

전장상황 하 고속이동 UAV 기지국을 활용한 통신에서 고효율의 웨이브폼 연구

김현수, 이정섭, 김광순, 채찬병, 최증원, 음수빈
 연세대학교 전기전자공학과, 국방과학연구소

{hskim, jslee}@dcl.ac.kr, {ks.kim, cbchae}@yonsei.ac.kr, {jwchoi, sbum1989}@add.re.kr

A Study on High Efficiency Waveform of UAV Base Station Communication in Battle-Space Environments

Hyun Soo Kim, Jung Seop Lee, Kwang Soon Kim, Chan Byoung Chae, Jeung Won Choi, Soo Bin Um

Department of Electrical & Electronic Engineering Yonsei Univ., Agency for Defense Development

요약

본 논문은 전장(Battle space)에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 기지국으로 활용하여 통신 서비스를 제공하는 상황에서 고효율의 웨이브폼 파라미터에 대해 논의한다. 지형과 UAV·단말 이동속도를 상황별로 나누어 채널을 생성하여 CP(Cyclic prefix)의 길이를 결정 한 후, 속도별 가변 부반송파 간격·동일 부반송파 간격을 갖는 웨이브폼의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한 결과 상황별로 파라미터를 다르게 구성하는 것이 효율적임을 보였다.

I. 서론

전장환경에서 한국의 지형적 특성은 산악지형이 많아 기동성 발취가 어려우며, 이로 인해 망의 생존성을 확보하기 어렵다. 또한 공격 작전시에는 통신을 지원하기 위한 기지국을 설치할 시간이 충분하지 않으며, 특히 빠른 속도로 작전이 진행되는 기계화 부대 작전에서는 속도측면에서 통신을 효율적으로 지원하기 어렵다. 따라서 미래 전장환경에서 통신을 효율적으로 지원하기 위해서는 무인기(UAV)를 활용한 기동성 및 광대역 통신이 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. UAV가 다양한 분야에서 사용됨에 따라 UAV를 활용한 무선 통신을 가능하게 하는 연구들이 있다 [1]-[3]. 또한, 지진·화산폭발·쓰나미 등의 재해로 기반 통신 네트워크 인프라가 붕괴된 재난 상황에서 UAV를 활용하여 재난 정보 네트워크 시스템을 제안한 연구가 있다 [4]. 하지만 이러한 연구에서는 UAV를 단순히 단말기로 활용하거나 네트워크가 단절된 상태에서 UAV를 자율 비행시켜 주변의 기지국을 찾아 기지국과 공중 UAV간에 네트워크를 재구성·무선 통신하는 높은 계층의 연구가 대부분이다. 하지만 실제 전투상황을 고려해 본다면, 지상 기지국이 전혀 설치되지 않은 상황에 고속으로 이동하는 다수의 지상 단말기가 공중 UAV기지국을 통하여 무선 통신을 해야 한다. 특히, 다수의 지상 단말기에 의한 상호 링크를 고려해보면 인접 단말기로 인해 간섭이 발생할 수 있으며 이를 극복하는 웨이브폼을 링크레벨에서 연구할 필요가 있다.

현재 상용 이동통신에서는 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 웨이브폼을 사용한다. 하지만 고속으로 이동하는 다수의 단말기와 무선통신을 하는 상황에서는 간섭이 발생하여 직교성을 유지하기 어려워 비효율적이다. 5세대 이동통신 관련 연구기관에서는 이러한 OFDM 웨이브폼의 단점을 개선하기 위하여 필터를 사용하는 다중반송파 웨이브폼을 제시하고 있다. 5G 기술 개발을 위한 연합기구인 5GPPP가 진행하는 프로젝트 METIS-II에서는 FBMC(Filter-Bank MultiCarrier modulation) 웨이브폼을 무선 인터페이스로 고려하고 있으며, 독일 트레스텐 대학의 Gerhard. P. Fettweis 교수는 GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing)을 제안하였다. Alcatel-Lucent의 Bell Lab에서는 UFMC (Universal Filtered MultiCarrier) 웨이브폼을 새롭게 제안하였으며, 그리고 중국의 화웨이(Huawei)에서는 f-OFDM(filteredOFDM)에 대한 개발을 진행하고 있다 [5]. 이러한 필터를 사용한 웨이브폼은 고속으로 이동하는 다수의 단말기 사이의 간섭을 기지국 측면에서 영향 없이 수신하는 것이 가능하다.

현재 UAV용 통신 시스템은 기존의 상용망 LTE 시스템이나 GSM 시스템 기반에서 동작에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 그러나, 고속의 이동체에 따른 심볼 길이 및 부반송파 간격 등이 달라져야할 필요가 있다. 본 논문에서는 전장상황에서의 UAV기지국 채널 환경을 대상으로 웨이브폼 파라미터를 조정하여 성능을 각각 분석함으로써 저속·고속 이동 UAV에 적합한 웨이브폼의 방향을 논의한다.

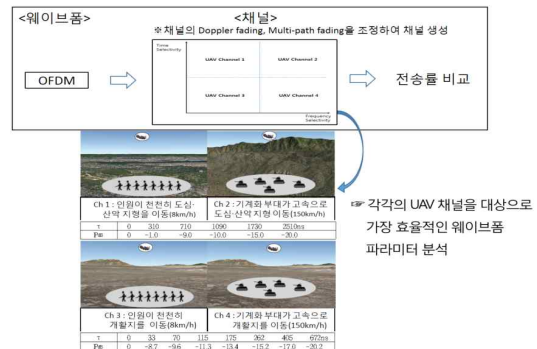


그림 1. 웨이브폼 파라미터 구성 환경

II. 본론

웨이브폼의 파라미터는 특정 반송파 주파수와 대역폭에서, 채널의 환경에 따라 다중 경로 페이딩과 도플러 페이딩에 의해 결정된다. 다중 경로 페이딩은 지연확산 분포에 의해 발생하는데 이러한 영향에 의한 간섭을 줄이기 위해서는 지연확산 분포 길이만큼 CP를 추가해야 한다. 도플러 페이딩에 의한 영향은 사용자의 이동속도에 따라 진파의 반송파에 도플러 편이를 일으켜 발생하는 것으로 사용자의 이동속도와 반송파 주파수로부터 최대 도플러 주파수를 구할 수가 있으며 도플러 주파수보다 부반송파 간격(Subcarrier Spacing)이 충분히 크도록 정해야 도플러 페이딩의 성능 저하를 막을 수 있다 [5]. 또한 웨이브폼의 시간, 주파수 산포(Spread)의 비와 채널의 시간, 주파수 산포의 비가 비슷하면 성능이 좋으며 부반송파 간격이 가간섭성 대역폭(Coherence band) 보다 작아야 하고 심볼 길이(부반송파 간격의 역수+CP길이)가 가간섭성 시간(Coherence time) 보다 작아야 한다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 단말기·UAV기지국 간 상대속도 및 지형이 상이한 시나리오를 대상으로 서로 다른 다중 경로 페이딩과 도플러 페이딩을 가지고 있는 환경을 고려했다. 이 링크 레벨 시뮬레이터에는 다중 경로 페이딩이 큰 경우와 작은 경우, 단말기·UAV간 이동속도가 커 도플러 페이딩이 큰 경우와 작은 경우 네 가지의 환경으로 전장상황에서 발생할 수 있는 대표적인 사례를 도출하였으며 이러한 시나리오를 통해 웨이브폼

이 고효율을 달성 가능한 CP길이 및 부반송파 간격을 결정했다. 시나리오 1은 인원(보병 부대)이 천천히 도심·산악 지형을 이동하는 경우로 인원이 단말기를 소지하고 평균 전진 속도인 4km/h로 이동하고 있으며, UAV기 지국 또한 최저 활공 속도인 4km/h로 이동하는 상황으로 worst case를 가정하여 최대 8km/h(서로 반대 방향)로 설정하였다. 시나리오 2는 기계화 부대가 빠른 속도로 도심·산악 지형을 이동하는 경우이며 전차(tank)의 최고 속도 70km/h, UAV기 지국 최고 속도 80km/h를 가정하여 상대속도는 최대 150km/h로 설정했다. 도심·산악 지형의 지연확산을 구하기 위해서는 다중경로 페이딩의 영향이 커 지연확산이 큰 채널 모형을 분석하였으며 채널의 지연확산은 [6]에서 제시한 환경처럼 지상의 건물 및 산이 다수 분포되어 있는 상황에서 UAV(높이 500m)가 지상의 통제소와 통신 시 전력지연 프로파일(PDP)을 활용하였다. 시나리오 3은 시나리오 1과 인원(보병 부대), UAV기 지국 속도는 동일하며 개활지 지형을 고려하였다. 시나리오 4는 시나리오 2와 동일한 기계화 부대, UAV기 지국 속도를 가정하며 개활지를 이동하는 상황을 고려하였다. 개활지의 지연확산을 구하기 위해, 가시 통신이 주를 이뤄 지연확산이 작은 채널 모형을 분석했으며, [7]에서 제시한 것처럼 항공기(높이 500m)가 공항에 위치한 지상 관제탑과 통신을 하는 상황으로 공항의 특성상 넓은 개활지에서의 전력지연 프로파일을 얻을 수 있었다. 이를 통해 각 지형별 웨이브폼의 CP 길이를 정하였다.

단말기 및 UAV기 지국 사이의 상대 속도에 의해 야기되는 도플러 페이딩으로 인한 성능 저하를 최소화 하기 위해 부반송파 간격을 적절하게 결정할 필요가 있으며, 단말기가 신호 수신 시 전송률을 최고로 할 수 있는 부반송파의 간격을 결정하였다. 이를 위해 OFDM 웨이브폼을 사용하여 각 시나리오별로 시뮬레이션 하였으며 전송률을 구하기 위해서 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)를 [8]의 연구를 참조하였다. 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)는 식(1)과 같이 도플러 페이딩에 의해 발생하는 δf 와 부반송파의 간격에 의해 표현될 수 있다.

$$SINR_{\Delta f_{sc}}(k) \approx \frac{E\{|X[k]^2\}E\{|H[k]^2\} \text{sinc}(\pi \frac{\delta f}{\Delta f_{sc}})^2}{\sigma_w^2 + \frac{1}{2}E\{|X[k]^2\}E\{|H[k]^2\}(\pi \frac{\delta f}{\Delta f_{sc}})^2} \quad (1)$$

단말기의 이동속도 및 반송파 주파수에 따라 이를 시뮬레이션 해보면 그림 2와 같이 전송률을 얻을 수 있으며 식 (2)과 같이 UAV 및 단말기의 상대속도에 의한 최대의 성능을 발휘할 수 있는 부반송파의 간격을 구할 수 있다. 시뮬레이션 결과 시나리오 1,3의 경우 부반송파의 간격을 5kHz 내외로, 시나리오 2,4의 경우 8kHz 내외로 결정하여 사용하는 것이 전송률 측면에서 높은 효율을 발휘할 수 있다는 것을 알 수 있다.

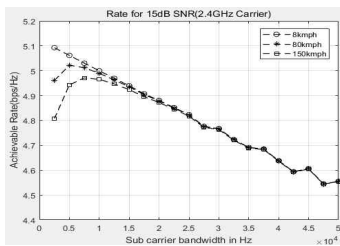


그림 2. 부반송파 간격에 따른 속도별 전송률 비교

$$\Delta f_{sc} = \begin{cases} 5kHz, & v \leq 80km/h \\ 8kHz, & 80 < v \leq 150km/h \end{cases} \quad (2)$$

그림 3은 앞서 구한 각 시나리오별 고효율의 파라미터를 정리한 것으로, 반송파 주파수 2.4GHz를 사용하는 상황에서 성능이 높은 웨이브폼 파라미터(CP 길이, 부반송파 간격)를 도출하였다.

	CP length	Doppler freq.
Scenario 1 (v = 8km/h)	$T_{CP} = 2.5\mu s$	$f_d = 14.8Hz$
Scenario 2 (v = 150km/h)	$T_{CP} = 2.5\mu s$	$f_d = 277.8Hz$
Scenario 3 (v = 8km/h)	$T_{CP} = 0.67\mu s$	$f_d = 14.8Hz$
Scenario 4 (v = 150km/h)	$T_{CP} = 0.67\mu s$	$f_d = 277.8Hz$

그림 3. 시나리오 환경에 따른 고효율 웨이브폼 파라미터

앞서 결정한 웨이브폼 파라미터를 활용하여 실제와 비슷한 환경에서 효율 비교를 위해 시나리오 1, 2를 조합하여 산악·도시 지형에서 보병과 기계화 부대가 혼재되어 있는 상황에서 웨이브폼 파라미터를 동일하게 구성할 경우와 속도에 따라 다르게 구성할 경우의 효율을 비교하였다. 그림 4는 부반송파 간격을 보병일 경우 5kHz, 기계화 부대의 경우 8kHz로 각각 다르게 구성한 시뮬레이션 결과이며, 좋은 성능을 보인다(5.1bps/Hz). 그림 5의 경우는 보병, 기계화 부대의 부반송파 간격을 5kHz로 동일하게 설정 후 시뮬레이션 한 결과로 성능이 그림 4에 비해 낮아진 것을 알 수 있다(4.96bps/Hz). 따라서, 단말기의 속도에 따라 각각 다른 웨이브폼 파라미터를 구성하는 것이 전송률 측면에서 이득이다.

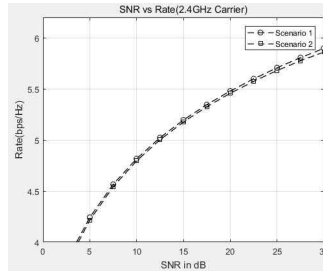


그림 4. 가변 부반송파 간격

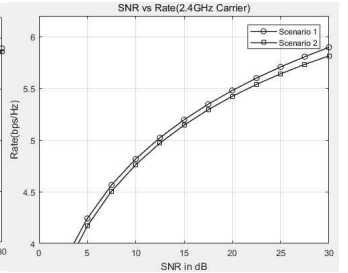


그림 5. 동일 부반송파 간격

III. 결론

논문에서는 UAV 기지국을 활용한 통신에서 고효율의 웨이브폼 파라미터(부반송파 간격, CP 길이)에 대해 논의 하였고, 같은 지형에서 서로 다른 속도의 단말기가 혼재되어 있는 환경에서는 부반송파 파라미터를 단말기의 속도에 따라 다르게 구성하는 것이 전송률 관점에서 높은 성능을 가짐을 시뮬레이션으로 보였다. 이를 가능하게 하기 위해서는 웨이브폼에 필터를 추가하여 심볼 길이가 서로 다른 웨이브폼 사이에 간섭이 없도록 해야 한다. 따라서 차후 단말기의 속도에 따라 다른 파라미터 사용을 가능하게 하기 위한 필터를 추가한 웨이브폼을 실제 채널 환경에서 성능 비교하는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] M. Asadpour, B. "Micro aerial vehicle networks: An experimental analysis of challenges and opportunities," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 7, pp. 141-149, 2014.
- [2] J. Allred "Sensor Flock: An airborne wireless sensor network of micro-air vehicles," Proceedings of the 5th International ACM Conference, pp. 117-129, 2007.
- [3] T. Andre. "Application-driven design of aerial communication networks," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 129-137, 2014.
- [4] N. Uchida. "Resilient network with autonomous flight wireless nodes based on delay tolerant networks," INPRA, vol. 2, no. 3, pp. 1-13, 2014.
- [5] Jong Hyun Kim. "5세대 이동통신 시스템을 위한 웨이브폼 파라미터 구성 방법," 2016년 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2016.
- [6] ITU. "Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace," International Telecommunication Union, Tech. Rep. M.2171, December 2009.
- [7] W. G. Newhall. "Wideband air-to-ground radio channel measurements using an antenna array at 2GHz for low-altitude operations," Military Communications Conference, vol. 2, pp.1422~1427, October 2003.
- [8] S. Das. "Performance analysis of ofdm systems with adaptive sub carrier bandwidth," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 7, no. 4, pp.1117~1122, April 2008.