

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.3.157>

IIBC 2019-3-21

소형 밀리미터파 추적 레이더용 모의신호 발생장치 개발

Development of Simulated signal generator for Small Millimeter-wave Tracking Radar

김홍락*, 박승욱**, 우선걸**, 김윤진**

Hong-Rak Kim*, Seung-Wook Park**, Seon-Keol Woo**, Youn-Jin Kim**

요 약 대함용 소형 밀리미터파 추적 레이더는 저속으로 기동 중인 큰 RCS를 갖는 바다위의 함정 표적에 대하여 TWS(Track While Scan) 방식을 통하여 실시간으로 표적을 탐색, 탐지 하여 추적하는 펄스 방식의 레이더이다. 본 논문에서는 소형 밀리미터파 추적 레이더의 성능을 실험실 무반향 챔버 환경에서 확인하기 위한 모의신호 발생장치 개발에 대하여 서술한다. 추적 레이더용 모의신호를 생성하기 위한 요구사항과 요구사항을 충족하기 위한 모의신호 발생장치의 하드웨어 구성과 추적 레이더와 연동하여 시험을 하고 성능을 분석하기 위한 GUI 프로그램을 기술하고 성능시험을 통해 구현한 모의신호 발생장치를 검증하였다.

Abstract A small millimeter-wave tracking radar is a pulse radar that searches, detects, and tracks a target in real time through a TWS (Track While Scan) method on a sea-going traps target with a large RCS running at low speed. This paper describes the development of a simulated signal generator to verify the performance of a small millimeter wave tracking radar in laboratory anechoic chamber environment. We describe a GUI program for testing and performance analysis in conjunction with hardware configuration and tracking radar, and verified the simulated signal generator implemented through performance test.

Key Words : Millimeter-wave, Signal Processing Unit, LPRF, FPGA, CPU

I. 서 론

대함용 소형 밀리미터파 추적 레이더 시스템은 탐지 추적 성능, 전자전 대응 기능 등 다양한 규격을 충족시키기 위하여 오랜기간과 비용으로 개발이 되어 진다. 개발 되어진 레이더 시스템은 실 표적을 대상으로 평가를 받게 된다. 평가전 모든 성능을 확인하기 위하여 실 표적을

대상으로 자체 성능 확인을 하기에는 기간, 비용 뿐만 아니라 다른 많은 제약조건들이 발생한다. 이를 보완하기 위하여 무반향 챔버 환경에서 실 표적과 유사한 모의신호를 이용한 성능 시험이 이루어 진다.^{[1][2][3]}

대양환경에서는 함정표적으로부터 반사되어 들어오는 레이더 반사 신호와 해수면으로부터 반사되어 들어오는 신호 클러터 신호가 함께 추적레이더에 입력이 되므로

*정회원, LIG넥스원(주) 감시정찰연구소 (교신저자)

**정회원, LIG넥스원(주) 감시정찰연구소

접수일자 2019년 4월 7일, 수정완료 2019년 5월 7일

게재확정일자 2019년 6월 7일

Received: 7 April, 2019 / Revised: 7 May, 2019 /

Accepted: 7 June, 2019

*Corresponding Author: hongrak.kim@lignex1.com

Dept. of RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea

해수면으로부터 반사되는 클러터 신호를 모의 신호로 생성하여 클러터 환경에서의 추적성능을 확인하기도 한다.[4][5]

합정표적은 RCS(Radar Cross Section)가 커서 레이더에 잘 노출이 되지만 상대적으로 전자전(EW, Electronic Warfare) 시스템이 잘 갖춰져 있기 때문에 소형 추적 레이더가 합정표적을 끝까지 추적하기 위하여 합정에서 운영하는 체프, 디코이, 노이즈 재밍등을 대응하기 위한 다양한 알고리즘을 운영한다. 각 알고리즘에 대한 성능을 분석하기 위해서 모의신호 발생장치는 운영 파형별 반사되는 표적의 모의신호와 합정에서 운영하는 체프, 디코이, 노이즈 재밍 등의 신호도 생성한다.[6][7]

레이더 모의신호를 생성하기 위하여 DRFM(Digital Radio Frequency memory)를 적용하거나[8][9][10], DDS를 이용하기도 한다. DRFM을 적용할 경우 여러채널에 대하여 다양한 모의신호를 생성할 수 있지만 비용이 많이 증가하는 단점이 있다.

DDS를 이용하는 경우 가격은 저렴하지만 DDS를를 통하여 원하는 신호를 생성하기 위하여 시나리오별 생성해야할 주파수 관리를 위한 별도의 제어보드가 필요하고 DDS에서 생성된 신호가 레이더와의 동기를 위하여 동기된 신호를 입력해 주어야 한다.[11]

DDS를 제어하여 원하는 신호를 생성하기 위한 제어 보드는 레이더와 동기된 모의신호를 생성하기 위하여 레이더와 연동되어 동기신호, 운영되는 주파수 정보를 받기 위한 통신 신호, 레이더의 동작 중 실시간 모니터링을 위한 데이터를 받는 실시간 모니터링 신호를 받는다.

성능시험의 편리를 위하여 소형 추적레이더와 연동하여 모의신호를 발생시키고 추적레이더에서 신호처리된 표적의 다양한 정보[거리, 각도, 속도]와 추적레이더의 상태정보를 통하여 성능시험 결과를 분석하는 GUI 프로그램을 운영하기도 한다.[6][12]

본 논문에서는 레이더와 연동되는 제어부, DDS를 이용하여 동기된 모의신호를 생성하기 위한 모의신호제어부 및 생성된 신호를 제어하여 원하는 모의표적을 발생하는 모의표적생성부에 대하여 제안한다. 전체 모의신호 생성의 단계별 레이더로부터 운영되는 동기된 신호를 받으면 그 정보를 이용하여 제어보드에서 DDS를 제어하여 원하는 신호가 생성되면 모의표적 생성부에서 증폭, 필터링, 스위칭, 믹싱 등을 통하여 원하는 시나리오의 모의표적을 생성하는 방법을 제안한다. 끝으로 모의신호의 측정성을 통하여 시험 결과를 제시한다.

II. 모의신호 발생장치

소형 밀리미터파 추적 레이더 성능시험 SET의 주요 구성은 그림 1과 같다.

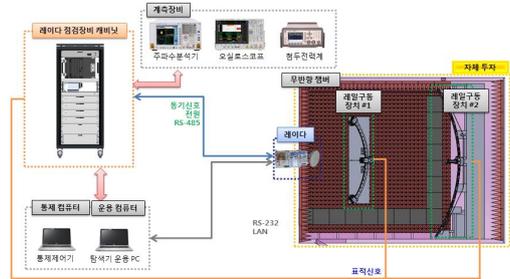


그림 1. 추적 레이더 성능시험 SET
Fig. 1. Tracking Radar Performance Test SET

소형 밀리미터파 추적 레이더의 실험실환경 성능시험은 주변의 영향을 최소화하기 위하여 무반향 챔버에서 수행된다. 시나리오별 표적의 이동과 능동레이더의 송신 신호가 표적을 맞고 반사되어 들어오는 신호를 생성하기 위한 레이더 점검장비 캐비닛이 있고 캐비닛 내부에 모의신호 발생장치가 포함되어 있다.

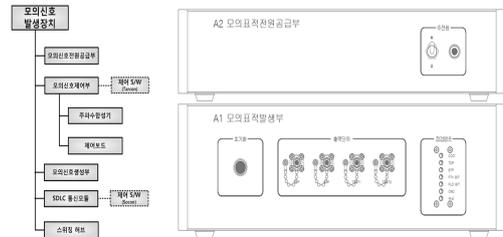


그림 2. 모의신호 발생장치 구성
Fig. 2. Simulated Signal Generation Unit Configuration

모의신호 발생장치는 해당 레이더에 최적화되어 설계 및 제작되기 때문에 기존의 점검장비 캐비닛에서 모의표적 발생장치만 교체하여 다른 레이더를 시험하는 성능시험 SET의 일부이다. 해당 모의신호 발생장치는 모의신호 전원공급부와 모의신호제어부, 모의신호생성부를 포함하는 모의신호발생부 2개의 랙으로 구성된다.

표 1. 모의신호발생장치 주요 사양
 Table 1. Simulated signal generator Unit Main Spec.

항목	개발 사양	비고
출력	2개 채널	
출력 주파수	밀리미터파(Ka band)	
대역폭	000 MHz 이상	
동기주파수	000 MHz 이상	
펄스반복주파수	LPRF, MPFR, LPRF	
펄스폭	00 us	
LFM	가능	
기능	거리가변, 속도가변	
ECM	잡음제밍, 채프, 디코이, RGPO	
통신	RS232, GbE, RS485	
CUP	300MHz 이상	
FPGA	Vertex 4 이상	

표1은 모의신호발생장치의 주요 사양이다. 대함용 소형 추적레이다의 성능시험을 위한 모의표적 신호를 생성하기 위한 사양으로 이루어져 있으며 일부 ECCM 기능을 확인하기 위한 ECM 요구사항도 포함되어 있다.

1. 모의신호 전원 공급부

모의신호제어부와 모의신호생성부에 전원을 공급하는 장치로 상용 전원공급기 2개를 이용하여 제작하였다. 그림3과 같이 모의신호제어부와 모의신호 생성부에는 각 전원을 분리하여 모의신호제어부의 디지털 잡음이 모의신호생성부에 영향을 주지 않도록 하였다.

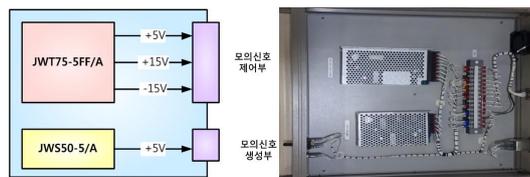


그림 3. 모의신호전원공급부 구성
 Fig. 3. Simulated Signal Power Supply Configuration

모의신호전원공급부의 출력신호는 원형컨넥터를 적용하여 장착의 용이성과 케이블 접촉의 신뢰성을 확보하였다.

2. 모의신호제어부

모의신호제어부는 레이다에서 운영되고 있는 주파수 정보를 제어보드에서 GbE 통신으로 받아서 주파수합성기의 DDS를 제어하여 모의신호를 생성한다.

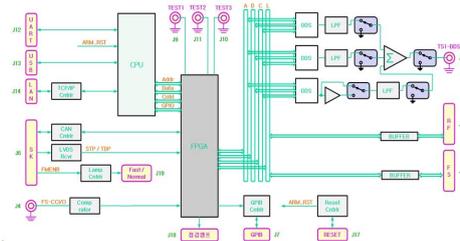


그림 4. 제어보드 구성
 Fig. 4. Control Board Configuration

그림 4는 제어보드의 구성이다. 레이다로부터 GbE 통신으로 연결되어 실시간으로 레이다에서 운영되는 주파수정보를 받는다. 또한 동기를 위하여 레이다에서 운영되는 펄스반복주파수와 동기주파수신호를 받는다. 받은 정보를 활용하여 모의된 표적 거리 정보인 펄스신호와 DDS를 제어하기 위한 신호를 빠르게 생성하기 위하여 CPU는 AMR 9 계열, 클럭 속도는 300MHz 이상으로 선정하였다. FPGA는 여러 외부 인터페이스 제어 및 도플러 주파수 생성을 위한 연산을 위하여 XILINX 사의 Vertex 4로 선정하였다.

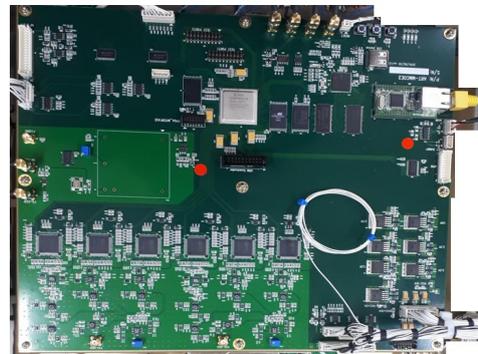


그림 5. 제어보드
 Fig. 5. Control Board

제어보드는 통제 제어 PC로 LAN으로 연결되어 GUI 프로그램을 통하여 시나리오별 정해진 정보를 받아서 모의신호를 위한 주파수와 펄스신호 및 제어신호를 생성한다. HPRF에서 모의표적의 도플러 주파수를 생성과 협대역 제밍 모의 신호를 생성하기 위한 DDS와 출력을 제어하기 위한 스위치가 있다. 그림 5는 제작된 제어보드 형상이다.

주파수합성기는 제어보드에서 주파수, PRF(Pulse Repetition Frequency), 펄스폭, LFM 정보를 RS-422

통신으로 받아 거리정보, 속도정보를 가진 신호를 생성한다. 이때 레이다로부터 받은 기준 펄스신호를 이용하여 생성하게 된다. 그림 6은 기준 펄스신호 대비 생성된 거리 지연신호이다. 거리지연신호는 주파수합성기내부의 FPGA에서 생성하여 DDS 입력신호로 전달된다.

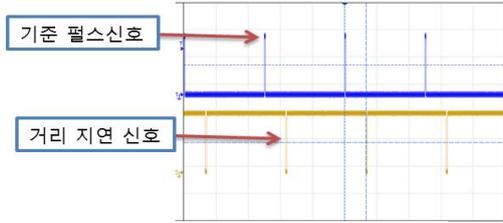


그림 6. 거리 지연 신호
Fig. 6. Delayed Range Signal

그림 7은 주파수합성기에서 생성된 모의신호의 LFM(linear Frequency Modulation) 결과이다. 주어진 펄스폭 내에서 시작주파수와 끝주파수의 선형성이 요구사항을 만족하고 있다.

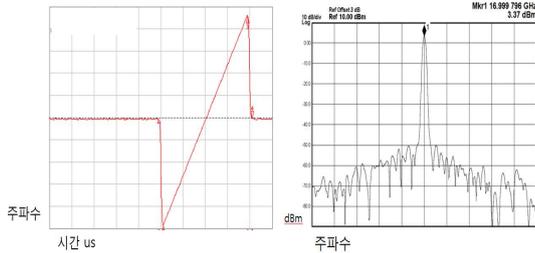


그림 7. LFM 신호
Fig. 7. LFM Signal

그림 8은 주파수합성기의 형상으로 DDS와 FPGA가 있는 하부와 RF 회로가 있는 상부로 나누어지며 모의표적신호와 ECM 신호의 두 개의 채널로 이루어져 있다.

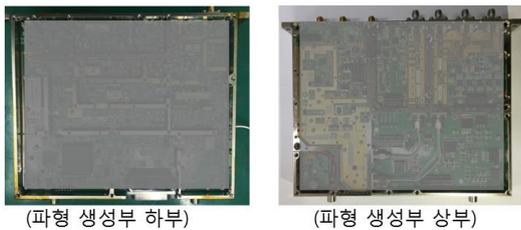


그림 8. 주파수합성기 형상
Fig. 8. Frequency Synthesizer

3. 모의신호생성부

모의신호생성부는 모의신호제어부에서 만들어진 모의신호와 각종 스위치들의 제어신호들을 이용하여 시나리오별 원하는 모의신호를 생성하게 된다. 추가적으로 추적레이다의 일부 ECCM 기능을 확인하기 위한 ECM 신호를 생성한다.

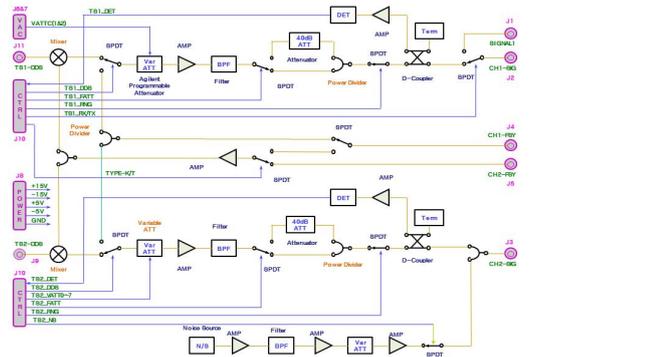


그림 9. 모의신호생성부 블록도
Fig. 9. Simulated Signal Generation Part Block Diagram

그림 9는 모의신호생성부의 블록도이다. 모의신호생성부의 입력신호는 다음과 같다.

- ▶ 도플러 신호 (제어보드의 DDS로부터)
- ▶ 협대역 잡음 신호 (제어보드의 DDS로부터)
- ▶ 모의신호1,2 (주파수합성기로부터)
- ▶ 감쇄기제어신호 (제어보드로부터)
- ▶ 스위치 제어 신호(제어보드로부터)

도플러 신호는 HPRF 파형에서 속도정보를 모의하기 위하여 사용된다. 협대역 잡음 신호는 속도정보에 대한 잡음 재밍 신호를 생성하기 위해 사용된다. 모의 신호1,2는 거리방향으로 다가오는 모의 표적을 생성하고 RGPO(Range Gate Pull Off) ECM신호를 생성하는 목적으로 이용된다. 또한 잡음 재밍신호는 광대역 노이즈 소스를 이용하여 신호를 증폭하여 별도의 채널을 이용하여 Stand off 재밍신호를 생성할 수 있고 생성된 모의신호에 합쳐서 하나의 채널로 Stand on 재밍신호를 생성할 수 있다.

4. 통제제어 소프트웨어

통제제어 소프트웨어는 모의신호발생장치를 운영하여 정해진 시나리오에 맞는 모의표적신호를 생성하기 위한 GUI 프로그램이다.

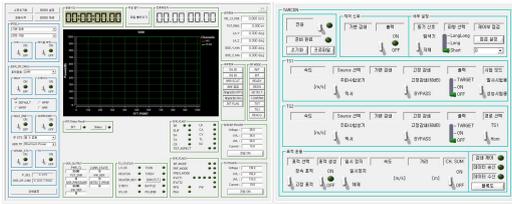


그림 10. 통제제어 소프트웨어
 Fig. 10. Control Software

레이다의 동작과 모의신호발생장치의 동작을 위한 각종 스위치와 레이다의 상태를 모니터링하는 부분이 왼쪽에 배치되어 있고 오른쪽에 모의표적 제어에 관련된 모니터링 부분으로 이루어져 있다.

III. 시험 결과

상기의 설계 내용을 바탕으로 그림 11과 같이 모의신호발생장치를 제작하였다.



그림 11. 모의신호발생장치
 Fig. 11. Simulated Signal Generator

자체 성능확인에는 레이다에서 오는 주파수 정보와 타이밍 정보 신호를 GUI 프로그램을 통하여 자체 점검 모드에서 정해진 주파수와 타이밍으로 성능 확인을 하였다. 그림 12는 펄스 신호에 대한 모의 표적 신호의 감쇄 TEST로 원하는 결과를 얻었다. 그림 13은 광대역 노이즈 재밍 신호로 감쇄 제어가 잘되고 있음을 확인할 수 있었다. 실제 레이다 테스트에서는 거리별 해당하는 감쇄값을 적용하여 Burn Through Range에 대한 시험을 수행한다. 그림 14는 HPRF 파형에서 표적과의 상대속도 변화에 대한 추적 성능을 확인하기 위한 도플러 가변 시험으로 원하는 속도로 가변이 되고 있음을 확인할 수 있었다.

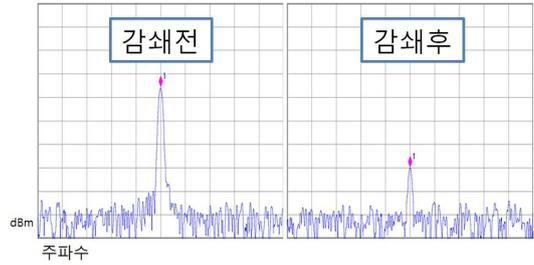


그림 12. 모의 표적 신호 감쇄 TEST
 Fig. 12. Simulated Target Signal Attenuation TEST

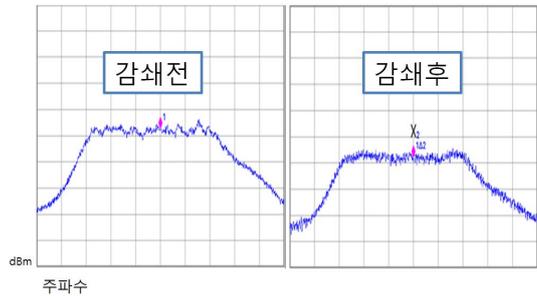


그림 13. 모의 광대역 잡음 재밍 신호 감쇄 TEST
 Fig. 13. Simulated Broad Band Noise Jamming Signal Attenuation TEST

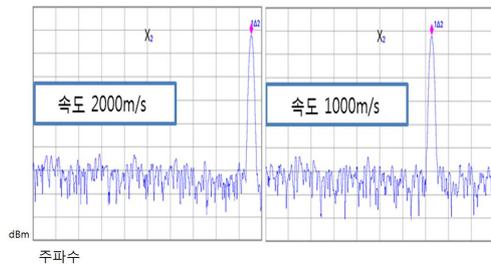


그림 14. 도플러 신호 가변 TEST
 Fig. 14. Doppler Signal Variable TEST

그림 15는 그림1의 시험환경에 실제 적용하여 추적레이더의 성능 시험을 수행하는 장면이다. 무반향 챔버내에서 모의표적 신호는 이동이 가능한 혼안테나에 연결하여 모의표적 신호를 송신하여 시험이 수행된다. 그림 16은 레이다 성능 시험 후 결과 분석 결과로 GUI 프로그램을 통하여 시험 후 바로 성능을 확인할 수 있다.



그림 15. 무반향 챔버 레이더 성능시험
Fig. 15. Anechoic Chamber Radar Performance TEST

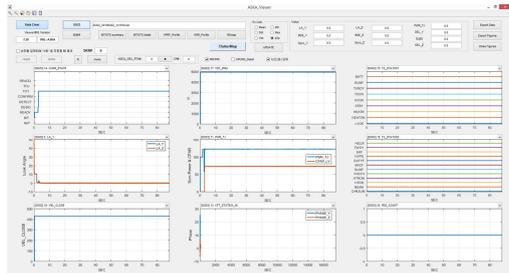


그림 16. 레이더 성능 결과
Fig. 16. Radar Performance Result

IV. 결 론

본 논문에서는 소형 밀리미터파 추적 레이더를 실험실 환경에서 시험하기 위하여 소요되는 모의신호발생장치를 개발하였다. 저가 소형 랙 형태로 제작하기 위하여 과형 발생을 위하여 DDS를 적용하였으며 레이더 시험을 위한 모의 표적 신호와 ECM 신호 생성하도록 설계 및 제작하였다. 레이더에서 받은 운영 주파수 정보로 DDS를 제어하기 위한 제어보드는 ARM9 CUP와 XILINX FPGA를 적용하여 구현하였다. 표적의 속도정보인 도플러 신호를 생성하기 위하여 제어보드 내부에 별도의 DDS를 두고 구현하였다. 또한 노이즈 재밍신호를 위하여 별도의 광대역 노이즈 소스를 적용하여 시나리오별로 운영하였으며 전용 시험장비에 적용하여 레이더 성능시험을 통하여 결과를 확인하였다.

References

[1] Jürgen Müller,, Jürgen Florin,“ LFK hardware in the loop facility for missile development and evaluation”, Proceedings of SPIE Vol. 4366 (2001)

[2] Jong-Pil Lee, Ill-Keun Rhee, "An Implementation of FPGA-based Clutter Signal Generator for Radar Testing Systems", Journal of Korean Institute of Information Technology 8(12), 2010.12, 81-89.

[3] HIROSHI SHIRAI, "A Study of Radar Cross-Section Measurements in an Anechoic Chamber", Electrical Engineering in Japan, Vol. 123, No. 1, 1998

[4] Eun Hee Kim, Tae Hyung Kim, "An Implementation of FPGA-based Clutter Signal Generator for Radar Testing Systems", The journal of korean institute of electromagnetic engineering and science. 2015 Feb.; 26(2), 179~188.
<http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.12.179>

[5] Tae-Hyung Kim, Hyun-Wook Moon, "A Development of Real-Time Generation Methods of Simulated Surface Clutter Signals for Airborne Radar", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 27(2), 2016.2, 176-187

[6] Ren Mingqiu, Cai Jinyan, "Design of Radar ECCM Performance Testing System and Its Semiphsical Simulation Experiment", Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, 24-27 Oct. 2011
DOI: 10.1109/CIE-Radar.2011.6159734

[7] Zou Shun, Jin Xueming, "Airborne AESA Radar's ECCM and Self-defense Jamming Analysis", Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, 24-27 Oct. 2011
DOI: 10.1109/CIE-Radar.2011.6159740

[8] W. Zongbo, G. Meiguo, L. Yunjie, and J. Haiqing, "Design and application of DRFM system based on digital channelized receiver", Int Conf. on Radar, pp. 375-378, Sept. 2008.

[9] Byung-sek You, Young-kil Kim, "A Study on the Implementation of Digital Radio Frequency Memory", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 14(9), 2010.9, 2164-2170

[10] Young Ik Choi, Sang Guen Hong, "Development of VGPO/I Jamming Technique for Phase Sampled DRFM" The journal of korean institute of electromagnetic engineering and science. 2016 Dec.; 27(12), 1105~1111.
<http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.12.1105>

[11] Sang-Geun Hong, Chang-Min Kwak, "Development of Multitone Jamming Technique Using DDS Core in FPGA", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 22(9), 2011.9, 827-832

[12] Lin Zou, "development of an automatic test and control system for radar seeker", Institution of Engineering and Technology International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012)
DOI: 10.1049/cp.2012.1119

[13] Jongbok Lee, "A Study On Statistical Simulation for Asymmetric Multi-Core Processor Architectures", The

Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) Vol. 16, No. 2, pp.157-163, Apr. 30, 2016

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.2.157>

- [14] Park, Jae-Eun, "A Development of Weapon System Test Set's Display Using an Ecological Interface Design Methodology", The Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society Vol. 16, 2015.06, 4147-4157
- [15] Ga, Gwan-U, "A Comparison with SNR Performance of Coherent Integration and Non-coherent Integration to Estimate Target Detection Range in Radar System", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology 7(2), 2014.6, 86-91
- [16] Jong-Pil Lee, Ill-Keun Rhee, "Development of High Resolution Target Simulator with Dual Sampling Clock Rates", Journal of Korean Institute of Information Technology 12(12), 2014.12, 31-39
- [17] Choi Jeong Hyun, Jo Han Moo, Yun Seok Jae, Ryu Dong Wan, "A Design of the Integrated Software Architecture for Missile System Test Set", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences , 2014.11,214-215

우 선 결(정회원)



- 2001년 2월 : 광운대학교 전자공학부 (공학사)
- 2003년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2007년 7월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주 관심분야 : 레이더 신호처리, 밀리미터파 탐색기 등

김 윤 진(정회원)



- 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주 관심분야 : 밀리미터파 탐색기 시스템 등

저 자 소 개

김 홍 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 밀리미터파 신호처리, 전원공급기, 밀리미터파 탐색기 등

박 승 욱(정회원)



- 2007년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2007년 1월~현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 임베디드 시스템, 디지털 신호처리