

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.6.185>

JIIBC 2023-6-27

밀리미터파 추적레이더 송·수신 구성품의 적용성 검증을 위한 신호획득장치 개발

Development of a Signal Acquisition Device to Verify the Applicability of Millimeter Wave Tracking Radar Transmission and Receiving Components

최진규*, 신영철**, 홍순일**, 류한춘*, 김홍락*, 주지한*

Jinkyu Choi*, Youngcheol Shin**, Soonil Hong**,
Han-Chun Ryu*, Hongrak Kim*, Jihan Joo*

요약 최근 추적레이더는 다양한 환경에서 높은 해상도로 표적의 정보를 획득하기 위한 밀리미터파 추적레이더의 개발을 요구한다. 밀리미터파 추적레이더의 개발은 밀리미터파 추적레이더에 적용할 수 있는 송·수신 구성품의 개발과 동시에 추적레이더의 적용성을 필요로 한다. 개발된 송·수신 구성품의 적용성을 검증하기 위해서는 추적레이더의 운용개념을 적용한 송·수신 구성품을 제어하고, 상태를 확인할 수 있는 신호획득장치의 개발을 요구한다. 본 논문에서는 밀리미터파 추적레이더를 위해 개발된 구성품의 적용성을 확인할 수 있는 신호획득장치를 설계하였다. 구현한 신호획득장치는 수신 신호를 검증하기 위해 4채널에서 입력되는 OOOMMHz의 중심주파수와 OOOMMHz 대역폭의 신호를 실시간으로 처리하기를 요구한다. 또한 추적레이더의 운용개념을 적용한 구성품 제어는 RS422, RS232, SPI 통신과 송수신구간 제어신호 생성으로 제어를 할 수 있도록 설계하였다. 마지막으로 신호획득장치 성능시험으로 구현한 신호획득장치를 검증하였다.

Abstract Recently, tracking radar requires the development of millimeter wave tracking radar to acquire target information with high resolution in various environments. The development of millimeter wave tracking radar requires the development of transmission and receiving components that can be applied to the millimeter wave tracking radar, as well as verification of the applicability of the tracking radar. In order to verify the applicability of the developed transmitting and receiving components, it is necessary to develop a signal acquisition device that can control the transmitting and receiving components using the operating concept of a tracking radar and check the status of the received signal. In this paper, we implemented a signal acquisition device that can confirm the applicability of components developed for millimeter wave tracking radar. The signal acquisition device was designed to process in real time the OOOMMHz center frequency and OOOMMHz bandwidth signals input from 4 channels to verify the received signal. In addition, component control applying the tracking radar operation concept was designed to be controlled by communication such as RS422, RS232, and SPI and generation of control signals for the transmission and receiving time. Lastly, the implemented signal acquisition device was verified through a signal acquisition device performance test.

Key Words : tracking radar, Radar, signal processor, IF receiver

*정회원, LIG넥스원(주)

**정회원, 덕산넵코어스(주)

접수일자 2023년 9월 20일, 수정완료 2023년 11월 2일

게재확정일자 2023년 12월 8일

Received: 20 September, 2023 / Revised: 2 November, 2023 /

Accepted: 8 December, 2023

Corresponding Author: jinkyuch@lignex1.com

LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

I. 서 론

최근 추적레이더는 다양한 환경에서 높은 해상도로 표적을 획득하고, 추적하기 위해 밀리미터파 추적레이더의 개발을 요구한다. 밀리미터파 추적레이더를 개발하기 위해 밀리미터파 추적레이더에 적용할 수 있는 송·수신 구성품의 개발을 필요하다. 또한 개발된 밀리미터파 송·수신 구성품의 성능확인뿐만 아니라 밀리미터파 추적레이더의 적용성을 확인해야한다. 추적레이더의 송·수신 구성품에 대한 적용성을 확인하기 위해서는 송·수신부 제어와 수신신호의 성능을 확인할 수 있는 추적레이더의 신호처리부와 연동시험을 통해 확인할 수 있다.^{[2][4][5]}

본 논문은 밀리미터파 추적레이더를 위해 개발된 송·수신 구성품의 적용성을 검증하는데 필요한 신호처리부와 유사한 기능을 갖는 신호획득장치의 설계 및 구현에 대해 정리하였다. 본 논문에서 언급한 신호획득장치는 추적레이더의 운용 개념을 적용한 송·수신 구성품을 제어할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다. 동시에 추적레이더의 운용 개념을 적용한 수신 구성품의 출력 신호를 획득하고, 처리하여 수신기에서 출력되는 신호의 성능 및 적용성을 검증할 수 있어야 한다.

본 논문에서 언급한 신호획득장치는 수신기에서 출력되는 신호의 성능을 확인하기 위해 4채널의 수신 신호를 동시에 획득하여 처리할 수 있도록 설계하였다. 또한 검증 대상 수신기에서 출력되는 IF 신호의 유동적인 주파수에 대처할 수 있도록 디지털 IF 수신기를 적용하여 설계하였다. 광대역의 IF 신호를 처리할 수 있는 디지털 IF 수신기를 설계하기 위해 OOOMSPS를 처리할 수 있는 고성능 ADC (Analog-to-Digital Converter)와 FPGA (Field Programmable Gate Array)를 적용하였다. 그리고 고성능 멀티코어 프로세서를 적용하여 4채널의 대용량 데이터를 동시에 처리하여 표적을 탐색하고, 추적하기 위한 정보를 추출할 수 있도록 설계하였다. 또한 운용개념을 적용한 송·수신 구성품 제어를 위해 RS422, RS232, SPI와 같은 통신과 송신 구간 제어 신호와 동기를 갖는 수신구간 제어 신호등을 생성하는 기능을 구현하였다. 마지막으로 구현한 신호획득장치는 성능시험 항목인 수신신호 획득시험, 통신시험, 송·수신 구간 제어신호 생성시험 등으로 성능을 검증하였다.

II. 신호획득장치 구현

본 절에서는 밀리미터파 추적레이더를 위한 송·수신 구

성품의 성능 확인 및 추적레이더의 적용 가능성을 확인하기 위해 필요한 신호획득장치의 기능을 정리하고, 신호획득장치의 기능을 수행할 수 있는 구현 방안을 정리하였다.

1. 신호획득장치 기능

밀리미터파 추적레이더를 위한 개발한 송·수신 구성품의 추적레이더 적용성을 확인할 수 있는 신호획득장치는 데이터획득부, 운용제어부, 전원공급부로 기능을 분류하고, 구현할 수 있다. 데이터획득부는 수신부에서 입력되는 OOOMMHz의 중심주파수와 OOOMMHz의 대역폭을 갖는 4채널의 RF 신호를 수신하여 운용제어부가 표적의 정보를 획득할 수 있도록 데이터를 전처리하는 역할을 수행한다. 수신부에서 신호획득장치로 입력된 신호는 ADC를 사용하여 이산화하고, FPGA에 설계된 DDC (Digital Down Converter)를 사용하여 주파수하향변환 처리 후 Window, FFT 처리 또는 펄스압축 등의 데이터 전처리 후에 운용제어부의 프로세서에 전달한다. 그림 1은 신호획득장치의 기능도이다.

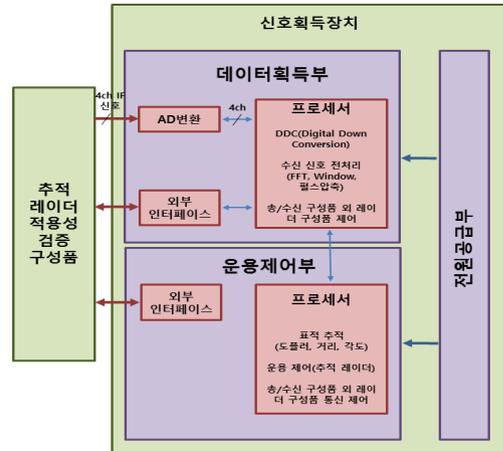


그림 1. 신호획득장치 기능도

Fig. 1. Functional diagram of the signal processor

운용제어부는 데이터획득부에서 수신한 데이터를 할당된 시간 내에 처리하여 표적의 정보를 획득하고, 추적레이더가 표적을 지속적으로 추적할 수 있도록 송·수신 구성품을 포함한 추적레이더의 구성품을 제어하는 역할을 수행한다. 또한 운용제어부는 처리된 데이터를 통제제어기에 데이터를 전송하여, 통제제어기가 상황에 맞게 추적레이더를 제어할 수 있도록 한다. 전원공급부는 5V 전원을 받아 신호획득장치 운용에 필요한 전원을 생성하고 공급해주는 역할을 수행한다.

2. 신호획득장치 설계

본 절에서는 신호획득장치의 기능을 구현하기 위한 방안을 정리하였다. 신호획득장치는 데이터획득부, 운용제어부, 전원부로 구성하였다. 데이터획득부는 수신부에서 입력된 IF 신호를 고성능 ADC를 사용하여 이산화하고, FPGA에 설계한 전처리 모듈은 ADC에서 수신한 데이터를 전처리하여 프로세서가 처리 할 수 있는 데이터로 변환한다. 운용제어부는 밀리미터파 추적레이더가 표적의 정보를 획득하고, 표적을 지속적으로 추적하는데 필요한 표적의 정보처리 및 구성품 제어를 위한 정보를 처리한다. 그리고 전원부는 신호획득장치 운용에 필요한 전원을 공급한다. 그림 2는 신호획득장치의 블록도를 나타낸 것으로 데이터획득부, 운용제어부, 전원부로 구성되어 있으며, 데이터획득부와 운용제어부는 FPGA의 일부를 공유 사용하는 개념으로 설계하였다.

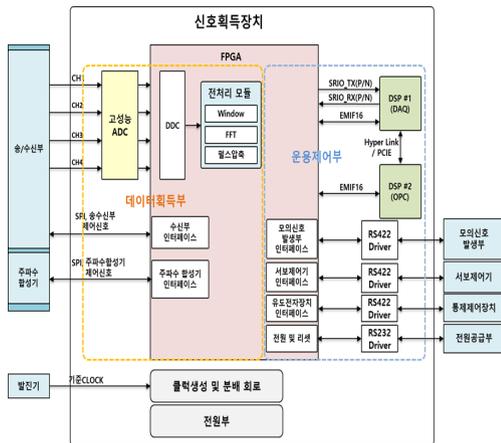


그림 2. 신호획득장치 블록도
 Fig. 2. Block diagram of the signal acquisition device

가. 데이터획득부

본 절은 신호획득장치의 데이터획득부 설계에 대해 정리하였다. 데이터획득부는 수신부에서 입력되는 OOOMHz의 중신주파수와 OOOMHz의 대역폭을 갖는 IF 신호를 받아 프로세서에서 표적을 획득하고, 추적하기 위한 정보를 추출할 수 있도록 신호를 전처리하는 역할을 수행한다. 데이터획득부의 전처리는 주파수하향변환, Window, FFT, 펄스압축처리가 있고 추적레이더의 운용모드에 따라 다른 전처리 기능을 수행한다. 본 논문에서 설계한 데이터획득부는 수신부에서 입력되는 IF신호를 처리하기 위한 디지털 IF 수신기를 설계하였으며, 디지털 IF 수신

기의 블록도는 아래 그림 3과 같다. 데이터획득부에 적용한 디지털 IF 수신기는 고성능 ADC에서 OOOMSPS로 이산화하고, ADC내부의 DDC를 이용하여 1차 주파수하향변환 처리하여 데이터를 FPGA에 전송한다. FPGA는 수신한 데이터를 운용모드에 따라 2차, 3차 주파수하향변환 처리하는 디지털 IF수신기를 구현하였다.

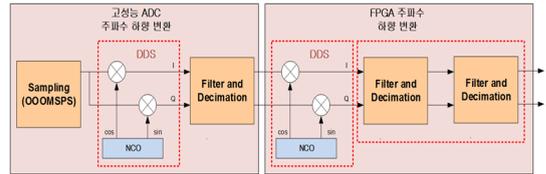


그림 3. 디지털 IF 수신기 블록도
 Fig. 3. Block diagram of the digital IF receiver

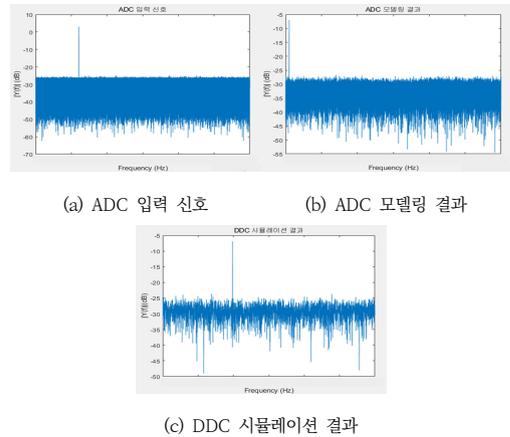


그림 4. 디지털 IF 수신기 시뮬레이션 결과
 Fig. 4. Simulation result of the digital IF receiver

본 논문에서 설계한 디지털 IF 수신기는 ADC의 모델링과 DDC의 시뮬레이션을 통한 검증으로 구현하였다. 그림 4는 디지털 IF 수신기의 시뮬레이션 결과로 (a)는 ADC 입력신호, (b)는 ADC 모델링, (c)는 DDC 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 계산값과 동일한 결과를 확인함으로써 설계된 디지털 IF 수신기를 검증하였다.

데이터획득부는 디지털 IF 수신기의 데이터 처리가 끝난 후에 Window, FFT, 펄스압축의 전처리 과정을 거쳐 운용제어부에 데이터를 전달하는 역할을 수행한다. 또한 데이터획득부는 추적레이더의 송·수신 구간 제어를 신호 생성 기능이 필요하다. 송·수신 구간 제어를 하기 위한 신호는 FPGA에서 데이터획득 시간과 동기를 맞추어 생성할 수 있도록 구현하였다.

나. 운용제어부

운용제어부는 그림 2에서와 같이 데이터획득부에서 수신한 데이터를 처리하여 표적의 거리, 속도, 각도 정보를 획득하고, 추적레이더가 지속적으로 표적을 획득하고 추적할 수 있는 알고리즘을 운용하는 역할을 수행한다. 이러한 운용제어부의 기능을 수행하기 위해 고속의 대용량 데이터를 실시간으로 처리할 수 있도록 8core, 1.25GHz의 처리속도를 갖는 고성능 멀티코어 프로세서 2개를 적용하여 구현하였다. 운용제어부의 고성능 프로세서는 획득한 표적의 정보를 사용하여 표적을 추적할 수 있도록 추적레이더의 구성품에 제어 명령을 전달한다. 구성품에 제어 명령은 프로세서의 EMIF 통신으로 FPGA에 전달하고, FPGA는 각 구성품과 약속된 ICD로 RS422, SPI 등의 통신으로 추적레이더의 구성품 제어 명령을 전달한다.

다. 전원부

전원부는 밀리미터파 추적레이더의 전원공급기에서 DC 5V 전압을 입력받아 신호획득장치의 운용에 소요되는 전원을 생성하고, 공급하는 역할을 수행한다. 아래 그림5는 신호획득장치에서 소요되는 전원을 구분한 블록도를 나타내었다. 전원부는 5V 전원을 입력받아 0.95V, 1.0V, 1.2V, 1.5V, 1.8V, 2.5V, 3.3V 전원을 생성한다. 대용량의 전력이 소요되는 FPGA 및 프로세서는 별도의 DC-DC를 선정하여 전력을 충분히 공급할 수 있도록 설계하였다.

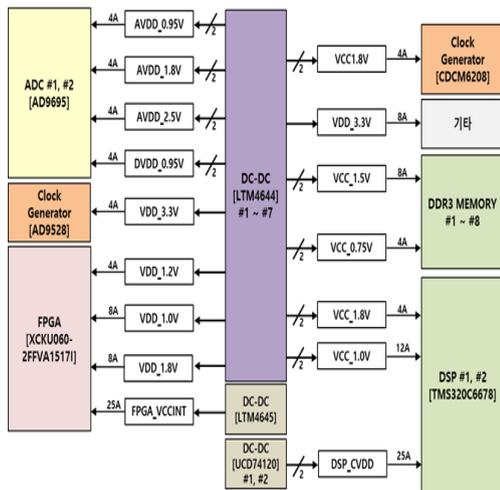


그림 5. 전원보드 블록도
Fig. 5. Block diagram of the Power Board

III. 신호획득장치 성능시험

본 절에서는 구현한 신호획득장치의 성능 확인을 위한 시험에 대해 정리하였다. 신호획득장치의 성능확인 시험은 수신신호처리 성능확인을 위한 수신동적영역 시험 및 도플러 주파수 오차 측정시험, 구성품 제어를 위한 RS422, RS232, SPI 통신 시험 및 송·수신 구간 제어 신호 측정 시험으로 신호획득장치의 성능을 검증하였다.

1. 수신동적영역 시험

수신 동적 영역 시험은 4개의 채널에 특정 주파수의 정현파 신호의 크기를 변경하며 입력하였을 때 실시간 데이터 전처리 과정을 거쳐 출력된 신호의 크기를 측정한다. 이때 신호처리 과정을 거쳐 출력된 신호의 크기와 입력 신호 크기 변화 값의 차를 선형성 오차로 정의한다. 밀리미터파 추적레이더를 위한 신호획득장치는 +00dBm ~ -00dBm 신호를 입력하였을 때 선형성 오차가 ± 1 dB이하로 유지하는 구간을 규격으로 정의하였다. 그림 6은 수신동적영역에서 선형성 오차 시험 결과를 나타낸 것으로 신호획득장치 수신동적영역이 00dB로 요구규격이 충족됨을 확인하였다.^[2]

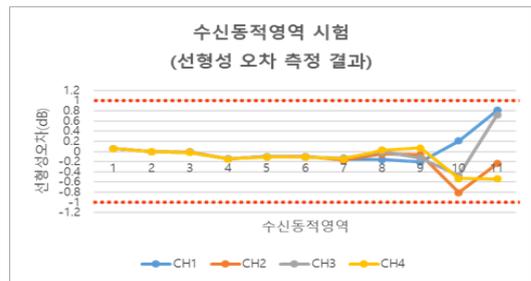


그림 6. 선형성 오차 측정결과
Fig. 6. Test result of linearity error

2. 도플러 주파수 측정 시험

도플러 주파수 측정 시험은 4개의 수신채널에 특정 주파수의 신호를 인가하고 정의된 중심 주파수를 변경하면서 신호처리 결과를 측정하여, 입력된 신호의 주파수 변화량과 기준으로 측정된 신호의 주파수를 비교하는 시험이다. 추적레이더의 신호획득장치는 입력신호의 주파수 cell 계산치와 측정치의 오차가 ± 1 cell 미만을 요구규격으로 정의하였다. 표 1은 도플러 주파수를 측정할 주파수 cell과 계산치를 비교한 것으로 요구규격을 만족함을 확인 할 수 있다.^[2]

표 1. 도플러 주파수 측정 시험 결과
 Table 1. Test result of doppler frequency

순번	계산치 (cell)	측정치 CH1(cell)	측정치 CH2(cell)	측정치 CH3(cell)	측정치 CH4(cell)
1	833	833	833	833	833
2	929	929	929	929	929
3	1025	1025	1025	1025	1025
4	1121	1121	1121	1121	1121
5	1217	1217	1217	1217	1217

3. 외부 인터페이스 시험

외부 인터페이스 시험은 데이터획득부에서 생성하는 송·수신 구간 제어 신호 측정 시험과 운용제어부에서 제어하는 추적레이더 구성품과 통신 인터페이스를 확인하는 시험이 있다.^[2]

송·수신 구간 제어 신호 측정 시험은 제어 신호를 생성하는 기준신호와 송·수신구간 제어신호를 오실로스코프로 측정하여 오차 범위 안에 신호가 생성 되는지를 확인하는 시험이다. 그림 7과 8은 송·수신구간 제어 신호 측정 결과로 요구사항에 충족함을 확인하였다.

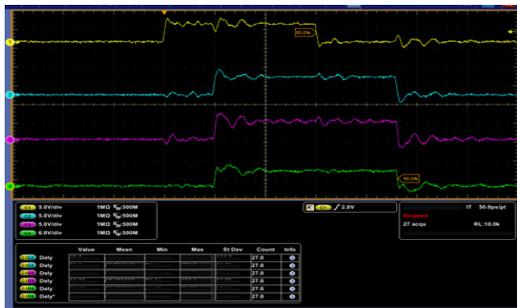


그림 7. 송신 구간 제어 신호 측정 결과
 Fig. 7. Test result of transmission time control signal generation

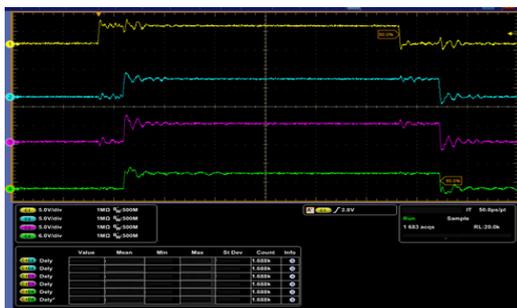


그림 8. 수신 구간 제어 신호 측정 결과
 Fig. 8. Test result of receiving time control signal generation

```
RS422( ) Test Start
RS422( ) Test End
Total 3000000, Good( 3000000 ), Bad( 0 )
TEST TIME: 2 MIN success
Test completed
```

```
SPI( ) Test Start
SPI( ) Test End
Total 3000000, Good( 3000000 ), Bad( 0 )
TEST TIME: 2 MIN success
Test completed
```

```
RS232( ) Test Start
RS232( ) Test End
Total 3000000, Good( 3000000 ), Bad( 0 )
TEST TIME: 2 MIN success
Test completed
```

그림 9. RS422, RS232, SPI 통신 시험 결과
 Fig. 9. Test result of RS422, RS232 and SPI communication

통신인터페이스 시험은 신호획득장치와 상용 RS422, RS232, SPI 모듈을 사용하여 주어진 시간동안 통신오류를 측정하는 시험이다. 그림 9는 RS422, RS232, SPI 통신 시험 결과를 나타낸 것으로 요구 규격에 충족함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 추적레이더를 위해 개발한 송·수신구성품의 적용성을 확인하기 위한 신호획득장치의 역할과 기능을 정리하였다. 또한 신호획득장치의 역할과 기능을 수행 할 수 있도록 설계하고 구현하였다. 구현한 신호획득장치는 수신동적영역 시험, 도플러 주파수 오차 측정 시험과 같은 신호획득장치의 성능시험에서 송·수신구성품의 적용성을 확인하기 위해 필요한 기능과 성능이 충족함을 확인하였다.

본 논문에서 구현한 신호획득장치는 단일 모듈단위의 성능시험을 통해 밀리미터파 추적레이더를 위해 개발된 송·수신구성품의 적용성을 검증하기 위한 성능이 충족함을 확인하였다. 추후 기 개발된 밀리미터파 추적레이더에 적용된 송·수신 구성품의 연동시험을 통해 신호획득장치의 신뢰성 확인이 필요하다. 또한 다양한 추적레이더의 구성품에 적용성을 검증하기 위해 정밀 추적을 위한 대용량 데이터를 실시간으로 처리하고, 다양한 구성품 제어를 위한 인터페이스 구축 및 지속적인 연구가 필요하다.

References

- [1] RODGER E. ZIEMER, WILLAM H. TRANTER, D. RONALD FANNIN, "Signals and Systems", Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1983.
- [2] Jinkyu Choi, Kyoung-Il Na, Youngcheol Shin, Soonil Hong, Changhyun Park, Younjin Kim, Hongrak Kim, Jihan Joo, Sosu Kim "Research on Broadband Signal Processing Techniques for the Small Millimeter Wave Tracking Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 21, No. 6, pp. 49-55, Dec. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.6.49>
- [3] Daihyun Kwon, Byung-Lae Cho, Kichul Yoon, Kwan Sung Kim, Chan-Hong Kim, "Velocity based Hybrid Doppler Processing Method to Improve the detection Performance of Low Doppler Resolution Radar", The Journal of KIIT, Vol. 21, No. 2, pp. 123-129 Feb. 2023
DOI: 10.14801/jkiit.2023.21.2.123
- [4] Hong-Rak Kim, Man-hee Lee, Youn-Jin Kim, Seong-ho Park, "Design of EMC countermeasures for radar signal processing board", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 23, No. 5, pp. 41-46, Oct. 2023.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.5.41>
- [5] Jinkyu Choi, Kyoung-Il Na, Youngcheol Shin, Soonil Hong, Changhyun Park, Younjin Kim, Hongrak Kim, Jihan Joo, Sosu Kim "Development of Raw Data Storage Equipment for Operation Algorithm research of the Millimeter Wave Tracking Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 22, No. 3, pp. 57-62, Jun 2022
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.57>
- [6] 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 전기전자공학과(공학사)
- 2006년 8월 : 충남대학교 전자공학과(공학석사)
- 2006년 8월 ~ 2008년 10월 : 한국해양연구원
- 2008년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주요관심분야 : 디지털 신호처리, 임베디드 시스템, 레이더 신호처리

신 영 철(정회원)



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

홍 순 일(정회원)



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

김 흥 락(정회원)



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

류 한 춘(정회원)



- 2007년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학사)
- 2007년 3월~현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 임베디드 소프트웨어, 디지털 신호처리

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 레이다

※ 이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(UG190065GD)