

군집 무인기를 위한 모뎀 설계 및 성능 분석

박휘성, 유명주, 백광훈, 이민*, 허진*
국방과학연구소, *LIG넥스원

7hwisung7@add.re.kr, *minlee@lignex1.com

Design and Performance Analysis of Modem for a Swarm of UAVs

Hwi-Sung Park, Myoung Ju Yu, Gwang Hun Baek, Min Lee*, Jin Heo*

Agency for Defense Development, *LIG NEX1 Co.

요약

본 논문에서는 공지 통신 채널 모델을 고려하여 군집 무인기 네트워크의 물리계층의 BER(Bit Error Rate)을 제시한다. 군집 무인기에서 사용하는 광대역, 협대역 웨이브폼에서 다중접속방식을 고려하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 결과 광대역 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 웨이브폼은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)에서의 성능 대비 약 1.8 dB의 마진, 나머지 웨이브폼들은 약 1.4 dB의 마진이 필요한 것을 확인한다.

I. 서론

무인기 시스템에 대한 수요와 함께 무인기 시장이 활발하게 성장함에 따라 보다 다양한 운용 형태 및 환경에 대한 연구개발이 요구되고 있다. 특히 국방 안보, 재난-재해 상황 등에 있어 신속한 대응을 위해 대량의 군집무인체계를 활용한 고효율, 신개념의 기술 도입에 대한 필요성이 증대되고 있다. 군집 네트워크 기술은 무인체의 군집 운용에 있어 핵심 기반 기술로 대규모 무인체계의 군집 비행을 위한 무인기 간 정보교환 및 지상체와 군집 간의 임무/상태정보 전송에 있어 필수적이다.

본 논문에서는 군집 무인기 네트워크에서 안정적인 데이터 유통을 위한 데이터링크 모뎀 구조를 소개하고, 웨이브폼별 BER 측정으로 구현된 시스템의 설계 결과를 검증한다.

II. 본론

군집 무인기의 모뎀 주요 파라미터는 표 1에서 확인할 수 있다. 군집 무인기 네트워크는 광대역 웨이브폼과 협대역 웨이브폼으로 이루어져 있다. 광대역 웨이브폼은 20 km 통달거리 이내에서 대용량 영상 데이터 전송이 가능한 웨이브폼이고, 협대역 웨이브폼은 최대 40 km 반경까지 무인기 제어가 가능한 웨이브폼이다. 군집 무인기 모뎀은 무인기 동체로 인한 궤도영향 효과를 줄이기 위해서, 2X2 MIMO-OFDM(Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 구조로 Spatial diversity를 얻는다. 군집 무인기 네트워크의 웨이브폼은 메시지의 목적에 따라 TDMA(Time Division Multiple Access) 와 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 의 다중접속 방식을 지원한다. 지상에서 다수의 무인기를 통제하기 위한 메시지인 T1과 무인기에서 수집한 영상을 송신하기 위한 메시지인 T4는 TDMA 기반의 다중접속방식을 사용한다. 개별 무인기의 상태정보인 T3와 지상으로 송신하기 위한 종합된 군집 무인기의 상태정보인 T2는 CSMA 기반의 다중접속방식을 사용한다. TDMA를 사용하는 T4 메시지는 영상데이터를 지원하기 위해 CSMA보다 높은 전송률이 요구되어, 코드율을 2/3을 사용한다. 군집 무인기 모뎀의 상세 송신 블록도와 수신 블록도는 그림 1, 그림 2에 각각 나타낸다.

표 1. 군집 무인기의 모뎀 주요 파라미터

Parameter	광대역 웨이브폼		협대역 웨이브폼	
Frequency	L-Band			
Frame structure	- TDD-TDMA Frame (T1,T4) - CSMA/CA Frame (T2,T3)			
Multiplexing	2X2 MIMO-OFDM			
MIMO Opera.	Spatial diversity			
FFT_size	64 (58 using data subcarrier)			
Data Rate	20Mbps 이상		1.8 Mbps이상	
Frame type	TDD/TDMA	CSMA/CA	TDD/TDMA	CSMA/CA
Modulation	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
FEC	CTC (R ≈ 2/3)	CTC (R ≈ 1/2)	CTC (R ≈ 2/3)	CTC (R ≈ 1/2)

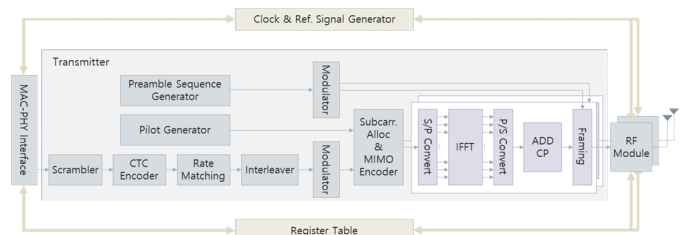


그림 1. 군집 무인기의 모뎀 송신 블록도

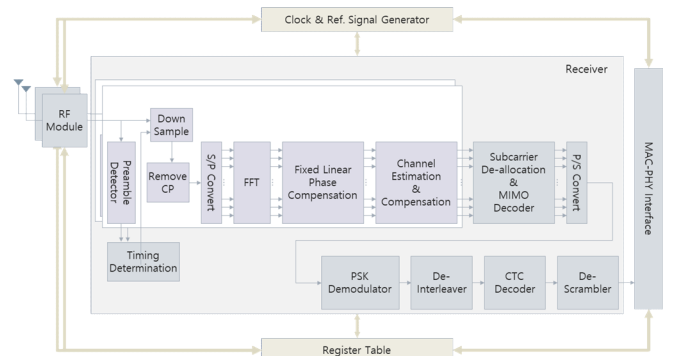


그림 2. 군집 무인기의 모뎀 수신 블록도

표 2는 본 논문에서 고려하는 공지 통신 채널 모델이다. 대표적으로 2개의 모델을 고려하여 시뮬레이션을 수행한다. G2A 모델은 논문 [1]의 결과를 사용하고, 3-Ray 모델은 논문 [1]의 결과보다 열악한 환경을 가정한 모델이다. 두 모델 모두 첫 번째 tap은 Rician 분포를 따르며, 두 번째 이상의 tap은 Rayleigh 분포를 따른다고 가정한다.

표 2. 공지 통신 채널 모델

채널 모델	Tap	Delay [ns]	Power [dB]	Fading
G2A [1]	1	0	0	Rician
	2	143	-27.51	Rayleigh
	3	184	-21.69	Rayleigh
	4	224	-22.13	Rayleigh
3-Ray	1	0	0	Rician
	2	400	-15	Rayleigh
	3	1000	-20	Rayleigh

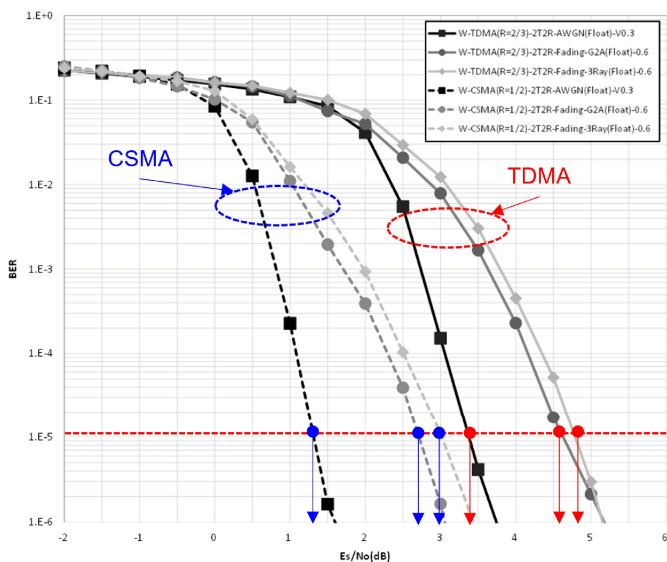


그림 3. 광대역 웨이브폼 BER 성능

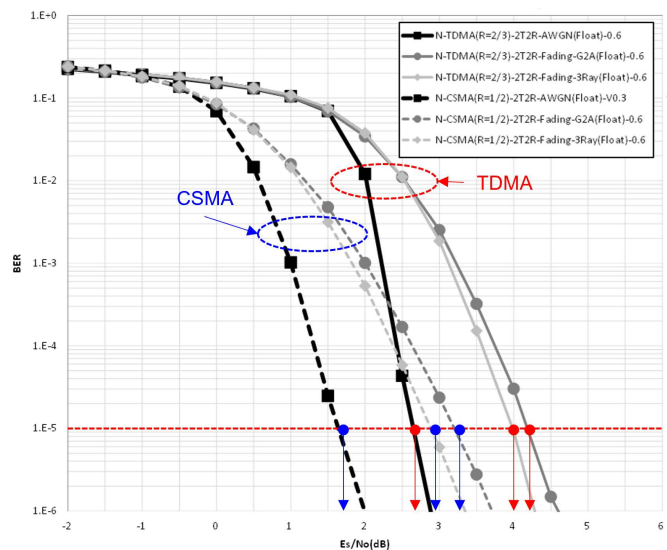


그림 4. 협대역 웨이브폼 BER 성능

표 2. 시뮬레이션 결과 (요구 Es/No (dB))

		AWGN	G2A	3-Ray
광대역	CSMA	1.2	2.8	3.0
	TDMA	3.3	4.6	4.8
협대역	CSMA	1.8	3.0	3.2
	TDMA	2.8	4.0	4.2

그림 3과 그림 4는 군집 무인기 웨이브폼 BER 성능 결과이다. 그림 3은 광대역 웨이브폼 BER 성능이고, 그림 4는 협대역 웨이브폼 BER 성능이다. 각 그림은 채널 모델과 프레임 구조 별로 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 군집 무인기에서 요구하는 BER 성능인 10^{-5} 을 기준으로 요구 Es/No를 계산한 결과를 표 2에 나타낸다. CSMA 프레임 구조는 사용되는 코딩률이 TDMA보다 낮기 때문에 낮은 요구 Es/No 값을 갖는다.

III. 결론

본 논문에서는 군집 무인기 모델의 성능 결과를 제시하였다. 공지 채널 모델을 고려했을 때 광대역 CSMA 웨이브폼은 약 1.8 dB의 마진, 나머지 웨이브폼들은 약 1.4 dB의 마진이 필요한 것을 확인하였다. 추후 통달거리를 고려한 링크버킷을 설계할 때 본 시험 결과를 활용하여 군집 무인기 네트워크 설계에 활용할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(91295201)

참고 문헌

[1] J.Kim and I. Lee, "Channel Measurements and Characterizations for Long Range Air-to-Ground Communication Systems in the UHF Band" in IEEE Access, vol. 10, pp. 101880-101888, 2022.