

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.57>

JIIBC 2022-3-9

밀리미터파 추적레이더 운용 알고리즘 연구를 위한 RAW 데이터 저장 장비 개발

Development of RAW Data Storage Equipment for Operation Algorithm research of the Millimeter Wave Tracking Radar

최진규*, 나경일**, 신영철***, 홍순일***, 김윤진*, 김홍락*, 주지한*, 김소수**

Jinkyu Choi*, Kyoung-Il Na**, Youngcheol Shin***, Soonil Hong***,
Younjin Kim*, Hongrak Kim*, Jihan Joo*, Sosu Kim**

요약 최근 추적 레이더는 다양한 환경에서 표적을 획득하고 추적할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하기 위한 연구를 지속하고 있다. 일반적으로 새로운 운용 알고리즘 개발을 위해 실제 표적 및 환경과 유사한 모델링을 사용하지만, 실제 환경을 모델링하는데 한계가 있다. 본 논문에서는 밀리미터파를 사용하는 추적레이더가 표적을 획득하고 추적하는데 필요한 새로운 운용 알고리즘을 효율적으로 개발하기 위해 RAW 데이터 저장 장비를 개발하였다. RAW 데이터 저장 장비는 밀리미터파를 사용하는 추적레이더의 신호처리장치 8채널에서 OOMSPS로 출력하는 RAW 데이터를 실시간으로 저장할 수 있도록 설계하였다. RAW 데이터 저장 장비는 데이터 획득 장비, 데이터 저장 장비로 구성된다. 데이터 획득 장비는 고속통신 인터페이스가 가능한 상용 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT를 활용하여 구현하였고, 데이터 저장장비는 상용 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT 호환이 가능한 컴퓨터를 적용하여 구현하였다. 본 논문에서 구현한 RAW 데이터 저장 장비는 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치와 반복 연동시험을 통해 성능을 검증하였다.

Abstract Recently, the tracking radar continues research to develop a new operation algorithm that can acquire and track a target in various environments. In general, modeling similar to the real target and environment is used to develop a new operation algorithm, but there is a limit to modeling the real environment. In this paper, a RAW data storage device was developed to efficiently develop a new operation algorithm required for the tracking radar using millimeter wave to acquire and track the target. The RAW data storage equipment is designed so that the signal processing device of the tracking radar using millimeter wave can save the RAW data output from 8 channels to OOMSPS. RAW data storage equipment consists of data acquisition equipment and data storage equipment. The data acquisition equipment was implemented using a commercial Xilinx KCU 105 Evaluation KIT capable of high-speed data communication interface, and the data storage equipment was implemented by applying a computer compatible with the commercial Xilinx KCU 105 Evaluation KIT. In this paper, the performance of the implemented RAW data storage equipment was verified through repeated interlocking tests with the signal processing device of the millimeter wave tracking radar.

Key Words : RAW data, Radar, signal processor, RAW data storage equipment

*정회원, LIG넥스원(주)

**정회원, 국방과학연구소

***정회원, 넵코어스

접수일자 2022년 5월 3일, 수정완료 2022년 6월 3일

게재확정일자 2022년 6월 10일

Received: 3 May, 2022 / Revised: 3 June, 2022 /

Accepted: 10 June, 2022

*Corresponding Author: jinkyuch@lignex1.com

LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

I. 서 론

최근 추적 레이더는 다양한 클러터 환경에서도 표적을 획득하고 추적할 수 있는 새로운 알고리즘 개발을 위한 연구에 관심을 가지고 있다. 이러한 연구를 수행하기 위해 복잡한 클러터 환경에 대한 모델링을 이용한 연구를 수행하지만 실제 환경을 정확히 모사하는데 한계가 있다. 또한 이러한 모델링을 통해 개발된 알고리즘을 시스템에 적용하였을 때 모델링의 한계에 의해 발생하는 시행착오가 발생하며, 이러한 시행착오를 개선하기 위해서는 여러 관련분야에서 많은 노력이 필요하다. 본 논문에서는 밀리미터파를 사용하는 추적레이더가 표적을 획득하고 추적하는데 필요한 새로운 운용 알고리즘을 개발하는데 시행착오를 줄이고, 효율적으로 개발하기 위해 Raw 데이터 저장 장비를 개발하였다.

밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치는 8채널로 입력되는 RF신호를 OOMSPPS로 실시간 처리하여 표적을 획득하고 추적한다. 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치는 Raw데이터 저장 장비 개발을 고려하여, 신호처리장치에서 처리한 고속의 대용량의 Raw 데이터를 Raw 데이터 저장 장비에 실시간으로 전송하기 위해 5Gbps의 속도를 갖는 SRIO(serial rapid IO) 인터페이스를 8lane 구현하였다.^[1] 본 논문에서 구현한 Raw 데이터 저장 장비는 Raw 데이터 획득장비와 데이터 저장장비로 구성된다.

Raw 데이터 획득 장비는 SRIO 인터페이스 보드와 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT로 구성되어 있다. SRIO 인터페이스 보드는 신호처리장치에서 출력되는 인터페이스와 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT의 서로 다른 인터페이스 컨넥터의 핀맵을 연결해주는 역할을 수행한다. Xilinx KCU 105 Evaluation KIT는 신호처리장치에서 SRIO 통신으로 출력되는 고속의 대용량의 데이터를 수신하여 PCIe 통신을 사용하는 데이터 저장장비로 전송하는 역할을 수행한다.

데이터 저장장비는 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT에서 PCIe 인터페이스로 고속 데이터 쓰기가 가능한 NVME SSD 메모리 인터페이스가 가능한 PC로 구성하였다. 또한 UI 설계 및 데이터 분할 도구를 활용하여 저장한 데이터를 후처리를 통해 운용 알고리즘에 활용할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 설계한 Raw 데이터 획득 장비는 밀리미터파 추적레이더 신호처리장치와 반복 연동시험을 통해 성능을 확인 하였다.

II. RAW 데이터 저장 장비 구현

본 절에서는 밀리미터파 추적 레이더가 표적을 획득하고 추적하는데 필요한 새로운 알고리즘을 개발하는데 필요한 대용량 RAW 데이터 저장 장비의 기능을 정리하고, 구현을 위한 방안을 제시하였다.

1. RAW 데이터 저장 장비 기능

밀리미터파 추적레이더가 표적을 획득하고 추적하기 위한 새로운 운용 알고리즘 적용에 시행착오를 줄이고, 효율적으로 개발하기 위해 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치에서 처리하는 실제 표적의 RAW 데이터를 획득하고 저장하여 활용할 수 있는 RAW 데이터 저장장비가 필요하다. 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치는 이러한 점을 고려하여 신호처리장치에서 처리하는 RAW 데이터를 외부에 송신 할 수 있도록 하였다. 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치에서는 8채널에서 수신한 신호를 고성능 ADC를 활용하여 OOMSPPS의 샘플링과 ADC 내부의 DDC 처리 후 FPGA로 전송한다. FPGA에 전송된 데이터는 Window 및 FFT와 같은 전처리 없이 ADC에서 수신한 고속의 대용량 데이터를 RAW 데이터 전송 인터페이스 모듈을 통해 RAW 데이터 저장장비로 전송한다. RAW 데이터 저장 장비는 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치에서 수신한 데이터를 데이터 획득 장비를 거쳐 데이터 저장 장치에 저장하는 기능을 한다.^[4]

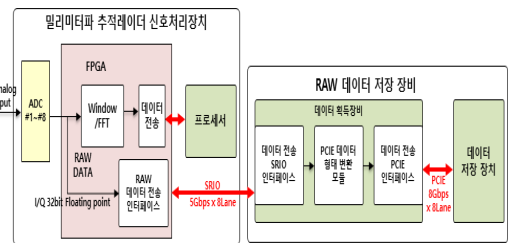


그림 1. RAW 데이터 저장 장비 기능
Fig. 1. Features of RAW data storage equipment

2. RAW 데이터 저장 장비 설계

본 절에서는 밀리미터파 추적레이더의 운용 알고리즘 개발을 위한 RAW 데이터 저장 장비를 구현하기 위한 방안을 정리하였다. RAW 데이터 저장 장치는 데이터 획득 장비와 데이터 저장 장치(PC)로 구성되며, 그림 2와 같다. 데이터 획득 장비는 SRIO 인터페이스 보드와

XILINX KCU 105 Evaluation KIT로 구성되고, 데이터 저장 장비는 PCIe Gen3 인터페이스를 사용하여 XILINX KCU 105 Evaluation KIT에서 수신한 고속의 대용량 데이터를 저장할 수 있는 PC로 설계하였다.

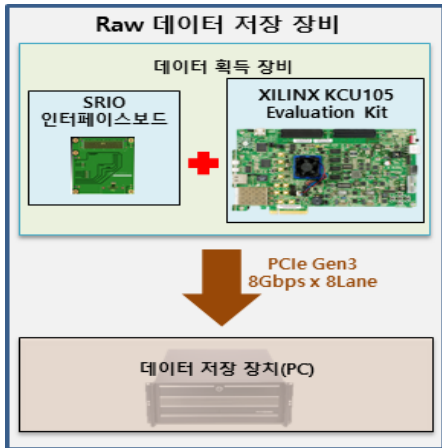


그림 2. Raw 데이터 저장 장비 구성
 Fig. 2. Configuration of RAW data storage equipment

가. 데이터 획득 장비

데이터 획득 장비는 밀리미터파 추적레이더 신호처리 장치에서 송신하는 고속의 대용량 Raw 데이터를 받아 데이터 저장 장비(PC)가 Raw 데이터를 저장 할 수 있도록 연결해주는 역할을 수행한다. 데이터 획득 장비는 SRIO 인터페이스 보드와 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT를 사용하여 설계하였다. SRIO 인터페이스 보드는 밀리미터파 추적레이더와 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT 사이의 연결된 인터페이스를 호환 시켜주는 역할을 수행한다. Xilinx KCU 105 Evaluation KIT는 밀리미터파 추적 레이더의 신호처리장치에서 SRIO 통신으로 전송하는 고속의 대용량 데이터를 받아 데이터 저장 장치에 전송하여 저장할 수 있도록 하는 역할을 수행한다. Xilinx KCU 105 Evaluation Kit의 기능은 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT에 탑재되어 있는 FPGA를 활용하여 구현하였으며, 기능 블록도는 그림 3과 같다.

데이터 전송 SRIO 인터페이스는 밀리미터파 추적 레이더의 신호처리장치와 데이터획득장비의 SRIO 인터페이스 초기화 및 연결 상태를 확인하고, 신호처리장치에서 SRIO로 송신하는 데이터를 받는 역할을 수행하고, PCIe 데이터 형태 변환 모듈은 SRIO로 수신한 데이터를 PCIe 통신으로 데이터 저장장치에 송신하기 위해 PCIe

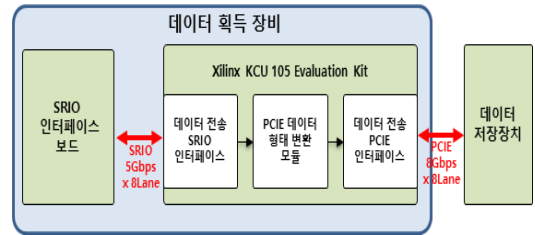


그림 3. 데이터 획득 장비 블록도
 Fig. 3. Block diagram of data acquisition equipment

데이터 형태로 변환하는 모듈이다. 그리고 데이터 전송 PCIe 인터페이스는 밀리미터파 추적 레이더의 신호처리 장치에서 받은 데이터를 PCIe 통신으로 데이터 저장장치에 전송하는 역할을 수행한다.

나. 데이터 저장 장치

데이터 저장장치는 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT에서 수신한 데이터를 저장하는 장치이다. 데이터 저장장치의 구성은 고속의 대용량 데이터를 저장할 수 있는 NVME SSD 메모리와 데이터 획득을 운영할 수 있는 S/W로 구성되어 있다.

표 1. 데이터 저장 장치의 HW 구성

Table 1. HW configuration of data storage equipment

순번	주요사항 항목	상세 성능	비고
1	CPU	INTEL i9-10900X(3.7GHz) 코어 10세대	
2	M/B	ASUS ROG RAMPAGE VI EXTREME ENCORE	
3	RAM	삼성 DDR 32G PC4-25600(8GX4)	
4	SSD	삼성 980 PRO series 1TB	OS용
5	SSD	삼성 970 PRO series 2TB	실시간 데이터 저장용
6	HDD	WD ULTRASTAR HDD DC HC330 10TB	데이터 백업용

데이터 저장장치의 사양은 표 1과 같다. 데이터 획득 장비에서 PCIe에서 수신된 고속의 대용량 데이터의 저장을 위해 저장 속도가 빠른 NVME SSD 메모리와 MVNE SSD 메모리에 저장된 데이터 백업을 위해 10TB 용량의 메모리를 별도로 구성하였다. 구현 후 데이터 백업 메모리를 통해 데이터 저장을 시도했지만 데이터 손실 발생을 확인 할 수 있었다.

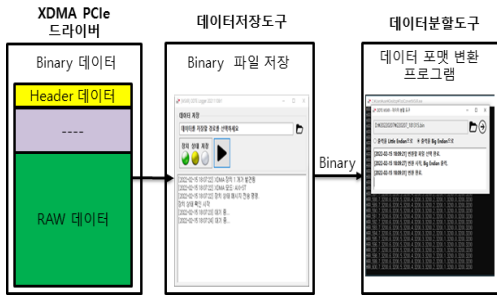


그림 4. 데이터 저장 장치의 운용 SW 구성
Fig. 4. Operation SW configuration of data storage equipment

데이터 저장장치의 운용 S/W는 XDMA PCIe 드라이버, 데이터 저장 도구, 데이터 분할 도구로 구성되며, 그림 4와 같은 흐름으로 데이터를 저장하고 처리한다.

XDMA PCIe드라이버는 데이터 저장장치의 PCIe 슬롯에 연결된 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT를 연결하는 드라이버로 Xilinx KCU 105 Evaluation KIT와 데이터 저장장치의 초기화 및 데이터 전송을 호환시켜주는 역할을 수행한다. Xilinx KCU 105 Evaluation KIT에서 수신한 데이터는 Header와 RAW 데이터 구조로 Binary 데이터로 이루어져 있다. Header에는 밀리미터파 추적레이더의 운용 정보와 데이터 획득장비와 밀리미터파 추적레이더 연결 상태 등의 정보를 포함하고 있다. Header의 정보는 수집한 Raw 데이터를 활용한 알고리즘 개발 및 데이터를 분석할 때 활용할 수 있도록 하였다. 데이터 저장 도구는 RAW 데이터 저장 장비를 운용하는 역할을 수행한다. 데이터 저장 도구는 밀리미터파 추적 레이더의 신호처리장치와 데이터 획득 장치의 SRIO 통신 연결 상태를 확인하고, 데이터 획득 장치와 데이터 저장장치의 PCIe 슬롯 연결 상태를 확인하여 데이터 수신 가능 상태를 확인 할 수 있도록 한다. 또한 XDMA PCIe 드라이버를 통해 수신되는 Binary 파일의 저장경로를 설정, 데이터 저장 시작, 데이터 저장 정지등의 기능을 가지고 있다. 데이터 분할 도구는 데이터 저장 완료 후 통합되어 있는 RAW 데이터를 밀리미터파 추적 레이더 신호처리장치에서 수신한 신호를 신호처리장치의 채널별로 real, image로 분류하여 저장하는 역할을 수행한다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 RAW 데이터 저장장비를 구현한 결과이다.

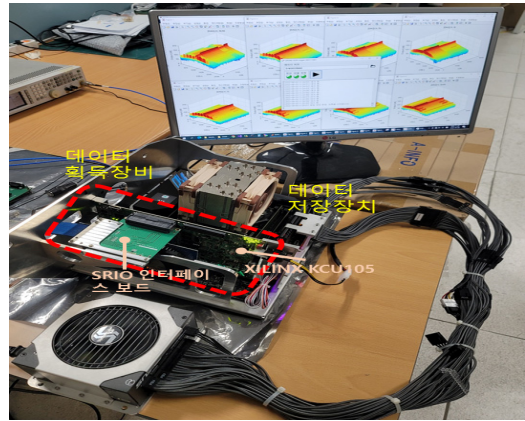


그림 5. RAW 데이터 저장장비 구현 결과
Fig. 5. Implementation result of RAW data storage equipment

III. 성능시험

본 절에서는 밀리미터파 추적레이더의 운용 알고리즘 개발을 위해 구현한 RAW 데이터 저장 장비의 성능을 검증하였다. RAW 데이터 저장 장비의 성능은 밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치와 연동 시험을 통해 확인하였다.

밀리미터파 추적레이더의 신호처리장치와 연동 시험은 신호처리장치의 성능 시험 항목 중에 도플러 주파수 측정 시험의 일부를 연동하여 RAW 데이터 저장 장비에서 획득한 데이터를 후처리한 결과와 신호처리장치에서 획득한 결과를 비교하여 확인하였다. 신호처리장치는 데이터 저장 공간이 부족하여 실시간 데이터 처리를 통해 필요한 정보를 획득하고 다음 데이터 처리를 위해 이전 데이터 처리에 사용했던 메모리 영역을 다시 사용하기 때문에 운용 중에 한 주기 획득한 데이터만 확인 할 수 있다. 그래서 반복 연동시험을 통해 RAW 데이터 저장장치의 성능 확인이 필요하다. 그림 6은 RAW 데이터 저장 장비와 신호처리장치의 연동시험에서 신호처리장치에서 획득한 데이터를 정리한 결과이다.^[4]

그림 7은 RAW 데이터 저장 장비와 신호처리장치의 연동시험에서 RAW 데이터 저장 장비의 후처리 결과이다. 반복 시험에서 그림 6과 7 결과와 유사한 결과가 반복됨을 확인하였다.

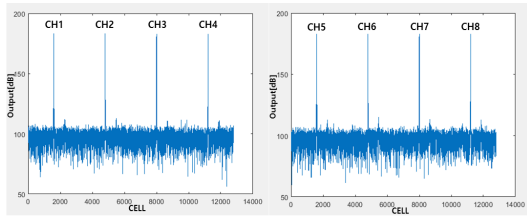


그림 6. 연동시험에서 신호처리장치 획득 결과
 Fig. 6. Signal processing unit acquisition result in Interlocking test

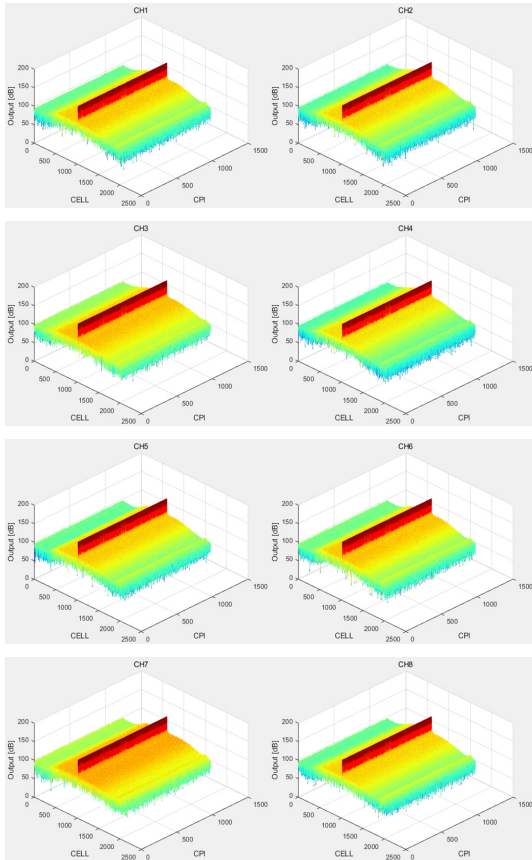


그림 7. 연동시험에서 RAW 데이터 저장 장치 후처리 결과
 Fig. 7. Post-processing result of RAW data storage device in Interlocking test

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 추적레이더의 새로운 알고리즘 개발 및 시험결과 분석을 위한 RAW 데이터 저장장치를 구현하였다. RAW 데이터 저장장치는 밀리미터

파 추적레이더에서 고속의 대용량 RAW 데이터를 받아 실시간으로 저장할 수 있도록 구현하였다. 구현한 RAW 데이터 저장 장치는 밀리미터파 추적레이더의 신호처리 장치와 반복 연동시험을 통해 성능을 검증하였다.

본 논문에서 구현한 RAW 데이터 저장 장치는 밀리미터파 추적레이더에만 제한되어 활용할 수 있다. 밀리미터파 추적레이더 외에 RAW 데이터 저장장치가 필요한 시스템에 활용 가능하도록 RAW 데이터 저장장치의 데이터 획득 장비 규격화 및 확장성에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

References

- [1] RODGER E. ZIEMER, WILLAM H. TRANTER, D. RONALD FANNIN, "Signals and Systems", Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1983.
- [2] Jongbok Lee, "Performance Study of Multicore Digital signal Processor Architecture", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 13, No. 4, pp. 171-177, August 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2013.13.4.171>
- [3] Suji Yoon, Heejin Park, Kyungwoon cho, Hyokyung Bahn, "Optimization Techniques for power-saving in Real-Time IoT Systems using Fast Storage Media", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 21, No. 6, pp.71-76, December 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.6.71>
- [4] Hong-Rak Kim, Jin-Ho Park, Kyoung-il Kim, Da-Been Lee, "Design of infrared image storage board for outdoor testing", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 21, No. 5, pp161-166, October 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.5.161>
- [5] Sungyong Ahn, "Implementation of Light-weight I/O Stack for NVMe-over-Fabrics", International Journal of Advanced Smart Convergence(IJASC), Vol. 9, No. 3, pp. 253-259, September 2020.
DOI: [10.7236/IJASC.2020.9.3.253](https://doi.org/10.7236/IJASC.2020.9.3.253)
- [6] Seong-Chae Lim, "FlashEDF: An EDF-style Scheduling Scheme for Serving Real-time I/O", Journal of Internet, Broadcasting and Communication(IJIBC), Vol. 10, No. 3, pp. 26-34, October 2018
DOI: <https://doi.org/10.7236/IJIBC.2018.10.3.26>
- [7] Xilinx, "DMA/Bridge Subsystem for PCI Express v4.0", Product Guide, Dec 2017.
<https://www.xilinx.com/products/intellectual-property/pcie-dma.html>

저 자 소 개

최 진 규(정회원)



- 2004년 8월 : 원광대학교 전기전자 공학과(공학사)
- 2006년 8월 : 충남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2006년 8월 ~ 2008년 10월 : 한국해양연구원
- 2008년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

나 경 일(정회원)



- 2004년 2월 : 경북대학교 센서공학과(공학석사)
- 2009년 3월 : (프) 그로노블 공대 전자공학과(공학박사)
- 2010년 5월 ~ 2013년 8월 : 한국전자통신연구원, 선임연구원
- 2013년 9월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

신 영 철(정회원)



홍 순 일(정회원)



- 2011년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
- 2013년 8월 : 충북대학교 제어로봇공학과(공학석사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 덕산넵코스(주) 선임연구원
- 주요관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 하드웨어 설계, 레이더 신호처리

- 2013년 2월 : 한밭대학교 전파공학과(공학사)
- 2015년 8월 : 한밭대학교 전파공학과(공학석사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 덕산넵코스(주) 선임연구원
- 주요관심분야 : 디지털 신호처리, 고속 병렬 데이터 처리, 레이더 신호처리

김 윤 진(정회원)



- 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부(공학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG 넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 추적 레이더

김 흥 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기 컴퓨터학부(공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 밀리미터파 신호처리, 전원공급기, 밀리미터파 추적 레이더

주 지 한(정회원)



- 2002년 8월 : 광운대학교 전파공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과(공학박사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원(주)수석연구원
- 주요관심분야 : 초고주파 및 밀리미터파 시스템, RF 추적 레이더

김 소 수(정회원)



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
- 1996년 1월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
- 주요관심분야 : 초고주파