

# OFDM 기법에 기반한 Multi-Cell 시스템에서 PAPR 감소와 대역간 간섭에 관한연구

김완태 · 유선용 · 조성준

한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

## A Study on Inter Band Interference and PAPR Reduction in Multi-Cell System based on OFDM Techniques

Wan-tae Kim · Sun-yong Yoo · Sung-joon Jo

Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University

E-mail : {r0238, suneria486, sjcho}@kau.ac.kr

### 요 약

4세대 이동 통신 서비스를 위한 시스템들은 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 대용량 데이터 전송이 가능한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 이용하고, 서비스의 질을 높이기 위해 통신 영역을 세분화 하여 Macro Cell, Pico Cell, Femto Cell 등으로 구성하고 있다. 통신 영역의 세분화로 인해 기존에 단일 Cell 을 사용하는 것과 달리 동일한 채널에서 Cell 을 중첩시켜 서비스해야 하므로 시스템들 간의 대역간 간섭이 문제가 된다. 특히, OFDM 신호는 독립적으로 변조된 많은 부반송파들로 구성되므로 이들이 동위상으로 더해질 때 신호의 진폭이 증가하여 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 문제가 발생한다. 높아진 PAPR은 전력 증폭기와 같은 비선형 소자를 통과하면서 신호의 왜곡이 발생하여 대역 외 스펙트럼 방출이 발생 하므로 대역간 간섭으로 작용 한다. 본 논문에서는 대역간 간섭을 최소화 하기위해 PAPR 감소기법을 적용한 후 전력증폭기와 같은 비선형 소자를 통과 하면서 발생하는 대역 외 스펙트럼 방출에 대하여 분석 하였다.

### ABSTRACT

The systems for mobile communication services of fourth generation use OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) scheme that can transmit large amounts of data to support the multimedia services, and consist of several types of cell, such as Macro Cell, Pico Cell, Femto Cell to improve the quality of service. According to subdivision of communication region, superposition of cells in co-channel different from conventional single cell is used, but it cause inter band interference between systems. In particular, an OFDM signal consists of a number of independently modulated subcarriers, and superposition of these subcarriers causes a problem that can give a large PAPR. Increased PAPR induces signal distortion passing through components such as power amplifier so that inter band interference is caused by out-of-band spectrum radiation. In order to minimize the inter band interference, this paper applies PAPR reduction scheme and analyzes the out-of-band spectrum radiation when the signal passes through nonlinear components such an power amplifier.

### 키워드

OFDM, PAPR, IBI

## 1. 서 론

최근 4세대 통신 서비스를 위한 시스템들은 다양한 멀티미디어 서비스 제공을 위해 높은 속도의 데이터 전송을 필요로 하고 있다. 이러한 요구

에 맞추어 OFDM 방식은 부반송파의 수에 따라 데이터 전송 속도를 높일 수 있으므로 대부분의 통신 시스템에서 응용되고 있고, 현재 국내에는 WLAN 과 WiBro 에 적용되어 운용 되고 있다. 또한 서비스 영역에 따라 Macro Cell, Pico Cell,

Femto Cell 등 다양한 형태로 서비스 영역을 세분화 하여 양질의 통신 서비스를 지원 하고 있다. 하지만 높은 전송속도를 지원하기 위한 OFDM 방식은 부반송파의 중첩에 의해 PAPR 이 높아지는 문제를 가지게 되고 높아진 PAPR은 A/DC (Analog to Digital Converter)와 D/AC (Digital to Analog Converter) 그리고 전력 증폭기와 같은 시스템 내부의 비선형 소자를 통과 하면서 신호의 왜곡에 의해 대역 외 스펙트럼 방출을 발생한다. 대역 외 스펙트럼 방출은 대역간 간섭으로 작용하므로 양질의 통신 서비스를 위한 Multi-Cell 구조에서 더욱 심각한 문제를 가지게 된다. 따라서 OFDM 방식을 이용하는 통신 시스템은 PAPR 문제를 해결해야 하고 PAPR 감소로 인한 대역 외 스펙트럼 방출의 감소와 대역간 간섭에 관한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 PAPR 감소를 위해 SSC(Sine Soft Clipping) 기법을 적용하고, TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)를 모델링 하여 PAPR 감소와 신호의 대역 외 스펙트럼 방출에 의한 대역간 간섭에 대하여 WiBro 시스템에서 권고하고 있는 스펙트럼 마스크를 기준으로 분석하였다.

## II. 본 론

### 2.1 Multi-Cell 의 구성

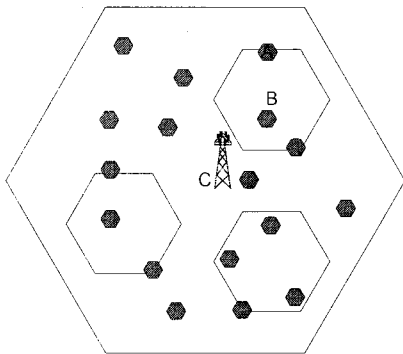


그림 1. Multi-Cell 구성도

그림 1에서 A는 Femto Cell, B는 Pico Cell, C는 Macro Cell 이다. 서비스 영역에 따라 Cell을 세분화 하여 사용할 경우 통신의 음영지역을 해결할 수 있고 양질의 서비스를 제공할 수 있다 [2]. 하지만 다양한 Cell 내에서 많은 통신 시스템들이 동시에 고속 데이터 전송을 요구 하므로 시스템 간 간섭이 심각하게 발생하고 Cell 간 간섭도 증가한다. 이러한 간섭으로 인해 각각의 Cell들은 자신의 서비스 영역에서 전송 전력을 최대로 사용 하게 된다. 전송전력을 최대로 사용하기 위해서는 시스템 내부의 전력증폭기에 비선형 구간까지 신호를 증폭하게 되고, 이때 발생하는 신

호의 왜곡에 의해 대역 외 스펙트럼 방출이 발생한다. 특히 OFDM 시스템에서는 신호 생성시 발생된 PAPR 에 의해 신호의 왜곡은 더욱더 심각해진다. 대역 외 스펙트럼 방출은 그림 3과 같은 채널 주파수 구성에서 대역간 간섭으로 작용한다 [1].

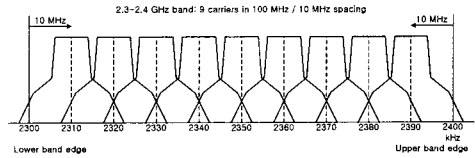


그림 2. WiBro PHY 주파수 채널 구성

### 2.2 OFDM SYSTEM

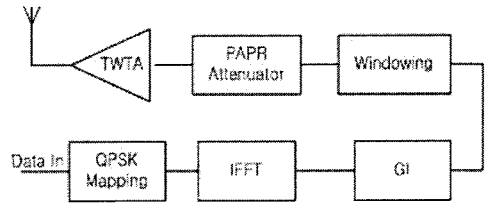


그림 3. OFDM 시스템의 송신 블록도

OFDM 시스템은 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 매핑을 거쳐 입력된 데이터를 다수의 부반송파로 변조하기 위해 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하게 된다. 여기서 N개의 부반송파를 갖는 시간영역 OFDM 심볼의 기저대역 복소수 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sum_{n=1}^N a_n \cos w_n t + j b_n \sin w_n t \quad (1)$$

식 (1)에서  $n$ 은 부반송파의 개수,  $w_n$ 은 부반송파의 주파수 대역을 나타낸다. QPSK 변조일 경우  $a_n, b_n \in -1, 1$  으로 구성되고 OFDM 심볼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} d_I(t) \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{\sqrt{2}} d_Q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2)$$

$d_I(t)$ 는 실수부 신호를 나타내며  $d_Q(t)$ 는 허수부 신호를 나타낸다. OFDM 신호에서 신호의 최대치와 평균치의 비로 정의되는 PAPR은 다음과 같이 정의된다. 식 (3)에서  $E[|s(t)|^2]$ 는 신호의 평균 전력을 나타내고  $\max |s(t)|^2$ 은 신호의 최대 전력을 나타낸다.

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{\max |s(t)|^2}{E[|s(t)|^2]} \quad (dB) \quad (3)$$

### 2.3 제안하는 SSC Clipping 기법

PAPR을 감소시키는 가장 간단한 방법은 신호의 peak값을 특정 레벨로 제한시키는 clipping 기법이다. 하지만 clipping 기법은 시스템 적용에 따라 성능에 차이가 발생하게 된다[3].

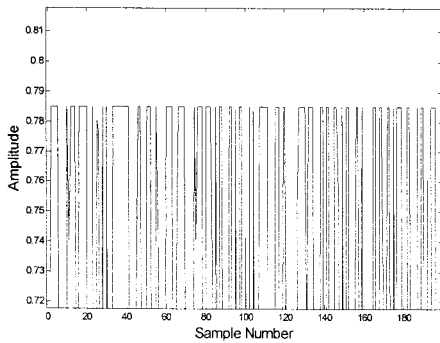


그림 4. 기존 clipping 이후의 신호 모양

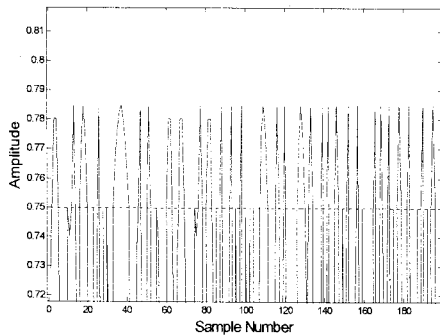


그림 5. SSC Clipping 이후의 신호 모양

그림 4에서 볼 수 있듯이 기존의 clipping 기법은 신호의 크기를 특정 레벨로 일정하게 제한시키기 때문에 구현이 쉽다. 하지만 원 신호를 왜곡 시킴으로써 발생하는 고주파 성분으로 인해 대역 내 왜곡이 발생하고, 일정한 레벨로 신호를 제한하는 비선형 왜곡 과정에서 대역 외 스펙트럼 방출이 심각하게 증가하게 된다[4]. SSC 기법은 기존 기법과 달리 신호의 clipping 레벨이 일정하지 않고 그림 5에서와 같이 clipping 되는 구간의 길이에 따라 반주기의 sine wave가 특정 clipping 레벨에 더해져 신호를 제한한다. 이 기법은 대역 외 스펙트럼의 절대 값 감소는 작지만 신호의 첨

두 값이 증가하기 때문에 고정된 크기로 신호를 제한한 기존 기법과 비교하여 대역 외 스펙트럼 방출이 감소하는 효과를 가져 온다. SSC의 신호 제한 레벨을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CL = x + a * \sin((\pi * (i - 1)) / (n - 1)) \quad (4)$$

식 (4)에서  $x$ 는 그림 5의 점선에 해당하는 clipping 레벨이며,  $a$ 는  $x$ 에 더해지는 반주기의 sine wave의 크기를 나타낸다.  $i$ 는 clipping 구간에서의 샘플 순서이고,  $n$ 은 clipping 되는 샘플의 개수를 나타낸다. 다음 식은 식 (4)를 통해 결정된 clipping 레벨을 이용하여 clipping을 수행하기 위한 수식이다.

$$C_i = \begin{cases} X_i, & |X_i| \leq \text{Threshold} \\ CL \cdot e^{j\angle X_i}, & |X_i| > \text{Threshold} \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서  $C_i$ 는 SSC를 거친 신호이며,  $X_i$ 는 windowing이 수행된 신호이다. 입력된 신호  $X_i$ 의 크기를 threshold 값과 비교한 후 값이 클 경우 clipping이 수행된다.

### III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 Multi-Cell을 사용하는 시스템 구성에서 전력증폭기의 비선형 특성에 의한 신호의 왜곡과 대역 외 스펙트럼 방출을 분석하기 위해 다음과 같이 전력증폭기(TWTA)를 모델링하였다[5].

$$A(r) = 1.9638r / (1 + 0.9945r^2) \quad (6)$$

PAPR 감소를 위한 SSC 기법의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 조건은 변조 방식으로 QPSK를 사용하고, 전체 부반송파의 수를  $N=1024$ 로 하였다. OFDM 신호의 PAPR 감소를 확인하기 위해 CCDF를 이용하였고, 대역간 간섭 분석은 전력증폭기의 backoff 값을 조정하여 통신 시스템이 최대전력을 사용하기 위한 비선형 구간에서 PAPR 감소 기법이 적용되었을 때와 적용되지 않았을 경우에 따른 대역 외 스펙트럼 방출을 분석하였다. 그림 6에서 동일한 clipping 레벨로 신호를 제한하였을 때, SSC 기법이 기존의 clipping 기법보다 PAPR 감소에 있어 CCDF  $10^{-3}$ 을 기준으로 0.5 dB 이득을 갖는다. 그림 7은 전력증폭기의 backoff에 따른 PSD이다. 시스템에서 스펙트럼 마스크를 벗어나지 않는 범위에서 전력증폭기의 backoff는 SSC 기법을 적용할 경우 약 6 dB이고 기존의 clipping 기법을 적용했을 경우 약 5 dB정도 이므로 SSC 기법이 적용하여 약 1 dB정도의 전력증폭기 이득을 얻었다.

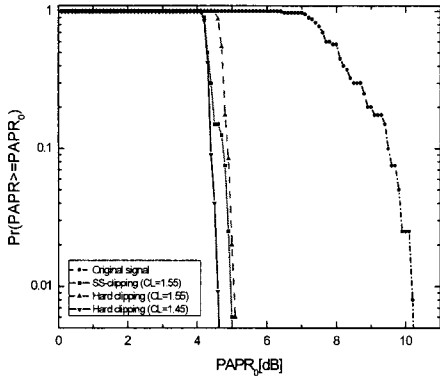


그림 6. PAPR 감소에 따른 CCDF

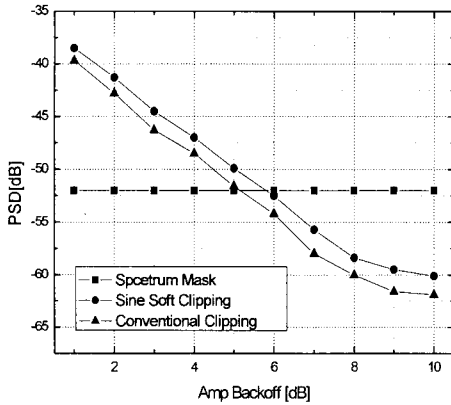


그림 7. Amp backoff 에 따른 PSD

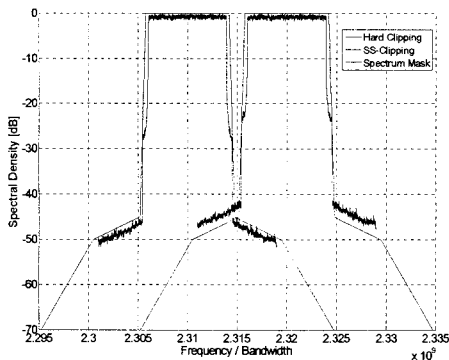


그림 8. SSC 기법에 따른 인접대역 간섭

그림 8은 SSC 기법을 적용한 OFDM 시스템과 기존 clipping 기법을 적용할 경우, 신호가 시스템의 비선형 소자를 통과 하면서 발생하는 왜곡에 의한 대역 외 스펙트럼 방출로 인한 대역간 간섭

을 나타낸다.

OFDM 시스템에 SSC 기법을 적용하면 신호의 왜곡을 줄일 수 있고, 신호 왜곡에 따른 대역 외 스펙트럼 방출을 줄일 수 있으므로 대역간 간섭을 해결할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 Mutli-Cell 구조의 시스템에서 대용량 데이터 전송을 위한 OFDM 시스템이 가지는 PAPR 문제를 해결하기 위해 SSC 기법을 제안하였고, 비선형 소자인 전력증폭기의 backoff 값을 이용하여 시스템의 대역 외 스펙트럼 방출로 인한 대역간 간섭에 대하여 분석 하였다. 시뮬레이션을 통해 SSC 기법이 기존의 clipping 기법에 비해 동일한 clipping 레벨에서 0.5 dB 정도의 PAPR 감소 이득이 생김을 알 수 있었다. 또한 PAPR이 감소함으로써 비선형 소자인 전력 증폭기의 backoff 값을 약 1 dB 정도 효율적으로 사용할 수 있었다. SSC 기법이 적용된 시스템이 동일한 backoff 사용시 대역 외 스펙트럼 방출이 감소하므로 대역간 간섭이 감소하는 것을 알 수 있다.

#### V. 감사의 글

본 논문은 지식경제부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

#### 참고문헌

- [1] 정보통신단체 표준초안 "Specifications for 2.3 GHz band portable internet service," June, 2004.
- [2] H. Claussen, L.T.W.Ho, L.G. Samuel, "Financial analysis of a pico cellular home network deployment," in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2007)*, 24-28 June 2007.
- [3] 김완태, 안준배, 안정길, 조성준, "PAPR 감소를 위한 clipping 구조 개선에 관한 연구," *한국통신학회 하계종합학술발표회 초록집*, vol. 29, pp. 438, 2004
- [4] R. D. J. V. Nee, "OFDM codes for peak-to-average power reduction and error correction," *GLOBECOM*, vol. 1, pp. 740-744, 1996.
- [5] A. Saleh, "Frequency-independent and frequency dependent nonlinear models of TWT amplifiers," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 29, no. 11, Nov. 1981.