 여기에서 $M << N$ 이며 이는 앞서 압축센싱에서 언급한 형태의 문제이다. 따라서 우리는 다중 레이더 신호의 정보를 복구하기 위해서 MWC시스템을 통해 획득한 Y행렬과 시스템을 설계하는 것을 통하여 이미 알고 있는 C행렬을 압축센싱 알고리즘 중 하나인 OMP의 입력으로 하여 supports set을 찾는다. 여기서, supports set은 N개의 sub-band들 가운데 레이더 신호의 스펙트림이 존재하고 있는 위치이며, 이는 입력 레이더 신호에 대응되는 Z행렬의 N개의 row들 가운데에서 레이더 신호를 나타내는 정보가 담긴 row의 위치이다. 또한, OMP를 통해 찾은 supports set은 시스템 행렬 C의 column위치에 대응되며, 이와 같은 supports set의 집합을 집합 S 로 정의 한다. 따라서 집합 S에 대응 되는 column들을 추출하여 구성한 행렬 C_S에 Moore-pseudo inverse를 취한 결과의 오른쪽에 Y 행렬을 곱하여 Z_S행렬을 얻는다. 그리고 이 Z_S은 레이더 신호의 스펙트럼을 나타내고 있으며, 이와 같이 복구한 신호의 스펙트럼을 통하여 입력 레이더 신호들에 대응되는 복구된 신호인 x[n]을 얻을 수 있다. 결론적으로, 이는 〈그림 4〉에서 확인 할 수 있는 바와 같



〈그림 4〉 시간에 따른 실제 레이더 신호와 복구된 신호 파형 (R=3)

이 MWC시스템을 이용하여 광대역에서 성공적으로 다중 레이더 신호를 복원함을 의미 한다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 압축센싱 이론에 근거하여 Shannon-Nyquist Sampling rate보다 낮은 sampling-rate로 광대역에서 다중레이더 신호를 복원하는 기술에 대해서 논 하였다. 전통적인 광대역 신호 탐지 방식과는 달리, MWC 시스템을 통해 시간에 따라 레이더 신호를 놓치지 않고 더 적은 하드웨어를 사용하여 성공적으로 레이더 신호의 획득이 가능 하다. 그리고 복구한 신호에서 레이더 신호가 도착했던 시각, 존재한 시간, carrier 주파수 등의 추정 기법[11]을 적용한다면 해당 레이더의 사용 목적이나 발신지 등을 추정할 수 있으며 이를 통해 다양한 민.군 분야에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

감사의글

본 논문은 2016년도 한화탈레스(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] Mark A. Richard, James. A. Scheer, Principles of modern radar, SciTech Publishing, 2010.

[2] J. Tsui, Digital techniques for wideband recievers, SciTech Publishing, 2004.

[3] Emmanuel Candes, Justin Romberg, and Terence Tao, "Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information," IEEE trans, on Information Theory, 52(2) pp, 489–509, Feb, 2006.

[4] M. Mishali, Y. C. Eldar. "From Theory to Practice: Sub-Nyquist Sampling of Sparse Wideband Analog Signals," IEEE journ. in Signal Processing, Vol. 4, No.2 , pp. 375–391, Apr, 2010.

[5] 이흥노, 박상준, 박순철, "압축센싱 소개,"대한전자공학회지, 전자공학회지 vol. 38, no.1, pp.19–30, Jan, 2011.

[6] RoBer Tibshirani, "Regression Shrinkage and Selection via

the LASSO," Journal of the Royal Statistical Societry, Series B (Methodological), vol.58, no.1, pp. 267–288, 1996.

[7] B. Efron, T. Hastie. I. M. Johnstone, and R. Tibshirani, "Least angle regression."The Annals of Statistics, vol. 32, no.2, pp. 407–409, 2004.

[8] J. A. Tropp and A. C. Gilbert, "Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit,"IEE Trans. Info. Theory, vol. 53, no. 12, pp. 4655–4666, Dec, 2007.

[9] J. Tropp, J. Laska, M. Duarte, J. Romberg, and R. Baraniuk, "Beyond nyquist: Efficient sampling of sparse bandlimited signals," IEEE Trans. Info. Theory, vol. 56, no. 1, pp. 520–544, 2010.

[10] J. Yoo, S. Becker, M. Loh, M. Monge, E. Candes, and A. Emami–Neyestanak,"A 100MHz – 2GHz 12.5x sub–nyquist rate receiver in 90nm CMOS," IEEE in Radio Freq. IC Symposium (RFIC), pp. 31–34, Jun, 2012.

[11] Juhwan Yoo, C. Turnes, E. B. Nakamura, Chi K. Le, S. Becker, E. A. Sovero, M. B. Wakin, M. C. Grant, J. Romberg, A. Emami–Neyestanak, and E. Candés, "A Compressed Sensing Parameter Extraction Platform for Radar Pulse Signal Acquisition," IEEE journ. in circuits and systems, vol. 2, no. 3, Sep, 2012.

박 정

• 2015년 2월 경북대학교 전자공학부(학사)
• 2016년 3월~현재 광주과학기술원 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

〈관심분야〉
Sub–Nyquist sampling, 압축센싱, 무선통신

장 재 혁

• 2014년 2월 금오공과대학교 전자공학부(학사)
• 2016년 2월 광주과학기술원 정보통신공학부(석사)
• 2016년 3월~현재 광주과학기술원 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

〈관심분야〉
Sub–Nyquist sampling, 압축센싱

이 흥 노

• 1993년 6월 UCLA 전기전자공학(학사)
• 1994년 12월 UCLA 전기전자공학(석사)
• 1999년 12월 UCLA 전기전자공학(박사)
• 1999년~2001년 Hughes Research Lab. 연구원
• 2002년~2008년 University of Pittsburgh, Pittsburgh, U.S.A 조교수
• 2012년~2013년 전남대학교 병원 객원교수
• 2009년~현재 광주과학기술원 부교수, 교수
• 2015년~현재 광구과학기술원 연구처장
• 2016년~현재 광주과학기술원 GTI 단장

〈관심분야〉
압축센싱, 정보이론, 머신러닝

실리콘 공정기술 기반 초고속 압축센싱 수신기의 집적화 연구

박정동
동국대학교 전자전기공학부

박준식
한화탈레스

Ⅰ. 서 론

압축센싱이란 원신호가 일정 조건을 만족하는 산재 (Sparsity) 신호인 경우에 PRBS (Pseudo Random Bit Sequence) 신호와 같이 Restricted Isometry Property (RIP) 조건에 충실한 불규칙한 센싱 행렬을 신호의 측정에 이용함으로써 Nyquist 표본화 주파수 이하에서도 원신호의 완벽한 재생이 가능하다는 신호처리 이론이다[1]. 이러한 압축센싱이론은 무선통신 분야의 무선 채널추정, 광대역 신호를 이용한 고해상도 레이더 신호처리, 의료 영상 신호 처리 등, 다양한 분야에서 신호처리 시스템의 고속화, 최적화, 간략화를 위해서 활발한 연구가 진행중이다.

대역 제한된 원신호를 손실 없이 복원하기 위해서 신호가 가지는 최대 주파수의 두배 이상으로 샘플링을 취해야 한다는 Nyquist 표본화 정리를 바탕으로 초고주파 혹은 밀리미터파 대역에 존재하는 원신호에 대한 실시간 디지털 신호처리를 위해서는 매우 높은 표본화 주파수를 가지는 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 필요로 하는데, 표본화 주파수와 ADC의 소모 전력은 비례하기 때문에 수 GHz 이상의 입력 신호를 표본화 하는 초고속 ADC의 구현은 소자의 스위칭 성능을 차치 하더라도 회로의 소모 전력을 고려했을 때 적합하지 않다. 따라서 광대역 레이더 신호의 수집과 같이 초고주파 대역 이상에서에서 수 GHz 이상 대역폭이 되는 신호를 실시간 처리하는 하드웨어로서 압축센싱 수신기가 각광 받고 있다.

압축센싱이 가능하기 위해서는 입력 신호가 산재성(Sparsity)을 띄어야 하고, 산재 신호를 압축적으로 표본화를 취하여 손실 없이 복원하기 위해서는 신호를 취할때 사용하는 센싱 행렬이 원신호와 비정합(incoherence) 적인 특성을 가져야 한다. MIMO, UWB 등의 광대역

무선통신 시스템의 채널 임펄스 응답, 레이더 신호 등과 같은 인위적인 신호는 산재성을 가지고 있기 때문에 압축센싱을 적용할 수 있는 것으로 알려져 있다. RIP 조건에 충실하여 압축센싱 수신기에 보편적으로 사용되는 센싱 신호는 $L = 2^n - 1$의 길이를 가지는 PRBS 신호 즉, m-sequence 이다[2].

압축센싱에 관련 일련의 이론적인 여러 성과를 바탕으로, 최근에는 3GHz 내외의 RF 영역에서 레이더 실시간 신호 감시 등에 사용되는 집적화된 압축센싱 수신기들이 보고되고 있다[3-5].

본 논문에서는 수신 대역이 10 GHz 이상인 초고주파 및 밀리미터파 대역에서 상용 실리콘 공정 기술을 이용하여 압축센싱용 수신기를 집적화 구현하는데 필요한 기술적인 고려 사항을 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 본 론

1. 실리콘 공정기반 초고속 집적회로

가. 최신 실리콘 소자의 성능 및 공정 특성

실리콘 기반 반도체 공정으로 밀리미터파 회로를 구현하기 위해서는 차단 주파수 (f_T)와 최대공진주파수 (f_{max})로 표현되는 초고속 소자의 성능지수 (FoM) 가 우수해야 한다. 최신 공정 노드에서 실리콘 소자의 FoM는 이제 초고속 화합물 반도체와 비견할 수 있다.

IBM은 2013년부터 차단 주파수 f_T = 300 GHz, f_{max} = 360 GHz 인 90nm SiGe BiCMOS 공정 파운더리를 제공하고 있으며[6], 삼성전자는 2014년부터 f_T = 280GHz, f_{max} = 400GHz 인 28nm RF CMOS Foundry 를 공급하고 있다[7].

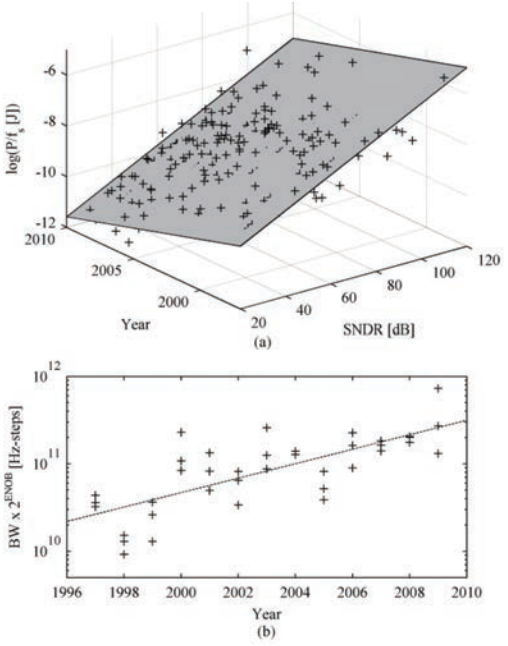
실리콘 공정은 화합물 공정에 비해 소자 모델이 정확하고 공정의 안정성 또한 높기 때문에 시스템 레벨의 전집적화가 가능하고, 대규모 설비투자로 인해서 양산성이 극대화 되어 있다. 현재 4세대 무선통신 칩의 송수신전단부가 전력증폭기를 제외하고 CMOS 공정기반으로 집적화 양산 되고 있으며, 60 GHz 무선LAN (IEEE 802.11ad), 5G 무선통신 송수신기와 같은 밀리미터파 대역 송수신기의 집적화 개발도 활발히 진행되고 있다.

나. 초고속 ADC의 기술적인 제약 사항

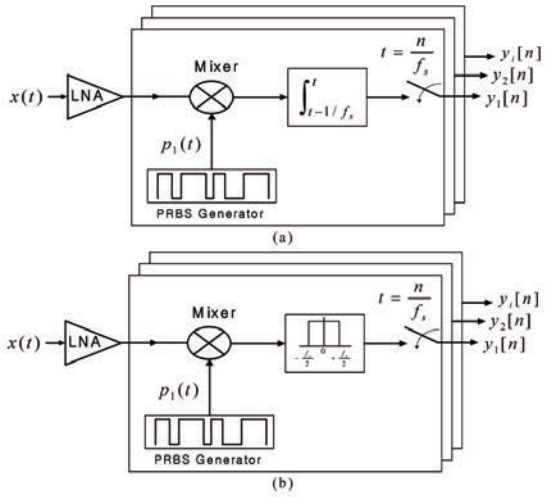
실리콘 기반 반도체 공정기술의 비약적인 발전에도 불구하고 초고주파 혹은 밀리미터파 대역의 광대역 신호를 Nyquist 표본화 이론에 근거하여 직접 디지털 신호로 변환하는 일은 기술적으로 난제이다.

〈그림 1-(a)〉 와 같이 공정 기술의 비약적인 발전에 따른 변환 에너지는 0.5 배 /1.9 년의 경향성을 가지고 있으나, 〈그림 1-(b)〉에 나타난 바와 같이 해상도-속도 개선은 이에 훨씬 미치지 못하는 2 배 / 3.6 년의 추세로 발전하고 있다[8]. 따라서 허용 가능한 소모 전력을 고려했을 때 10 GHz 이상 대역의 신호를 직접 변환하는 초고속 ADC의 개발은 기술적으로 어려운 문제이다.

최근 샘플링 회로기술 및 ADC 아키텍쳐의 발전으로 10Gb/s이상의 Interleaved ADC가 ENOB 6bit 이하에서 보고되고 있지만[9-10], 레이더 신호 감시나 광대역 차세대 무선통신 응용과 같이 초고주파/밀리미터파 대역에서 수 GHz 이상의 광대역 신호를 실시간 처리하기 위해서는 압축센싱수신기의 집적화 구현이 절실하다.



〈그림 1〉 (a) 보고된 ADC의 년간 변환에너지 추세
(b) 보고된 ADC의 년간 해상도-속도개선 추세[8]



〈그림 2〉 다중 Branch 로 구현된 압축센싱 수신기의 구조
(a) Random Modulator Pre-Integrator (RMPI)[3],
(b) Modulated Wideband Converter (MWC)[4]

2. 압축센싱용 초고주파 광대역 수신기

가. 압축센싱 수신기의 구조

압축센싱 수신기는 기본적으로 입력 신호를 증폭하고, 이를 PRBS 신호와 시간 축에서 곱하는 역할을 한다. 기저대역 신호를 표본화 하는 후단부 ADC에 들어가는 입력신호의 처리 방식에 따라서 〈그림 2-(a)〉와 같이 구간 $T=1/f_s$의 시간 동안 적분기를 이용하여 integrate-and-dump sampling으로 구현한 RMPI[3],[11]이 있으며, 〈그림 2-(b)〉처럼 적분기를 대신하여 표본화 주파수 f_s를 가지는 통과대역주파수가 $f_s/2$인 아날로그 저역통과여파기 (LPF)를 ADC 입력단에 사용하여 구성된 Modulated Wideband Converter (MWC)[4] 방식이 잘 알려진 구조이다.

RMPI 수신기는 MWC 수신기와 비교해서 입력되는 아날로그 신호를 센싱 하는데 있어서 상대적으로 큰 측정행렬을 필요로 한다[4]. 최근에는 MWC를 기반으로 하여 입력신호의 중심주파수 증가에 따른 PRBS의 동작주파수가 증가하는 문제를 해결하고 입력대역폭 내의 신호만을 샘플링 하도록 하여 압축센싱의 변환효율을 높이는 QAIC 수신기가 개발 되었다[5]. 본 방식은 $f_{LO1}=BW_{RF}/2$ 가 되도록 LO1을 통해서 1차 주파수 하향변환 하여 PRBS를 구동하는 클록 주파수($f_{CLK(PRBS)}$)가 대역폭 $BW_{RF}=f_{RF(\max)}-f_{RF(\min)}$보다 같거나 크면 압축센싱이 가능하도록 PRBS 클록 속도를 낮출 수 있고, IQ 하향 변환을 통해서 샘플링에 필요한 주파수 대역을 반으로 줄임으로서 수신기에서 필요한 독립된 Branch 개수를 줄일 수 있도록 했다. 그러나 QAIC 수신기는 Quadrature 구조의 주파수 변환을 2 회 거쳐야 하므로 구조가 복잡하고 이에 따른 불요파 혼합 문제를 고려해야 한다. 또한 입력 신호의 대역폭이 상대적으로 넓은 ($f_{RF(\max)} \gg f_{RF(\min)}$) 경우는 저속의 PRBS를 사용할 수가 없다.

나. 초고속 압축센싱 수신 전단부와 ADC의 동기화

다중 협대역으로 구성된 산재한 입력 신호가 PRBS신호와 혼합하면 모든 협대역 성분이 혼재(aliasing) 된 상태로 기저대역으로 주파수 변환된다. 입력된 협대역 신호의 최대 대역폭이 $B_{\max}$라고 하면, $f_S \geq B_{\max}$인 표본화 주파수로 동작하는 후단부의 ADC를 이용하여 기저대역의 신호를 표본화한 후에 압축센싱복원 알고리즘을 통해서 원신호를 손실 없이 복원할 수 있다. 이때 올바른 복원을 위해서 PRBS의 고속 CLK과 ADC의 샘플링 주기의 동기화가 중요하다. 이를 위해서 PRBS의 클록 신호를 리플 카운터를 사용하여 주파수를 낮춘 후에 ADC 의 클록신호가 되도록 구현하면 두 블록간의 동기화를 이룰 수 있다. 한편 ADC와 PRBS 발생기 클록이 집적화 되지 않은 경우에도 PRBS의 주기성을 이용해서 nT_p (n=0,1,2,...) 만큼 시간 지연된 신호에 대하여 수신단 전단부와 ADC를 동기화할 수 있다. 두 신호간의 정밀한 동기화를 위해서는 클록 신호의 jitter 잡음이 최소화 되어야 한다. jitter 잡음은 리플 카운터의 비트수가 증가할수록 커지기 때문에, 압축비의 설정시 이러한 부분도 종합적으로 고려해야 한다.

다. 압축센싱 수신기의 설계

초고속 압축센싱 수신기를 집적화 구현하기 위해서는 광대역 신호를 증폭하는 광대역 저잡음 증폭기(LNA), 증폭된 신호를 주파수 혼합기의 RF 단으로 구동하는 RF 구동 증폭기, LO 신호를 증폭하고 주파수 혼합기의 LO 단을 통해서 혼합기의 스위치를 구동하는 LO 구동증폭기,

하향 변환된 IF 신호를 증폭하여 ADC에서 샘플링이 가능하도록 하는 IF 증폭기, 그리고 m-sequence를 생성하는 초고속 PRBS 발생기로 구성할 수 있다. CMOS 소자 및 회로 기술의 지속적인 발전에 따라서 이러한 블록의 집적화 구현은 서브테라헤르츠 대역의 송수신기 구현에까지 진행되고 있다[12]. 따라서 본 항에서 초고주파 및 밀리미터파 대역 수신기에 대한 고려사항은 압축센싱 수신기에서 사용되는 PRBS 신호에 의한 영향을 중심으로 기술하고자 한다.

일반적인 RF 수신기는 RF 입력신호를 하향 주파수 변환할 때 f_{LO}를 가진 정현파를 사용한다. 이에 반해 압축센싱 수신부는 산발적인 특성을 가지는 광대역 입력 신호 $x(t)$를 주파수 혼합기의 RF 단에 입력하고 주기 T_P를 가지는 의사불규칙 이진수열 $p(t)$를 LO 구동 신호로 사용함으로써 두 신호를 시간 영역에서 곱을 취해 준다. 이때, PRBS 발생기의 출력 신호의 스펙트럼은 $L=2^n-1$의 길이를 가지고 반복적인 패턴을 형성하는 m-sequence이므로, 주파수 $f_P=1/T_P$의 하모닉 성분으로 구성된 풍부한 선 스펙트럼으로 구성되며 아래와 같이 표현할 수 있다[13].

$$S_p(f)=\left[\sum_{m\neq\infty}^{\infty}\delta(f-mf_p)\right]\frac{L+1}{L^2}\left(\frac{\sin\pi f/f_c}{\pi f/f_c}\right)^2 + \frac{1}{L^2}\delta(f) \quad (1)$$

여기서 $f_p=\dfrac{f_c}{2^n-1}$, $L=2^n-1$ 이다.

식 (1)과 같이 LO 신호는 동일 전력의 단일톤 신호를 기준으로 $\sin(\pi f/f_c)(L+1)/(L_p\pi f/f_c)$의 크기로 감소한다. 따라서 입력신호와 컨볼류션을 통해서 생성된 IF 출력 스펙트럼도 동일한 크기로 감소한다. ADC의 표본화 주파수가 PRBS의 동작주파수에 비해서 매우 작은 경우 ($f_s \ll f_c$) 압축센싱 수신기의 혼합기에서 발생하는 변환손실 $CL_{MIX(PRBS)}$ (dB)은 다음과 같다.

$$CL_{MIX(PRBS)} \approx CL_{MIX(1tone)}+10\log_{10}\left(\frac{L^2}{L+1}\right) \quad (2)$$

G_{IF}를 믹서 IF 출력에서 ADC 입력단 까지 IF 단의 총 이득이라고 할 때, 광대역 압축센싱 수신기의 총 이득 (G_{Rx})은 (3)과 같다.

$$G_{Rx}=G_{LNA}-CL_{MIX(PRBS)}+G_{IF} \quad (3)$$

수신기의 최소 입력 전력 ($P_{in(\min)}$)은 수신기의 총이득 (G_{Rx}), 기저대역 ADC의 바닥잡음(n_{floor}) 과 ADC의 최소 입력전력($P_{in,\max(ADC)}$), 그리고 압축센싱된 신호를 복원하는데 필요한 후단부의 신호잡음비(SNR_{req})를 고려해서 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned}P_{in(\min)}&=P_{in,req(ADC)}-G_{Rx}\\&=(NF_{SYS}+n_{floor}+SNR_{req})-G_{Rx}\end{aligned} \quad (4)$$

이때 SNR_{req}(dB)는 압축센싱 복원에 필요한 신호대잡음비로써, MWC의 경우 약 SNR_{req}=15 dB 이고[4], $B_{front-end}$는 수신기 입력 대역폭 (Hz), 바닥 잡음 $n_{floor}=kTB_{front-end}=-174+10\log_{10}B_{front-end}$ 이다.

압축센싱 수신기가 N_{in}개의 다중 협대역 입력신호를 수신한다고 할 때, 수신기의 비선형성으로부터 각각의 협대역 신호끼리 상호 변조 왜곡에 의한 불요파가 발생하고, 수신단의 광대역 특성으로 인해서 수신기의 통과 대역 안으로 들어온다. 이러한 비선형적으로 발생한 불요파는 원치 않는 위치에 다중 협대역 성분을 혼재(aliasing) 시키기 때문에 압축센싱 후에 원신호를 제대로 복원하는데 어렵게 한다. 수신기의 비선형성과 관련된 최대 입력 가능 전력($P_{in,\max}$)은 수신기의 선형성과 ADC의 SNDR에 의해서 결정된다. 수신기의 모든 블록의 비선형 성분을 고려해서 구한 3차 교차점 $IP3_{Rx(2-tone)}=IM3_{Rx(2-tone)}/2+P_{in}$ 으로부터, 3차 상호변조왜곡 $IM3_{Rx(2-tone)}$를 구하고, 이 값이 ADC의 신호대잡음 및 왜곡비 (SNDR) 보다 낮도록 해야 한다. 일반적으로 수신기의 IM3 성분이 가장 큰 불요파를 형성 하므로, 다중 협대역 신호의 개수가 최대 $N_{\max}$ 일때 수신단의 최대 입력가능 전력은 식 (5)와 같다[14].

$$\begin{aligned}P_{in,\max}\approx{}&IP3_{Rx(2-tone)}-\frac{1}{2}(SNDR_{ADC}+\alpha(N_{in}))\\&-10\log_{10}N_{\max}-G_{Rx}\end{aligned} \quad (5)$$

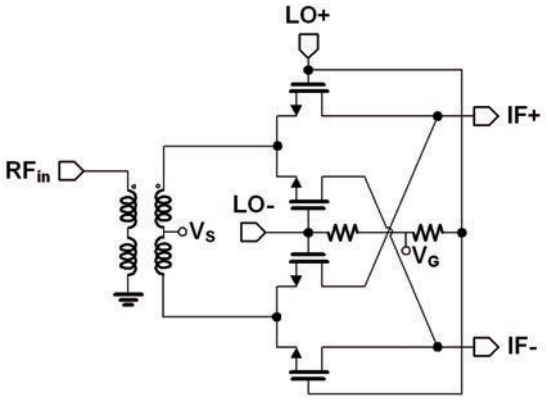
여기서 $\alpha(N_{in})$는 $N_{\max}$개의 다중대역 신호에 의한 영향을 고려한 것이다[15].

라. 주파수 혼합기 (Mixer)

단일톤을 사용하는 일반적인 하향변환 수신기와는 달리 m-sequence 스펙트럼은 식 (1)과 같이 f_p의 배수가 되는 톤이 sinc 함수 형태로 촘촘히 존재하면서 입력 신호와 혼합된다. 수동형 혼합기는 소자의 스위칭에 의한 주파수 변환을 이용하기 때문에 소자의 트랜스컨덕턴스 (g_m)를 사용하는 능동혼합기에 비해서 선형성과 광대역 특성이 우수하다. 수동형 혼합기가 제대로 동작하기 위해서는 혼합기를 구성하는 MOS 스위치가 On/ Off 상태로 바뀔 수 있도록 충분한 크기의 LO 전압으로 구동해야 한다. 이를 위해서 rail-to-rail 동작되는 LO 버퍼가 필요하다. 한편, 다중 톤으로 구성된 광대역 LO 신호는 IF 대역에 까지 선스펙트럼으로 존재하기 때문에 누설 LO 신호에 의한 IF 신호의 오염에 주의해야하기 때문에 우수한 LO-IF 격리도 특성이 필요하다.

이중평형혼합기는 차동 LO 신호가 IF 단에서 결합하기 때문에 누설된 차동 LO 신호를 서로 상쇄하여 높은 격리도를 유지할 수 있다. 〈그림 3〉은 MOS로 구현한 이중평형혼합기이다. 본 구조는 차동신호를 RF 입력 신호로 사용하기 때문에 RF입력신호가 단일종단신호인 경우 Balun을 사용하여 차동신호로 변환 한다. 초고주파/밀리미터파대역에서 Balun은 온칩 트랜스포머로 소형화 구현이 가능하다.

이상과 같이 압축센싱 수신기는 산발신호의 압축센싱을 통해서 ADC의 요구사양을 극적으로 낮추는 대신에 높은 선형성을 가지고 광대역신호에 대한 증폭, 여파, 주파수 혼합을 수행하도록 설계해야 한다.



〈그림 3〉 MOS 수동형 이중평형혼합기

3. 초고속 의사 불규칙 이진수열(PRBS)발생기

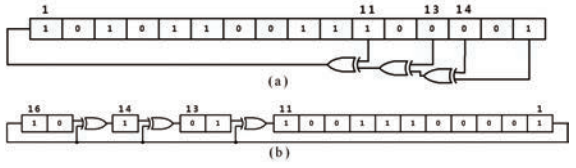
가. 의사 불규칙 이진수열 발생기 (PRBS)의 구조

식 (1) 과 같이, PRBS 발생기의 출력신호인 m-sequence 스펙트럼은 $f_{dk}=(2^n-1)/T_p$에서 null 을 형성하기 때문에, 이에 따른 기저신호의 손실을 고려하여 f_{dk}가 초고주파 대역의 광대역 산발 신호 $X(f)$의 최대 주파수 $f_{RF(\max)}$ 보다 2 배 이상 높도록 설계해야 한다. m-sequence를 생성하는 PRBS 발생기는 LFSR (Linear Feedback Shift Register)의 연속적인 배열과 함께 일정한 규칙에 따라서 임의 위치의 LFSR 신호들을 XOR을 통해 합하고 그 값을 초단 LFSR에 되먹임 하여 $L=2^n-1$ 개의 불규칙한 이진 수열을 T_p의 주기 마다 반복 한다. LFSR을 이용한 PRBS 발생기는 〈그림 4〉와 같이 LFSR과 XOR의 결합 형태에 따라서 (a) Fibonacci LFSRs 와 (b) Galois LFSRs 으로 구별할 수 있다.

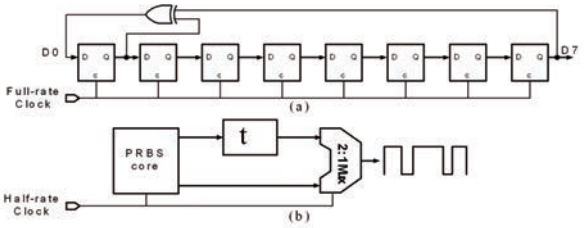
Fibonacci 구조의 PRBS는 XOR을 LSFR 과 평행하게 배치하여 필요한 신호를 추출하기 때문에 더 빠른 동작속도의 PRBS발생기를 구현 가능하다.

나. 초고속 PRBS의 구현

초고속 PRBS 발생기는 낮은 입출력전압으로 동작이 가능한 차동 형태의 CML (Current-Mode Logic) 래치



〈그림 4〉 PRBS구조:(a) Fibonacci LFSRs, (b) Galois LFSRs



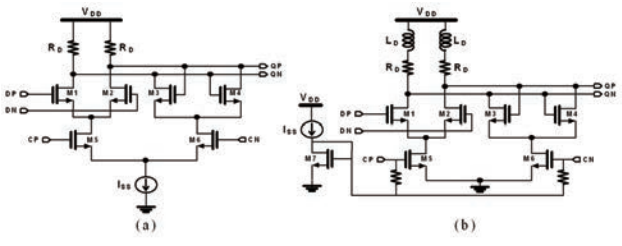
〈그림 5〉 (a) Full-rate Fabonacci PRBS 구조 (b) Half-rate PRBS의 구조

로 구현되는데, CML은 고속 동작이 가능한 반면 바이어스 전류가 상시 필요하고, 각 래치의 물리적인 크기 때문에 클록 간의 시간 지연을 무시할 수 없다. 실질적으로 구현할 수 있는 PRBS sequence의 길이 L은 되먹임 회로를 구성하는 선로 및 LFSR 클록간의 지연시간에 의해서 제약된다. 대략 30 Gb/s 이상에서 동작하는 Full-rate PRBS 발생기의 경우 n이 7~9 를 가지도록 설계된다. 〈그림 5-(a)〉 는 Full-rate PRBS의 개략도이다.

초고속 PRBS 발생기는 m-sequence 신호의 "Cycle-and-Add" 특성에 의해서 Multiplexer (MUX) 를 사용할 수 있고, 이를 통해 입력 클록 주파수의 두 배의 동작속도를 가진 Half-rate PRBS를 구현할 수 있다[16]. 이러한 특성으로부터 N:1 Mux를 이용한 N-Interleaved 구조를 이용하면 이론적으로 1/N 낮은 CLK 주파수로 래치를 구동할 수 있지만, 그 개수가 클수록 정확한 Interleaving 이 되는데 필요한 Mux 입력 신호간 위상차를 생성하기 어렵다. 또한, MUX의 동작 속도는 출력 동작속도와 같은 속도로 움직이기 때문에 MUX의 성능이 동작 속도를 좌우한다. 실질적으로 N 이 클수록 높은 전력소모, 칩의 크기가 증가하므로 half-rate 구조를 널리 사용한다. 〈그림 5-(b)〉는 n=7 인 half-rate Fibonacci 구조의 초고속 PRBS 발생기이다.

LFSR (D-플립플롭)은 Master와 Slave 2개의 CML Latch로 구현한다. CML 래치는 차동 회로를 이용하여 200 mV~300 mV 의 낮은 출력 전압 으로 동작하기 때문에 rail-to-rail 으로 동작하는 static 논리회로에 비해서 훨씬 빠른 속도를 가진다. 〈그림 6-(a)〉와 같이 M1, M2는 차동 증폭기를 형성하고 M3와 M4는 XCP (cross-coupled pair) 로 부하 R_D과 함께 래치를 형성한다. CLK 이 High 가 되면 증폭기 입력은 증폭되고 그 값이 XCP 에 인가된다. CLK이 Low가 되면 XCP가 활성화 되어서 출력 전압이 $I_{SS}R_D$가 되도록 유지한다. 이때 XCP에 의한 regeneration이 제대로 작동하기 위해서는 $g_{m3,4}R_D > 1$ 을 만족해야 한다. 차동증폭기는 입력에 따라서 M1 혹은 M2 소자로 전체 전류가 흐르도록 설계하기 때문에, 이때의 출력 전압의 변화율$(dV_{out}(t)/dt)$ 은 I_{SS}/C_{LT}에 비례한다. 따라서 증폭기의 소자의 전류밀도가 최대가 되도록 설계해야 한다[17]. 이러한 원리로 부터 부하 R_D를 inductive peaking 하여 속도를 개선하거나, Source follower를 사용하여 부하 커패시턴스의 영향을 줄이고, BJT의 경우 E2CL구조를 이용하는 방안이 고려될 수 있다. 또한 〈그림 6-(b)〉 와 같이 의사 차동 구조를 적용하여 I_{SS}의 제약 없이 증폭기가 class-AB 영역에서 동작하게 함으로써 동작속도를 개선할 수 있다[18].

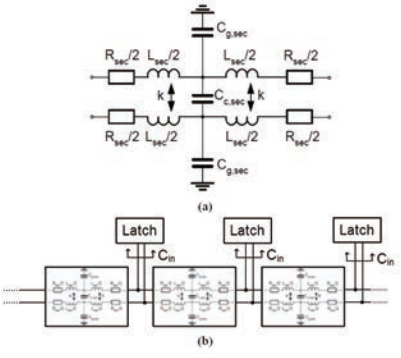
여러 문헌에 다양한 공정에 따른 고속 PRBS가 보고되고 있다. 구체적인 예로, f_T=200 GHz SiGe BJT를 이용한 100Gb/s 2^7-1의 PRBS 발생기[19]가 있고, [20]은 0.13μm CMOS 공정을 이용하여 24 Gb/s 2^7-1 PRBS 발생기를 구현 하였다.



〈그림 6〉 (a) CML 래치구조 (b) 고속 CML 래치 구조

다. 전송선로를 이용한 클록 분배회로

초고주파 대역의 압축센서는 매우 짧은 주기의 펄스를 LO 신호로 사용한다. 높은 주파수의 클록신호를 전송할 때에 선로에 의한 시간지연이 펄스의 상승(하강) 시간보다 길면 전송선로의 특성을 고려해 주어야한다. CML 래치를 사용하는 초고속 PRBS 발생기는 구현되는 LFSR의 물리적인 크기가 상대적으로 크기 때문에 LFSR 사이



〈그림 7〉 (a) 래치의 클록 입력 커패시턴스를 고려한 클록 전송 선로의 설계[21]

에 전송되는 클록들 간에 시간 지연을 무시할 수 없다.

따라서 초고속 PRBS 발생기의 클록분배용 선로는 전송선로의 특성을 고려하여 특성임피던스 설계와 임피던스 정합을 해야 한다. 전송선로에서 다중 반사파에 의한 신호의 ISI를 최소화하기 위해서 선로를 구동하는 버퍼의 출력과 선로 종단의 부하가 특성임피던스와 동일하게 설계한다. 전송선로의 특성임피던스는 차동선로의 경우 Z_{0dm}=100Ω, 단일종단선로는 Z_0=50Ω 이 되도록 구현하는데, 〈그림 7〉에서 보이듯이 래치의 클록입력단의 C_{in}=C_g을 원하는 전송선로 차동 특성임피던스의 구현을 위해서 식 (7)과 같이 고려해야 한다.

$$Z_{0dm} \approx \sqrt{\frac{2L(1-k)}{C_c + C_g/2}}, \quad Z_{0cm} \approx \sqrt{\frac{L(1+k)}{4C_g}} \qquad (7)$$

한편, CMOS 공정에서 전송선로는 기판의 높은 전도도로 인해서 10 GHz~60GHz 에서 약 0.6~1.2 dB/mm 가량으로 상대적으로 손실이 크기 때문에 클록 분배회로를 구현할 때 이를 충분히 고려해야 한다[22].

Ⅲ. 결 론

실리콘 공정에 기반 하여 초고주파 및 밀리미터 대역의 광대역신호를 압축센싱 할 수 있는 집적화된 수신기의 개발은 차세대 무선 통신, 실시간 레이더 신호감시 등, 여러 응용분야에 적용될 수 있다.

Ⅳ. 사 사

이 논문은 2016 년도 한화탈레스(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

[1] Donoho,"Compressed sensing," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 52, no. 4, Apr. 2006, pp.1289–1306.

[2] D.V.Sarwate, et al., "Crosscorrelation Properties of Pseudorandom and related sequences," in Proc. of the IEEE, Vol. 68, No. 5, May 1982.

[3] J.Yoo et al., "A 100MHz–2GHz 12.5 x sub–Nyquist rate receiver in 90 nm CMOS," RFIC, 2012 IEEE, pp.31–34.

[4] M Mishali, "From theory to practice: sub–Nyquist sampling of sparse wideband analog signals," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol. 4, No. 2, April 2010, pp.375–391.

[5] R.T. Yazicigil, "Wideband rapid interferer detector exploiting compressed sampling with a quadrature analog–to–information converter," IEEE Journal of Solid–State Circuits, Vol. 50, No. 12, Dec., 2015, pp.3047–3064.

[6] R.A. Camillo et al., Proc. of IEEE BCTM 227, 2013.

[7] http://www.samsung.com/semiconductor/insights/news/13270.

[8] B. Murmann, "Trends in low–power, digitally assisted A/D conversion," IEICE Trans. Electron., vol. E93–C, no. 6, 2010, pp. 718–727.

[9] S. Verma et al., "A 10.3 GS/s 6 b flash ADC for 10 G ethernet applications," in IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, 2013, pp. 462 – 463.

[10] V. H.–C. Chen et al., "A 69.5 mW 20 GS/s 6 b time–interleaved ADC with embedded time–to–digital calibration in 32 nm CMOS SOI," in IEEE ISSCC Dig., 2014, pp. 380 – 381.

[11] A.Tropp et al.,"Beyond nyquist : Efficient sampling of sparse band limited signals," IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. 56, No. 1, Jan. 2010, pp. 520–544.

[12] J.–D. Park et al., "A 260 GHz fully integrated CMOS transceiver for wireless chip–to–chip communication," in Proc. Symp. VLSI Circuits, Jun. 2012, pp. 48 – 49.

[13] Pickholtz et al., "Theory of Spread–Spectrum Communications," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM–30, No.5, May 1982.pp.855–884.

[14] M. Mishali, "Xampling: Analog to digital at sub–Nyquist Rates,"IET Circuits Devices Syst., 2011, Vol. 5, Iss. 1, pp. 8 – 20.

[15] N. B. Carvalho and J. C. Pedro, "Compact formulas to Relate ACPR and NPR to two–tone IMR and IP3," Microwave Journal, vol. 42, no. 12, Dec. 1999.

[16] F. Sinnesbichler,"Generation of high–speed pseudorandom

sequences using multiplex techniques,"1996 IEEE MTT-S Digest, pp.1351~1354.

[17] M. Green and U. Singh, "Design of CMOS CML circuits for high speed broadband communications," in IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, May 2003, vol. 2, pp. 204 - 207.

[18] B. Razavi, Design of Integrated Circuits for Optical Communications, 2nd Ed., Wiley, 2012.

[19] H. Knapp, "100 Gb/s and 54-Gb/s PRBS generators in SiGe bipolar technology", IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 40, No. 10, Oct. 2005., pp. 2118~2125.

[20] F. Weiss et al.,"A 24-Gb/s pseudo random bit sequece genertor IC in 0.13 μm Bulk CMOS," in 2006 Proc. of the 32nd European Solid-State Circuits Conference, 468-471.

[21] H. Veenstra et al.,"Circuit and interconnect design for RF and high bit-rate applications," Chapter 6, Springer, 2008.

[22] F. Wecchi, "Design of low-loss transmission lines in scaled CMOS by accurate electromagnetic simulations," IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol.44, No.9, Sept. 2009.

박정동

- 1998년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업
- 2000년 광주과기원 정보통신공학과 석사 졸업
- 2012년 캘리포니아대학교 버클리, 전기컴퓨터과학과 박사 졸업

〈관심분야〉
아날로그/Mixed/RF 집적회로, 테라헤르츠, 전력증폭기, 차세대 소자 개발

박준식

- 2014년 전북대학교 전자 · 정보공학부 학사 졸업
- 2016년 전북대학교 전자 · 정보공학부 석사 졸업
- 2015년~현재 한화탈레스

〈관심분야〉
RF 집적회로, 전자전 시스템

데이터플로우 기법이 적용된 OMP 알고리즘의 HDL 구현

서근수
광주과학기술원
전기전자컴퓨터공학부

윤의현
광주과학기술원
전기전자컴퓨터공학부

이민재
광주과학기술원
전기전자컴퓨터공학부

Ⅰ. 서 론

압축센싱은 낮은 속도의 ADC를 사용할 수 있으며, 산재된 신호를 복원하는데 효과적인 것으로 연구되어왔다. 신호의 산재한 특성은 생체신호, 의료영상, 레이더 신호등에서 발견되며 하드웨어로 구현하려는 많은 시도가 있었다[1-2]. MP(Matching Pursuit) 알고리즘은 반복적으로 현재의 신호 추정치와 가장 상관도가 큰 측정행렬의 열을 추출하는 방식으로, 연산복잡도가 낮아, 산재된 신호 복원과 구현에 널리 사용되어왔다. 그러나 MP를 이용한 신호 복원은 신호의 산재한 정도가 매우 큰 경우에 효과적이며, 긴 연산 시간이 필요하다는 제약들이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 OMP(Orthogonal Matching Pursuit)가 제안되었다[3]. MP의 경우 마지막 단계에서만 Least Square가 수행되는 것이 비해, OMP 는 매 반복문 마다 Least Square 단계가 포함되면서, 반복문의 횟수가 크게 줄어든 알고리즘이다[5]. Least Square 때문에 반복문 당 복잡도는 증가하였지만, 연산시간 은 크게 감소하였다. OMP 알고리즘의 연산 복잡도가 증가되는 이유는 내적기(행렬 곱셈), 비교기 그리고 신호복원을 위한 역행렬기가 사용되기 때문이다. 그러므로 OMP를 구현하기 위해서, OMP의 큰 연산 복잡도를 어떻게 다룰 것인지 결정하는 것이 중요한 문제가 된다.

1장에서는 OMP 알고리즘을 구성하는 세부 연산장치들을 소개하며, 2장에서는 신호 복원 모듈에 사용되는 역형렬방식과 대입방식의 연산 복잡도를 비교한다. 3장에서는 복원 모듈의 연산시간을 절감하기 위한 파이프라인 방식의 누적 장치를 묘사하며, 4장에서는 제안하는 데이터 플로우 구조의 효과에 대해 알아본다. 실험에서는 제안된 구조의 동작을 확인하고, 성능을 분석한다.

Ⅱ. 본 론

1. OMP 알고리즘

압축센싱 문제 중에서 수신하고자하는 신호의 열(column)의 개수가 2개 이상인 경우를 MMV문제라고 한다. 더 높은 차원으로 확장된 형태의 MMV문제는 1차원의 SMV보다 산재된 신호를 발견하는데 더 효과적인 것으로 연구되어 왔다[4].

$Y \in R^{M \times L}$는 관측행렬로 수신단에 잡음(n)을 추가하여 식 (1)과같이 모델링할 수 있다.

$$Y = \Phi X + n \tag{1}$$

$X \in R^{N \times L}$는 송신된 신호로 반송파 주파수가 알려지지 않은 산재된 신호(sparsed signal)이다. $\Phi \in R^{M \times N}$는 측정행렬이라고 하며, 광대역의 수신대역을 균등 분할하여 생성된 슬라이스들에 대해서 각각 다른 이득 및 위상정보를 갖는다.

〈표 1〉은 대입방식이 적용된 OMP 알고리즘 나타낸다. 최초에 관측행렬 Y를 입력받은 이후에 산재된 위협 신호를 모두 발견하는 조건이 될 때까지 반복문을 수행한다. OMP는 크게 최적화(Optimization) 문제와 최소자승법(Least Square) 문제로 구분할 수 있다.

최적화 문제는 Residue와 상관성이 가장 큰 밴드 위치(support)를 검색하는 단계로 OMP 반복문마다 새로운 support를 추출하는 기능을 하며, 〈표 1〉의 1번부터 4번 단계에 해당한다. 최소자승법 문제는 수신데이터(Y)와 계산으로 추정하는 데이터($\tilde{Y}$)간 오차(r)를 줄여가며, 근사하는 이론으로 〈표 1〉의 6번부터 9번에 해당한다.

〈표 1〉 대입방식의 OMP 알고리즘

입력 : $Y \in R^{M \times L}$, $\Phi \in R^{M \times N}$, $\tilde{\Phi} \in R^{M \times K}$, $r_0 = Y$
출력 : $X \in R^{N \times L}$
발견된 Support 개수 : K
Step .1 Make correlation matrix $W = \Phi^H r_{i-1}$
Step .2 Absolute W : $W_{COMP} \rightarrow \|W\| \in R^{N \times L}$
Step .3 Compress matrix to vector $\|W\| \rightarrow W_V \in R^{N \times 1}$
Step .4 Find index corresponding to maximum value in the row elements. argmax W_V
Step .5 Update sub-measurement matrix and index set $\tilde{\Phi}_i = [\tilde{\Phi}_{i-1}\ \Phi_{\lambda_i}]$, $\Lambda_i = \Lambda_{i-1} \sqcup \lambda_i$
Step .6 Compose symmetric matrix and sub-correlation matrix $\tilde{W}$
Step .7 LD decomposition $C \rightarrow L, D$
Step .8 Forward/Backward Substitution $L, D \rightarrow r \rightarrow \tilde{X}$
Step .9 $r_i = Y - \tilde{Y}$, and repeat 1) until stop criteria

OMP 연산을 구성하는 세부 알고리즘은 다음과 같다. 단계 1은 식 (1)의 양 변에 Φ^T를 곱하는 연산으로, 식의 좌변은 상관행렬 W(correlation matrix)로 표현된다. 이 때 사용되는 측정행렬은 OMP 반복문에서 고정되지만, 추정치가 실제와 유사해짐에 따라 측정오차 r은 반복문마다 작은 값으로 갱신된다.

$$W = \Phi^T r_{i-1} \tag{2}$$

첫 번째 OMP 반복문에서 r_0는 관측행렬 Y가 되며, 이후에는 이전 OMP 반복문에서 계산되는 측정오차(r_i)로 대체된다.

단계 2와 3은 상관행렬 W를 간소화하는 모듈로 l_1_norm 방식으로 계산된다. 일반적인 l_p_norm을 계산하는 방식은 식 (3)과 같은데, l_1_norm(p=1)은 l_2_norm(p=2)과 달리 루트 연산이 발생하지 않기 때문에 계산이 간편하다.

$$\|x_p\| = \sqrt[p]{\sum_i |x_i|^p} \tag{3}$$

복소수 형인 상관행렬은 각각의 원소에 절댓값이 취해진 후, 단일 열벡터 W_V로 축소된다.

단계 4는 전체 수신대역과 일치하는 슬라이스 중에서 최대 상관을 가지는 위치를 검색하는 함수이다.

$$\arg max\ W_V(k) \tag{4}$$

식 (4)에서, 최댓값을 검색하기 위해 비교해야 할 슬라이스의 개수를 k라고 했을 때, 인접한 두 개의 원소끼리 크기를 비교하여 하나가 살아남는 토너먼트 방식으로 최댓값을 발견한다. k가 $2^m < k \leq 2^n$의 범위에 존재할 때, n bit의 index가 각각의 데이터에 삽입되며, 최댓값을 출력하기까지 n번의 비교 단계가 수행된다.

단계 5는 식 (5)와 (6)과 같이 묘사된다. 전체 측정행렬 Φ중에서 단계 4로부터 발생한 최댓값의 위치와 이것과 일치하는 열만을 선택적으로 수집한다. 구성행렬 $\tilde{\Phi}_i \in R^{M \times K}$는 이전 결과($\tilde{\Phi}_{i-1}$)에 현재 발견되는 열($\Phi_{\Lambda_i}$)

을 누적하여 구성된다.

$$\Lambda_i = \Lambda_{i-1} \sqcup \lambda_i \tag{5}$$

$$\tilde{\Phi}_i = [\tilde{\Phi}_{i-1},\ \Phi_{\Lambda_i}] \tag{6}$$

결과적으로, 우리의 문제를 주어진 식보다 미지수가 더 많은 underdetermined system에서 수학적 해석이 가능한 overdetermined system으로 변환한다.

단계 7은 행렬 L(lower)과 D(diagonal)를 계산하는 모듈로, 이번 논문에서는 기존의 Cholesky(LD) 분해에서 제곱근 연산이 없는 변형된 형태의 Cholesky(LD) 분해를 이용하여 구현하였다[5]. 변형된 Choleksy 분해는 L과 D로 대칭행렬 C를 분해할 수 있으며, 다음의 식 (7)과 (8)같이 표현된다. 입력 행렬 C가 복소수 형이기 때문에, 일반 전치(transpose)연산이 아닌 컬레(conjugation) 연산이 포함된 허미션전치(hermition transpose)가 수행된다.

$$C = LDL^H$$

$$L_{i,j} = \frac{1}{D_{j,j}}[C_{i,j} - \sum_{k=1}^{j-1}(L_{i,k}\overline{L_{j,k}}D_{k,k})], \quad i > j \tag{7}$$

$$L_{i,j} = 1, \quad i = j$$

$$D_{i,j} = C_{i,j} - \sum_{k=1}^{j-1}(L_{i,k}\overline{L_{j,k}}D_{k,k}), \quad i = j \tag{8}$$

단계 8번에서는 전/후진 대입(Forward/Backward substituion)을 이용하여, 탐지하고자 하는 신호 $\tilde{X}$를 계산한다. 기존의 연구에서는 신호 $\tilde{X}$를 발견하기 위해서, C^{-1}를 계산했지만[5], Cholesky 역행렬에서 수행되는 LD 역, 행렬 곱 과정에서 시간 및 하드웨어 소요가 크다는 문제가 있다. 이에 이번 논문에서는 전/후진 대입 방식으로 신호 $\tilde{X}$를 복원한다.

단계 9번에서는 다음 연산에 필요한 측정오차 r(residue)을 계산한다. 측정오차는 최소자승법에 따라, 실제 수신데이터(Y)와 계산으로 추정하는 수신데이터 ($\tilde{Y} = \tilde{\Phi}\tilde{X}$) 간 오차로 나타나며, OMP가 수행되면서, 이 값은 점차 줄어드는 경향으로 나타난다.

$$\begin{aligned} r_i &= Y - \tilde{Y} \\ &= Y - \tilde{\Phi}\tilde{X} \end{aligned} \tag{9}$$

2. 신호 복원 방식의 비교

본 논문에서 제시된 전/후진대입 방법은 기존에 사용하는 의사역행렬을 이용한 신호 복원 방법에 비해 연산 시간 및 복잡도가 낮은 장점이 있다.

$$\tilde{\Phi}^H Y = \tilde{\Phi}^H \tilde{\Phi}\tilde{X}$$

$$\tilde{W} = C\tilde{X} = LDL^H\tilde{X}$$

(a) $\tilde{X} = C^{-1}\tilde{W}$

When, $C^{-1} = (L^{-1})D^{-1}L^{-1}$

(b) $LD\tilde{r} = \tilde{W}$

$L^H\tilde{X} = \tilde{r}$

〈표 2〉에서는 각각의 신호 복원 연산에서 사용되는 곱셈기의 개수를 비교한다. 연산 복잡도를 비교하기 위해 가장 비중이 큰 곱셈기의 개수를 나타내었다. 연산 복잡도에서 차이가 크게 발생하는 이유는 대입방식과 달리, 역행렬 방식에서는 행렬 곱셈과정이 두 차례 포함되기 때문이다. 본 실험에서 사용된 파라미터(K=12(최대), M=32, L=16)를 적용하면, 곱셈기는 역행렬방식에서 15K 개, 대입방식에서 3.7K 개가 사용된다. 같은 신호 $\tilde{X}$를 얻기 위한 연산임에도 불구하고, 복잡도(곱셈기)는 4.06배 만큼 차이가 나게 된다.

3. 파이프라인 구조의 누적(Σ) 연산 장치

신호 복원에 사용되는 LD 분해 및 대입방법은 이전 결과를 사용하여 현재 결과를 얻는 메모리가 있는 누적시스템이다. 따라서 연속된 데이터를 한 개 주기 동안 출력하기 어렵다. 식 (10)에서 파이프라인이 적용된 LD분해의 동작을 소개한다[5]. 예를 들어 LD 분해의 4번째 행(i=4)

〈표 2〉 Cholesky 역행렬방식과 대입방식에서 사용되는 곱셈기의 개수

(a) 역행렬방식		(b) 대입방식	
1. L, D	$\frac{K^3-K}{3}$	1. L, D	$\frac{K^3-K}{3}$
2. L^{-1}, D^{-1}	$\frac{K^3-K}{6}$	2. 전진대입 $\tilde{r}$	$(K-1)KL$
3. 행렬곱, C^{-1}	$2K^3$	3. 후진대입 $\tilde{X}$	$\frac{(K-1)KL}{2}$
4. 행렬곱, $\tilde{X}$	K^2M+KML		

을 계산하는 경우, D_{44}를 얻기 위해서 바로 이전 원소 L_{43}을 계산한 후, 각각 $d_{44}=C_{44}$, $d_{44}=d_{44}-L_{41}L_{41}D_{11}$, $d_{44}=d_{44}-L_{42}L_{42}D_{22}$에서 그리고 $D_{44}=d_{44}-L_{43}L_{43}D_{33}$에서 1개 씩 총 4개의 주기를 소비한다. 그러나 〈표 3〉에서처럼 각각의 열(column)마다 별도의 연산장치를 가지고 계산을 수행하면, L_{43}과 동시에 마지막의 d_{44}를 미리 계산하기 때문에 마지막 4T에서만 1개 주기를 소비한다. 결과적으로 LD분해의 모든 원소들은 $j=1$에서 초기값 C_{ij}가 모든 개별 장치에 입력되고, 매 주기마다 해당하는 원소가 출력된다.

$$L_{41}=\frac{C_{41}}{D_{11}} \tag{10.a}$$

$$L_{42}=\frac{1}{D_{22}}(C_{42}-L_{41}L_{21}D_{11}) \tag{10.b}$$

$$L_{43}=\frac{1}{D_{33}}((C_{43}-L_{41}L_{31}D_{11})-L_{42}L_{32}D_{22}) \tag{10.c}$$

$$D_{44}=(((C_{44}-L_{41}L_{41}D_{11})-L_{42}L_{42}D_{22})-L_{43}L_{43}D_{33}) \tag{10.d}$$

파이프라인에 따른 시간절감과 복잡도 증가는 〈표 4〉와 같다. 첫 번째 열(j=1)을 제외한 나머지 열에서 독립적으로 연산장치를 사용하기 때문에 연산 복잡도는 $K-1$배 증가하지만, LD분해 원소 한 개를 구하기 위해서 연산 주기가 $K-1$개 씩 소비되었던 것을 1개 주기로 줄였기 때문에 시간이 절감되는 효과가 있다.

한편, 전/후진대입의 출력인 r과 $\tilde{X}$은 다음과 같은 방식 (11), (12)로 유도되며, 메모리가 있는 누적연산을 가지는 공통점이 있어, 위에서 제시된 LD 분해와 유사한 파이프라인 구조로 설계될 수 있다.

〈표 3〉 파이프라인 구조의 LD 분해의 예(i=4)

	1T(k=0)	2T(k=1)	3T(k=2)	4T(k=3)
L_{41}	$\frac{C}{D}$			
L_{42}	$l_{42}=C_{42}$	$\frac{1}{D_{22}}(l_{42}-L_{41}L_{21}D_{11})$		
L_{43}	$l_{43}=C_{43}$	$l_{43}=(l_{43}-L_{41}L_{31}D_{11})$	$\frac{1}{D_{33}}(l_{43}-L_{42}L_{32}D_{22})$	
D_{44}	$d_{44}=C_{44}$	$d_{44}=(d_{44}-L_{41}L_{41}D_{11})$	$d_{44}=(d_{44}-L_{42}L_{42}D_{22})$	$(d_{44}-L_{43}L_{43}D_{33})$

〈표 4〉 파이프라인 구조로 구성된 LD분해의 연산복잡도와 시간소비

	기존	파이프라인
복잡도	1	$K-1$
연산시간	$\frac{K^3-K}{6}$	$\frac{K(K+1)}{2}$

$$\tilde{r}_i=\frac{\widetilde{W}_i-\sum_{k=1}^{i-1}(L_{i,k}D_{k,k}\tilde{r}_k)}{D_{i,i}} \tag{11}$$

$$\tilde{X}_i=\tilde{r}_i-\sum_{k=1}^{M-i}(L'_{i,M-k+1}\tilde{X}_{M-k+1}) \tag{12}$$

식 (11),(12)는 1차원 열백터 기준이며, MMV 환경에서는 같은 장치를 L배만큼 병렬로 두어 구성한다.

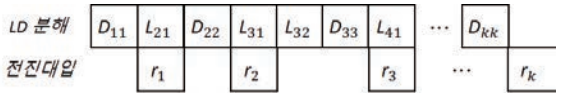
4. 데이터플로우 기술이 적용된 신호 복원 장치

본 논문에서 제안하는 하드웨어 구조는 위에서 소개된 파이프라인구조의 LD분해와, 전진대입 모듈 간 데이터 플로우(Dataflow)를 적용하는 방식이다. 데이터플로우란 일종의 파이프라인인데, 단일 연산에서 복수의 장치를 사용하여 연산시간을 줄이는 파이프라인 이론에서 확장하여, 다른 종류의 연산과 유기적으로 파이프라인되는 것을 말한다.

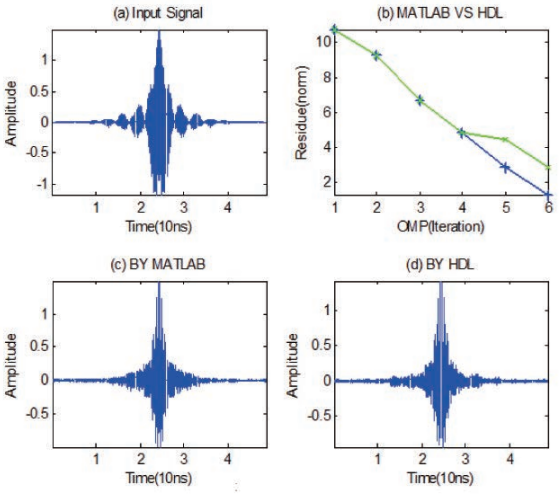
〈그림 1〉은 데이터플로우를 설명하는 그림이다. LD분해로부터 D_{11}이 출력되고, 다음 원소인 $L_{21}=\frac{C_{21}}{D_{11}}$이 계산되는 동시에, 전진대입의 $r_1=\frac{\widetilde{W}_1}{D_{11}}$이 계산될 수 있다. 전진대입 $r_2=\frac{\widetilde{W}_2-L_{21}D_{11}r_1}{D_{22}}$는 분모에서 D_{22}가 필요하기 때문에 LD분해 두 번째 행(i=2)가 모두 계산되고 다음 한 주기 동안에 계산된다. 일반적으로 각 행의 모든 LD분해가 종료되고 다음 한 개 주기에 전진대입 원소 하나가 출력된다. 이 논문에서 제시하는 데이터플로우 기술로부터 발생하는 연산시간 절감의 효과는 식 (13)과 같다.

$$\frac{K(K+1)}{2}+K \Rightarrow \frac{K(K+1)}{2}+1 \tag{13}$$

모든 LD분해가 종료되고 전진대입이 시작하는 경우 전진대입을 위한 연산시간에 K개의 주기가 소요되지만, LD분해가 수행되고 있는 도중에 전진대입이 계산되면, LD분해가 종료되고 다음 1개 주기에 모든 전진대입이 종



〈그림 1〉 LD 분해와 전진대입 간 적용된 Dataflow 기술



〈그림 2〉 데이터플로우 기술이 적용된 OMP 알고리즘의 동작

료된다. 한편 후진대입은 파이프라인은 적용할 수 있지만, 이론상 전진대입의 마지막 원소인 $\widetilde{r}_K$이 계산된 후 후진대입이 시작될 수 있어, 데이터플로우를 적용할 수 없다.

5. 실험 및 결과

본 실험에서는 제안된 구조로 설계된 OMP 알고리즘의 동작을 검증한다. 광대역에 존재하는 미지의 신호 최대 3개를 수신하며, 이때, 신호의 위치와 크기를 출력한다. MMV모델로 확장되면서, 연산 데이터는 32bit 고정소수점 복소수(실수 16 bit , 허수 16 bit)로 처리되었다.

〈그림 2〉는 무작위의 반송파위치에서 송신중인 신호를 탐지한 결과를 보여준다. 〈그림 2(b)〉에서 Residue는 MATLAB(파란)과 HDL(녹색)에서 OMP 반복문이 진행될 때마다 줄어드는 것을 확인할 수 있으며, 〈그림 2(c)〉와 〈그림 2(d)〉는 각각 MATLAB과 HDL에서 복원한 신호를 나타낸다.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \widetilde{x}_i)^2 \qquad (14)$$

식 (14)은 MSE(Mean Square Error)라고 하며, 데이터간 오차를 나타낸다. 입력신호와 MATLAB 복원신호간 MSE는 0.1104, 입력신호와 HDL 복원신호간 MSE는 0.1099 이다. 한편, MATLAB과 HDL 사이에 MSE는 0.00071로 디지털 연산을 위한 양자화(Quantization)에도 불구하고 MATLAB과 거의 유사하게 관찰되었다.

Ⅵ. 결 론

압축센싱은 광대역의 수신대역에도 불구하고, 나이퀴스트보다 훨씬 낮은 속도의 ADC를 사용하여, 송신신호의 위치(support)와 해당하는 신호를 복원할 수 있는 획기적인 통신이론이다. 이러한 압축센싱에는 많은 이론들이 있지만, 연산 복잡도가 낮아, 구현에 용이한 OMP가 특히 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 단일 차원 SMV 모델에서 확장된, MMV 모델을 다루었으며, 차원이 확장되면서 연산 데이터가 실수에서 복소수로 처리할 수 있음을 보였다. 또한 신호 복원 모듈에 파이프라인 및 데이터플로우 기술을 접목하여 연산 시간을 절감할 수 있는 구조를 제안하였다.

본 실험을 통해서 우리는 제한된 길이의 디지털 연산에도 불구하고, 제안된 구조의 OMP알고리즘을 높은 정확성을 가지고 신호를 계산할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] A. M. R. Dixon, E. G. Allstot, A. Y. Chen, D. Gangopadhyay, and D. J. Allstot, “Compressed sensing reconstruction: Comparative study with applications to ECG bio-signals,” in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst. (ISCAS), May 2011, pp. 805 - 808.

[2] D. Yang, H. Li, G. D. Peterson, and A. Fathy, “Compressed sensing based UWB receiver: Hardware compressing and FPGA reconstruction,” in Proc. 43rd Annu. Conf. Inf. Sci. Syst. (CISS), Mar. 2009, pp. 198 - 201.

[3] J. Tropp and A. Gilbert, “Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit,” IEEE Transactions on Information Theory, vol. 53, no. 12, p. 4655, 2007.

[4] Shane F. Cotter, Bhaskar D. Rao and Kjersti Engan, “Sparse Solutions to Linear Inverse Problems With Multiple Measurement Vectors.” IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 53, NO. 7, July 2005

[5] Hassan Rabah, "FPGA Implementation of Orthogonal Matching Pursuit for Compressive sensing Reconstruction," IEEE Transaction on Very Large Scale Integration(VISL) system, Vol. 23, No 10, October 2015

서 근 수

- 2014년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사 졸업
- 2015년~현재 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 석사과정

〈관심분야〉
압축센싱, 디지털회로설계

윤 의 현

- 2016년 아주대학교 전자공학부 학사 졸업
- 2016년~현재 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 석사과정

〈관심분야〉
압축센싱, 디지털회로설계

이 민 재

- 1998년 서울대학교 전기공학과 학사 졸업.
- 2000년 서울대학교 전기공학과 석사 졸업.
- 2008년 University of california 전기공학과 박사 졸업
- 2000년~2003년 Silicon Image Inc
- 2005년 Marvell Semiconductor Inc
- 2007년 삼성종합기술원 : Consultant
- 2008년~2012년 Agilent Technologies, R&D 연구원
- 2012년~현재 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 조교수

〈관심분야〉
ADC, DAC, PLL, RF, 디지털회로설계 등

탐색레이더에서의 압축센싱기술 기반 ISAR 영상획득 기법

김 형 주
한국과학기술원 전기 및 전자공학부

송 원 영
한국과학기술원 전기 및 전자공학부

명 로 훈
한국과학기술원 전기 및 전자공학부

Ⅰ. 서 론

압축센싱기술은 부족한 샘플링 데이터로부터 원래 디지털 신호를 복원하는 기술로, 2006년 Donoho에 의해 처음 제안되었다[1-2]. 압축센싱기술은 디지털 신호의 복원뿐만 아니라, 데이터 압축, 안티 노이징, 디지털 신호의 해상도 개선 등 다양한 신호처리분야에 이용되고 있다. 이에 본 논문에서는 압축센싱기술에 대한 소개와 레이더 영상 분야의 활용법에 대해서 기술하도록 한다.

항공기와 같은 레이더 표적의 2차원 영상을 획득하기 위해서는 넓은 대역폭을 가지는 레이더를 이용하여, 움직이는 표적에 대한 다양한 관측각도에서 연속적으로 획득된 표적의 산란신호를 필요로 한다. 다양한 관측각도에서 연속적인 표적의 산란신호를 획득하기 위해 추적레이더가 이용되며, Fourier 기반의 영상처리과정을 통하여 표적의 산란점을 down-range와 cross-range로 표현되는 2차원의 축에 나타내면 2차원 표적 영상을 획득할 수 있다. 하지만, 이와 같이 움직이는 표적을 추적하여 표적의 산란신호를 수집하는 추적레이더는 설치비용이 비싸고, 제한된 탐색영역을 가진다는 특징이 있다. 한편, 탐색레이더는 추적레이더보다 상대적으로 설치비용이 저렴하고, 일반적으로 회전형 안테나를 채택하고 있으므로, 탐색영역을 보다 넓힐 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 탐색레이더의 경우 회전형 안테나 채택함으로 인해 획득하게 되는 표적의 산란신호가 연속적이지 못하고 불충분하다는 특징을 지니게 된다. 따라서 이와 같은 불연속적이고 불충분한 표적의 산란신호를 획득하게 되는 탐색레이더에 대해 압축센싱기술을 적용할 경우, 영상의 품질측면에서는 다소 손해를 보지만, 보다 저렴한 비용으로 표적의 레이더 영상을 획득 할 수 있다는 장점을 가지게 된다. 2장에서는 압축센싱기술의 원리와 레이더 영상 분야에 적용하는 과정에 대해서 기

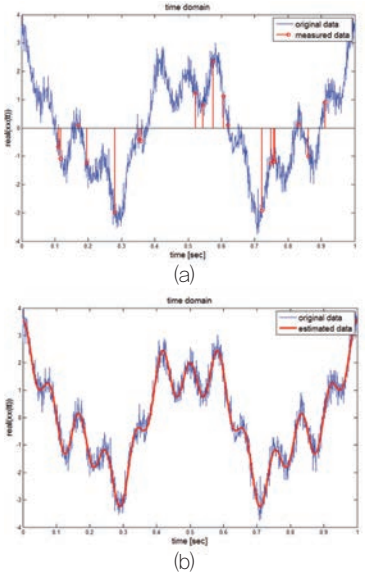
술하고, 3장에서는 압축센싱기술을 바탕으로 획득된 표적의 레이더 영상의 결과 및 분석을 제공한 뒤, 4장에서 결론을 맺도록 한다.

Ⅱ. 압축센싱 기술 및 레이더 영상분야의 적용

1. 압축센싱 기술

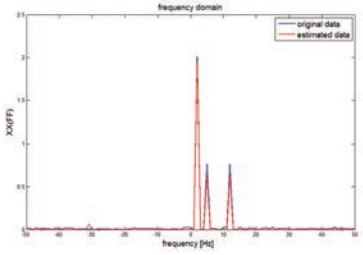
〈그림 1(a)〉의 파란색으로 표시된 그래프와 같은, 측정하고자하는 원래의 신호가 있다고 가정을 하자. 이 신호는 1001개의 샘플로 이루어져 있으며, 원하지 않는 노이즈(SNR = 20 dB) 또한 내포하고 있다. 〈그림 1(a)〉의 파란색으로 표시된 것과 같은 그래프를 획득하기 위해 1001개의 모든 샘플이 있으면 용이하지만, 보다 적은 수의 샘플로 원래의 그래프를 획득하고자 한다. 이때, 압축센싱기술을 이용하면, 〈그림 1(a)〉의 빨간색 샘플과 같이 random한 위치에서 측정된 20개의 샘플만으로 〈그림 1(b)〉와 같이 원래의 신호를 복원할 수 있다.

〈그림 1(b)〉에 복원된 신호는 빨간색으로 나타내었으며 원래의 신호와 겹쳐 나타내보면, 정확히 원래의 신호를 복원하였을 뿐만 아니라, 원래 신호에 섞여 있었던 노이즈 또한 완벽히 제거한 모습을 확인할 수 있다. 1001개의 샘플 중 단 20개의 샘플만으로 나머지 981개의 샘플을 추정한다는 것을 불가능을 가능으로 바꾼 매우 놀라운 기술로 보이지만, 그 원리는 의외로 간단하다. 압축센싱기술의 가장 핵심적인 요소는 신호의 sparsity와 random sampling이다. 압축센싱기술을 처음 제안한 Donoho는 우리가 다루는 대부분의 신호는 sparse한 특성을 지니고 있다는 점을 지적하며, 이로부터 압축센싱기술을 고안하게 되었다. 우리가 복원하고자 하는 신호를 우리가 알고 있는 형태의 신호로 변환하게 되면 (ex- Fourier transform, wavelet transform 등), 소수의 major component(coefficient)와 다수의 minor componet(coefficient)의 형태로 이루어지며, 신호가 이러한 특성을 가질 때, 이 신호는 sparse 하다고 표현한다. 〈그림 1〉의 신호를 Fourier 변환한 뒤, 그 결과를 〈그림 2〉에 나타내었다.

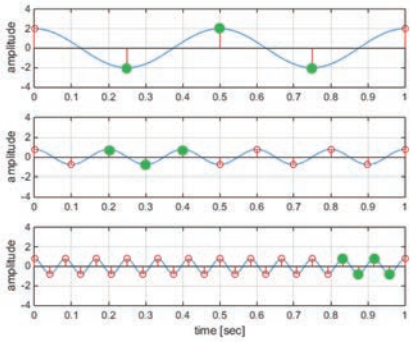


〈그림 1〉 압축센싱기술을 이용한 신호복원 (a) 원래의 data 및 샘플링된 data (b) 복원된 data

〈그림 2〉의 파란색 그래프를 통해, 〈그림 1〉에 나타낸 신호는 3개의 큰 값을 가지는 major component (coefficient)와 영(zero)에 가까운 다수의 minor component(coefficient)의 형태로 이루어지므로, 이 신호는 sparse한 특징을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 복원하고자 하는 신호가 sparse한 특성을 가질 경우, 변환된 domain에서 〈그림 2〉의 빨간색으로 표시된 major component(coefficient)만 추정하게 되면, 본래의 domain으로 다시 변환하여 원래의 신호를 복원할 수 있게 된다. 이때, major component를 추정하기 위해 random sampling이 필요하다. 〈그림 1〉의 신호는 〈그림 2〉에 나타낸 것과 같이 3개의 주파수 성분을 가지는 신호로 구성되며, 각 주파수 성분이 시간영역에서 가지는 그래프의 형상을 〈그림 3〉에 나타내었다. 편의상 〈그림



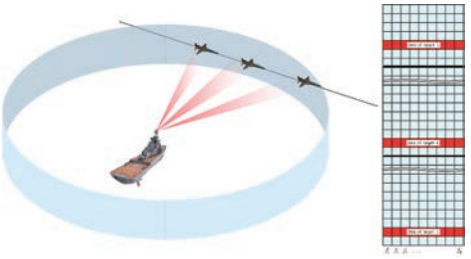
〈그림 2〉 주파수 domain의 신호



〈그림 3〉 복원대상 신호의 주파수별 분해

3〉의 위에서 아래 순으로 각 신호의 주파수를 f_1, f_2, f_3으로 명명하였다.

f_1의 주파수를 가지는 신호를 정확히 측정하기 위해서는 Nyquist 이론에 의해 $2f_1$ 보다 큰 샘플링 주파수로 측정을 수행해야 한다. f_2, f_3의 주파수를 가지는 신호 또한 각각 $2f_2$, $2f_3$ 보다 큰 샘플링 주파수를 필요로 한다. 하지만, f_1 주파수를 가지는 신호에서, 피측정 신호가 단일 주파수 성분의 신호로 이루어진 주기적인 신호라면, $2f_1$ 보다 큰 샘플링 주파수가 필요할 뿐, 〈그림 3〉의 녹색점으로 표시된 것과 같이 3~4개의 소수의 측정샘플만 있으면 주파수 f_1 추정이 가능하다. 이는 f_2, f_3 주파수를 가지는 신호의 주파수를 추정에도 동일하게 적용된다. 즉, 다양한 주파수 성분을 가지는 신호의 주파수 스펙트럼을 추정하기 위해서, Nyquist 이론에서는 $2f_{max}$ ($f_{max} = f_3$) 이상의 샘플링 주파수를 요구하게 되는데, 이 경우 f_1과 같이 작은 주파수 성분을 가지는 신호에 대해서는 지나친 샘플링을 초래하게 된다. 따라서 모든 주파수 영역에 대해여 적절한 샘플링수를 결정하기 위해 Donoho는 원래 신호의 총 샘플수보다 적은 수의 random sampling을 권하게 된다. 다시 〈그림 1(a)〉에서 빨간색으로 표시된 측정 샘플의 시간좌표를 보면, 압축센싱기술에서는 큰 간격으로 떨어진 샘플들을 이용하여 낮은 주파수 성분을 추정하게 되고, 작은 간격으로 측정한 샘플들을 통하여 높은 주파수 성분을 추정하게 된다. 즉, random sampling을 통하여 필요한 측정 샘플수를 줄이고, 최소의 측정 샘플들로부터 복원하고자 하는 신호의 major component(coefficient)를 추정함으로서 원래의 신호를 복원하게 된다.



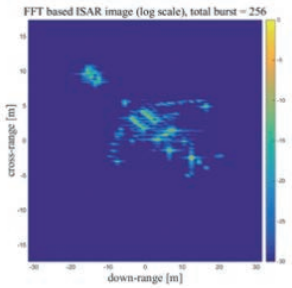
〈그림 4〉 탐색레이더를 이용한 표적산란신호 획득

2. 레이더 영상분야 적용

앞서 설명한 압축센싱기술은 탐색레이더를 이용한 표적영상획득 기술에 적용할 수 있다. 움직이는 표적을 관측하면서 연속적으로 표적의 산란신호를 획득하는 추적레이더와 달리, 탐색레이더를 이용하여 표적의 산란신호를 획득하게 될 경우, 〈그림 4〉에 도시한 바와 같이 불연속인 표적의 산란신호를 수집하게 된다. 레이더 안테나가 회전을 하면서 표적을 정확히 향할 경우, 표적의 산란신호를 획득하게 되지만, 레이더 안테나가 다른 방향을 향할 경우 아무런 신호를 획득하지 못하게 된다. 이는 〈그림 1(a)〉의 측정샘플과 같이, 필요로 하는 전체의 데이터 중 소수의 측정샘플을 수집한 것과 같은 상황이므로 이러한 불연속적이고 불충분한 표적의 산란신호에 압축센싱 기술을 적용할 경우, 전체 표적의 산란신호를 추정할 수 있어 표적의 레이더 영상을 획득할 수 있다.

Ⅲ. 모의 실험

본 절에서는 B-727 항공기 표적에 대하여 시뮬레이션으로 획득된 표적산란신호와 측정으로 획득된 표적산란신호를 이용하여 영상획득 실험을 수행하였다. 우선 시뮬레이션으로 획득된 표적산란신호는 많은 논문들에서 이미징 결과의 검증을 위해 자주 인용되는 신호로, 64×256 픽셀의 해상도, 9 GHz의 중심주파수, 150 MHz의 대역폭을 가지는 표적산란신호를 이용하였다[3]. 〈그림 5〉에는 추적레이더를 이용하여 획득된 B-727 항공기 표적산란신호로부터 기존의 Fourier 기반 영상획득 기법을 적용하여 획득된 ISAR 영상을 나타내었다. 추적레이더를 이용할 경우, 표적산란신호의 손실이 없기 때문에 깨끗한 영상을 획득할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

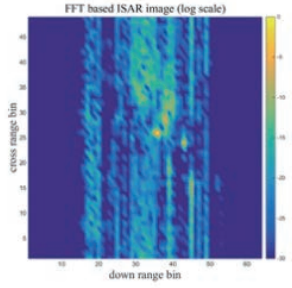


〈그림 5〉 시뮬레이션된 B-727 표적 (추적레이더)

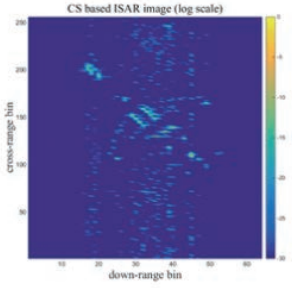
〈표 1〉 시뮬레이션 B-727 표적에 대한 시뮬레이션 설정

Parmeter	Value
RPM (분당 회전 속도)	30
레이더-표적간 거리	20 km
표적 이동 벡터	(1, 5)
표적 속력	340 m/s
주파수 샘플링 수	64
각도 샘플링 수 (탐색레이더/추적레이더)	49 / 256

〈표 1〉에 명시된 파라미터를 가지는 탐색레이더를 이용하여 획득된 표적의 산란신호로부터 기존의 Fourier 기반 영상획득 기법을 적용하여 획득된 ISAR 영상을 〈그림 6〉에 나타내었다. 탐색레이더는 추적레이더와 달리 신호의 손실을 가지게 되므로, 〈그림 6〉과 같이 표적의 형상을 알아 볼 수 없는 결과를 얻게 되었다.



〈그림 6〉 19.1%로 감축된 신호로부터 기존의 FFT 기법을 이용하여 획득한 ISAR 영상 (탐색레이더)



〈그림 7〉 19.1%로 감축된 신호로부터 압축센싱 기법을 이용하여 획득한 ISAR 영상 (탐색레이더)

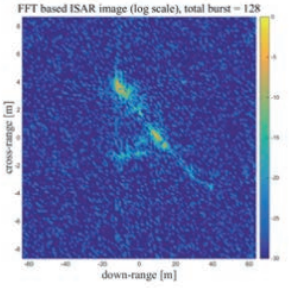
하지만, 압축센싱기술을 탐색레이더를 이용하여 수집된 표적산란신호에 적용하여 표적의 레이더 영상을 획득할 경우, 〈그림 7〉과 같은 결과를 얻을 수 있다. 〈그림 7〉을 〈그림 5〉와 비교해 보면, 추적레이더의 신호를 이용한 결과보다 영상의 품질이 다소 떨어지지만 표적을 식별할 수 있을 정도의 결과를 얻을 수 있다.

동일한 실험을 시뮬레이션으로 합성된 표적의 산란신호가 아닌, 측정된 B-727 표적산란신호에 적용하여 반복하였다. 실제 탐색레이더를 이용하여 표적 산란신호를 측정하기에는 환경적인 제약이 따른다. 이에, 본 논문에서는 추적레이더를 이용하여 측정된 B-727 표적산란신호로부터 〈표 2〉에 정리된 탐색레이더 파라미터에 의해 일부 신호만을 탐색레이더에서 측정된 신호로 가정하고, 이와 같이 불충분한 신호로부터 압축센싱기술을 적용하여 표적의 영상을 획득하도록 하였다.

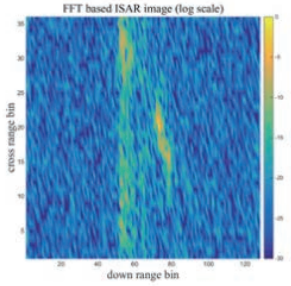
추적레이더를 이용하여 기존의 Fourier 기반 영상획득 기법을 적용할 경우, 신호의 손실없이 연속적이고 충분한 표적 산란신호를 수집하기 때문에 〈그림 8〉과 같이 깨끗한 영상을 획득하게 되는 반면, 탐색레이더를 이용할 경

〈표 2〉 측정된 B-727 표적에 대한 시뮬레이션 설정

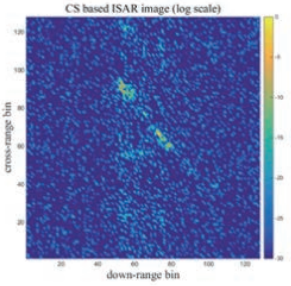
Parmeter	Value
RPM (분당 회전 속도)	22
레이더-표적간 거리	20 km
표적 이동 벡터	(1, 5)
표적 속력	340 m/s
주파수 샘플링 수	128
각도 샘플링 수 (탐색레이더/추적레이더)	36 / 128



〈그림 8〉 측정된 B-727 표적 (추적레이더)



〈그림 9〉 28.1%로 감축된 신호로부터 기존의 FFT 기법을 이용하여 획득한 ISAR 영상 (탐색레이더)



〈그림 10〉 28.1%로 감축된 신호로부터 압축센싱 기법을 이용하여 획득한 ISAR 영상 (탐색레이더)

우, 신호의 손실로 인해 〈그림 9〉와 같은 품질이 떨어지는 영상을 획득하게 된다.

하지만, 압축센싱기술을 탐색레이더를 이용하여 수집된 표적산란신호에 적용하여 표적의 레이더 영상을 획득할 경우, 〈그림 10〉과 같이 표적을 식별할 수 있는 영상을 얻을 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 압축센싱기술의 원리에 대해 설명하고, 이를 레이더 영상획득 분야에 적용한 사례를 소개하였다. 부족한 샘플링 데이터로부터 원래의 신호를 복원하는 압축센싱기술은, 연속적으로 표적의 산란신호를 수집하는 추적레이더가 아닌, 불연속적이며 불충분한 형태로 신호를 수집하게 되는 탐색레이더를 이용한 표적 산란신호에 적용하여 표적의 영상을 획득할 수 있다. 이에 본 논문에서는 시뮬레이션 신호 및 측적 신호에 본 기법을 적용하여 각 표적의 2차원 레이더 영상획득 결과를 도시하였다.

참 고 문 헌

[1] David L. Donoho, "Compressed sensing," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 52, No. 4, April 2006.

[2] Emmanuel J. Candes and Michael B. Walkin, "An introduction to compressive sampling," IEEE Signal Processing Magazine, March 2008.

[3] Chen VC, Ling H. Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis. Norwood, MA: Artech House; 2002.

김형주

- 2010년 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 학사 졸업
- 2012년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
- 2012년~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 박사과정

〈관심분야〉
전파수치해석, 레이더신호처리

송원영

- 2008년 한국과학기술원 전기전자공학과 학사 졸업
- 2010년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
- 2010년~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

〈관심분야〉
ISAR 영상, 레이더신호처리

명로훈

• 1976년 서울대학교 전기공학과 학사 졸업
• 1982년 Ohio State University 전기공학과 석사 졸업
• 1986년 Ohio State University 전기공학과 박사 졸업
• 1986년 9월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수
• 2006년 1월~2006년 12월 한국전자파학회 학회장
• 2004년 3월~2009년 12월 전파탐지 특화연구센터 소장
• 2008년 1월~2011년 12월 인공위성 연구센터 소장

〈관심분야〉
전파예측모델, 마이크로웨이브 공학, 안테나 및 레이더 공학
EMI/EMC/EMS 등

차량용 레이더의 기술발전과 동향

고석준
제주대학교 부교수

Ⅰ. 서 론

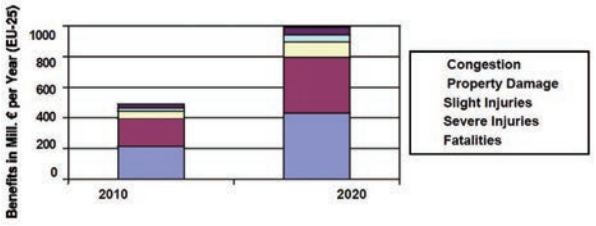
최근 10년간 미국과 유럽을 중심으로 많은 국가들이 차량 사고로 인한 인명피해의 심각성을 알고 해결방안을 찾는 노력 (유럽: e-Safety programme)을 진행하여 왔다. 이와 같은 맥락에서 국가 기관에서는 자동차 제조회사에 사고를 줄일 수 있는 장비 개발에 대한 강력한 요구가 있어 왔다. 과거에는 차량 생산자들이 편리한 운행에 초점을 맞추어 개발하였으나, 최근에는 안전 운행에 중점을 두고 있다. 초기의 안전 운행을 위한 장치는 에어백과 안전벨트와 같은 수동 장치이었으나, 현재는 적응형 주행제어 시스템(Adaptive Cruise Control system: ACC)의 개념을 사용하여 운전자에게 편리함을 제공하는 기능(comfort function)과 안전 운행을 가능하도록 하는 기능(safety function)을 지원하고 있다.

2005년 SEiSS study에서는 77GHz의 장거리용 레이더만을 이용한 ACC로부터 얻을 수 있는 재산상의 이점을 〈그림 1〉과 같이 제시하였다[10].

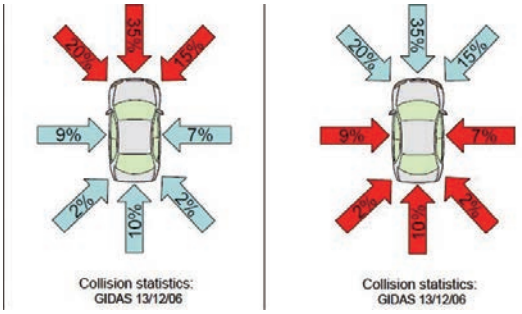
i) 2010년까지는 총 490,000만 유로 그리고 2020년에는 990,000만 유로의 재산상의 절감 효과를 얻을 수 있다.

ii) 사망사고와 심각한 부상사고는 각각 40%의 감소, 단순 부상인 경우는 10%, 그리고 재산상의 손실과 교통체중은 각각 5%의 감소를 예측했다.

〈그림 2〉의 GIDAS(German On-Depth Accident Study)와 NHTSA(National Highway Traffic Administration)에 따르면, 전체 사고의 70%는 앞면에서 발생하며 나머지 30%는 측면이나 뒷면으로의 충돌로 보고되었다[10]. 이러한 이유로, 차량용 레이더는 전방을 감지하는 장거리용 레이더 위주로 개발되어 왔다. 이 시스템은 77GHz



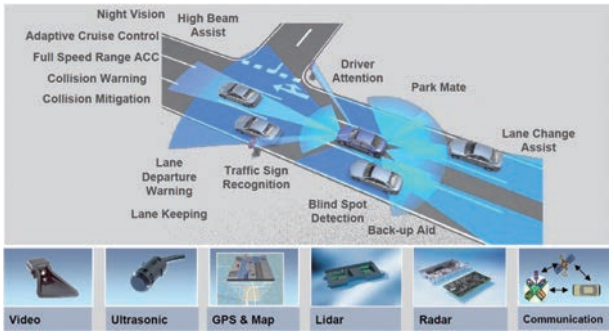
〈그림 1〉 ACC를 이용한 경우 사회적 경제적 이득



〈그림 2〉 위치에 따른 사고발생 통계

대역에서 FMCW (FM continuous wave)방식을 이용하여 300m까지의 거리를 감지하여 사전 충돌 감지 (pre-crash sensing)나 충돌 완화 (collision mitigation)와 같은 안전운행을 위해 사용되어졌다. 최근에는 장거리 및 단거리 차량용 레이더(Long Range Radar: LRR and Short Range Radar: SRR)를 이용한 능동적인 안전 장비들이 개발되고 있다. LRR에 대한 개발이 이미 마무리 단계이며, 최근에는 79GHz대역에서 동작하는 SRR에 많은 관심이 모아지고 있다. 본 고에서는 단거리 차량용 레이더인 UWB SRR에 대한 내용을 위주로 언급하고자 한다.

기존의 안전 운행을 위한 장비는 영상장비, 레이저, 또는 초음파 센서를 이용하여 주차를 돕는데 많이 사용되어졌다. 그러나 이러한 장치들은 어두운 상황이나 눈비 내리는 안 좋은 날씨상황에서는 좋은 성능을 발휘하지 못하였으며, 차량에 부착하는 부분에서도 어려움을 갖고 있다. 초기에는 장거리용 레이더를 이용하여 사전 충돌 감지 및 ACC 기능을 제공하였으며, 현재는 보다 다양한 기능을 제공하기 위해 〈그림 3〉과 같이 단거리용 레이더(UWB SRR: UltraWideBand Short Range Radar)의 역할이 중요해지고 있다. 다음은 차량용 레이더에서 제공하는 기능을 요약한 것이다.



〈그림 3〉 차량용 레이더에서 제공하는 기능과 제품군

1) Stop-and-go operation: 고속, 저속, 정지 등 다양한 주행조건에서 전, 후방 차량과 안전거리를 유지하면서 자동으로 주행하는 시스템, 차량의 속도뿐만 아니라 전방차량과의 거리를 자동으로 제어함.
2) 사전 충돌 경고(Pre-crash warning)
3) 사각 지역 모니터링(Blind spot monitoring)
4) 주차 보조(Parking aid)
5) 차선 변경 도움이(Lane change assistant)
6) 후진시 충돌 경보(Rear crash collision warning)

Ⅱ. 스펙트럼(Spectrum)

2001년, 차량 생산업자들과 공급업자들간의 컨소시엄인 SARA(Short-range Automotive Radar frequency Allocation)에서는 단거리 차량용 레이더(SRR) 센서에 대한 주파수 할당 이슈들을 처음으로 통합 · 조정하였다. SARA에는 FCC (Federal Communications Commission), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ITU (International Telecommunication Union)등과 같은 국제 표준화 규격 결정기구들로 구성되어 있다[1].

이를 시작으로, 2002년에는 미국 FCC에서 24GHz 대역을 차량용 레이더용으로 사용할 수 있도록 허가 하였다[1,4]. FCC에서 정의한 표준화 규격은 다음과 같이 정리할 수 있다.

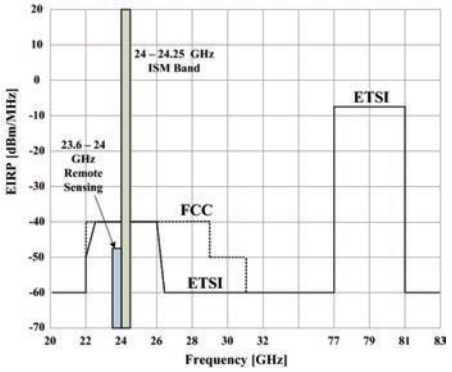
- 주파수 대역은 22~29GHz이다.
- fractional bandwidth는 스펙트럼에서 최고값으로부터 -10dB 지점에서의 대역을 의미하며 적어도

20% 이상이거나 500MHz 이상이어야 한다.

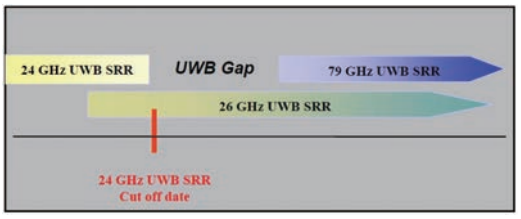
- 중심 주파수 또는 최고 전력을 갖는 주파수는 24.575GHz보다 커야 한다.
- 평균 전력 밀도는 −41.3 dBm/MHz 보다 작아야 한다.
- 23.6~24GHz 대역에서 천문학 관측과 지국 센싱 위성과의 잠재적 간섭을 줄이기 위하여 수직면으로 30o 이상에서 안테나 사이드 로브(side lobes)의 EIRP는 2014년까지 −76.3dBm/MHz를 넘을 수 없도록 되어 있다.
- 최고 전력 방사(emission) 근처의 50MHz 주파수 대역에서 −17dBm/MHz로 제한되어야 한다. 최대 duty cycle은 0.4근처가 된다.

2005년 1월 17일, EC(European Commission)는 차량용 단거리 레이더를 24GHz 주파수 대역 할당을 승인하였다. 주파수 영역은 21.625~26.625GHz이지만, 2005년 7월 1일부터 2013년 6월 30일까지 일시적으로 사용하는 것을 목적으로 할당하였다. 2013년 중반 이후는 79GHz 대역을 할당하였으며, 이에 대한 표준화 규격은 다음과 같다[2, 4].

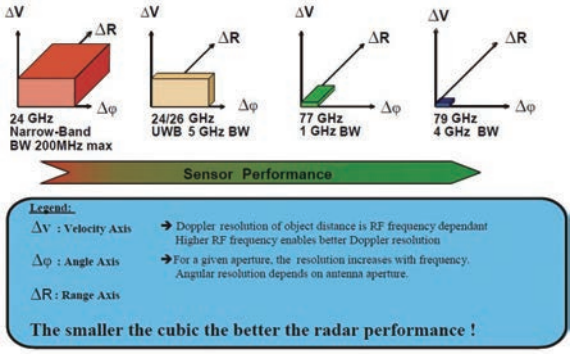
- 단거리 차량용 레이더(SRR) 센서들은 77~81GHz (79GHz 대역) 대역에서 동작
- ECC에서 결정 (2004년 3월 19일)
- EIRP: −3dBm/MHz
- Peak limit: 55dBm EIRP
- 차량 외부에서 측정시 최대 평균 전력 밀도 (maximum mean power density) ≤ −9dBm/MHz EIRP



〈그림 4〉 단거리 차량용 레이더의 Spectrum mask



〈그림 5〉 UWB SRR의 개발 로드맵



〈그림 6〉 반송파 주파수 및 BW에 따른 해상도 성능

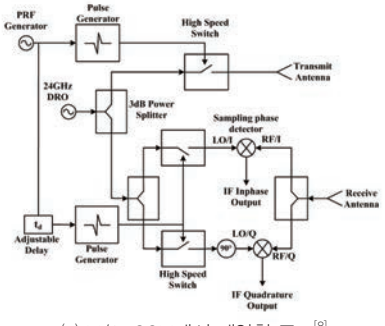
〈그림 4〉는 미국 FCC와 유럽 EC 및 ETSI에서 정한 단거리 차량용 레이더의 주파수 스펙트럼 규격을 나타내고 있다. 24.125GHz 대역은 ISM (Industrial, scientific, Medical) 주파수가 할당되며, 23.6~24GHz는 무선을 이용한 천문학(radio astronomy observations)과 원거리 센싱 (remote sensing)용으로 사용된다. 최종적으로, SARA에서는 〈그림 5〉에서와 같이 24GHz대 UWB SRR의 개발은 중단되며, 단거리용 레이더로 26, 79GHz대역의 사용을 권장하고 있다.

〈그림 6〉은 레이더의 기술방식에 따른 속도, 거리, 각도의 해상도의 성능을 그림으로 나타낸 것이다. 24GHz Narrow-Band(NB) 기술은 해상도가 너무 커서 다른 기술들에 비해 가장 좋지 않다. 24/26GHz UWB 5GHz BW는 거리 해상도는 좋으나 각도와 속도 해상도는 큰 편으로 단거리용 레이더에 사용된다. 77GHz 1GHz BW 기술은 거리 해상도가 크므로, 주로 장거리용 레이더에 사용된다. 79GHz 4GHz BW 기술은 모든 면에서 해상도가 좋으며, 향후 단거리용 레이더로 사용할 목적으로 개발되고 있다[10].

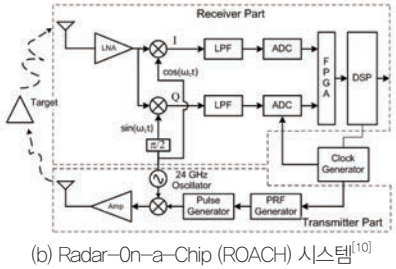
Ⅲ. UWB SRR 송수신기 구조

〈그림 7 (a)〉는 1998년도에 M/A-COM에서 제안한 구조이다. 이 시스템의 동작 방식은 다음과 같다. 24GHz의 DRO(Dielectric Resonator Oscillator) RF 신호는 3dB power splitter에 의해 송신기와 수신기로 분류된다. 고속 GaAs Schottky 스위치는 송신기와 수신기에서 사용된다. 4MHz PRF(Pulse Repetition Frequency) 오실레이터는 펄스를 생성하기 위해 사용되며, 신호 발생기에 트리거(trigger) 신호로 사용된다. 신호 발생기는 두 개의 SRD(Step Recovery Diode)로 구성된다[8].

모든 영역을 스캔(scan)하기 위하여, 수신 경로에 있는 고속 스위치로의 트리거 펄스는 조정가능한 지연기(electrically adjustable delay)에 의해 지연된다. 특정 전파 거리에 해당하는 지연 시간에 대해 이와 일치하는 지연 시간이 지연기에 의해 형성되며 따라서 이에 해당하는 거리 게이트(range gate)가 생성된다. 최소 측정거리부터 최대 거리까지 전체를 측정하기 위해 스위핑(sweeping) 신호에 의해 조정되며 전체 거리를 측정한 후 초기화되어 지연기는 처음 위치로 되돌아 간다. 따라서, 측정해야 하는 모든 거리를 검색하기 위해서는 많은 시간이 소요된다. IF 출력(output)은 inphase와 quadrature 채널로 이루어지며 수신 RF 신호와 LO pulse가 일치되었을 때 최대값이 된다. IF output을 누적하여 SNR을 증가시킬 수 있다[8].



(a) M/A-COM에서 제안한 구조[8]



(b) Radar-On-a-Chip (ROACH) 시스템[10]

〈그림 7〉 단거리 차량용 UWB 펄스 레이더의 송수신기 구조

〈그림 7(b)〉의 ROACH는 송신기부와 수신기부로 나누어진다. 클럭 발생기(clock generator)에서 생성된 클럭을 이용하여 PRF 생성기는 10MHz의 클럭을 발생한다. 송신기에서는 주기적으로 펄스 생성기(pulse generator)에 의해 가우시안 펄스가 생성된다. 최종적으로, 반송파가 곱해진 후 안테나를 통해 방사된다.

수신기에서는 물체로부터 반사되어 안테나를 통해 들어오는 신호를 반송파와 곱한 후 inphase와 quadrature 채널 신호를 ADC(Analog-to-Digital converter)에 의해 샘플링한다. 샘플 값들은 FPGA (field-programmable gate array)에서 누적되면서 저장된다.

〈그림 7〉의 구조가 갖는 가장 큰 차이점은 거리 게이트(range gate)를 생성하는 과정이다. M/A-COM에서 제안한 구조는 지연기를 이용하여 수신기에서 적절한 지연 신호를 발생하여 거리 게이트(range gate)를 생성하는 반면에, ROACH 시스템에서는 펄스폭과 동일한 클럭을 갖는 ADC를 이용하여 거리 게이트(range gate)를 생성한다. 그러나 ROACH 시스템에서는 매우 짧은 펄스를 사용하기 때문에 매우 높은 샘플링 주파수의 ADC가 요구되어진다.

Ⅳ. 간섭 문제

2012년 MOSARIM (MOre Safety for All by Radar Interference Mitigation)에서는 〈그림 7〉과 같은 다양한 경우에 대한 간섭 문제를 제기하였다. 테스트용으로 아래와 같이 7가지의 경우로 나누어 분류하였다[12].

1) BTS1 : Victim and interferer passing each other. Victim is following target.
2) BTS2 : Interference with forward looking sensor, target is overtaking.
3) BTS3 : Oncoming interferer with high RSC (truck), target has low RCS (pedestrian).

Interference from crossing traffic.

4) BTS4 : Traffic in the same direction with similar velocities. Target following

5) BTS5 : Interference from crossing traffic

6) BTS6 : Parking slot

7) BTS7 : Interference with backward looking sensor

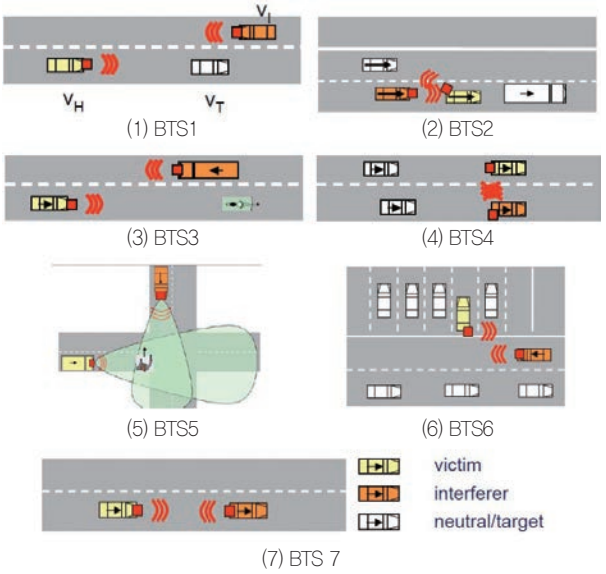
다른 차량에서 발생된 신호는 UWB SRR의 수신기에서 ghost target으로 매우 크게 나타날 수 있으며, 이를 해결하기 위한 다양한 송신 신호 및 수신기 구조가 개발되고 있다.

Ⅴ. UWB SRR 제품 현황

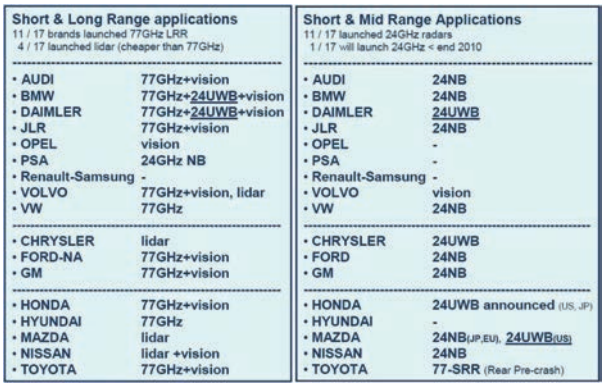
〈그림 9〉에 나와 있는 보고에 따르면, 2009년 작성된 기준으로 개발된 제품은 대부분이 77GHz대의 FMCW방식의 LRR로 일부 회사에서만 24GHz대의 UWB SRR를 개발하였음을 알 수 있다[10]. 그리고 현재는 79GHz 대역에서의 UWB SRR로 간섭 문제를 해결할 수 있는 제품 개발에 중점을 두고 있다. 24GHz대역의 UWB SRR를 사용하고 있는 회사를 국가별로 분류하면 다음과 같다.

1) 유럽 : BMW, DAIMLER

2) 미국 : CHRYSLER



〈그림 8〉 간섭문제의 테스트 시나리오



(a) Front Sensors (b) Rear Sensors

〈그림 9〉 차량용 레이더를 사용하고 있는 회사들

〈표 1〉 회사별 시장점유율과 사용 레이더 기술

	January – December 2009		Basis radar technology	
BRANDS	%Share	Units	Front sensors	Rear sensors
VW Group	21.1	3 064 748	77GHz	24NB
PSA Group	13.0	1 885 788	24NB	-
FORD Group	10.4	1 503 290	77GHz	24NB
RENAULT Group	9.3	1 348 256	-	-
GM Group	8.8	1 282 854	77GHz	24NB
FIAT Group	8.6	1 254 952	-	-
TOYOTA Group	5.0	730 536	77GHz	77GHz
BMW Group	4.9	708 357	24UWB + 77GHz	24NB
DAIMLER	4.7	684 113	24UWB + 77GHz	24UWB
NISSAN	2.5	368 478	-	24NB
HYUNDAI	2.4	346 028	77GHz	-
SUZUKI	1.7	249 789	-	-
HONDA	1.7	244 325	77GHz	24UWB
KIA	1.8	256 926	-	-
MAZDA	1.5	210 711	-	24NB (JP, EU) + 24UWB (US)
MITSUBISHI	0.7	97 267	-	-
JAGUAR LAND ROVER Group	0.6	85 868	77GHz	24NB
CHRYSLER Group	0.4	54 628	-	24UWB
OTHER	1.0	125 170	-	-
ALL BRANDS	100,0	14 524 084		

3) 일본 : HONDA, MAZDA

2009년 기준으로 국내 기업인 현대, 기아는 아직 단거리 레이더에 대한 개발이 없는 상태이다.

Ⅵ. 결 론

1999년, Mercedes-Benz S-class는 처음으로 레이더를 이용한 적응형 주행제어 시스템을 이용한 차량을 처음으로 선보였다. 현재, 자율주행자동차가 큰 이슈로 작용하며, 차량용 레이더 센서에 대한 관심 또한 커지고 있다. 아직까지는 자동차 제조회사들이 주로 장거리용 레이더에 중점을 두고 있으나, 앞서가는 회사들은 이미 단거리용 레이더인 UWB SRR를 개발하여 다양한 응용에 적용하여 사용하고 있다. 국내의 대표회사인 현대기아는 아직까지는 이에 대한 대응이 늦은 편으로 그 격차는 앞으로 점점 더 커질 것으로 예상된다.

단거리용 레이더인 UWB SRR는 24GHz대역에서

79GHz대역으로 넘어가면서 안테나 및 RF단의 기술을 포함하는 MMIC와 간섭 문제에 대한 해결 방안 등 향후 해결해야 하는 문제점들도 많이 남아 있는 상황이다.

참고문헌

[1] I. Gresham, A. Jenkins et al., "Ultra-wideband radar sensors for short-range vehicular applications," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 52, NO. 9, pp. 2105-2120, Sept. 2004

[2] Karl M. Strohm, Hans-Ludwig Bloecher, Robert Schneider, and Josef Wenger, "Development of future short range radar technology," European Radar Conference, 2005

[3] Josef Wenger, "Automotive radar - Status and Perspectives," IEEE CSIC 2005

[4] Martin Schneider, "Automotive Radar - Status and Trends," GeMic 2005

[5] Hans Dominik, "Short range radar - status of UWB sensors and their applications," European Radar Conference, 2007

[6] Bruno Neri and Sergio Saponara, "Advances in technologies, architectures, and applications of highly-integrated low-power radars," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems Magazine, pp. 25-36, January 2012

[7] Michael Klitz, An Automotive Short Range High Resolution Pulse Radar Network, Ph. D. Dissertation, Jan. 2002.

[8] W. Weidmann and D. Steinbuch, "A High Resolution radar for short range automotive applications", in 28th European Microwave Conference, Amsterdam, Netherlands, 1998, pp.590-594.

[9] Mende, R, Zander, A "A multifunctional Automotive Short Range Radar System", German Radar Symposium, GRS2000, Berlin, October 10-11, 2000.

[10] CEPT Report 37, "Automotive Short-Range Radar systems (SRR)," 2010.

[11] Mei Li, Robin J. Evans, Efstratios Skafidas, and Bill Moran, "Randa-on-a-Chip (ROACH)"IEEE conference, 2010.

[12] Alicja Ossowska,"Conducted laboratory and real world interference tests,"European Radar Conference, 2012.

고석준

- 1996년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학석사)
- 2000년 2월 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2002년 3월~2004년 5월 삼성전자 책임연구원
- 2005년 3월~현재 제주대학교 부교수

〈관심분야〉
레이더 및 통신 신호처리, Estimation and Detection.

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS

논문지 논문목차

전자공학회 논문지 제 53권 10호 발행

통신 분야

[스위칭 및 라우팅]

• 원형 안테나 배열의 위상 차이 분포 특성을 활용한 코드벡터 결정 방식 및 성능 평가
김희원, 서준엽, 성원진

• 4-레벨 홀로그래픽 데이터 저장장치를 위한 12/16 변조부호
정성권, 이재진

• V2V 환경에서 LTE 기반 사이드링크 시스템의 새로운 LMMSE 채널 보간 기법에 대한 성능 분석
추명훈, 문상미, 권순호, 이지혜, 배사라, 김한종, 김철성, 김대진, 황인태

반도체 분야

[반도체 재료 및 부품]

• 샘플 홀드 회로를 이용한 초퍼 안정화 기법이 적용된 저잡음 증폭기
박영민, 남민호, 조경록

• 체내 이식 신경 신호 기록 장치를 위한 저전압 저전력 아날로그 Front-End 집적회로
차혁규

[SoC 설계]

• 모드 전환 제어 가능한 듀얼 모드 벅 변환기
조용민, 이태헌, 김종구, 윤광섭

컴퓨터 분야

[멀티미디어]

• 데이터추론 및 클라우드 호스팅 기법을 활용한 최적 에너지 관리시스템 구현 및 성능분석
김경신, 강문식

• 효율적인 구현을 위한 안개 제거 방법의 최적화
김민상, 박용민, 김병오, 김태환

신호처리 분야

[영상 신호처리]

• 변환 영역에서 Non-local Means 방법을 이용한 효율적인 영상 잡음 제거 기법
김동민, 이창우

• 대조비 개선을 위한 비대칭도 특성을 이용한 적응적인 레티넥스 방식
오종근, 홍민철

• 광각 영상을 위한 ELBP 분류기를 이용한 초해상도 기법과 CUDA 기반 가속화
최지훈, 송병철

시스템 및 제어 분야

[제어계측]

• 유량 밸런스 특성을 활용한 송유관 누유 감지 시스템의 오알람 필터링 알고리즘 개발
김민성, 김희식, 정해균

[회로 및 시스템]

• 새로운 초경량 블록 암호의 하드웨어 설계 및 구현
Gookyi Dennis A. N., 박승용, 류광기

[정보 및 제어 심포지엄 우수논문]

• 슬림 스피커 진동판의 분할진동 모드와 열전달 관계 분석을 통한 진동 패턴 예측
김현갑, 김희식

• 영상 소나를 이용한 수중 물체 외형 복원에 관한 기초 실험
이영준, 김태진, 최진우, 최현택

• 전도 냉각 파워 커패시터의 주파수 응답 곡선 분석
안경문, 김희식

산업전자 분야

[신호처리 및 시스템]

• UV 젤 네일을 위한 LED 램프 회로 설계
김필중

[컴퓨터 응용]

• 듀얼 에너지 감산기법을 이용한 디지털 X-ray 영상 최적화에 관한 연구
김대호, 이용구, 이영진

박사학위 논문초록

김덕호
Deokho Kim

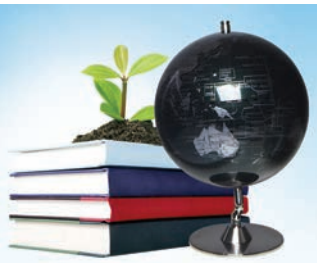
학위논문 제목	국문 : 파이프라인화된 동적 작업분배를 이용한 스케일 스페이스를 사용하는 특징점 추출 알고리즘의 가속화 방법		
	영문 : Accelerating Feature Detection Using Scale-Space with Pipelined Dynamic Load Balancing		
KEY WORD	이미지프로세싱 및 컴퓨터비전, 특징점추출, SURF, 병렬컴퓨팅, 멀티스레딩		
학위취득	연세대학교	취득년월	2016 년 2월
지도교수	노 원 우		

〈논문 요약〉

본 논문은 스케일-스페이스를 사용하는 특징점 추출 알고리즘을 가속하기 위한 방법에 관하여 연구하였다. 특징점 추출 알고리즘을 효율적으로 가속화하기 위해 병렬 알고리즘과 최적화 기법을 연구하였다.

병렬 알고리즘을 위해 스케일-스페이스에 존재하는 특징점의 분포가 확률적으로 같은 분포를 갖도록 하는 스케일-스페이스 파티션 기법인 버티컬 파티셔닝 기법을 제안하였으며, 버티컬 파티션을 동적으로 처리하는 다이나믹 파티션 밸런싱 및 파이프라인화된 다이나믹 파티션 밸런싱 기법을 제안하여 작업량의 동적 분배가 균일하도록 향상될 수 있음을 보였다. 또한, 최적화 기법으로 스케일-스페이스를 처리하는 연산 기법에 내재된 중복된 연산을 제거할 수 있는 배드 픽셀/스케일 쉬프트 방법과 통합 Haar 파형요소 반응 계산을 제안하였으며 스케일-스페이스를 처리함에 있어서 높은 반응성을 갖는 특징점이 될 가능성이 적은 픽셀에 대한 연산을 생략하는 버티컬 스키핑 방법을 제안하였다. 마지막으로 이미지 처리 분야에서 많이 사용되는 중첩된 루프를 효율적으로 벡터화 할 수 있는 크로스 루프 스트립-마이닝 기법을 연구하여 데이터 레벨 병렬성을 향상 시켰다.

성능 평가실험을 통해 제안하는 알고리즘은 기존 병렬화 기법인 P-SURF와 비교하여 최대 1.42배의 성능 향상을 얻을 수 있었으며 SURF 알고리즘의 성능을 최대 21.81배 향상시킬 수 있었다.



신간안내

제　목 : 생활, 산업, 사회에 가져오는 대변혁 2030년의 IoT
저　자 : 쿠와즈 코타로(노무라 종합연구소)
펴낸곳 : 동양경제신문사
출판일 : 2016년 4월 1일
크기, 페이지 수 : 21cm, 175p.

서 평

휴대전화와 인터넷이 본격적으로 보급이 시작된 1995년부터 약 20년을 지나, 네트워크의 물결은 지금까지의 사람과의 커뮤니케이션부터 기기와 설비, 인프라 등의 사물과 관련되는 서비스로, 더욱 그 영향범위를 확대해 가고 있다.

더욱이 M2M(Machine to Machine Communication)으로 불리고 있던 기계와 기계의 통신은, 단순한 프로토콜이 IP프로토콜로 변한 것이 아닌, 새로운 서비스, 애플리케이션, 사회인프라와의 연대와 발전을 목표로 하여, 그 범위를 확대하여 왔고, 사물을 포함한 IoT(Internet of Things)라는 새로운 컨셉으로 진화를 이루고 있다. 본서는, 현재부터 2030년 경의 미래를 겨냥하고, IoT의 향후의 동향에 대해 부감해보는 시도이다.

IoT의 커다란 흐름은, ICT 중의 하나의 기술, 서비스 트렌드를 넘어서 생활, 도시와 산업, 사회에 까지 영향을 넓힐 가능성을 가지고 있고, 좁은 의미로 ICT에 관계하는 기업과 업계에만 국한 되는 것이 아니다. 폭넓게 사회전반에서, 지구규모에서의 삼라만상을 포함한다고도 할 수 있다. 그 의미로, IT 버블기에 선전되었던 유비쿼터스 컴퓨팅의 Phase 2라고 할 수 있는 폭과 깊이를 가지고 있다.

반면, 지금까지의 인간주체의 인터넷의 보급과, 이제부터의 기기, 산업, 사회를 타깃으로 한 네트워크화는, 시장에서 잘 화제가 되고 있는 전송속도, 데이터 포맷과 프로토콜 등의 전형적인 신 기술요건만이 아닌, 기술 이외의 비즈니스 모델(수익획득 · 분배), 상관습, 법 규제 등 다양하게 관계자간의 이해관계의 조정이 필요해 진다. 그리고 사회인프라로서, 상황에 따라서는 인명에 직결되는 시스템으로서의 신뢰성확보도 극히 중요하고, 이들 요건, 특성에서 IoT가 폭 넓게 사회에 보급하기까지의 기간은 길어질 것으로 예상된다.

말할 필요도 없이, 적지 않은 점에서, 지금까지의 전형적인 사무실이나 엔터테인먼트에 최적화된 ICT와는 다른 양상을 나타낼 가능성이 높다. 따라서 단순히 지금까지의 ICT산업의 연장선상에서 생각하는 것은, ICT산업계로 봐서도, 어쩌면 커다란 리스크를 만들어낼 수도 있을 것이다.

아마도, 지금까지의 IoT는 제 1로, 공급 측만이 아닌, 이용자 측의 주도권 관여가 보다 강해질 것이다. 그리고 제 2로, 기술요건과 기술의 가능성 이상으로, 비즈니스 모델로 성립되기 위한 요건, 과제의 해결이 그 중요성을 늘릴 가능성이 높다. 무엇보다도 ICT산업에 종사하여온 사람으로, 지금까지의 ICT업계에 있어서의 생각을 답습하는 것에 따른 리스크를 분명하게 하고, 새로운 시장환경변화에서 IT산업의 발전에, 미력이나마 공헌되기를 바란다.

서평 작성자 : 이원규, 해동일본정보기술센터 총괄처장

정보교차로

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

〉〉 2016년 11월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
10. 31.-11. 04.	2016 12th International Conference on Network and Service Management (CNSM)	École de Technologie Supérieure – ÉTS, Montreal, QC, Canada	www.cnsm-conf.org/2016/
11. 01.-11. 03.	MILCOM 2016 - 2016 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)	Baltimore Convention Center, Baltimore, MD, USA	www.milcom.org
11. 01.-11. 02.	2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)	College of Electrical and Mechanical Engineering NUST Campus, Rawalpindi, Pakistan	www.ceme.nust.edu.pk/icrai2016/
11. 01.-11. 04.	2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)	Sheraton Rio Hotel & Resort, Rio de Janeiro, Brazil	www.ieee-itsc2016.org
11. 02.-11. 04.	2016 IEEE First International Geoscience and Remote Sensing Conference (CICT)	Mayor Auditorium of the University Manuela Beltran Avenida, Colombia	ieee.udistrital.edu.co/cict/
11. 02.-11. 04.	2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)	INP-ENSEEIHT, Toulouse, France	www.esars-itec2016.org/
11. 02.-11. 03.	2016 13th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)	The Melville Marriott Long Island, Melville, NY, USA	www.cewit.org/conference2016
11. 03.-11. 04.	2016 IEEE Cybersecurity Development (SecDev)	Hyatt Regency Cambridge, Boston, MA, USA	secdev.ieee.org
11. 05.-11. 05.	2016 IEEE 5G Summit Seattle	SEATTLE UNIVERSITY, WA, USA	5gsummit.org/
11. 06.-11. 09.	2016 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE)	Gulf Conference and Exhibition center, Manama, Bahrain	ieee-gcc.org
11. 06.-11. 09.	2016 50th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers	Asilomar Conference Grounds, Pacific Grove, CA, USA	asilomarsscconf.org/
11. 06.-11. 09.	2016 4th Saudi International Conference on Information Technology (Big Data Analysis) (KACSTIT)	KACST Headquarters - Conference Hall, Riyadh, Saudi Arabia	events.kacst.edu.sa/en/IT16/Pages/home.aspx
11. 06.-11. 10.	2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP)	Wangjiang Hotel Chengdu, Chengdu, China	icsp.bjtu.edu.cn
11. 06.-11. 09.	2016 10th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower)	Hotel Metropol, Belgrade, Serbia	www.bbn.co.rs
11. 06.- 11. 09.	2016 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)	Indian Institute of Science, Bangalore, India	www.ieee-comsoc-ants.org/
11. 06.-11. 09.	2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)	Sheraton Four Points, Sydney, Australia	sgc2016.ieee-smartgridcomm.org/
11. 07.-11. 10.	2016 18th International Wheelset Congress (IWC)	IHG Century City, Chengdu, China	www.iwc2016.com
11. 07.-11. 10.	2016 IEEE 41st Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops)	The Address Dubai Mall, Dubai, United Arab Emirates	www.ieeelcn.org
11. 07.-11. 11.	2016 IEEE 57th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)	Hyatt Regency New Brunswick, NJ, USA	www.wisdom.weizmann.ac.il/~dinuri/focs16/CFP.html
11. 07.-11. 11.	2016 International Conference on Functional-Structural Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (FSPMA)	Holiday Inn Qingdao Expo, Qingdao, China	www.fspma2016.net

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 07.- 11. 10.	2016 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)	Doubletree by Hilton Hotel Austin, TX, USA	www.iccad.com
11. 07.-11. 09.	2016 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)	Toyama International Conference Center, Toyama, Japan	www.a-sscc2016.org
11. 08.-11. 11.	2016 IEEE International 3D Systems Integration Conference (3DIC)	Parc Central, San Francisco, CA, USA	www.3dic-conf.org/
11. 08.-11. 10.	2016 Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS)	National Convention Centre, Canberra, Australia	www.milcis.com.au
11. 09.-11. 11.	2016 IEEE 36th Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXVI)	Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica	concapan2016.com/
11. 09.-11. 11.	2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)	TBD, Ixtapa, Zihuatanejo, Mexico	www.ropec.org
11. 09.-11. 11.	2016 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFuzzy)	The Evergreen Resort Hotel, Taichung, Taiwan	cia.csie.ncut.edu.tw/ifuzzy2016/
11. 09.-11. 11.	2016 IEEE Healthcare Innovation Point-Of-Care Technologies Conference (HI-POCT)	Hyatt Ziva Blvd. Cancun, Mexico	hipt.embs.org/2016/
11. 09.-11. 11.	2016 International Automatic Control Conference (CACS)	The Evergreen Resort Hote, Taichung, Taiwan	resource.ncut.edu.tw/cacs2016/index.html
11. 11.-11. 13.	2016 10th International Conference on Sensing Technology (ICST)	Southeast University, Nanjing, China	ins.seu.edu.cn/icst2016
11. 13.-11. 18.	SC16: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis	UT, USA	sc16.supercomputing.org/
11. 13.-11. 16.	2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)	APA Hotel & Resort Tokyo Bay Makuhari, Chiba, Japan	www.icems2016.com/
11. 13.-11. 15.	2016 14th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)	8 Prachanukroh Road Patong Beac, Phuket, Thailand	icarcv.org/2016/home.asp
11. 13.-11. 16.	2016 IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC)	Hilton Miami Downtown, Miami, FL, USA	www.cefc2016.org
11. 14.-11. 16.	2016 16th Mediterranean Microwave Symposium (MMS)	Al Ain University of Science and Technology, Abu Dhabi, United Arab Emirates	mms2016.aau.ac.ae/
11. 14.-11. 16.	2016 World Congress on Internet Security (WorldCIS)	Heathrow Windsor Marriott Hotel, London, United Kingdom	www.worldcis.org/
11. 14.-11. 16.	2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)	Putrajaya Marriott Hotel, Putrajaya, Malaysia	www.icaeese2016.org
11. 14.-11. 15.	2016 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)	Loughborough University, Leicestershire, United Kingdom	www.lapconf.co.uk/
11. 15.-11. 17.	2016 IEEE International Test Conference (ITC)	Fort Worth Convention Center, TX, USA	itctestweek.org
11. 15.-11. 17.	2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)	Fiesta American Corel Beach, Cancún, Quintana Roo, Mexico	www.humanoids2016.org
11. 15.-11. 17.	2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)	Omsk State Technical University, Omsk, Russia	conf.ict.nsc.ru/Dynamics-2016/en
11. 16.-11. 18.	2016 IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering (ICSEE)	Hilton Eilat Queen of Sheba Hotel, Eilat, Israel	www.ieeer8.org/news/international-conference-on-the-science-of-electrical-engineering/
11. 17.-11. 19.	2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)	Electrical and Instrumentation Engineering Department, Patiala, India	www.thapar.edu/content/csed/IEEE2016.htm
11. 18.-11. 19.	2016 International Forum on Mobile Technology and Applications (IFMTA)	Hilton Sukhumvit Bangkok, Bangkok, Thailand	www.apatas.org/ifmta-2016/
11. 18.-11. 19.	2016 Second International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)	Krishna Institute of Engineering and Technology, Ghaziabad, India	www.cipech16.org
11. 22.-11. 25.	TENCON 2016 - 2016 IEEE Region 10 Conference	TBD, Singapore	www.tencon2016.org
11. 22.-11. 23.	2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR)	SAVA Center, Belgrade, Serbia	telfor.org

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
11. 23.-11. 24.	2016 First International Conference on Computing and Communication (ICCC)	Department of Information Technology University of Haripur, Pakistan	www.iccc2016.net
11. 25.-11. 27.	2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)	Government Engineering College Bikaner, India	www.piicon2016.com
11. 28.-12. 01.	2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia)	Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia	sites.ieee.org/isgt-asia-2016/
11. 28.-11. 30.	2016 International Conference on Brain Inspired Cognitive Systems (BICS)	TBD, Beijing, China	bii.ia.ac.cn/bics-2016/
11. 30.-12. 02.	2016 IEEE Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación(CACIDI)	TBD, Buenos Aires, Argentina	www.unsam.edu.ar/cacidi/
11. 30.-12. 03.	2016 IEEE 18th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)	Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore	www.eptc-ieee.net/
11. 30.-12. 01.	2016 6th International Electric Drives Production Conference (EDPC)	Convention Center Nuremberg, Germany	www.edpc.eu
〉〉 2016년 12월			
12. 01.-12. 04.	2016 Seventh International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)	Angkor, Cambodia	auto.hust.edu.cn/icicip2016
12. 01.-12. 03.	2016 2nd International Conference on Open Source Software Computing (OSSCOM)	Lebanese University, Central Administration Building, Mathaf, Beirut, Lebanon	osscom2016.osscom.org/
12. 01.-12. 03.	2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)	BAOB-Campus of (Union of Academic Chambers of Bursa), Bursa, Turkey	www.eleco.org.tr/
12. 03.-12. 04.	2016 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)	Department of Electronics and Communication Engineering, Roorkee, India	www.iciis2016.org
12. 03.-12. 05.	2016 International Conference of Optics & Photonics Taiwan (OPTIC)	National Taiwan Univeristy of Science and Technology, Taipei, Taiwan	www.tl.ntu.edu.tw/2016/optic2016/
12. 03.-12. 07.	2016 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)	Hilton San Francisco Union Square, San Francisco, CA, USA	www.ieee-iedm.org
12. 04.-12. 08.	2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)	Washington Hilton, Washington, DC, USA	globecom2016.ieee-globecom.org
12. 04.-12. 09.	GLOBECOM 2016 - 2016 IEEE Global Communications Conference	Washington Hilton Hotel, Washington DC, USA	www.ieee-globecom.org
12. 04.-12. 08.	2016 17th World Renewable Energy Congress (WREC)	Crown Plaza Hotel, Bahrain	www.WREC2016-Bahrain.com
12. 05.-12. 08.	2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC)	The University of Auckland, Auckland, New Zealand	www.ieee-spec.org
12. 05.-12. 06.	2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC)	Air University, Islamabad, Pakistan	portals.au.edu.pk/inmic
12. 05.-12. 08.	2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	Hyatt Regency Bethesda, Bethesda, MD, USA	cci.drexel.edu/bigdata/bigdata2016
12. 05.-12. 09.	2016 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)	Hotel Pullman, New Delhi, India	imarc-ieee.org
12. 05.-12. 07.	2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)	Bali Nusa Dua Convention Centre, Bali, Indonesia	www.ieem.org
12. 05.-12. 07.	2016 11th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)	Catalonia Barcelona Plaza Hotel, Barcelona, Spain	www.icitst.org
12. 05.-12. 09.	2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	Hotel Pullman, New Delhi, India	www.apmc2016.org
12. 05.-12. 07.	2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)	TBD, Malaysia	http://www.iecbes.org/
12. 06.-12. 09.	2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	Royal Olympic Hotel, Athens, Greece	ssci2016.cs.surrey.ac.uk/
12. 06.-12. 07.	2016 Future Technologies Conference (FTC)	Hyatt Fisherman's Wharf, San Francisco, CA, USA	saiconference.com/FTC2016

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 07.-12. 08.	2016 TRON Symposium (TRONSHOW)	Tokyo Midtown, Tokyo, Japan	www.tronshow.org/index-e.html
12. 07.-12. 09.	2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)	Crystal Gateway Marriott Hotel, Arlington, VA, USA	http://www.ieeeglobalsip.org/
12. 08.-12. 09.	2016 Fifth International Conference on Eco-friendly Computing and Communication Systems (ICECCS)	Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India	iceccs.in/
12. 09.-12. 10.	2016 IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)	Thiagarajar College Of Engineering, Madurai, India	mite2016.com
12. 11.-12. 14.	2016 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)	Grimaldi Forum, Monte Carlo, Monaco	adam.makosiej@cea.fr
12. 12.-12. 14.	2016 World Congress on Sustainable Technologies (WCST)	Heathrow Windsor Marriott Hotel, London, United Kingdom	www.wcst.org/
12. 12.-12. 14.	2016 World Congress on Industrial Control Systems Security (WCICSS)	Heathrow Windsor Marriott Hotel, London, United Kingdom	wcicss.org/
12. 12.-12. 15.	2016 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)	World Trade Center Barcelona, Barcelona, Spain	icdm2016.eurecat.org/
12. 12.-12. 13.	2016 International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM)	KFC Hall, Tokyo, Japan	www.semiconportal.com/issm/
12. 12.-12. 14.	2016 International Symposium on Integrated Circuits (ISIC)	Singapore	http://www.isic-ieee.org/
12. 12.-12. 15.	2016 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)	Alvisse Parc Hotel, Luxembourg	2016.cloudcom.org
12. 12.-12. 14.	2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)	Hyatt Reston, VA, USA	www.ieee-wf-iot.org
12. 12.-12. 16.	2016 IEEE Micro- and Nanoengineering in Medicine Conference (MNMC)	Hilton Waikoloa Village, HI, USA	http://mnm.embs.org/2016/
12. 12.-12. 16.	2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC)	TBD, CA, USA	cdc2016.ieeecss.org/
12. 13.-12. 15.	2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)	Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan	http://www.si-sice.org/SII2016
12. 13.-12. 16.	2016 IEEE 22nd International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)	Wuhan Hetian Hotel, WUHAN, China	grid.hust.edu.cn/icpads2016/
12. 13.-12. 16.	2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)	Ramada Plaza Hotel, Jeju, Korea (South)	www.apsipa2016.org/main.do
12. 14.-12. 16.	2016 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)	HI, USA	http://edaps2016.org/
12. 14.-12. 17.	2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)	Mar Baselios College of Engineering, Trivandrum, India	www.pedes2016.org
12. 14.-12. 17.	2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)	Amity University, Greater Noida, India	ic3i.org/2015/index.html
12. 14.-12. 16.	2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)	Maulana Azad National Institute Of Technology, Bhopal, India	www.icepes-manit.org/
12. 15.-12. 17.	2016 International Conference on Open Source Systems & Technologies (ICOSST)	Al-Khawarizmi Institute of Computer Science (KICS), Lahore, Pakistan	icosst.kics.edu.pk
12. 15.-12. 17.	2016 International Symposium on Antennas and Propagation (APSYM)	Seminar Complex, CUSAT, Cochin, India	apsym.cusat.ac.in
12. 15.-12. 17.	2016 International Computer Symposium (ICS)	National Chung Cheng University, Chiayi, Taiwan	http://ics2016.cs.ccu.edu.tw
12. 15.-12. 17.	2016 Sixth International Symposium on Embedded Computing and System Design (ISED)	Indian Institute of Technology, Patna, Patna, India	ised2016.org/
12. 15.-12. 17.	2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)	Agni College of Technology, Chennai, India	itfrindia.org/2016ICCIC/
12. 15.-12. 18.	2016 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)	Kylin Villa, Shenzhen, China	cci.drexel.edu/ieeebibm/bibm2016
12. 16.-12. 18.	2016 17th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT)	Zijin Yuan, Guangzhou, China	sist.sysu.edu.cn/pdcat2016/
12. 16.-12. 17.	2016 International Conference on Engineering and Technology (ICET)	karpagam college of Engineering, India	www.oicget.com

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
12. 16.-12. 17.	2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)	A/C Auditorium, Kanyakumari District, India	www.niueie.com/iccicct2016
12. 16.-12. 18.	2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)	J N Tata Auditorium, Bangalore, India	www.indicon2016.in
12. 16.-12. 17.	2016 International Conference on Design and Manufacturing (IConDM)	Indian Institute of Information Technology, Chennai, India	www.iiitdm.ac.in/icondm16/callforpapers
12. 17.-12. 18.	2016 International Conference on Medical Engineering, Health Informatics and Technology (MediTec)	United International University, Dhaka, Bangladesh	meditec.uiu.ac.bd/
12. 18.-12. 20.	2016 15th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA)	Los Ageles, CA, USA	www.icmla-conference.org/icmla16/
12. 18.-12. 20.	2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA)	Amrita School of Engineering, Kollam, India	raha2016.org/
12. 18.- 12. 20.	2016 7th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT)	Hotel in Hammamet, Tunisia	www.setit.rnu.tn/
12. 18.-12. 20.	2016 19th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)	North South University, Dhaka, Bangladesh	iccit.org.bd/2016
12. 19.-12. 20.	2016 International Conference on Robotics:Current Trends and Future Challenges (RCTFC)	SASTRA University Campus, Thanjavur, India	www.sastra.edu/rctfc2016
12. 19.-12. 22.	2016 IEEE 23rd International Conference on High Performance Computing (HiPC)	Hyderabad International Convention Center, Hyderabad, India	www.hipc.org
12. 19.-12. 21.	2016 19th National Power Systems Conference (NPSC)	IIT Bhubaneswar, Bhubaneswar, India	www.iitbbs.ac.in/conference/npsc201
12. 19.-12. 21.	2016 Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST)	College of Engineering, Pune, India	cast2016.coep.org.in/
12. 19.-12. 21.	2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)	Serena Hotel, Islamabad, Pakistan	www.fit.edu.pk
12. 20.-12. 21.	2016 11th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)	Ain Shams Univeristy, Cairo, Egypt	www.icces.org.eg
12. 20.-12. 22.	2016 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)	Department of Electrical and Electronic Engineering, Dhaka, Bangladesh	www.buet.ac.bd/eee/icece
12. 21.-12. 23.	2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)	Dayalbagh Educational Institute, Agra, India	www.ieeehtc2016.com
12. 21.-12. 22.	2016 IEEE Bombay Section Symposium (IBSS)	Vidya Pratishthan's College of Engineering, India	ibss2016.ieeebombay.org/
12. 22.-12. 24.	2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)	Jaypee University of Information Technology, Solan, India	www.juit.ac.in/pdgc-2016/
12. 22.-12. 24.	2016 International Conference on Information Technology (ICIT)	International Institute of Information Technology, Bhubaneswar, India	www.oits-icit.org/, icit.github.io/
12. 22.-12. 24.	2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)	SSBT's College of Engineering & Technology, Jalgoan, India	icspicc.sscoetjalgaon.ac.in
12. 23.-12. 25.	2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)	Poornima College of Engineering, JAIPUR, India	www.icraie.poornima.org
12. 23.-12. 25.	2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)	MIR Labs Chapter, Jabalpur, Dehradun, India	cicn.in
12. 26.-12. 28.	2016 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)	Jaypee Institute of Information Technology, Noida, India	www.jiit.ac.in/jiit/icsc/
12. 27.-12. 29.	2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)	Al-Masah Hotel, Cairo, Egypt	www.mepcon.org
12. 28.-12. 29.	2016 12th International Computer Engineering Conference (ICENCO)	Four Seasons Hotel First Residence Giza, Egypt	ICENCO.eng.cu.edu.eg
01. 04.-01. 08.	2017 9th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)	Chancery Pavilion Hotel, Bangalore (Bengaluru), India	www.comsnets.org
01. 05.-01. 07.	2017 International Conference on Quality, Productivity Reliability, Optimization and Modelling (ICQPROM)	Manav Rachna International University, Faridabad, India	www.icqprom2017.org
01.05.-01. 06.	2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)	Karpagam College of Engineering, Coimbatore, India	www.kceisco.com

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
01. 05.-01. 07.	2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference	VNR VJIET, Hyderabad, India	iacc2017.com
01. 08.-01. 11.	2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)	Flamingo Las Vegas, NV, USA	ccnc2017.ieee-ccnc.org
01. 09.-01. 11.	2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)	Hotel Stratosphere, Las Vegas, NV, USA	ieee-ccwc.org
01. 10.-01. 14.	2017 14th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)	National Centre for Physics Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan	www.ibcast.org.pk
01. 10.-01. 11.	2017 International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP)	Sri Sivasubramaniya Nadar College of Engineering, Chennai, India	icccsp.com
01. 12.-01. 13.	2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering- Confluence (Confluence)	Department of Computer Science & Engineering, Noida, India	www.amity.edu/aset/confluence2017
01. 15.-01. 18.	2017 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)	Hyatt Regency Phoenix Downtown, Phoenix, AZ, USA	www.radiowirelessweek.org
01. 16.-01. 18.	2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)	Karary University, Omdurman Sudan	iccccee17.iccneee15.org
01. 16.-01. 19.	2017 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	Makuhari Messe, Chiba, Japan	www.aspdac.com
01. 18.-01. 20.	2017 Third Asian Conference on Defence Technology (ACDT)	TBD, Phuket, Thailand	www.acdt2017.com
01. 22.-01. 26.	2017 IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)	Rio Las Vegas Hotel and Casino, Las Vegas, NV, USA	www.mems2017.org
01. 23.-01. 26.	2017 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)	Rosen Plaza Hotel, Orlando, FL, USA	www.RAMS.org
01. 26.-01. 29.	2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)	Santa Clara Marriott, Santa Clara, CA, USA	www.conf-icnc.org/2017
01. 27.-01. 28.	2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)	Fr. CRIT, Vashi, Navi Mumbai, India	www.fcrit.ac.in/icnte2017
01. 28.-02. 03.	2017 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW)	Peppermill Resort Spa Casino, Reno, NV, USA	www.ewh.ieee.org/cmte/ias-esw

〉〉 2017년 2월

02. 02.-02. 03.	2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)	Dept. of ECE, ASET, Amity University, India	amity.edu/spin2017/index.html
02. 03.-02. 04.	2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT)	Karunya University, Karunya Nagar, Coimbatore, India	www.karunya.edu/ece/icieeimt17
02. 03.-02. 05.	2017 International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT (ICEI)	Pune Institute of Computer Technology, Pune, India	www.icei.in
02. 04.-02. 08.	2017 IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA)	Hilton, Austin, TX, USA	http://www.hpcaconf.org/
02. 05.-02. 09.	2017 IEEE International Solid- State Circuits Conference - (ISSCC)	San Francisco Marriott, CA, USA	www.isscc.org
02. 10.-02. 11.	2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)	ABES Engg College, Ghaziabad, India	www.cict.abes.ac.in
02. 11.-02. 17.	2017 Information Theory and Applications Workshop (ITA)	Catamaran Resort, San Diego, CA, USA	http://ita.ucsd.edu/
02. 15.-02. 18.	2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)	Double Tree Hotel, Orlando, FL, USA	bhi.embs.org/2017/
02. 16.-02. 18.	2017 7th International Conference on Information Systems and Economic Intelligence / IEEE International Technology Management Conference (SIIE/ITMC)	TBD, Marrakech, Morocco	www.ciems.ma/siie2017
02. 16.-02. 18.	2017 International Conference on Algorithms, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET)	Bharath Institute of Higher Education and Research, CHENNAI, India	deanresearch@bharathuniv.ac.in
02. 16.-02. 18.	2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)	Best Western Plus Heritage, Cox's Bazar, Bangladesh	www.cuet.ac.bd/ecce/
02. 19.-02. 22.	2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)	Pheonix Park Hotel, PyeongChang, Korea (South)	WWW.ICACT.ORG

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
02. 20.-02. 23.	2017 IEEE 8th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS)	TBD, Bariloche, Argentina	www.ieee-lascas.org
02. 20.-02. 22.	2017 Seminar on Detection Systems Architectures and Technologies (DAT)	Cercle National de l'Armée CNA (Hotel), Algeria	www.seminaires-dat.dz/contenu_Eng/Accueil.php
02. 21.-02. 23.	2017 International Conference on Informatics, Health & Technology (ICIHT)	King Saud bin Abdulaziz University for Health Sciences ,Riyadh, Saudi Arabia	iciht.org/
02. 22.-02. 24.	2017 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP)	Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Mexico	ict.udlap.mx/conielecomp/2017/
02. 22.-02. 24.	2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)	SVS College of Engineering, Coimbatore, India	www.icecct.com
02. 23.-02. 24.	2017 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)	I Hotel and Conference Center, Champaign, IL, USA	peci.ece.illinois.edu/
02. 23.-02. 24.	2017 National Conference on Parallel Computing Technologies (PARCOMPTECH)	National Institute of Advanced Studies (NIAS), Bangalore, India	parcomptech.garudaindia.in/2017
02. 23.-02. 24.	2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)	SRI SAI RAM ENGINEERING COLLEGE, Chennai, India	www.sairam.edu.in/iccct17
02. 24.-02. 25.	2017 4th International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)	Karpagam College of Engineering, Coimbatore, India	www.icecs.in
02. 24.-02. 26.	2017 International Conference on Data Management, Analytics and Innovation (ICDMAI)	Zeal Education Society, Pune, India	www.icdmai.com
02. 27.-03. 04.	2017 22nd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT)	Hotel Zabljak, Zabljak, Montenegro	www.it.ac.me/eng/index.php
02. 28.-03. 02.	2017 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM)	Toyama International Conference Center, Toyama, Japan	http://ewh.ieee.org/conf/edtm/2017

〉〉 2017년 3월

03. 01.-03. 03.	2017 4th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)	Bharati Vidyapeeth's Institute of Computer Applications and Management (BVICAM), New Delhi, India	bvicam.ac.in/indiacom/
03. 01.-03. 04.	2017 3rd URSI Regional Conference on Radio Science (URSI-RCRS)	Fortune Select Grand Ridge Hotel, TIRUPATI, India	ursircrs2017.narl.gov.in
03. 02.-03. 04.	2017 Twenty-third National Conference on Communications (NCC)	Center for Industrial Consultancy & Sponsored Research, Chennai, India	ncc2017.org/
03. 02.-03. 04.	2017 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)	University of Eng. & Tech. Lahore, Pakistan	www.uet.edu.pk/faculties/facultiesinfo/ee/icee2017/index.html
03. 03.-03. 04.	2017 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS)	MAHENDRA ENGINEERING COLLEGE, India	www.mahendra.info/icedss2017
03. 04.-03. 11.	2017 IEEE Aerospace Conference	Yellowstone Conference Center, MT, USA	www.aeroconf.org
03. 05.-03. 09.	ICASSP 2017 - 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	Hilton New Orleans Riverside, New Orleans, LA, USA	http://www.ieee-icassp2017.org/
03. 06.-03. 09.	2017 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)	Hyatt Regency Baltimore Inner Harbor, Baltimore, MD, USA	www.ieee-dyspan.org/2017
03. 06.-03. 09.	2017 SICE International Symposium on Control Systems (SICE ISCS)	Okayama University, Okayama, Japan	thkatay@ipc.shizuoka.ac.jp
03. 09.-03. 11.	2017 4th International Conference on Power, Control & Embedded Systems (ICPCES)	Department of Electrical Engineering, Allahabad, India	nandkishor@mnnit.ac.in
03. 10.-03. 11.	2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)	Ranganathan Engineering College, India	icct2017.com/index.html
03. 11.-03. 11.	2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)	Princeton University, Princeton, NJ, USA	ewh.ieee.org/conf/stem/index.html
03. 13.-03. 17.	2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)	Sheraton Kona Resort & Spa at Keauhou Bay, Kailua-Kona, HI, USA	www.percom.org
03. 13.-03. 17.	2017 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)	Waseda-university Nishiwaseda campus, Tokyo, Japan	aster.or.jp/conference/icst2017

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03. 13.-03. 15.	2017 18th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)	Santa Clara Convention Center, 5001 Great America Pkwy, CA, USA	www.ISQED.org
03. 16.-03. 18.	2017 International Conference on Medical and Biological Engineering (CMBEBIH)	International Burch University, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina	www.cmbebih.com
03. 16.-03. 18.	2017 International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)	Sri Sivasubramaniya Nadar College of Engineering,]Chennai, India	icpedc2017.org/
03. 16.-03. 18.	2017 Fourth International Conference on Signal Processing,Communication and Networking (ICSCN)	Anna University, Chennai, India	www.icscn.org
03. 17.-03. 18.	2017 4th International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems	karpagam college of Engineering, Coimbatore, India	http://iciiecs.in
03. 18.-03. 22.	2017 IEEE Virtual Reality (VR)	Manhattan Beach Marriott, CA, USA	ieeevr.org
03. 19.-03. 24.	2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)	Palais des Congrès, Paris, France	www.eucap2017.org
03. 19.-03.22.	2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)	HYATT REGENCY SAN FRANCISCO, CA, USA	http://wcnc2017.ieee-wcnc.org/
03. 19.-03.22.	2017 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)	TBD, Santos, Brazil	www.edunine.eu/
03. 22.-03.24.	2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)	Sri Sivasubramaniya Nadar College of Engineering, Chennai, India	www.wispnet2017.org
03. 22.-03.23.	2017 International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC)	Adhiparasakthi Engineering College, India	iccpeic.weebly.com
03. 22.-03.25.	2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)	Hilton Toronto, ON, Canada	http://www.icit2017.org
03. 22.-03.24.	2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)	The Johns Hopkins University, MD, USA	ciss.jhu.edu
03. 23.-03.25.	2017 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)	Kalasalingam University, Srivilliputhur, India	drdevaraj.in/incos17
03. 24.-03.31.	2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)	Hyatt Vineyard Creek Hotel, Santa Rosa, CA, USA	medioni@usc.edu
03. 26.-03.30.	2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium - Italy (ACES)	Grand Hotel Mediterraneo, Firenze, Italy	www.aces-society.org
03. 26.-03.30.	2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)	Tampa Convention Center, Tampa, FL, USA	www.apec-conf.org
03. 30.-04.02.	SoutheastCon 2017	Embassy Suites Charlotte, NC, USA	sites.ieee.org/southeastcon2017
03. 31.-04.02.	2017 IEEE Region 5 Meeting	Denver Marriott Tech Center, Denver, CO, USA	lookjr@yahoo.com

특별회원사 및 후원사 명단

회원명	대표자	주 소	전 화	홈페이지
AP 위성통신㈜	류장수	서울시 금천구 가산디지털2로 98 2동 9층	02-2026-7700	http://apsi.co.kr
FCI	한상우	경기도 성남시 분당구 판교로 255번길 35(삼평동) 실리콘파크 B동 7층	031-782-3700	http://www.fci.co.kr
I&C테크놀로지	박창일	경기도 성남시 분당구 판교로 255번길 24 아이앤씨빌딩	031-696-3300	http://www.inctech.co.kr
KT	황창규	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.co.kr
LDT	정재천	충남 천안시 서북구 한들1로 126-33 WE빌딩	041-520-7300	http://www.ldt.co.kr
LG전자	구본준	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG 넥스원	이효구	서울시 서초구 강남대로 369(서초동, 나라빌딩)	1644-2005	http://www.lignex1.com
RadioPulse	권태휘	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스1A 1106호(삼평동)	070-7113-0975	http://www.radiopulse.co.kr
SK Telecom	장동현	서울특별시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK 하이닉스	박성욱	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
국제종합측기	박재욱	서울특별시 강남구 강남대로 354 (역삼동 831, 혜천빌딩 10F, 12F)	02-553-0901	http://www.msinter.co.kr
나노종합기술원	이재영	대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)	042-366-1500	http://www.nnfc.re.kr
네이버(주)	김상헌	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	http://www.nhncorp.com
넥서스칩스	Douglas M. Lee	서울시 강남구 역삼동 725-57	02-6959-7161	http://www.nexuschips.com
넥스트칩	김경수	경기도 성남시 분당구 판교로 323 벤처포럼빌딩	02-3460-4700	http://www.nextchip.com
(주)넥스파시스템	이상준	서울특별시 성동구 자동차시장1길 18	02-2243-4011	http://www.nexpa.co.kr
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
다우인큐브	이예구	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 81 (죽전동 디지털스퀘어 2층)	070-8707-2500	http://www.daouincube.com
대구테크노파크	송인섭	대구시 달서구 대천동 891-5	053-602-1803	http://www.mtcc.or.kr
대덕G.D.S	이희준	경기도 안산시 단원구 산단로 63(원시동)	031-8040-8000	http://www.daeduckgds.com
대덕전자	김영재	경기도 시흥시 소망공원로 335 (정왕동)	031-599-8800	http://www.daeduck.com
대성전기	이철우	경기도 안산시 단원구 산단로 31 (원시동, 8-27블럭)	031-494-1141	http://www.dsec.co.kr
(재)대전테크노파크	권선택	대전시 유성구 테크노9로 35 대전테크노파크	042-930-2880	http://www.daejeontp.or.kr
(주)더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
덴소풍성전자	김경섭	경남 창원시 성산구 외동 853-11	055-600-9227	http://www.dnpe.co.kr
동부하이텍	최창식	경기도 부천시 원미구 수도로 90	032-680-4700	http://www.dongbuhitek.co.kr
동아일렉콤	손성호	경기도 용인시 처인구 양지면 남곡로 16	031-330-5500	http://www.dongahelecomm.co.kr
동운아나텍	김동철	서울시 서초구 서초동 1467-80 아리랑타워 9층	02-3465-8765	http://www.dwanatech.com
㈜디엠티	김홍주	대전광역시 유성구 테크노11로 41-2	042-930-3700	http://www.dmtpcb.co.kr
라온텍	김보은	경기도 성남시 분당구 황새울로360번길 42, 18층 (서현동 AK플라자)	031-786-4600	http://www.raon-tech.com
라이트웍스㈜	서인식	서울 강남구 테헤란로88길 14, 4층 (신도리코빌딩)	031-702-6171	http://www.lightworks.co.kr/
만도	성일모	경기도 성남시 분당구 판교로 255번길 21	02-6244-2114	http://www.mando.com
문화방송	안광한	서울시 마포구 성암로 267	02-789-0011	http://www.imbc.com
삼성전자	권오현	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	1588-3366	http://samsungelectronics.com/kr
삼화콘덴서	황호진	경기도 용인시 처인구 남사면 경기동로 227 (남사면 북리 124)	031-332-6441	http://www.samwha.co.kr
㈜서연전자	조명수	경기도 안산시 단원구 신원로424	031-493-3000	http://www.dae-dong.biz
세미솔루션	이정원	경기도 용인시 기흥구 영덕동 1029 흥덕IT타워 지식산업센터 20층 2005호	031-627-5300	http://www.semisolution.com
세원텔레텍	김철동	경기도 안양시 만안구 전파로44번길 53	031-422-0031	http://www.sewon-teletech.co.kr
(주)스카이크로스코리아	조영민	경기 수원시 영통구 영통동 980-3 디지털엠파이어빌딩 C동 801호	031-267-1662	http://www.skycross.co.kr
(주)시솔	이우규	서울시 강서구 공항대로 61길 29 서울신기술센터 A동 202호	02-508-5656	http://www.sisoul.co.kr

회원명	대표자	주 소	전 화	홈페이지
실리콘마이터스	허 염	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconmitus.com
실리콘웍스	한대근	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	http://www.siliconworks.co.kr
(주)쏠리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 쏠리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
㈜씨자인	김정표	경기 성남시 분당구 구미동 185-4 보명프라자	070-4353-5852	http://www.cesign.co.kr
아나패스	이경호	서울시 구로구 구로동 197-12 신세계아이앤씨 디지털센타 7층	02-6922-7400	http://www.anapass.com
아바고테크놀로지스	전성민	서울시 서초구 양재동 215	02-2155-4710	http://www.avagotech.kr
아이닉스	황정현	수원시 영동구 덕영대로 1556번길 16, C동 1004호 (영통동, 디지털엠파이어)	031-204-7333	http://www.eyenix.com
아이디어㈜	황진벽	서울 마포구 연남동 487-366번지 대원빌딩 5층	02-334-3309	http://www.eyedea.co.kr
(주)아이에이	김동진	서울 송파구 송파대로 22길 5-23 (문정동)	02-3015-1300	http://www.ia-inc.kr
안리쓰코퍼레이션(주)	토루와키나가	경기도 성남시 분당구 삼평동 681번지 H스퀘어 N동 5층 502호	031-696-7750	http://www.anritsu.com
(주)알파스캔 디스플레이	류영렬	서울특별시 강서구 허준로 217 가양테크노타운 202호		http://www.alphascan.co.kr
에디텍	정영교	경기도 성남시 분당구 삼평동 621번지 판교이노벨리 B동 1003호	031-8018-8778	http://www.aditec.co.kr
에스넷시스템㈜	박효대	서울특별시 강남구 선릉로 514 (삼성동) 성원빌딩 10층	02-3469-2994	http://www.snetsystems.co.kr
에스엘	이충곤	경북 경산시 진량읍 신상리 1208-6	053-856-8511	http://www.slworld.com
에이치앤티테크	강임성	대전광역시 유성구 용산동	042-933-7228	http://www.hnt-tech.co.kr
㈜에이투테크	김현균	경기도 성남시 수정구 복정동 685-6 상헌빌딩 3층	031-752-7363	http://www.a2tech.co.kr
엠텍비젼㈜	이성민	경기도 성남시 분당구 판교로 255번길 58 6층 601호	031-627-0114	http://www.mtekvision.co.kr
㈜오픈링크시스템	성재용	광주광역시 서구 치평로 112 정연하이빌 402호	070-5025-0689	http://openlink.kr
우양신소재	윤주영	대구광역시 북구 유통단지로 8길 21	053-383-5287	http://www.iwooyang.com
유라코퍼레이션	엄병윤	경기도 성남시 분당구 삼평동 686-1	070-7878-1000	http://www.yuracorp.co.kr
유텔	김호동	경기도 군포시 당정동 381-4	031-427-1020	http://www.u-tel.co.kr
(주)이노피아테크	장만호	경기도 상남시 중원구 갈마치로 215 A동 405호	070-7820-6300	http://www.innopiatech.com
주식회사 이디	박용후	경기도 성남시 중원구 상대원동 517-15 (둔촌대로457번길 14)	031-730-7300	http://www.ed.co.kr
㈜자람테크놀로지	백준현	경기도 성남시 분당구 야탑동 345-1 파인벤처빌딩 2층	031-779-6700,6701	http://www.zaram.com/
전자부품연구원	박청원	경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)	031-789-7000	http://www.keti.re.kr
주식회사 제이엔티이엔지	최승훈	경기도 성남시 중원구 사기막골로 148, 701호(상대원동, 중앙이노테크)	031-723-0855	http://www.jandt.co.kr
(주)제퍼로직	정종척	서울 강남구 역삼1동 679-5 아주빌딩 1801호	070-7010-7790	http://www.zephylogic.com
(주)지에스인스트루먼트	고재목	인천시 남구 길파로71번길 70 (주안동)	032-870-5641	http://www.gsinstrument.com
지엠테스트	고상현	충남 천안시 서북구 직산읍 군서1길 19(군서리 134)	041-410-2600	http://www.gmtest.com
충북테크노파크	남창현	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 40	043-270-2000	http://www.cbtp.or.kr
케이던스 코리아(유)	제임스 해댓	경기도 성남시 분당구 판교로 344 엠텍IT타워 9층(main office)/2층	031-728-3114	http://www.cadence.com
(주)코아리버	배종홍	서울시 송파구 가락본동 78번지 IT벤처타워 서관 11층	02-2142-3400	http://www.coreriver.com
콘티넨탈 오토모티브 시스템	선우 현	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 솔리드스페이스빌딩	031-697-3800	http://www.conti-automotive.co.kr
클레어픽셀㈜	정헌준	경기도 성남시 분당구 판교로 242 판교디지털센터 A동 301호	031-8060-1440	http://www.clairpixel.com
키움인베스트먼트㈜	박상조	서울특별시 영등포구 여의나루로4길 18 키움파이낸스스퀘어빌딩 16층	02-3430-4800	http://www.kiwoominvest.com/
텔레칩스	이장규	서울특별시 송파구 올림픽로35다길 42 (신천동, 루터빌딩 19층~23층)	02-3443-6792	http://www.telechips.com
(주)티에이치엔	채 석	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
티엘아이	김달수	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
파워큐브세미㈜	강태영	경기도 부천시 오정구 석천로397(부천테크노파크쌍용3차) 103동 901호	032-624-3700	http://www.powercubesemi.com/
페어차일드코리아반도체	김귀남	경기도 부천시 원미구 도당동 82-3	032-671-3842	http://www.fairchildsemi.com
㈜하이브론	이홍섭	인천광역시 부평구 청천동 안남로402번길 25 3층	070-4369-3973	http://www.hivron.com/
한국멘토그래픽스(유)	양영인	경기도 성남시 분당구 판교역로 192번길 12 (삼평동) 판교 미래에셋센터 7층	031-8061-0790	http://www.mentorkr.com
한국애질런트테크놀로지스	김승렬	서울 강남구 역삼로 542, 신사SNG빌딩2층	080-004-5090	http://www.agilent.co.kr
한국인터넷진흥원	백기승	서울시 송파구 중대로 135 (가락동) IT벤처타워	02-405-5118	http://www.kisa.or.kr

회원명	대표자	주 소	전 화	홈페이지
한국전기연구원	박경엽	경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)	055-280-1114	http://www.keri.re.kr
한국전자통신연구원	이상훈	대전광역시 유성구 가정로 218	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한국정보통신기술협회	임차식	경기도 성남시 분당구 분당로 47	031-724-0114	http://www.tta.or.kr
한라비스테온공조	박용환	대전시 대덕구 신일동 1689-1	042-930-6114	http://www.hvccglobal.com
한백전자	진수춘	대전광역시 유성구 대학로 76번안길 35	042-610-1114	http://www.hanback.co.kr
한화탈레스	장시권	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhathales.com
㈜핸즈온테크놀러지	강현웅	서울특별시 강서구 양천로 583, 에이동 1901-1902호 (염창동, 우림블루나인)	02-2608-2633	http://www.ezlab.com
현대로템	김승탁	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스	정명철	서울시 강남구 역삼1동 679-4 서울인터내셔널타워	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대엠엔소프트	차인규	서울시 용산구 원효로74 현대차사옥 9층	1577-4767	http://www.hyundai-mnsoft.com
현대오트론	김재범	경기도 성남시 분당구 판교로 344 엠텍 IT 타워	031-627-0990	http://www.hyundai-autron.com
현대자동차그룹	양웅철	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
현대케피코	박정국	경기도 군포시 고산로 102	031-450-9015	http://www.hyundai-kefico.com
휴먼칩스	손민희	서울시 송파구 가락본동 10 신도빌딩	070-8671-4700	http://www.humanchips.co.kr
휴인스	송태훈	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 670 비-605	031-719-8200	http://www.huins.com
히로세 코리아㈜	이상엽	경기 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr

단체회원 명단

회원명	주 소	전 화	홈페이지
가톨릭대중앙도서관	경기부천시원미구역곡2동산43-1	032-340-3607	
가톨릭상지대학도서관	경북안동시율세동393	032-340-3607	http://www.csangji.ac.kr/~library/
강릉대도서관	강원강릉시지변동산1		http://211.114.218.253/
강원관광대도서관	강원태백시황지동439	033-552-9005	http://www.kt.ac.kr
강원대도서관	강원춘천시효자2동192-1	033-250-9000	http://library.kangwon.ac.kr
경동대도서관	강원고성군토성면봉포리산91-1	033-639-0371	http://www.kyungdong.ac.kr
경주대도서관	경북경주시효현동산42-1	054-770-5051	http://www.kyongju.ac.kr
건국대도서관	서울성동구모진동93-1	02-450-3852	http://www.konkuk.ac.kr
건양대중앙도서관	충남논산시내동산30	041-730-5154	http://lib.konyang.ac.kr
경기대중앙도서관	경기수원시팔달구이의동산94-6	031-240-7135	http://203.249.26.247/
경기공업대도서관	경기시흥시정왕동시화공단3가102	031-496-4571	http://210.181.136.6/
경남대중앙도서관	경남마산시월영동449	055-249-2906	http://library.kyungnam.ac.kr
경도대도서관	경북예천군예천읍청복리947-1	054-650-0143	http://libweb.kyongdo.ac.kr
경북대도서관	대구북구산격동1370	053-955-500 1	http://kudos.knu.ac.kr
경북대전자공학과	대구북구산격동1370	053-950-5506	http://palgong.knu.ac.kr
경운대벽강중앙도서관	경북구미시산동면인덕리55	054-479-1083	http://www.kyungwoon.ac.kr
경일대도서관	경북경산군하양읍부호리33	053-950-7790	http://cham.kyungil.ac.kr
경산대도서관	경북경산시점촌동산75		http://library.ksucc.ac.kr
경상대도서관	경남진주시가좌동900	055-751-5098	http://library.gsnu.ac.kr
경성대도서관	부산남구대연동110-1	051-620-4394	http://kulis1.kyungsung.ac.kr
경희대학교	중앙도서관 경기용인시기흥구서천동1번지	031-201-3219	http://library.khu.ac.kr
고려대과학도서관	서울성북구안암동5가1번지	02-920-1709	http://kulib.korea.ac.kr
고려대서창캠퍼스도서관	충남연기군조치원읍서창동208		http://kuslib.korea.ac.kr
고속도로정보통신공단	경기용인기흥읍공세리260-1	031-280-4230	
공군사관학교도서관	충북청원군남일면쌍수리사서함335-1	043-229-6085	http://www.afa.ac.kr
공군전투발전단무기체계실	충남논산군두마면부남리사서함501-317호	041-506-5260, 5281	
공주대도서관	충남공주시신관동182	041-850-8691	http://knulib.kongju.ac.kr
광명하안도서관	경기광명시하안2동683	031-680-6376	http://www.kmlib.or.kr
광운대도서관	서울노원구월계동447-1	02-918-1021~2	http://kupis.kwangwoon.ac.kr
국민대성곡도서관	서울성북구정릉동861-1	02-910-4200	http://kmulmf.kookmin.ac.kr
김포대학도서관	경기김포시월곶면포내리산14-1	031-999-4126	http://lbr.kimpo.ac.kr
국방대학교도서관	서울은평구수색동205	02-300-2415	
국방제9125부대	서울중앙우체국사서함932호		
국방품질관리연구소정보관리실	서울청량리우체국사서함 276호		http://dqaa.go.kr
국방과학연구소서울자료실	서울송파구송파우체국사서함132호	02-3400-2541	http://www.add.re.kr
방위사업청	서울용산구용산2가동7번지	02-2079-5213	
극동대학교도서관	충북음성군감곡면왕장리산5-14	043-879-3568	http://lib.kdu.ac.kr
금강대학교도서관	충남논산시 상월면 대명리 14-9	041-731-3322	http://lib.ggu.ac.kr
LG정밀(주)제2공장자료실	경기오산시가수동379	031-772-1171(318)	http://www.lginnotek.com
LG정보통신(주)자료실	경북구미시공단동299	054-460-5311	http://www.lge.co.kr
금오공대도서관	경북구미시신평동188-1	054-461-0131~4	http://ran.kumoh.ac.kr
남서울대도서관	충남천안시성환읍매주리21	041-580-2076	http://ness.nsu.ac.kr
단국대도서관	경기도용인시수지구죽전로 152	1899-3700	http://www.dankook.ac.kr

회원명	주 소	전 화	홈페이지
단국대율곡기념도서관	충남천안시동남구단대로 119 (안서동 산29)	041-550-1621	http://dulis.anseo.dankook.ac.kr
대구대도서관	대구남구대명동2288	053-850-2081~6	http://love.taegu.ac.kr
대원공과대학도서관	충북제천시신월동산22-8	043-649-3202	http://lib.daewon.ac.kr
동서울대학도서관	경기성남시수정구복정동423	031-720-2191	http://dlibrary.dsc.ac.kr
대전대도서관	대전동구용운동96-3	042-280-2673	http://libweb.taejon.ac.kr
대전한밭대도서관	대전동구삼성2동305-3	042-630-0616	http://tjdigital.tnut.ac.kr
대전한밭도서관	대전중구문화동145-3	042-580-4255	http://hanbat.metro.taejon.kr
대진대중앙도서관	경기포천군포천읍선단리산11-1	031-535-8201~5	http://library.daejin.ac.kr
대천대도서관	충남보령시주포면관산리산6-7	041-939-3026	http://www.dcc.ac.kr
동강대도서관	광주시 북구 두암동771	062-520-2114	http://dongkang.ac.kr
동국대도서관	서울중구필동3가26	02-260-3452	http://lib.dgu.ac.kr
동서대도서관	부산사상구주례동산69-1	051-320-1640	http://libcenter.dongseo.ac.kr
동아대도서관	부산서구동대신동3가1	051-204-0171	http://av3600.donga.ac.kr
동양대도서관	경북영주시풍기읍교촌동1번지	054-630-1053	http://dyucl.dyu.ac.kr
동양공업전문대학도서관	서울구로구고척동62-160	02-610-1731	http://www.dongyang.ac.kr
동원대학술정보센터	경기광주군실촌면신촌리산1-1	031-763-8541(140)	http://www.tongwon.ac.kr
두원공과대학도서관	경기안성군죽산면장원리678		http://www.doowon.ac.kr
만도기계중앙연구소	경기남양주군와부읍덕소리95	031-768-6211	http://www.mando.com
목원대도서관	대전중구목동24	042-252-9941~50	http://lib.mokwon.ac.kr
목포대도서관	전남무안군청계면도림리61		http://203.234.22.46/
목포해양대도서관	전남목포시죽교동572	061-240-7114	http://lib.miryang.ac.kr
배재대도서관	대전서구도마2동439-6	042-520-5252	http://lib.mmu.ac.kr
부경대도서관	부산남구대연3동599-1	051-622-3960	http://libweb.pknu.ac.kr
부산대도서관	부산금정구장전동산30	051-510-1814	http://pulip.pusan.ac.kr
부산외국어대도서관	부산남구우암동산55-1		http://www.pufs.ac.kr
부천대도서관	경기부천시원미구심곡동454-3	032-610-3272	http://www.bucheon.ac.kr
한국과학기술정보연구원정보자료실	서울동대문구청량리동206-9		http://www.kiniti.re.kr
삼지전자(주)	서울금천구가산동459-21	02-850-8167	
삼척산업대도서관	강원삼척시교동산253	033-570-6278	http://lib.samchok.ac.kr
상명대학교컴퓨터시스템공학전공	충남천안시안서동산98-20	041-550-5356	
상주대도서관	경북상주시가장동386	054-530-5641	http://san.sangju.ac.kr
상지대중앙도서관	강원원주시우산동산41	033-730-0366	http://lib.sangji.ac.kr
생산기술연구원정보자료실	서울금천구가산동371-36	02-850-9142~3	http://www.kitech.re.kr
산업기술시험평가연구소자료실	서울구로구구로동222-13	02-860-1292	http://www.ktl.re.kr
삼성SDI	경기용인시기흥구공세동	031-288-4121	http://www.samsungSDI.co.kr
서강대도서관	서울마포구신수동1-1	02-751-0141	http://loyola1.sogang.ac.kr
서경대도서관	서울성북구정릉동16	02-940-7036	http://lib.seokyeong.ac.kr
서울대도서관	서울관악구신림동산56-1	02-880-5114	http://solarsnet.snu.ac.kr
서울대전기공학부해동학술정보실	서울관악구신림동산56-1	02-880-7278	
서울산업대도서관	서울도봉구공릉동172	02-972-1432	http://cdserver.snut.ac.kr
서울시립대도서관	서울동대문구전농동8-3	02-2245-8111	http://plus.uos.ac.kr
서울여자대도서관	서울노원구공릉2동126	02-970-5305	http://lib.swu.ac.kr
서울통신기술(주)통신연구소	서울강동구성내3동448-11	02-2225-6613	http://www.scommtech.co.kr
선문대도서관	충남아산시탕정면갈산리100	041-530-2525	http://delta.sunmoon.ac.kr
성결대도서관	경기안양시안양8동147-2		http://211.221.247.5
성균관대과학도서관	경기수원시장안구천천동287-1	031-290-5114	http://skksl.skku.ac.kr
성남산업진흥재단(재)	경기성남시수정구수진1동587	031-758-9901	http://www.ked.or.kr
성신여대도서관	서울성북구동선동3가249-1	02-920-7275	http://lib.sungshin.ac.kr

회원명	주 소	전 화	홈페이지
세종대도서관	서울광진구군자동98	02-3408-3098	http://sjulib.sejong.ac.kr
수원대중앙도서관	경기화성군봉담면와우리산2-2	031-232-2101(378)	http://lib.suwon.ac.kr
수원과학대도서관	경기화성군정남면보통리산9-10	031-252-8980	http://www.suwon-sc.ac.kr
순천대도서관	전남순천시매곡동315	061-752-8131	http://203.246.106.33/
숭실대도서관	서울동작구상도1동1-1	02-820-0114	http://oasis.soongsil.ac.kr
안동대도서관	경북안동시송천동388	054-850-5238	http://library.ajou.ac.kr
안산1대학	경기도 안산시 상록구 일동 752	031-400-6900	http://www.ansan.ac.kr
안양대도서관	경기안양시만안구안양5동708-113	031-670-7557	http://www.anyang.ac.kr
안양과학대학도서관	경기안양시만안구안양3동산39-1	031-441-1058~9	http://www.anyang-c.ac.kr
에스씨지코리아(주)	서울강남구대치3동942해성B/D17층	02-528-2700	http://www.onsemi.com
에이치텔레콤(주)	경기도성남시중원구상대원동513-15	031-777-1331	http://www.htel.co.kr
여수대도서관	전남여수시둔덕동산96-1	061-659-2602	http://www.yosu.ac.kr
연세대도서관	서울서대문구신촌동134	02-361-2114	http://library.yonsei.ac.kr
영남대중앙도서관	경북경산시대동214-1	053-882-4134	http://libs.yeungnam.ac.kr
영동공과대학도서관	충북영동군영동읍설계리산12-1	043-740-1071~2	http://210.125.191.101/
오산전문대학도서관	경기오산시청학동17	031-372-1181	http://osanlib.osan-c.ac.kr
(주)오피콤	서울강남구수서동724(로스데일B/D5층)	02-3413-2500	http://www.opicom.co.kr
충북과학대학도서관	충북옥천군옥천읍금구리40	043-730-6251	http://www.ctech.ac.kr
용인대도서관	경기용인시삼가동470	031-30-5444	http://www.yongin.ac.kr
우리기술투자(주)	서울강남구대치동946-14(동원B/D14층)	02-508-7744	http://www.wooricapital.co.kr
우송대중앙도서관	대전동구자양동산7-6	042-630-9668~9	http://pinetree.woosongtech.ac.kr
울산대중앙도서관	울산광역시남구무거동산29	052-278-2472	http://library.ulsan.ac.kr
원광대중앙도서관	전북이리시신룡동344-2	063-850-5444	http://library.wonkwang.ac.kr
(주)원이앤씨	성남구 중원구 상대원동 190-1	031-776-0377	
위덕대학교도서관	경북경주시강동면유금리산50	054-760-1051	http://lib.uiduk.ac.kr
유한대학도서관	경기부천시소사구괴안동185-34		http://ic.yuhan.ac.kr
육군제1266부대연구개발처자료실	부산남구대연동우체국사서함1-19		
육군사관학교도서관	서울노원구공릉동사서함77호	02-975-0064	http://www.kma.ac.kr
육군종합군수학교도서관	대전유성구추목동사서함78-401	042-870-5230	
익산대학도서관	전북익산시마동194-5	063-840-6518	http://library.iksan.ac.kr
이화여대중앙도서관	서울서대문구대현동11-1	02-3277-3137	http://ewhabk.ewha.ac.kr
인제대도서관	경남김해시어방동607번지	055-320-3413	http://ilis1.inje.ac.kr
인천대도서관	인천남구도화동177	032-774-5021~5	http://wlib.incheon.ac.kr
인천전문대도서관	인천남구도화동235		http://www.icc.ac.kr
(주)인텍웨이브	서울구로구구로3동197-17(에이스테크노타워501)	02-3282-1185	http://www.intechwave.com
인하대도서관	인천남구용현동253	032-862-0077	http://library.inha.ac.kr
인하공전도서관	인천남구용현동253	032-870-2091-3	http://library.inhatc.ac.kr
전남과학대학도서관	전남곡성군옥과면옥과리산85	061-360-5050	http://www.chunnam-c.ac.kr
전남대도서관	광주북구용봉동300	062-550-8315	http://168.131.53.95/
호원대도서관	전북군산시임피면월하리727	063-450-7106	http://indang.howon.ac.kr
전주대중앙도서관	전북전주시완산구효자동3가1200	063-220-2160	http://lib.jeonju.ac.kr
우석대학도서관	전북완주군삼례읍후정리490	063-273-8001(206)	http://library.woosuk.ac.kr
제주대도서관	제주제주시아라1동1	064-755-6141	http://chulic.cheju.ac.kr
중부대도서관	충남금산군추부면마전리산2-25	041-750-6571	http://www.joongbu.ac.kr
중앙대도서관	서울동작구흑석동221	02-815-9231	http://www.lib.cau.ac.kr
중앙대안성도서관	경기안성군대석면내리		http://www.alib.cau.ac.kr
창원대학도서관	경남창원시퇴촌동234	055-283-2151	http://lib.changwon.ac.kr
창원시립도서관	창원시반송동산51-5	055-281-6921~2	http://city.changwon.kyongnam.kr

회원명	주 소	전 화	홈페이지
청양대도서관	충남청양군청양읍벽천리90		http://www.cheongyang.ac.kr
청주대도서관	충북청주시상당구내덕동36	043-229-8648	http://wuam.chongju.ac.kr
천안대도서관	충남천안시안서동산85-1		http://moon.chonan.ac.kr
천안공업대자료실	충남천안시부래동275		http://www.cntc.ac.kr
한국철도대학도서관	경기의왕시월암동산1-4	031-454-4019	http://library.krc.ac.kr
초당대도서관	전남무안군무안읍성남리419	061-450-1901~3	http://library.chodang.ac.kr
충북대도서관	충북청주시개신동산48	043-261-3114~9	http://cbnul.chungbuk.ac.kr
충주대도서관	충북중원군이류면검단리123	043-842-7331~5	http://chains.chungju.ac.kr
탐라대도서관	제주서귀포시하원동산70	064-735-2000	http://www.tamna.ac.kr
특허청심사4국전자심사담당관실	대전서구둔산동920 042-481-5673		
포항공과대학도서관	경북포항시포항우체국사서함125호	054-275-0900	http://www.postech.ac.kr
한경대도서관	경기안성시석정동67	031-670-5041	http://www.hankyong.ac.kr
하남시립도서관	경기하남시신장동520-2	031-790-6597	http://hanamlib.go.kr
한국정보통신기능대학원	경기광주시 역동 181-3	031-764-3301	http://www.icpc.ac.kr
한국과학기술원과학도서관	대전유성구구성동373-1	042-861-1234	http://darwin.kaist.ac.kr
한국과학기술연구원도서관	서울성북구하월곡동39-1	02-962-8801(2418)	http://161.122.13.12/
한국기술교육대학도서관	충남천안군병천면가전리산37	041-560-1253~4	http://dasan.kut.ac.kr
한국방송통신대학도서관	서울종로구동숭동169	02-7404-381	http://knoulib.knou.ac.kr
한국산업기술대도서관	경기시흥시정왕동사화공단3가101	031-496-8002	http://www.kpu.ac.kr
한국산업기술평가원	서울강남역삼동701-7(한국기술센타11층)	02-6009-8034	http://www.itep.re.kr
한국외국어대용인캠퍼스도서관	경기용인군왕산리산89	031-309-4130	http://weblib.hufs.ac.kr
한국전력기술(주)	경기도용인시구성읍마북리 360-9	031-289-4015	http://www.kopec.co.kr
한전전력연구원기술정보센터	대전유성구문지동103-16	042-865-5875	http://www.kepri.re.kr
한국전자통신연구원도서실	대전유성구가정동161	042-860-5807	http://www.etri.re.kr
한국조폐공사기술연구소기술정보실	대전유성구가정동90	042-823-5201(592)	http://www.komsep.com
한국철도기술연구원자료실	경기의왕시월암동374-1	031-461-8531	http://www.krri.re.kr
한국항공대도서관	경기고양시화전동200-1	031-309-1862	http://210.119.25.2/
한국항공우주연구소기술정보실	대전유성구어은동52	042-868-7811	http://www.kari.re.kr
한국해양대도서관	부산영도구동삼동1	051-414-0031	http://kmulib.kmaritime.ac.kr
한동대도서관	경북포항시북구흥해읍남송리3		http://salt.handong.edu
한세대도서관	경기군포시당정동604-5	031-450-5165	http://lib.hansei.ac.kr
한양대도서관	서울성동구행당동17	02-209-2114	http://library.hanyang.ac.kr
한양대안산도서관	경기안산시대학동396	031-869-2111	http://information.hanyang.ac.kr
해군제9135부대군수발전부표준규격과	경남진해시현동사서함2호		
해군사관학교도서관	경남진해시앵곡동사서함1-1		http://www.navy.ac.kr
해군정비창기술연구소	경남진해시현동사서함602-3호	055-549-3602	
현대자동차기술관리부	정보자료실 경남울산시중구양정동700		http://www.hyundai-motor.com
SK 하이닉스 메모리연구소정보자료실	경기이천군부발읍아미리산136-1	031-630-4514	
협성대학술정보관	경기화성군봉담읍상리8-1	031-299-0658	http://hulins.hyupsung.ac.kr
혜전대도서관	충남홍성군홍성읍남장리산16	041-630-5167	http://www.hyejeon.ac.kr
한라대학	강원원주시흥업면흥업리산66	031-760-1184	http://lib.halla.ac.kr
한서대도서관	충남서산군해미면대곡리360	041-660-1114	http://library.hanseo.ac.kr
호남대도서관	광주광산구서봉동59-1	062-940-5183	http://library.honam.ac.kr
호서대도서관	충남아산군배방면세출리산29-1	041-540-5080~7	http://library.hoseo.ac.kr
홍익대도서관	서울마포구상수동72-1	02-334-0151(409)	http://honors.hongik.ac.kr
홍익대문정도서관	충남연기군조치원읍신안동	041-860-2241	http://shinan.hongik.ac.kr
대구효성가톨릭대도서관	경북경산시하양읍금락1리330	053-850-3264	http://lib.cataegu.ac.kr

박사학위 논문초록 게재 안내

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

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

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130
서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 신관 907호)
사무국 회지담당자앞
E-mail : edit@theieie.org
TEL : (02)553-0255(내선 3) FAX : (02)552-6093

대한전자공학회
IEIE The Institute of Electronics and Information Engineers

이 학술지는 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 출판되었음.

전자공학회지 〈월간〉 제43권 제10호(통권 제389호) The Magazine of the IEIE

2016년 10월 20일 인쇄
2016년 10월 25일 발행

발행및 **(사) 대한전자공학회** **회장 구 용 서**
편집인
인쇄인 **한림원(주)** **대표 김 흥 중**
발행인 **사단법인 대 한 전 자 공 학 회**
(우)06130 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 신관 907호)
TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)552-6093
E-mail : ieie@theieie.org
Homepage : http://www.theieie.org
씨티은행 102-53125-258
지로번호 7510904

LG전자

새로움을 플레이하다

LG V20

DIME 대전마케팅공사
Daejeon International Marketing Enterprise

당신이 원하는 국제회의 개최 최적지!

MICE DAEJEON

대전마케팅공사는
각종 국제회의 유치에서 개최까지
체계적인 지원서비스를 제공합니다.

01 국제회의 유치 지원

- 국제회의 유치 자문
- 한국 및 대전 관광홍보물 제공
- 유치제안서 작성 및 제작 지원
- 홍보물 제작지원 : 영상물, PT, 리플릿
- 국제기구 인사의 방한 답사 지원
- 유치 프리젠테이션 등 유치 마케팅 활동 지원

02 해외 홍보 지원

- 홍보관 운영 지원
- 각종 홍보물 제작 지원
  - 기념품, 행사리플릿 등
- 참가자 증대를 위한
  전차대회 참가시 개최 홍보

03 성공적 개최 지원

- 외국인 참가규모 고려하여 현물 지원
  (임차료, 만찬, 숙박, 수송, 관광프로그램 등)
- 행사 성격에 따른 특별지원 가능

대전이 달라집니다!

2019 | 사이언스컴플렉스 완공
(호텔, 레저, 복합문화 쇼핑몰)

2021 | 대전컨벤션센터 증축

www.dcckorea.or.kr | spark@dime.or.kr | 042-250-1324