

위성통신용 Ka-band RF Front-End 통신 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구

조준녕, 김현준, 김양우, 전상근, 김문일

고려대학교

whwns773@korea.ac.kr, mkim@korea.ac.kr

A Study on Ka-band RF Front-End Experiments and Simulations for Satellite Communications

Junyung Cho, Hyunjoon Kim, Yangwoo Kim Sanggeun Jeon, M. Kim

Korea Univ.

요약

본 논문에서는 저궤도 위성 통신을 위해 설계된 Ka-band RF Front-end module과 배열안테나를 제작 및 측정하였다. 제작된 모듈은 100m거리에서 1Gbps 무선 링크 시험을 통해 성능을 검증하였다. 시뮬레이터를 활용하여 실제 시험에서 구현하기 어려운 장거리 전송 및 더 높은 전송속도 조건을 분석하고자 한다. 추후 측정 및 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 RF Front-end 배열안테나 모듈의 위성통신 시스템 적용 가능성을 확인하고자 한다.

I. 서론

최근 전 세계적으로 저궤도 위성을 활용한 통신 서비스가 차세대 핵심 기술로 주목받고 있다. LEO 위성통신은 정지궤도 위성과 비교하여 낮은 지연 시간과 높은 전송속도를 제공할 수 있어, 글로벌 인터넷망 구축, 사물 인터넷, 재난 통신 등 다양한 분야에서 활용 가능성이 크다[1]. 특히, Ka-band와 같은 고주파 대역은 넓은 대역폭을 제공하여 기가비트급 데이터 전송을 지원할 수 있으므로 이를 구현하기 위한 고성능 RF Front-end module 개발이 필수적이다[2].

본 연구에서는 Ka-band 대역에서 동작하는 Ka-band RF 프론트엔드 모듈과 배열안테나를 설계 및 제작하고, 실제 통신 환경에서 성능을 검증하였다. 이를 위해 100 m 단거리 무선 링크 환경을 구축하여 1 Gbps 데이터 전송 시험을 수행하였으며, 이를 통해 제안된 모듈의 기본적인 동작과 성능을 확인하였다.

또한 현재 시스템은 일부 한계로 인해 높은 전송속도와 초장거리 통신에 대한 평가가 제한된다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 논문에서는 시뮬레이션을 병행하여 장거리 전송 및 높은 전송속도 조건에서의 성능을 분석하였다. 이를 통해 개발된 모듈의 확장 가능성과 실제 위성통신 환경 가능성을 종합적으로 검증하고자 한다.

II. 측정 결과

그림 1(a)와 (b)는 본 연구에서 제작한 Ka-band 송신기 모듈을 각각 나타낸다. 모듈의 성능 검증을 위해 100 m 거리의 무선 링크 환경을 구축하여 통신 실험을 수행하였다.

실험 과정에서 송신단은 변조된 2 GHz 중간주파수(IF) 신호를 입력받아, 믹서와 증폭기를 거쳐 28 GHz 대역의 RF 신호로 상향 변환하였다. 이후 신호는 20 dBm 출력 전력으로 안테나를 통해 방사되었다. 수신단에서는 100 m 떨어진 지점에서 RF 신호를 수신하여, 저잡음 증폭기와 믹서를 통해 다시 2 GHz IF 신호로 하향 변환하였다. 최종적으로 이 IF 신호를 오실로스코프에서 복조하여 통신 성능을 평가하였다.

그림 1(c)는 6가지 디지털 변복조 방식을 적용한 측정 결과를 보여준다. 분석 결과, 모든 변복조 방식에서 시스템 요구 규격을 만족하는 EVM 값을 얻었으며, 이를 통해 개발된 모듈이 안정적인 통신 성능을 확보했음을 확인하였다.

III. matlab 기반 통신 시뮬레이션

실험적 검증의 한계를 보완하고 시스템의 확장된 성능을 예측하기 위해, 본 연구에서는 MATLAB 기반의 배열 안테나 통신 성능 시뮬레이터를 자체적으로 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 element antenna의 방사 패턴

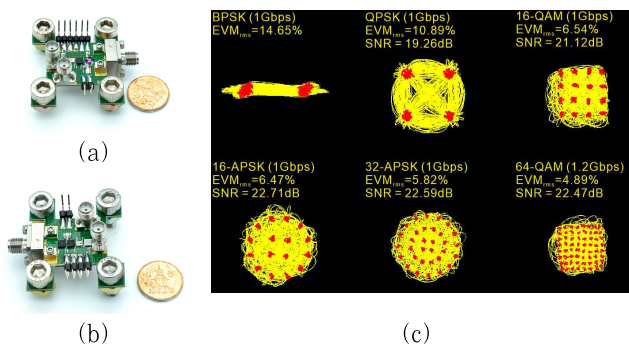


그림 1. Ka-band (a)송신기 모듈, (b)수신기 모듈, (c)100m, 1Gbps급 통신 측정 EVM과 SNR, I/Q Constellation 결과

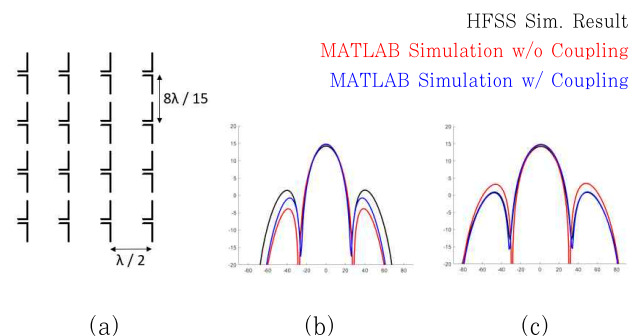


그림 2.(a) 4x4 Dipole Phased Array Configuration, (b) E-plane, (c) H-plane Pattern

및 소자 간 coupling 특성을 입력받아, 배열안테나의 종합적인 빔포밍 특성을 분석할 수 있도록 설계되었다. 그림 2(a)는 Dipole Antenna의 배열을 나타내었으며, 그림 2(b)와 2(c)는 해당 배열 안테나 계산에서 Coupling을 더해서 실제 사용하는 3D EM Simulation(Ansys HFSS)과 더 높은 정확성을 보이는 모습을 나타내었다.

현재 송수신 모듈의 노이즈에 대한 수치와 출력 전력과 같은 시스템 파라미터를 추가로 반영하여, 통신 링크 버젝 분석하는 기능을 구현하고 있다. 아직 통신 가능 여부에 대해서는 시뮬레이터를 제작하지 못했으나 향후 연구를 통해서 각 변복조 방식에 따른 통신 가능 여부를 시뮬레이션하고 측정과 비교, 검증할 예정이다.

본 시뮬레이터는 물리적 제약으로 인해 측정이 어려운 장거리 통신 환경에서의 성능을 검증하는 데 효과적으로 활용된다. 또한, 현재 사용된 부품의 대역폭 한계로 인해 실험적으로 구현하기 어려운 초광대역 전송속도 시나리오에 대해서도, 시스템에 요구되는 부품의 성능을 사전에 도출하는데 기여한다. 이처럼 시뮬레이션은 실제 제작 및 측정 과정에서 발생할 수 있는 시간과 비용을 절감시켜, 연구개발의 효율성을 크게 향상시키는 높은 가치를 지닌다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00260, 저궤도 군집 소형 위성 간 통신 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] G. Amendola et al., "Low-Earth Orbit User Segment in the Ku and Ka-Band: An Overview of Antennas and RF Front-End Technologies," in IEEE Microwave Magazine, vol. 24, no. 2, pp. 32-48, Feb. 2023
- [2] Katona Z, Gräßlin M, Donner A, et al. A flexible LEO satellite modem with Ka-band RF frontend for a data relay satellite system. Int J Satell Commun Network. 2020; 38 301 - 313.