

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.6.31>
JIIBC 2022-6-5

초소형위성 영상레이다를 위한 제어/저장 및 송수신 모듈의 설계 및 제작

The design and development of Control/Storage and TRX Module for Small Satellite Synthetic Aperture Radar Application

이주영*, 김현철*, 김종필*, 유경덕*, 김동식*

Juyoung Lee*, Hyunchul Kim*, Jongpil Kim*, Kyungdeok Yu*, Dongsik Kim*

요약 본 논문에서는 (초)소형 위성에 탑재할 수 있는 영상레이다용 Backend 유닛의 제작 및 시험 결과를 제시한다. 영상레이다용 Backend 유닛은 (초)소형 위성 탑재를 목적으로 제어/저장보드, 송수신보드 및 전원보드를 하나의 박스 유닛으로 설계하였다. 제어/저장보드는 RFSoc를 이용하여 광대역 신호의 생성, 운용 타이밍 생성 및 영상레이다 운용을 위한 제어 및 연산을 수행하고, 자체적으로 저장기를 보유할 수 있도록 설계하였다. 송수신보드는 제어보드에서 생성되는 광대역 신호를 주파수 상향변환을 통해서 X-대역 운용주파수로 변환할 수 있도록 설계하였다. (초)소형 위성은 소형/경량/저비용이 중요한 고려요소 이므로 MIL, Industrial 등급의 부품을 적절히 적용하고 동시에 방사선 시험, 해석 및 우주환경 시험을 통해서 임무 수명을 보장할 수 있도록 설계 하였다.

Abstract In this paper, we present the design, manufacture and test results of Backend unit for SAR(Synthetic Aperture Radar) that can be applied on a small satellite. The Backend unit for SAR was designed with a control/storage board, TRX(transmission and receiving) board and a power supply board as a single unit in consideration of the applying of a small satellite. The control/storage board uses RFSoc to generate wideband chirp signal, generate operating timings, and perform control and calculations for SAR operation. The TRX board is designed to convert the wideband chirp signal generated by the control/storage board to the operating frequency of X-band by up-converting the frequency. Since small size, light weight, and low cost are important consideration for small satellite, MIL/Industrial grade components were appropriately applied and the at the same time it was designed to ensure mission life through the radiation test, analysis and space environment tests.

Key Words : Backend unit, RFSoc(RF System on Chip), SAR, Small Satellite

*정회원, LIG넥스원(주)
접수일자 2022년 10월 14일, 수정완료 2022년 11월 14일
게재확정일자 2022년 12월 9일

Received: 14 October, 2022 / Revised: 14 November, 2022 /
Accepted: 9 December, 2022
*Corresponding Author: leejuyoung@lignex1.com
Dept. Satellite System, LIGNEX1 Co. Ltd, Korea

I. 서 론

영상레이다(SAR, Synthetic Aperture Radar)는 광학(EO)위성과 달리 날씨, 주/야간 관계없이 영상자료를 획득할 수 있는 장점을 갖는다. 기존의 영상레이다 위성은 중/대형 위성 중심으로 해외의 TerraSAR-X, Sentinel 1A/B, PAZ 등이 운용중이며, 우리나라는 다목적실용위성을 운영하고 있다.^[1] 이러한 중/대형 위성 중심의 영상레이다 위성은 높은 신뢰도를 바탕으로 긴 수명을 보장하나, 개발 비용 및 시간이 많이 소요되며, 중량 역시 1000kg ~ 2000kg으로 위성 발사 시 제약사항으로 작용한다. 이에 대한 해결방안으로 (초)소형 위성 영상레이다를 탑재하여 운용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, ICEYE, CAPELLA, UMBRA 등 100kg 내외의 (초)소형위성 영상레이다 등이 실제 운용 및 개발이 진행되고 있다.^{[2][3][6]} 따라서 본 논문에서는 (초)소형 위성 영상레이다의 탑재를 목표로 영상레이다의 제어/저장 보드, 송/수신 보드 및 전원보드를 하나의 유닛으로 구성하여 소형/경량화하고, 영상레이다의 제어, 신호 생성 및 데이터 저장을 수행하는 Backend 유닛의 설계, 제작 및 시험 결과에 대해서 기술한다.

II. 본 론

1. 주요 요구사항

Backend 유닛은 영상레이다를 제어하고, 위성체와의 TM/TC를 주고받을 수 있는 인터페이스를 보유해야 한다. 또한 고품질의 영상을 획득하기 위하여 광대역 X-대역 신호를 생성하고, 안테나에서 저잡음 증폭되어 입력

표 1. Backend 유닛의 주요 요구사항
Table 1. Backend design requirements

구분	주요 규격		비고
인터페이스	영상레이다 제어	CAN	
	TM/TC	CAN	
	Discrete	RS-422	PPS, RST
	Datalink	Channel link	
신호 대역폭	1.2GHz이상		
송신 출력	+10dBm 이상		
수신 채널	2개		H/V
송/수신 주파수	X-대역		
저장 용량	2Tb		
동작온도	-25℃ ~ +60℃		
무게	6kg 이하		

되는 신호를 수신, 주파수 변환하여 디지털변환 및 전처리 할 수 있어야 한다. 또한 저장 된 수신데이터를 데이터링크로 전달하기 위하여 고속의 통신 방식 구현이 필수적이다. 이와 같은 사항들을 고려한 주요 요구사항은 표1.과 같다.

2. 제어/저장보드 설계 고려사항

Backend 유닛의 제어/저장 모듈은 소형/경량을 고려하고, 광대역 신호의 생성 및 수신이 필수적이다. 이를 위하여 ADC 및 DAC가 집적화 되어 있는 RFSoc를 적용하여 설계 하였다. RFSoc를 위성에 적용하기 위해서는 우주 방사선에 대한 내성확인이 필요하며, 이에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 표2. 와 같은 조건에서 양성자를 이용한 우주 방사선 시험이 수행되었으며, 이를 통해서 RFSoc는 저궤도에서 SEL(Single Event Latch-up)발생 가능성이 거의 없음을 확인되었으며, 시험 간 SEU(Single Event Upset)은 충분히 회피가 가능할 것으로 판단된다.^[4] Backend에 적용한 제어/저장 보드는 SEU에 대한 회피 방법으로 TMR(Triple Modular Redundancy), EDAC(Error Detection and Correction)등을 적용하도록 설계하였다.

표 2. SEU 및 SEL 시험을 위한 양성자 에너지
Table 2. Proton energies and fluence for SEU and SEL testing

Proton Energy [MeV]	Total Fluence(Particles)
60	6.8*1e10
125	4.1*1e12
200	2.3*1e12

3. 송/수신보드 설계 고려사항

송수신 보드는 제어/저장보드에서 입력되는 광대역 신호를 X-대역으로 주파수 변환하고, 안테나에서 입력되는 X-대역 신호를 IF대역으로 하향 변환하여 제어/저장 보드로 전달하는 역할을 수행한다. 또한 영상레이다의 기준 신호(10MHz)를 생성하고, ADC/DAC에서 필요로 하는 클럭을 생성하여 전달하는 역할을 수행한다. Backend 송수신보드의 주요 인터페이스는 아래 그림1과 같다.

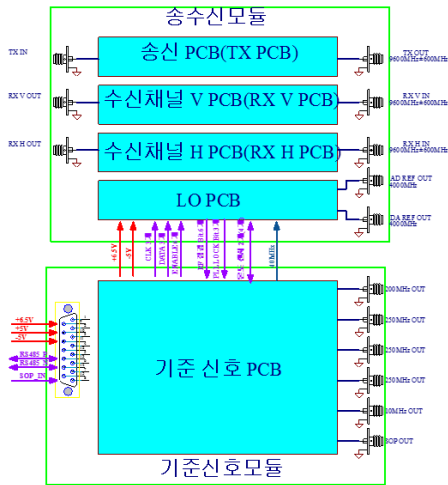


그림 1. 송수신보드 인터페이스
 Fig. 1. TRX Board interface

4. 열/구조 설계 고려사항

Backend 유닛의 열 해석은 진공조건에서 운용온도 범위에서 안정적인 동작을 확인하기 위하여 필요하다. 또한 Backend 유닛은 소형/경량화를 위하여 상대적으로 적은 면적에 고 발열 소자들이 집적화 되어 배치되어 있으므로 열적 안정성 확인은 필수적이다. 열 해석은 해석 장비 6SigmaET를 이용하였으며, 진공 및 주변온도 60℃조건에서 Steady state분석을 수행하였다. 해석에 적용한 Backend 유닛의 형상은 아래 그림2와 같으며 사이즈는 140mm x 120mm x 260mm(WxHxD)이고, 측정 무게는 약 5.5kg이다.

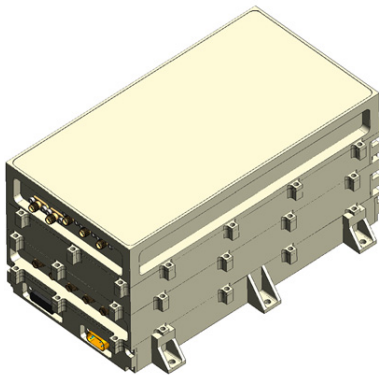


그림 2. Backend 유닛 형상
 Fig. 2. Backend unit configuration

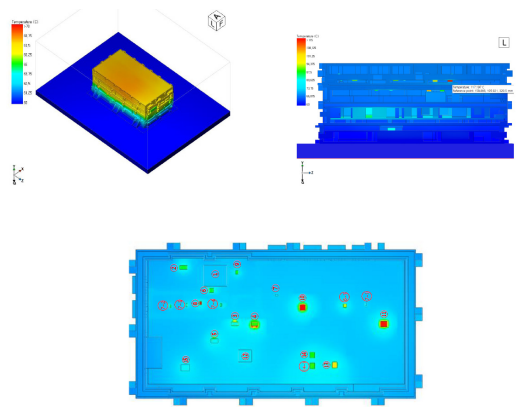


그림 3. Backend 유닛 열 해석 결과
 Fig. 3. Backend unit thermal analysis results

그림 3과 같이 열 해석을 통해서 일부 LDO에서 De-rating junction temperature가 규격을 초과하는 것을 확인하였으며, 향후 위성 적용 시 LDO에서 출력되는 전력을 분산하여 문제점을 개선시킬 예정이다.

III. 제작 및 시험 결과

Backend 유닛의 주요 구성보드의 제작 형상은 아래 그림4와 같으며, QM급 주파수합성기 제작결과를 활용하였다.^[5]

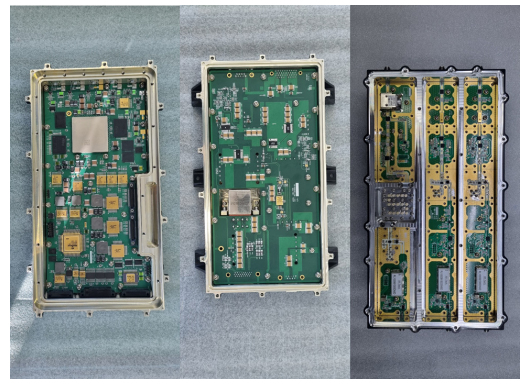


그림 4. Backend 주요 구성보드 형상
 Fig. 4. Assembled backend boards

Backend 유닛의 제작 전 주요 소자인 RFSoc에 대해서 아래 그림 5와 같이 방사선 시험을 수행하였다. 방사선 시험은 한국원자력연구원의 양성자연연구소 시설을 활용하였다. 시험에 적용한 방사선 시험 조건은 표 3과 같다.

표 3. SEU 및 SEL 시험을 위한 양성자 에너지
Table 3. Proton energies and fluence for SEU and SEL testing

Proton Energy [MeV]	Total Fluence(Particles)
57	1.1*1e9
100	2.36*1e9



그림 5. RFSoc 양성자 빔 조사 시험 셋업
Fig. 5. RFSoc board proton radiation test setup

양성자 시험을 통해서 앞서 보고된 연구결과와 마찬가지로 SEL 발생하지 않았으며, SEU는 SEE 회피 로직으로 적용한 TMR, Scrubbing 및 EDAC를 통해서 회피 가능함을 확인 하였다.

제어/저장보드의 주요 기능 중 하나는 고해상도 영상을 획득하기 위한 광대역 신호의 생성이다. 이를 검증하기 위하여 1.2GHz의 광대역신호의 생성을 확인하였다. 송/수신보드에서 ADC/DAC 클럭을 입력하고, 제어/저장보드에서 출력되는 신호를 계측장비를 활용하여 데이터 획득하여 분석을 수행하였다. 그림 6과 같이 출력신호의 대역 내 평탄도는 9.6dB, IRF분석을 통한 해상도는 0.11m, PSLR은 -13.75dB, ISLR은 -10.45dB로 분석되었다.

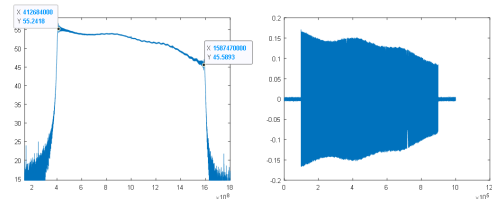


그림 6. PD 수행 전 DAC 출력 결과
Fig. 6. RFSoc DAC output result before PD

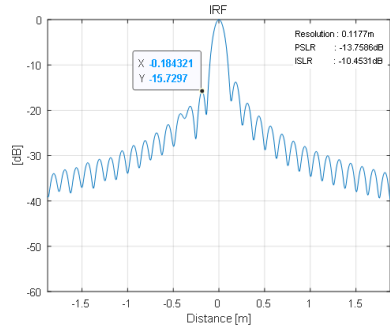


그림 7. PD 수행 전 광대역 칩신호의 IRF 특성
Fig. 7. IRF performance of generated wideband chirp before PD

출력신호의 평탄도 및 IRF를 개선하기 위하여 PD(Pre-Distortion)을 수행하였으며, PD 적용 후 window 적용 없이 측정/분석 결과는 아래 그림8, 9와 같이 평탄도가 개선되고 PSLR은 -14dB, ISLR은 -10.9dB로 분석되었다.

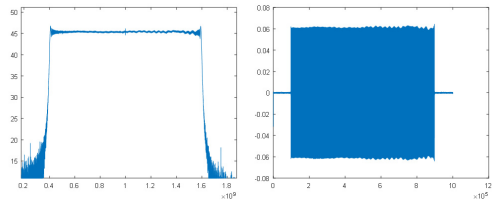


그림 8. PD 수행 후 DAC 출력 결과
Fig. 8. RFSoc DAC output results after PD

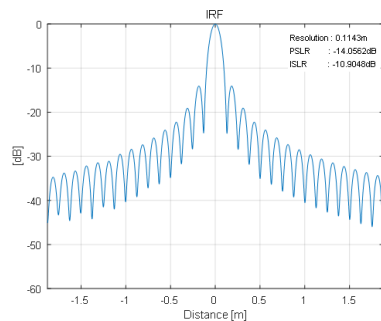


그림 9. PD 수행 후 광대역 칩 신호의 IRF 특성
Fig. 9. IRF performance of generated wideband chirp after PD

제어/저장보드에서 생성된 신호는 송/수신 보드를 통해서 X-대역으로 주파수 변환 및 증폭을 수행하며 CW 신호를 대역내에서 Sweep한 측정결과는 아래 그림10과 같다.

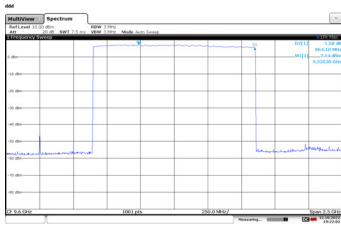


그림 10. 송수신보드의 X-대역 평탄도 특성
 Fig. 10. TRX Board X-band flatness

CW신호를 대역내에서 Sweep하여 수신보드로 입력 후 IF대역의 특성을 확인하였으며, 측정결과와는 아래 그림11과 같다.

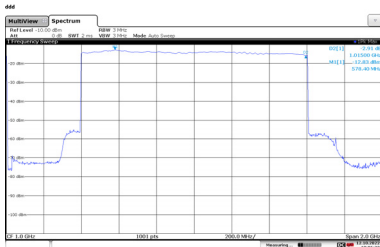


그림 11. 송수신보드의 IF대역 평탄도 특성
 Fig. 11. TRX board IF flatness

IV. 결 론

본 논문에서는 (초)소형 위성 영상레이다의 제어/저장 및 송수신기 역할을 수행하는 Backend 모듈의 설계 고려사항 및 제작/시험 결과에 대해서 기술하였다.

소형/경량화를 위하여 ADC/DAC가 집적화 되어 있는 RFSoc를 이용하였으며, (초)소형위성의 특성을 고려하여 전통적인 우주 부품을 대신하여 MIL/Industrial 급 부품을 적용하여 소형/경량화 하였다. 향후 본 논문에서 기술한 Backend 모듈을 적용하여 (초)소형 위성 영상레이다 제작에 적용할 예정이다.

References

[1] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on synthetic aperture radar," IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 6-43, March 2013.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>.

[2] ICEYE. ICEYE Mission option : https://www.iceye.com/hubfs/_DATA_AND_MISSIONS/Missions_Brochure_ICEYE.pdf

[3] Capella Space. How space is bringing you closer to earth.: <https://www.capellaspace.com/>

[4] P. Davis, D. S. Lee, M. Learn and D. Thorpe, "Single-Event Characterization of the 16 nm FinFET Xilinx UltraScale+TM RFSoc Field-Programmable Gate Array under Proton Irradiation," 2019 IEEE Radiation Effects Data Workshop, 2019, pp. 1-5, DOI: <https://doi.org/10.1109/REDW.2019.8906566>.

[5] D. Kim, H. Kim, J. Heo, and W. Kim, "Design and Implementation on Frequency Synthesizer Qualification Model Level for SAR payload," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 20, no. 3, pp. 9-14, Jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.3.9>

[6] Park, Jongmin, Dongsik Kim, Wansik Kim, and Jongpil Kim. "Operation Mode Design and Performance Analysis for Small Satellite SAR Payload." The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication 19, no. 5 (October 31, 2019): 169-73. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.5.169>.

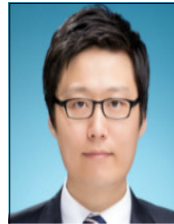
저 자 소개

이 주 영(정회원)



- 2005년: 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 2007년 : 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석 연구원
- 관심분야 : 레이더, 위성

김 현 철(정회원)



- 2011년 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과(공학사)
- 2014년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 (공학석사)
- 2014년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 선임 연구원
- 관심분야 : 레이더, 위성

김 종 필(정회원)



- 1997년 : 경기대학교 전자공학과(공학사)
- 2011년 : 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 위성 체계연구소 소장
- 주관심분야 : 레이더 및 반도체송수신 모듈

유 경 덕(정회원)



- 2002년: 한국기술교육대학 정보통신 과(공학사)
- 2005년 : 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석 연구원
- 관심분야 : 위성, 이동통신

김 동 식(정회원)



- 2000년 : 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 2003년 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석 연구원
- 관심분야 : 레이더, 이동통신, 주파수합 성기