

C 대역 통신에서 수신 다이버시티 하드웨어 구현 및 성능 분석

이종수, 유혜선, 김병기, 김원용
코메스타

{jslee, gotjs, weapon, wykim}@comesta.com

A Hardware Implementation and Performance Analysis for Receiver Diversity in C-band Communication

Lee JongSu, Yu Haeseon, Kim Byounggi, Kim WonYong
COMESTA, Inc.

요약

본 논문은 다양한 환경에서 운용되는 무인이동체 통신의 링크 성능향상 및 안정성 보장을 위해 수신 다이버시티 기술을 적용하여, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시된 M&S(Modeling & Simulation) 성능 결과와 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용하여 하드웨어에서 구현하고 시험을 통한 성능 결과를 비교 분석하였다. 시험 결과에 의하면, 수신감도지점에서 수신 다이버시티 기술을 적용하여 성능 이득이 이론 값인 3dB 확보되었고 이를 통해 무선 통신 구간에서의 링크 마진을 추가 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

I. 서론

다양한 환경에서 다수의 무인이동체를 동시 운용하기 위해서는 신뢰성 높은 통신기술 확보가 요구된다. 국내의 경우, 무인기 임무용 주파수로 할당된 5,091~5,150MHz 대역에서 무인기 제어와 임무 데이터 동시 전송을 위한 통신 기술이 TTA 국내 표준으로 채택된 바 있다 [1]. 무인기 임무용 통신 기술은 최대 20MHz 의 다양한 전송 대역폭과 전송율을 지원하며, 제어 및 임무용 데이터의 신뢰성을 보장한다. 또한 무인기 임무용 통신 기술에서의 링크 성능향상 목적으로 수신 다이버시티 기술을 적용할 수 있다 [2].

본 논문에서는 C 대역 통신에서 링크 성능 및 안정성 향상을 위해 수신 다이버시티 기술을 FPGA 를 이용하여 하드웨어에 구현하고, AWGN 환경에서 시험을 통해 성능 결과를 비교 및 분석한다. 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 C 대역 통신을 위한 물리계층의 주요기능을 소개하고, III 장에서는 FPGA 에 구현한 수신기의 블록 구조를 기술하고, IV 장에서는 수신 신호의 성능을 비교 및 제시하며, 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 물리계층 주요기능

무인기 임무용 통신 기술에서 물리계층은 다음과 같은 주요 기능을 갖는다.

- 주파수, 대역폭 가변전송구조
 - 지원 대역폭: 5, 10, 20MHz
- 낮은 PAPR 특성을 갖는 SC-FDE (Single Carrier - Frequency Domain Equalization) 방식 적용

- 다수의 무인이동체 운용을 위한 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식 적용

III. 수신기 블록 구조

FPGA 에 구현한 수신기는 기저대역 FIR 필터 (Base Band FIR Filter), 정합 필터 (Matched Filter), Digital AGC (Automatic Gain Control), 수신 신호를 검출하기 위한 프리앰블 검출기 (Preamble Detector), TR (Timing Recovery), 채널에 의한 왜곡된 신호를 보상하는 등화기 (Equalizer), 수신 안테나 다이버시티 기능을 하는 MRC (Maximal Ratio Combining) 블록, 디매퍼 (Demapper) 그리고 채널오류정정 및 검출의 기능을 하는 FEC 복호기 (FEC Decoder) 로 이루어져 있다.

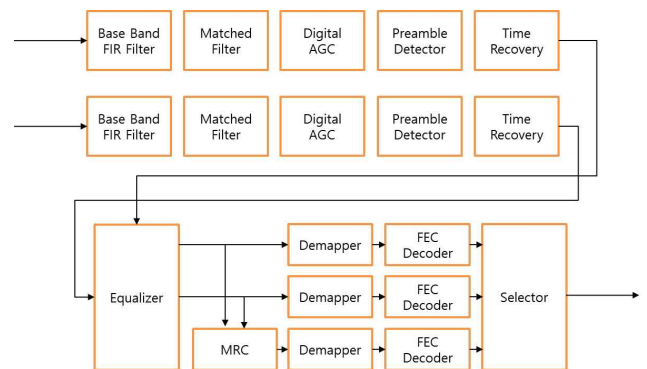


그림 1. 수신기 블록 다이어그램

그림 1 의 블록 다이어그램에서 볼 수 있듯이, 두 개의 안테나를 통해 수신한 신호를 MRC 결합을 통한 수신

다이버시티 및 안테나 선택을 통한 수신 다이버시티의 결과에서 CRC 오류 검출의 근거로 최종 복호된 신호를 선택한다.

그림 2 는 보드에 포팅하여 구현했을 때, FPGA 리소스 현황을 보여준다.

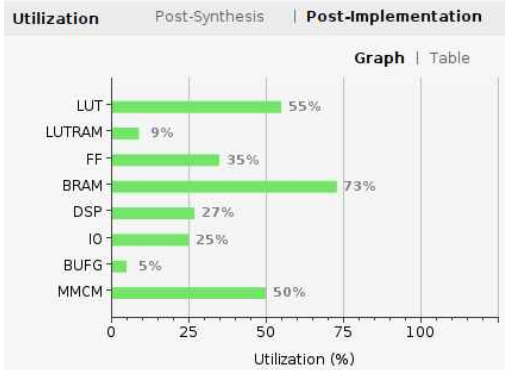


그림 2. 리소스 현황 (PN: XCZU6EG-FFVB1156-1i)

IV. 성능 비교

성능 분석을 위해 고려한 물리계층 파라미터와 채널 환경은 다음과 같다.

분석 대상

- 이동 속도: 240km/h
- 채널 환경: AWGN, K-factor 14 의 값을 가지는 1 Tap Rician 채널
- 수신 다이버시티 방식: 안테나 선택 및 MRC 결합
- 물리계층 파라미터
 - 전송 대역폭: 20MHz 및 10MHz
 - 변조 방식: 8PSK
 - 블록 크기: 2048, 1024
 - 부호율: 2/3

상기 사항을 바탕으로 수신 다이버시티를 적용하여, BER=10⁻⁶ 기준으로 요구되는 SNR 값을 M&S 수행하여 정리한 값을 표 1 에 나타내었다.

표 1. BER=10⁻⁶ 기준 요구 SNR 값 (M&S)

		1Rx	MRC
AWGN	20MHz	9.5	6.5
	10MHz	9.5	6.5
1 Tap Rician	20MHz	10.7	7.7
	10MHz	10.7	7.7

대역폭에 따른 성능 차이가 없으며, AWGN 및 1 Tap Rician 환경 모두에서 MRC 이득이 이론 값인 3dB 와 일치함을 확인하였다.

FPGA 를 이용한 하드웨어에서의 시험 결과 BER=10⁻⁶ 기준으로 요구되는 SNR 값을 수신감도의 값을 환산하여 표 2 에 나타내었다.

표 2. BER=10⁻⁶ 기준 요구 SNR 값 (시험결과)

		1Rx	MRC	SC	MRC&SC
AWGN	20MHz	9.5	6.5	8.4	6.5
	10MHz	9.5	6.5	8.5	6.5
1 Tap Rician	20MHz	10.7	7.7	9.6	7.7
	10MHz	10.7	7.7	9.7	7.7

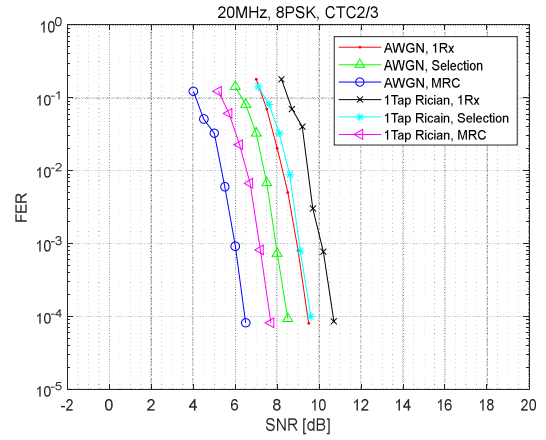


그림 3. SNR 에 따른 FER 성능

표 1 에서의 M&S 결과와 표 2 에서의 FPGA 를 이용한 하드웨어에서의 시험결과가 서로 일치함을 확인하였다. 표 2 에서 확인할 수 있듯이 안테나 선택을 통한 수신 다이버시티 이득이 MRC 결합을 통한 수신 다이버시티 이득보다 상대적으로 작음을 확인할 수 있었다. 이 점을 통해 성능 이득을 위해서는 MRC 결합의 필요함을 알 수 있다. 그러나 기체 움직임으로 인해 안테나가 Airframe shadowing 을 겪는 환경까지 고려한다면, 안테나 선택 수신 다이버시티 또한 성능 이득을 얻을 것으로 예상할 수 있다 [2]. 이러한 환경요인을 고려하여 MRC 결합 및 안테나 선택 수신 다이버시티를 동시에 수행하면 링크 성능향상 및 안정적인 통신이 보장될 것으로 기대된다.

V. 결론

본 논문에서는 C 대역 무인기 임무용 대역의 통신 채널 환경에서 수신 다이버시티 기법을 하드웨어에 적용하여 구현하였고 수신 성능에 대한 시험 결과를 M&S 성능 결과와 비교하고 그 결과가 서로 일치함을 확인하였다. 링크의 성능향상을 위해서는 MRC 결합이 필요하고, 또한 무인기 움직임을 고려한 환경에서 안정성 높은 통신을 위해 제시된 수신 다이버시티가 필요함을 확인하였다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 MRC 결합 방식과 안테나 선택 수신 다이버시티 방식을 동시에 적용하여 안정적인 통신 링크를 제공할 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 및 무인이동체원천기술개발사업단의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (NRF-2020M3C1C1A01084520, 무인이동체 원천기술개발사업 통신 및 보안연구단 총괄).

참고 문헌

- [1] TTA TTA.KO-06.0572-Part1, "Radio Interface Technology for Bi-directional Communications Operating at the C-band (5091-5150 MHz) - Part 1: Physical Layer" December 2022.
- [2] 김희욱, 김병기, 강군석, 김대호, "C 대역 무인이동체 통신에서 수신 다이버시티 성능 분석", 한국항공우주학회 2023 추계학술대회 논문집.