

## 5 세대 이동통신 시스템을 위한 웨이브폼 파라미터 구성 방법

김종현, 이진녕, 이광훈, 채찬병\*, 김광순  
연세대학교 전기전자공학과, \*글로벌융합공학부

{jhkim, jnlee, ghl1016}@dcl.yonsei.ac.kr, {cbchae, ks.kim}@yonsei.ac.kr

### Waveform Parameter Design Schemes for 5G Communication System

Jong Hyun Kim, Jinnyeong Lee, Gwang Hun Lee, Chan-Byoung Chae, Kwang Soon Kim  
Yonsei University

#### 요 약

본 논문은 5 세대 이동통신 시스템 환경에서 다양한 서비스 조건을 만족하기 위한 웨이브폼 파라미터 구성 방법에 대하여 논의한다. 사용자 별 채널의 지연시간 분포 및 단말의 이동성 분포에 따른 웨이브폼 파라미터 구성 방법을 최악의 경우 (worst-case), 재구성 (reconfiguration), 다중 웨이브폼 공존 (coexistence)의 세 가지 방법으로 나누고, 시뮬레이션을 통해 서로 공존 가능한 다중 웨이브폼을 사용하여 각 웨이브폼 별로 파라미터를 구성하는 것이 효율적임을 보였다.

#### I. 서 론

이동통신에 대한 수요가 점차 증가하고 다양해지면서 차세대 이동통신 시스템인 5G 는 4G 보다 높은 성능을 가지면서도 다양한 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 5G 표준으로 결정되어 논의되고 있는 IMT-2020 에서는 향상된 광대역 통신 (enhanced mobile broadband, eMBB), 대규모 사물통신 (massive machine type communication, mMTC), 초고신뢰 저지연 통신 (ultra-reliable low-latency, UR/LL)의 세 가지의 카테고리를 나누어 각 카테고리 별로 필요한 성능을 정의하고 있다 [1]. 그리고 5G 이동통신 웨이브폼 기술 또한 이러한 목표에 맞게 다양한 서비스를 지원할 수 있으면서도 높은 효율을 갖는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

현재 상용 이동통신 시스템인 IMT-Advanced 에서는 직교 주파수 분할 다중화 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 웨이브폼을 사용한다. OFDM 웨이브폼은 주기적 전치 부호 (cyclic prefix, CP)를 사용하여 다중경로 페이딩 (multipath fading)을 해결할 수 있고, 웨이브폼 변조를 고속 푸리에 변환 (fast Fourier transform)을 통해 낮은 복잡도로 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 OFDM 웨이브폼은 비직교 (non-orthogonal) 상황에서 대역 외 방출 (out-of-band emission) 크기가 크기 때문에 서로 다른 파라미터를 갖는 웨이브폼과 같이 사용하는 경우 간섭이 발생하여 비효율적이므로 단일 웨이브폼으로 사용하여야 한다는 단점이 있다.

5 세대 이동통신 관련 연구기관이나 통신사업자, 제조사에서는 이러한 OFDM 웨이브폼의 단점을 개선하기 위하여 필터를 사용하는 다중반송파 (multicarrier) 웨이브폼을 제시하고 있다. 5G 기술 개발을 위한 연합기구인 5GPP 가 진행하는 프로젝트

METIS-II 에서는 FBMC (filter-bank multicarrier modulation) 웨이브폼을 무선 인터페이스로 고려하고 있으며 [2], 독일 드레스덴 대학의 Gerhard. P. Fettweis 교수는 GFDM (generalized frequency division multiplexing)을 제안하였다 [3]. Alcatel-Lucent 의 Bell Lab 에서는 UPMC (universal filtered multicarrier) 웨이브폼을 새롭게 제안하였으며 [4], 그리고 중국의 화웨이 (Huawei)에서는 f-OFDM (filtered-OFDM)에 대한 개발을 진행하고 있다 [5]. 이와 같이 필터를 사용하는 다중반송파 웨이브폼은 OFDM 웨이브폼에 비해 비동기성에 강하며 웨이브폼 파라미터가 서로 다른 경우에도 웨이브폼들이 간섭의 영향 없이 효율적으로 공존하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 5 세대 이동통신 시스템 환경과 서비스 조건을 고려하여 웨이브폼 파라미터를 구성하는 방법을 최악의 경우 (worst-case), 재구성 (reconfiguration), 다중 웨이브폼 공존 (coexistence)으로 나누고, 각각의 방법에 대해 시뮬레이션을 진행하여 효율적인 웨이브폼 파라미터 구성 방법에 대하여 논의한다

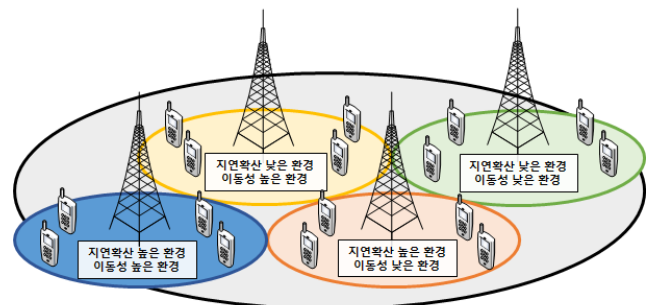


그림 1. 웨이브폼 파라미터 구성 환경

II. 본론

웨이브폼 파라미터는 반송파 주파수 (carrier frequency)와 대역폭 (bandwidth)이 정해졌을 때, 채널의 지연확산 (delay spread) 분포와 단말의 이동성 (mobility) 분포에 따라서 결정된다. 채널의 지연확산에 의해 발생하는 다중경로 페이딩을 방지하기 위해서는 주어진 채널의 지연확산 분포를 고려하여 지연확산 길이만큼 CP 를 매 심볼마다 추가해야 하는데, 전체 심볼 길이에서 CP 가 차지하는 만큼 주파수 효율성 (spectral efficiency)에서 손해가 발생한다. 단말의 이동성은 신호를 전달하는 전자기파 주파수에 도플러 편이를 발생시켜 도플러 페이딩 (Doppler fading)을 발생시킨다. 단말의 이동성과 반송파 주파수로부터 최대 도플러 주파수를 구할 수가 있으므로 최대 도플러 주파보다 부반송파 간격 (subcarrier spacing)이 충분히 크도록 정해야 도플러 페이딩에 성능 저하를 막을 수 있다. 부반송파 간격이 커질수록 전체 심볼 길이가 줄어들어 CP 에 의한 주파수 효율 손해를 커진다.

[그림 1]과 같이 셀마다 다른 지연시간 분포와 단말의 이동성 분포를 가지고 있는 이동통신 시스템을 생각해 보자. 이 시스템에는 지연확산이 큰 경우와 작은 경우, 그리고 단말의 이동성이 큰 경우와 작은 경우로 총 네 가지의 서비스 환경이 존재한다. 현재 4G 와 같이 단일 웨이브폼을 사용하는 시스템에서는 모든 셀의 지연확산 분포와 이동성 분포의 총합으로 최악의 경우 (worst-case)를 감안하여 웨이브폼 파라미터를 정하는 방법과 셀마다 다른 지연확산 및 이동성 분포에 맞추어 파라미터를 재구성 (reconfiguration)하여 사용하는 두 가지 방법이 가능하다. 5G 관련하여 연구 개발 중에 있는 필터 적용 다중반송파 웨이브폼을 사용하는 시스템을 가정하여 다중 웨이브폼들이 공존 (coexistence)할 수 있는 경우에는 앞선 두 방법에서 셀 단위로 웨이브폼 파라미터를 정하는 것과 달리 사용자 별로 효율적인 웨이브폼 파라미터를 따로 정할 수 있으므로 손해를 최소화할 수 있다. 필터 웨이브폼은 필터 성능과 길이에 따라 필터 길이가 심볼 단위로 길고 성능이 좋은 FBMC 와 서브심볼 단위로 짧고 성능이 낮은 GFDM 으로 분류할 수 있다 [2-3]. [표 1]은 세 가지 웨이브폼 파라미터 구성 방법 별로 CP 길이와 부반송파 간격을 5GHz 중심주파수에서 셀 환경에 맞게 구성한 것이다.

Deployment Scenario	Worst-case	Reconfiguration	Coexistence
Cell 1	$T_{cp} = 3\mu s$ $\Delta f = 50KHz$	$T_{cp} = 0.4\mu s$ $\Delta f = 15KHz$	Various $T_{cp}$ Various $\Delta f$
Cell 2		$T_{cp} = 0.4\mu s$ $\Delta f = 50KHz$	
Cell 3		$T_{cp} = 3\mu s$ $\Delta f = 15KHz$	
Cell 4		$T_{cp} = 3\mu s$ $\Delta f = 50KHz$	

표 1. 웨이브폼 파라미터 구성 방법 비교 ( $f_c=5GHz$ )

시뮬레이션에서는 5G 이동통신 시스템에서 대상으로 하는 5GHz 반송파 주파수에서 100MHz 대역폭을 사용하는 시스템을 반영하였다. 여기서 채널 환경에 의한 지연확산 분포와 이동성의 분포는 모두 고른 분포 (uniform distribution)로 가정하였고, [그림 1]과 같이 각 분포의 최대값이 큰 경우와 작은

경우로 나누어 실험하였다. [그림 2]는 시뮬레이션 결과로 주파수 효율성의 누적분포함수를 각각의 웨이브폼 파라미터 구성 방식에 대하여 얻은 그래프이다. 각각의 방식에서 평균 주파수 효율은 최악의 경우 방식에서 1.86bps/Hz, 재구성 방식에서 2.67bps/Hz, 다중 웨이브폼 공존 방식에서 3.39bps/Hz 와 같았다.

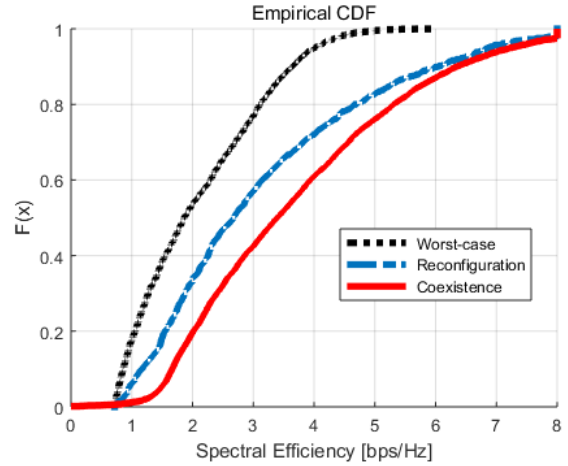


그림 2. 시뮬레이션 결과

III. 결론

본 논문에서는 웨이브폼 파라미터를 구성하는 효율적인 방법에 대해 논의하였고, 공존 가능한 다중 웨이브폼을 사용하여 웨이브폼 별로 파라미터를 설정하는 방법이 주파수 효율 관점에서 높은 성능을 가짐을 시뮬레이션으로 보였다. 앞으로 필터를 사용하는 다중반송파 웨이브폼이 갖는 공존 효율성을 실제 채널 환경에서 검증하고 성능을 비교하는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 방송연구개발사업[B0126-15-1012, IoT 환경에서 촉감통신 서비스 실험을 위한 차세대 초저지연/고효율 무선접속기술 연구]과 2014 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-2014R1A2A2A01007254) 일함으로써 수행하였음.

참고 문헌

[1] ITU-R, "IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond," *Recommendation ITU-R M.2083-0*, September, 2015.

[2] 5G-PPP METIS II, *Preliminary Views and Initial Considerations on 5G RAN Architecture and Functional Design*, Mar. 2016.

[3] N. Michailow *et al.* "Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks." *Communications, IEEE Transactions on* 62.9, 2014.

[4] V. Vakilian, *et al.*, "Universal-filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE." *2013 IEEE Globecom Workshops*, Atlanta, GA, Dec. 2013.

[5] Z. Xi *et al.*, "Filtered-OFDM - Enabler for flexible waveform in the 5th generation cellular networks." *2015 IEEE Globecom workshops*, San Diego, CA, Dec. 2015.