

# UAV기지국을 활용한 전장상황 통신에서의 웨이브폼 성능 분석

김현수, 이정섭, 채찬병, 김광순  
연세대학교 전기전자공학과

{hskim, jslee}@dcl.ac.kr, {cbchae, ks.kim}@yonsei.ac.kr

## Waveform Performance Analysis in Communication Under the Battlefield Situation Using UAV Base-Station

Hyun Soo Kim, Jung Seop Lee, Chan Byoung Chae, Kwang Soon Kim

Department of Electrical & Electronic Engineering Yonsei Univ.

### 요약

본 논문은 전장(Battle space)에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 기지국으로 활용하여 통신 서비스를 제공하는 상황 하에 고효율의 웨이브폼에 대해 논의한다. 실제 전투지형 및 UAV·단말노드의 이동성을 묘사하여 시스템 레벨 시뮬레이터(SLS)를 구축 후 상향-하향링크에서 시뮬레이션 결과 하향링크는 f-OFDM, 상향링크는 GFDM을 적용하여 다중 웨이브폼을 공존시키는 것이 전송률 측면에서 효율적임을 보였다.

### I. 서론

미래의 전투 환경을 고려해 본다면, 통신 네트워크 발전에 따라 고효율의 전투 수행을 위해 최하위 전투원으로부터 지휘관까지 실시간으로 전투 상황을 가시화 하여 전달할 수 있는 능력이 요구된다. 또한 우리나라의 지형적 특성 측면에서 살펴보면, 산악지형이 많이 기동성 발취가 어려우며, 이로 인해 망의 생존성을 확보하기 어렵다. 특히 공격 작전시에는 통신을 지원하기 위한 기지국을 설치 할 시간이 충분하지 않으며, 빠른 속도록 작전이 진행되는 기계화 부대 작전에서는 속도측면에서 통신을 효율적으로 지원하기 어렵다. 따라서 미래 전장환경과 한국의 지형적 특성을 고려해 봤을 때, 통신을 효율적으로 지원하기 위해서는 무인기(UAV)를 활용하여 기동성 및 고속 광대역 통신 네트워크를 구축하는 것이 필수적이다.

UAV는 전투 및 정찰을 위한 군사적 용도로 사용되었지만 최근에는 농업, 산불감시 및 진화, 배송, 물류, 촬영, 재난상황 대처, 연구 개발 등 다양한 분야에서 활용중이다. 특히, 최근에는 UAV를 단순한 단말 노드가 아닌 기지국으로 활용하여 긴급 상황에 통신을 구성하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 3D공간상의 효율 높은 UAV기지국 높이 및 위치를 설정하기 위한 알고리즘에 대한 연구[1], 지상 기지국 설치 환경과 UAV기지국 혼합 활용한 환경에서의 네트워크 성능 비교 연구[2], UAV기지국 활용시 UAV 운행에 필요한 전력과 기지국 운용에 필요한 전력의 최적화 비율 제시[3], 지형에 따른 UAV기지국 통신 지원범위 연구[4], UAV기지국 속도에 따른 웨이브폼 파라미터 연구[5] 등이 대표적이다. 하지만, 이와 같은 연구는 지형 및 노드의 분포, 이동성을 단순한 통계 모델을 사용하여 성능 분석하였으며, 한반도의 군 전투상황 시나리오에서의 성능 실험 결과와 달라질 수 있다. 따라서 전투상황 시나리오를 잘 반영한 시나리오 기반 성능 실험이 필요하다.

현재 상용 이동통신에서는 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 웨이브폼을 사용한다. 하지만 고속으로 이동하는 다수의 단말기와 더불어 UAV기지국 또한 이동성을 가지므로 이로 인한 간섭이 발생하여 직교성을 유지하기 어려워 효율이 감소할 수 있다. 5세대 이동통신 연구기관에서는 이러한 OFDM 웨이브폼의 단점을 개선하기 위하여 필터를 사용하는 다중반송과 웨이브폼을 제시하고 있다. 이러한 필터를 사용한 웨이브폼은 고속으로 이동하는 단말기 사이의 간섭을 기지국 측면에서 영향 없이 수신하는 것이 가능하다. 또한 다수의 통신 환경이 존재하는 경우 웨이브폼 파라미터를 다양하게 적용하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 미래 전장상황에서 전장 가시화를 목표로 실시간 영상을 단절없는 전송을 위한 목표를 달성하기 위해 연구 방법을 제시한다. 연구

방법은 실제 전투환경과 유사한 지형 및 단말의 이동성, UAV기지국 이동성을 묘사한 Ray-tracing기반 시뮬레이터를 통해 현실감 높은 채널을 구축 후 시스템 레벨 시뮬레이터(SLS)를 구축하여 성능 분석을 한다. 이를 통해 상향-하향 링크에서의 OFDM웨이브폼과 필터가 추가된 웨이브폼의 성능을 분석 후 고효율의 웨이브폼 파라미터를 제시하며, 웨이브폼의 발진방향을 제시한다.

### II. 본론

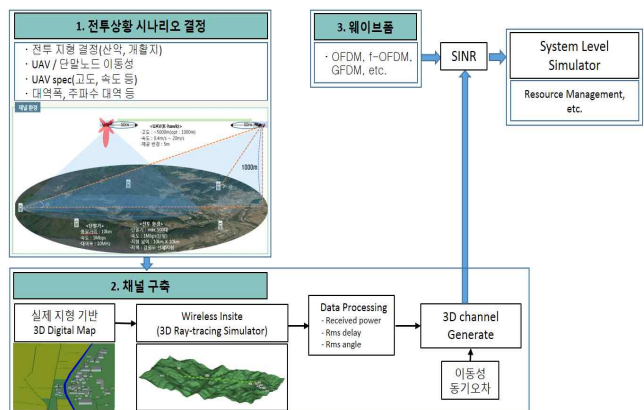


그림 1. 시나리오 기반 시스템 레벨 시뮬레이터 구축 방법

연구 방법은 그림 1과 같으며, 군 전투상황에 적합한 웨이브폼을 제시하기 위하여 실제 환경과 유사한 시나리오를 기반으로 웨이브폼의 성능 실험을 했다는 것이 특징이다. 이에 따라 성능분석을 위해 실제 전투상황과 유사한 시나리오 작성이 우선되어야 한다. 군의 전투상황에서 가장 빈번하게 발생하는 전투 상황 및 군 통신 환경을 고려하여 시나리오를 구축한다.

채널 구축 단계에서는 앞서 구축한 시나리오를 기반으로 Ray-tracing에 지형을 제작한다. 지형은 실제 표준 지형과 거의 유사한 3D 지형을 구축한다. 지형 구축 완료 후 UAV기지국/단말 노드의 이동성을 추가하여 실제 지형에서 움직이는 것처럼 표현이 가능하도록 제작한다. 이렇게 완료된 3D 형태의 Ray-tracing 시뮬레이터를 통하여 UAV기지국과 단말 노드 사이의 송수신 전력과 각 경로별 전송 지연 및 각도를 결과로 얻을 수 있다. 이렇게 수집된 데이터를 Matlab을 활용하여, 이동성 및 동기오차에 대한 모델을 적용하여 최종 UAV-Ground 채널을 구축한다.

웨이브폼 적용에 있어서는 웨이브폼의 특성(심볼 길이, 필터 특성, CP 길이 등)을 반영하여 이를 변수로 각 전투환경에서의 SINR을 도출하며, 이후 자원 할당 방법을 반영하여 Throughput을 통한 성능 분석을 한다.

1) 시나리오

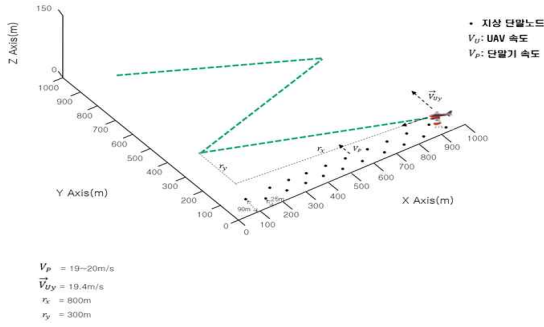


그림 2. 군 전투상황 시나리오

성능 분석에 사용된 시나리오는 보병 및 기계화 부대가 개활지, 산악을 이동하는 상황으로 그림 2와 같으며, 1km×1km의 지형에 단말 노드 및 UAV가 이동하고 있으며, 단말 노드는 보병(1.1~1.3m/s), K-2 전차(19~20m/s)의 범위로 Ray-tracing 시뮬레이터 내에서 랜덤하게 움직이며 이동 각도 또한 Y축 방향 좌우측으로 90도 내에서 움직이는 것으로 가정하였다. UAV 기지국은 사선으로 움직이며 X축 방향으로 800m, Y축 방향으로 300m 범위에서 사선으로 움직인다. 속도는 단말노드와 동일한 전진 속도를 보장하기 위해 Y축으로 각각 1.1ms, 19.4m/s로 움직인다.

전투 시나리오별 고효율의 웨이브폼 파라미터를 결정하기 위해 [6]을 참조하여 시나리오에서 성능 실험한 결과, 표 1과 같다.

	보병/개활지	기계화 부대/개활지	보병/산악	기계화 부대/산악
CP 길이	0.67 $\mu$ s	0.67 $\mu$ s	2.5 $\mu$ s	2.5 $\mu$ s
부반송과간격	5~9kHz	10~15kHz	5~9kHz	10~15kHz

표 1. 시나리오별 고효율 웨이브폼 파라미터

하향링크		상향링크	
단일 웨이브폼	Waveform MUX	단일 웨이브폼	Waveform MUX
$T_{CP} = 2.5\mu\text{s}$	Various $T_{CP}$	$T_{CP} = 2.5\mu\text{s}$	Various $T_{CP}$
$\Delta f = 15\text{kHz}$	Various $\Delta f$	$\Delta f = 15\text{kHz}$	Various $\Delta f$
OFDM	f-OFDM	OFDM	GFDM

표 2. 웨이브폼 파라미터 구성 방법

앞서 결정한 웨이브폼 파라미터를 활용하여 실제와 비슷한 환경에서 효율 비교를 위해 앞서 제시한 시나리오를 조합하여 산악·도시 지형에서 보병과 기계화 부대가 혼재되어 있는 상황에서 단일 웨이브폼을 구성하는 경우와 속도 및 지형에 따라 다양한 웨이브폼을 구성할 경우(Waveform MUX)의 효율을 비교하였다. 그림 3은 하향링크에서의 시뮬레이션 결과로 주파수 효율성의 누적분포함수를 각각의 웨이브폼 파라미터 구성 방식에 대하여 얻은 그래프이다. 각각의 방식에서 평균 주파수 효율은 최악의 경우 4.50bps/Hz, 다중 웨이브폼 공존 방식에서 5.40bps/Hz와 같았다.

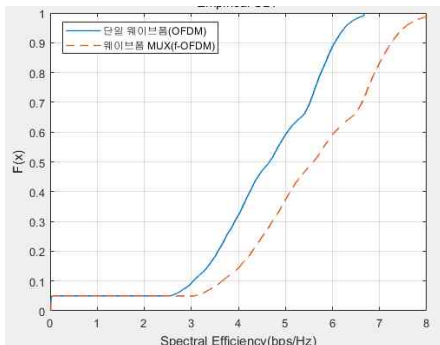


그림 3. 하향링크 시뮬레이션 결과

그림 4는 상향링크에서의 시뮬레이션 결과이며, 각각의 방식에서 평균 주파수 효율은 최악의 경우 2.38bps/Hz, 다중 웨이브폼 공존 방식에서 3.20bps/Hz와 같았다.

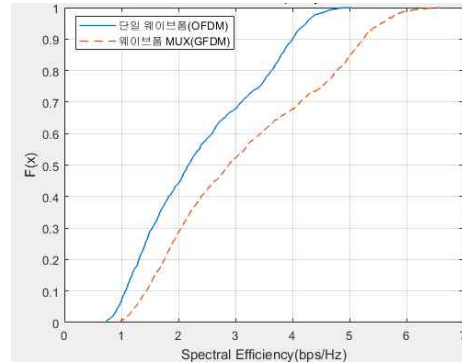


그림 4. 상향링크 시뮬레이션 결과

III. 결론

논문에서는 전장에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 기지국으로 활용하여 통신 서비스를 제공하는 상황에서 실제와 유사한 시나리오 기반의 시스템 레벨 시뮬레이터(SLS)를 구축하여 상향·하향링크에서의 시뮬레이션 결과 하향링크는 OFDM 및 필터 추가된 웨이브폼이 동일 성능을 보이며, 상향링크는 GFDM 웨이브폼을 적용하는 것이 전송률 측면에서 효율적임을 보였다. 또한, 다수의 채널 특성이 존재하는 통신 환경에서는 필터가 추가된 웨이브폼 활용 시 각 채널에서 고효율을 발휘하는 파라미터를 다르게 적용할 수 있으며 이를 통해 전송률의 향상을 보였다. 차후 UAV기지국을 활용한 통신에서 전송률을 높이기 위한 LoS MIMO, 다중 패턴 안테나 기술 적용에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD160070BD)

참고 문헌

- [1] R. I. Bor-Yaliniz, A. El-Keyi, and H. Yanikomeroglu, "Efficient 3D placement of an aerial base station in next generation cellular networks," IEEE ICC, May 2016.
- [2] J. Lyu, Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Placement optimization of UAV-mounted mobile base stations," IEEE Commun. Lett., vol. 21, no. 3, pp. 604 - 607, Mar. 2017
- [3] Y. Zeng, "Energy-Efficient UAV Communication With Trajectory Optimization," IEEE Transactions on Wireless Communications, VOL. 16, NO. 6, JUNE 2017.
- [4] A. Fotouhi, M. Ding, and M. Hassan, "DroneCells: Improving 5G Spectral Efficiency using Drone-mounted Flying Base Stations," ArXiv e-prints, Jul. 2017.
- [5] Yong Zeng, Rui Zhang, and Teng Joon Lim, "Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges," 2016.
- [6] S. Das, E. de Carvalho, and R. Prasad, "Performance analysis of ofdm systems with adaptive subcarrier bandwidth," Wireless Communications, IEEE Transactions on., April 2008.