

# 위성 OFDMA Downlink에서 PAR을 최소화 하기 위한 사용자 부채널 할당 및 채널 보상 기법

학생회원 김한나\*, 정회원 최권휴\*, 안도섭\*\*, 강군석\*\*, 김희욱\*\*

## Adaptive Channel Attenuation Compensation Scheme for Minimum PAR in Satellite OFDMA Downlink

Student member Hannah Kim\*, Regular member Kwonhue Choi\*, Do seob Ahn,\*\*  
Regular member Kunseok Kang\*\*, Hee Wook Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 위성 OFDMA 하향링크에서 PAR을 최소화하기 위한 최적의 사용자 채널 보상기법을 제안한다. 위성 OFDMA 시스템에서는 사용자의 채널 환경에 따른 성능의 저하를 극복하기 위해 사용자의 채널 환경에 따라 전력을 제어하는 PC-OFDMA(Power Control OFDMA) 방식과 변조방식과 코딩방식을 제어하는 AMC-OFDMA(Adaptive Modulation and Coding) 방식을 사용한다. 사용자의 채널 환경에 따라 사용자 부채널(부반송파 그룹)별로 전력을 제어하는, 즉 채널이 좋지 않을 경우 더 큰 출력으로 송신하고 반대의 경우 작은 출력을 송신하는 PC-OFDMA와 채널의 상태가 좋지 않은 경우 낮은 변조율과 강한 코딩을 사용하거나 채널이 좋을 경우 데이터율을 높이기 위해 높은 변조율과 약한 코딩을 사용하는 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 비교 분석하였다. AMC-OFDMA에서는 변조방식과 부호방식으로 사용자 채널감쇠를 보상하므로 부반송파의 송신전력이 균일하지만 PC-OFDMA의 경우 사용자 부채널별로 전력을 제어하므로 전체 부반송파의 송신전력이 균일하지 않는 특성이 있는데, 부반송파의 불균등 전력은 OFDMA 송신신호의 PAR을 감소시키는 현상을 발견하였다. 또한 PC-OFDMA 방식 중에서 사용자 부채널을 이루는 부반송파의 할당방식에 따라서도 PAR 성능의 차이가 존재함을 보였다.

**Key Words** : Satellite communications, OFDM, OFDMA, PAR, Power Control, AMC

### ABSTRACT

We investigate the adaptive channel attenuation compensation of satellite OFDMA downlink users for minimum PAR (Peak to Average power Ratio), which is one of the main challenging issues in satellite OFDMA application. First, we analyze and compare PAR performances of two main different channel attenuation compensation schemes for OFDMA, i.e., PC-OFDMA (power control OFDMA) and AMC-OFDMA (Adaptive Modulation and Coding). While AMC-OFDMA maintains the constant transmission powers through entire user data subcarriers, PC-OFDMA has non-uniform subcarrier transmission powers because subcarrier powers are separately controlled to compensate each user's sub-channel attenuation. We newly found the fact that non-uniform subcarrier power in PC-OFDMA achieves rather reduced PAR compared to AMC-OFDMA and the amount of reduction becomes larger as the power differences among subcarriers increase. Also, there is an additional PAR reduction in PC-OFDMA by optimizing subcarrier grouping scheme for user's sub-channelization.

### I. 서 론

위성 OFDMA 시스템에서는 전송 신호의 최대 전력대 평균 전력비, 즉 PAR(Peak-to-Average

Power Ratio)이 매우 큰 단점이 있다. 최근 OFDMA 시스템에서 PAR을 감소시키기 위해 몇 가지 기법들이 제안되어 왔는데[1-3] OFDMA 상향 링크 시스템인 경우의 PAR 감소를 위한 연구만

\* 영남대학교 정보통신공학과 광대역무선통신 연구실 (hannah0112@ynu.ac.kr, gonew@yu.ac.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 위성휴대전송연구팀 (ahnds@etri.re.kr, kangks@etri.re.kr, prince304@etri.re.kr)

※ 본 연구는 정보통신연구진흥원의 IT핵심원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음. [2008-F-010-02, IMT-Advanced 위성접속기술 개발]

논문번호 : 논0901-10, 접수일자 : 2009년 6월 11일, 최종게재논문통보일자 : 2009년 6월 18일

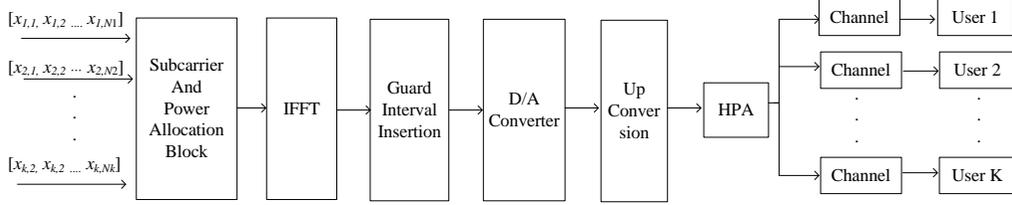


그림 1. 위성 OFDMA 하향링크의 블록 다이어그램

이루어지고 있고, OFDMA 하향링크 시스템에서 PAR을 감소시키기 위한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다[4-5]. OFDMA는 사용자에게 서로 다른 부반송파를 할당하는 다중 사용자 접속 방식으로써 위성 OFDMA 하향링크에서는 서로 다른 채널을 통해 송신 신호를 사용자들에게 전송하기 때문에 각 사용자들은 서로 다른 채널 감쇠 현상을 겪게 된다. 이와 같은 사용자들의 채널 감쇠를 적절히 보상하기 위해서는 사용자들의 전송 전력, 변조 방식 또는 부호방식을 적절히 조절하여 OFDMA 신호를 전송할 필요가 있다.

본 논문에서는 위성 OFDMA 하향링크 에서 PAR을 최소화하기 위한 최적의 사용자 채널 보상 기법을 제안한다. 위성 OFDMA 시스템에서는 사용자의 채널 환경에 따른 성능의 저하를 극복하기 위해 사용자의 채널 환경에 따라 전력을 제어하는 PC-OFDMA (Power Control OFDMA)방식과 변조방식과 코딩방식을 제어하는 AMC-OFDMA(Adaptive Modulation and Coding) 방식을 사용한다. 사용자의 채널 환경에 따라 사용자 부채널(부반송파 그룹)별로 전력을 제어하는, 즉 채널이 좋지 않을 경우 더 큰 출력으로 송신하고 반대의 경우 작은 출력을 송신하는 PC-OFDMA와 채널의 상태가 좋지 않은 경우 낮은 변조율과 강한 코딩을 사용하거나 채널이 좋을 경우 데이터율을 높이기 위해 높은 변조율과 약한 코딩을 사용하는 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 비교 분석하였다. AMC-OFDMA에서는 변조 방식과 부호방식으로 사용자 채널감쇠를 보상하므로 부반송파의 송신전력이 균일하지만 PC-OFDMA의 경우 사용자 부채널별로 전력을 제어하므로 전체 부반송파의 송신전력이 균일하지 않는 특성이 있는데, 부반송파의 불균등 전력은 OFDMA 송신신호의 PAR을 감소시키는 현상을 발견하였다. 또한 PC-OFDMA 방식 중에서 사용자 부채널을 이루는 부반송파의 할당방식에 따라 PAR 성능의 차이가

존재함을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 OFDMA 시스템의 구성과 사용자 채널 보상 기법을 설명하고, 3절에서는 PC-OFDMA 방식이 AMC-OFDMA 방식보다 OFDMA 송신 신호의 PAR을 감소시키는 원인을 분석한다. 4절에서는 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능 결과를 보이고 논문의 결과를 5절에서 보인다.

## II. OFDMA 의 시스템 모델과

### 채널 보상 기법

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 그림 1과 같다[6]. OFDMA 시스템은 전체 대역폭을  $N$ 개의 직교 부반송파로 나누고  $K$ 명의 사용자에게 부반송파를 중첩되지 않게 할당한다. 사용자들의 데이터에 각 사용자들의 부반송파를 할당 받은 후 동시에 전송 되고 송신 신호는 다음과 같이 표현 된다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} \sum_{l=1}^{N_k} x_{k,l} \exp[j2\pi f_{k,l}t] \quad (1)$$

여기서  $P_k$ 는  $k$  번째 사용자의 전송 전력을 나타내고,  $N_k$ 은  $k$ 번째 사용자의 부반송파의 수를 의미하고 그 합은 전체 부반송파의 수  $N$ 을 만족한다 ( $N = \sum_{k=1}^K N_k$ ). 또한  $x_{k,l}$ 은  $l$  번째 부반송파를 사용하는  $k$  번째 사용자의 QAM 심벌을 나타내고  $f_{k,l}$ 은  $l$  번째 반송파를 사용하는  $k$  번째 사용자의 부반송파 주파수를 의미한다. OFDMA 에서는 다음과 같이 부반송파간의 직교성이 유지되며 단일 사용자에게만 할당된다.

$$f_{k,l} \in \left\{ \frac{m}{T} \right\}_{m=0,1,2,\dots,N-1} \quad (2)$$

$$f_{k,l} \neq f_{i,j} \quad \forall (k,l) \neq (i,j).$$

여기서  $T$ 는 OFDMA 신호의 한 주기를 나타낸다. 송수신단에서 채널의 정보를 모두 안다고 가정하고, 각 사용자들의 수신된 신호  $d_{k,l}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_{k,l} = L_k s_{k,l} \sqrt{P_k} x_{k,l} + n_{k,l} \quad (3)$$

여기서  $L_k$ 은 사용자  $k$ 에 대한 large scale fading 을 의미하고,  $s_{k,l}$ 은 부반송파  $l$ 을 사용하는 사용자  $k$ 에 대한 small scale fading을 의미하고 독립 복소 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 잡음 성분인  $n_{k,l}$ 은 Gaussian 분포를 따른다.

Large scale fading은 path loss와 shadowing 에 의해 영향을 받기 때문에 채널이 천천히 변해서 AMC나 PC와 같은 채널 보상 루프 방식들이 large scale fading을 추적하기에 적합하다. 반면에 small scale fading은 multipath 와 user mobility의 영향을 받고 시간에 따른 채널 변화 속도가 빠르기 때문에 채널 보상 루프 방식들이 small scale fading을 추적하기에 어렵다. 특히 위성 통신 시스템에서는 상대적으로 큰 도플러 주파수와 긴 지연시간 때문에 small scale fading을 추적하는 것이 어려워 본 논문에서는 large scale fading을 추적하여 채널 보상을 하였다.

사용자의 채널 환경에 따른 성능의 저하를 극복하기 위한 채널 보상기법으로 PC-OFDMA 방식과 AMC-OFDMA 방식이 있다[7]. 먼저 PC-OFDMA 방식은 식(3)에서 large scale amplitude인  $\sqrt{P_k} L_k$ 가 target level  $A_0$  값을 유지하도록 하는 방식이다.

$$\sqrt{P_k} L_k = A_0 \quad \text{i.e.,} \quad \sqrt{P_k} = \frac{A_0}{L_k} \quad (4)$$

여기서  $A_0$ 은 target BER의해 구할 수 있고 각 사용자들은 같은 변조 방식과 코딩방식을 사용한다. 식(4)을 식(1)에 대입한 PC-OFDMA 의 송신신호는 다음과 같다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K \frac{A_0}{L_k} \sum_{l=1}^{N_k} x_{k,l} \exp[j2\pi f_{k,l} t] \quad (5)$$

식(5)에서 알 수 있듯이 PC-OFDMA는 사용자의 부반송파의 전력이 일정한 OFDM과 달리 각 사용자들의 부반송파의 전력이 사용자들의 채널상황에 따라 다르다는 것을 알 수 있다.

반면 AMC-OFDMA는 각 사용자들의 전송전력  $P_k$ 를  $P_0$ 로 일정하게 두는 방식이며 AMC-OFDMA의 송신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sqrt{P_0} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{N_k} x_{k,l} \exp[j2\pi f_{k,l} t] \quad (6)$$

식(6)에서 알 수 있듯이 각 사용자들의 전송전력이 균일한 특성을 가짐을 알 수 있다. AMC-OFDMA에서는 송신 신호  $x_{k,l}$ 의 변조 방식과 코딩 방식을 large scale fading  $L_k$ 크기에 따라 적절히 조절함으로써 target BER 레벨을 유지한다.

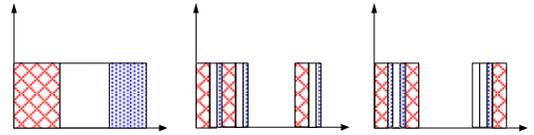


그림 2. AMC-OFDMA 의 예 (K=3)

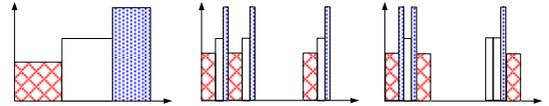


그림 3. PC-OFDMA의 예 (K=3)

그림 2와 3은 사용자의 수가 3명인 경우(K=3)의 주파수 영역에서 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 예를 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 AMC-OFDMA는 각 사용자들마다 다른 변조 방식과 코딩 방식을 사용하지만 시간 영역에서의 전체 부반송파의 송신 전력이 균일하기 때문에 OFDM과 같은 PAR의 특성을 가진다. 반면 PC-OFDMA는 그림 3과 같이 사용자들간의 다른 송신 전력을 가지기 때문에 시간 영역에서의 송신 전력이 균일하지 않은 특성이 있어 OFDM과 다른 PAR 특성을 가진다. 또한 PC-OFDMA 방식 중에서 사용자 부채널을 이루는 부반송파의 할당방식에 따라서도 PAR 성능의 차이가 있다. 부반송파를 할당하는 방식에는 각 사용자에게 사용된 이웃한 부반송파들로 이루어진 block으로 부반송파를 할당하는 block 방식, 각 사용자에 대해 임의의 패턴대로 부반송파를 할

당하는 interleaving 방식 그리고 무작위로 부반송파를 할당하는 random 방식이 있다.

### III. PC-OFDMA 와 AMC-OFDMA의 PAR

#### 1. OFDMA의 PAR

OFDMA 시스템에서 PAR은 전송 신호의 최대 순시 전력(Maximum Instantaneous power)과 평균 전력(Average power)의 비율로서 다음과 같이 정의된다 [8]

$$PAR = \frac{\max |y(t)|^2}{E[|y(t)|^2]} \quad (7)$$

여기서  $\max |y(t)|^2$ 는 송신신호  $y(t)$ 의 최대 순시 전력을 나타내고,  $E\{|y(t)|^2\}$ 은 평균전력을 나타낸다.

부반송파의 수  $N$ 이 충분히 크다면 변조된 신호는 중심 극한정리에 의하여 출력 신호의 실수부와 허수부의 크기가 모두 가우스 분포를 가지며 OFDMA 신호의 크기는 Rayleigh 분포를 가진다. 전력분포는 자유도가 2이고 평균이 0인 중심 chi-square 분포가 되어, 전력의 확률 밀도 함수는 다음 식처럼 나타낼 수 있다.

$$F(z) = (1 - e^{-PAR_0})^N \quad (8)$$

여기서  $PAR_0$ 는 특정 임계값이다. OFDMA 샘플들이 서로 상관성이 없다고 한다면 PAR이 특정 임계값  $PAR_0$ 를 초과할 확률을 Cumulative Distribution Function(CDF)으로 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$P_{PAR} = \Pr(PAR \geq PAR_0) = 1 - (1 - e^{-PAR_0})^N \quad (9)$$

#### 2. PC-OFDMA 와 AMC-OFDMA 의 PAR 성능

Large scale fading  $L_k$ 는 path loss 와 lognormal shadowing 의해 결정된다. 위성 OFDMA 하향링크에서는 사용자들간의 지리적인 위치와 환경이 서로 다르기 때문에 어떤 사용자들의 채널 환경은 좋은 반면 어떤 사용자들은 채널환경이 좋지 않음

수 있다. 이럴 경우 AMC-OFDMA 방식에서는 사용자의 송신 전력을 균일하게 두고 코딩 방식과 변조 방식을 조절한다. 반면 PC-OFDMA 방식의 사용자의 송신 전력은  $L_k$ 에 반비례하여 조절된다. 만약 사용자들간의  $L_k$ 의 값의 차이가 클 경우, 각 사용자들간의 송신 전력  $P_k$ 의 차이도 커지게 된다.

전력을 제어하는 PC-OFDMA가 PAR에 미치는 영향을 직관적으로 이해하기 위해 한 사용자( $i$  번째 사용자)의 채널이득이 다른 사용자들의 채널 이득보다 많이 작은 경우, 즉  $i$  번째 사용자의 large scale fading의 값이 다른 사용자들의 large scale fading의 값이 작은 경우를 고려한다. 실제로 이런 상황은 위성 통신과 사용자간의 직선 경로가 없는 모바일 환경에서 자주 일어난다. 이런 상황에서 PC-OFDMA 방식에서는  $i$  번째 사용자의 채널 감쇠를 보상하기 위해서 식(4)에 의해서 다른 사용자들의 송신 전력에 비해 큰 전력이 할당된다 ( $P_i \gg P_{\forall i \neq i}$ ). 송신 신호 (5)를  $\sqrt{P_i}$ 로 정규화된 송신 신호는 다음과 같다.

$$\tilde{y}(t) = A_0 \sum_{k=1}^K \frac{L_i}{L_k} \sum_{l=1}^{N_k} x_{k,l} \exp[j2\pi f_{k,l} t] \quad (10)$$

식(10)에서 알 수 있듯이 다른 사용자의 신호 크기  $L_i/L_{k \neq i}$ 이 거의 0으로 가까워 지는 것을 알 수 있다. 식 (10)을 근사치로 다시 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{y}(t) \approx A_0 \sum_{l=1}^{N_i} x_{i,l} \exp[j2\pi f_{i,l} t] \quad (11)$$

식(11)을 보면  $i$  번째 사용자 부반송파의 크기가 다른 사용자의 신호 크기보다 크기 때문에 OFDMA 신호의 반송파의 수가  $N_i$ 로 보이는 효과가 일어난다. 앞에서 설명했듯이  $P_{PAR}$ 은 부반송파의 수에 비례하기 때문에 부반송파의 수가  $N_i$ 로 줄어들면  $P_{PAR}$ 이 줄어드는 것을 알 수 있다. 극단적인 예로  $i$  사용자의 채널 상태가 다른 사용자들의 채널 보다 좋지 않고 ( $L_i \ll L_{\forall i \neq i}$ )  $N_i = 1$ 인 경우 OFDMA의 신호는 정현파 신호로 근사화 되어 PAR이 줄어들게 된다. 비록 극단적인 예를 근거로 하여 PAR이 줄어 들것이라고 추론하였지만 다음 절에서 실험을 통해 PC-OFDMA의 PAR 성능이 AMC-OFDMA에 비해 이득이 있음을 보이도록 하겠다.

### IV. 실험 결과

이번 장에서는 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 여러 가지 환경에서 비교해보았다. 먼저 그림 4와 5에서는 사용자가 2명( $K=2$ ), 첫 번째 사용자의 부반송파 수가 120( $N_1=120$ ), 두 번째 사용자의 부반송파 수가 8인( $N_2=8$ ) 경우의 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 비교하였다. Large scale fading의 차가 PAR에 미치는 영향을 알아보기 위해 첫 번째 사용자와 두 번째 사용자간의 large scale fading의 차이에 따른 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 그림 4와 그림 5에서 비교하였다. 그림 4와 같이 사용자들간의 채널 이득의 값의 차이가 많이 나지 않는 경우, 즉 사용자간의 채널 상태가 비슷한 경우에는 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능 차이가 존재하지 않음을 볼 수 있다. 그러나 사용자들간의 채널 이득의 값의 차이가 증가함에 따라 PC-OFDMA의 PAR 성능이 AMC-OFDMA의 PAR 성능에 비해 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 예를 들어, 그림 5에서 ( $L_1, L_2$ )=(2.4 0.2) 와 (2.4 0.08)인 경우 PC-OFDMA의 PAR 성능은 AMC-OFDMA보다 각각 1dB, 2dB의 성능 이득이 있다. 또한 그림 5에서 PC-OFDMA 방식에서 부반송파를 할당하는 방식에 따라서도 PAR 성능의 차이가 존재함을 알 수 있다. 부반송파 할당방식에 따른 PAR 성능의 차이가 작지만  $PAR_0 < 8dB$  영역에서 block 방식의 PAR 성능이 다른 방식의 PAR 성능에 비해 약간 PAR 성능이 좋음을 알 수 있다.

좀더 현실적인 상황을 고려하기 위해서 그림 6과 7에서 사용자의 수를 각각 8명과 32명으로 늘려서 실험을 해보았다. 전체 부반송파의 수는 128개로 그림 6에서는 각 사용자에게 16개의 부반송파를 할당하였고, 그림 7에서는 각 사용자에게 4개의 부반송파를 할당하였다. 그림 6에서는 8명의 사용자중 3명의 사용자가, 그림 7에서는 32명의 사용자중 3명의 사용자가 좋지 않은 채널 환경을 가지도록 large scale fading  $L_i$  값을 임의적으로 한번 생성하여 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 비교하였다. 그림 6과 그림 7을 비교해보면, 총 사용자 수와 채널 환경이 좋지 않은 사용자의 비가 작을수록 PC-OFDMA의 PAR 성능이 좋아지

는 것을 알 수 있다. 예를 들어 그림 6에서는 PC-OFDMA의 PAR 성능이 AMC-OFDMA에 비해 1dB의 PAR 성능 이득이 있지만 그림 7에서는 2dB 이상의 PAR 성능 이득이 있음을 알 수 있다. 이런 현상이 나타난 이유는 앞 절에서 언급하였듯이 전체 부반송파 중에서 큰 전력을 할당 받은 부반송파의 수가 작을수록 PC-OFDMA 신호의 전체 부반송파의 수가 작게 보이는 효과가 일어나 PAR 성능이 좋아짐을 알 수 있었다.

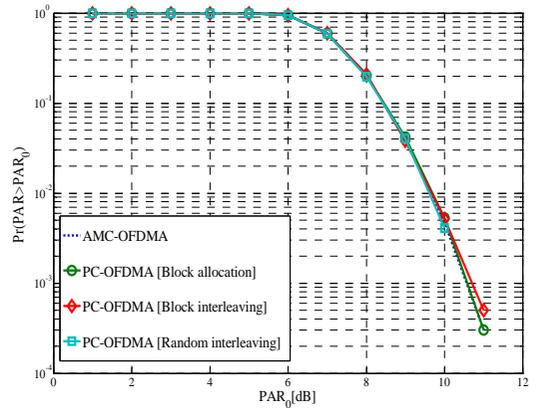


그림 4. AMC-OFDMA와 PC-OFDMA의 PAR 성능 ( $N_1 = 120, N_2 = 8, L_1 = 2.4, L_2 = 2.0$ )

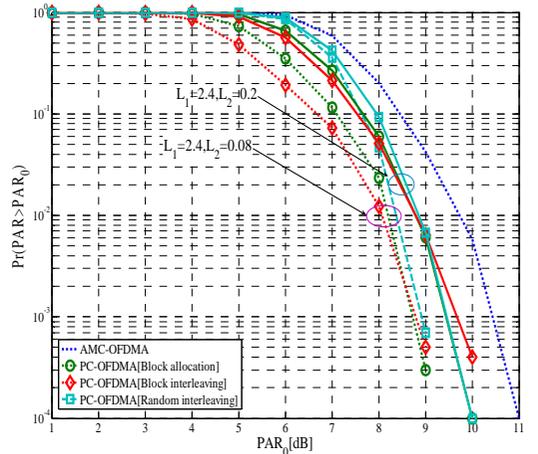


그림 5. AMC-OFDMA와 PC-OFDMA의 PAR 성능 ( $N_1 = 120, N_2 = 8, L_1 = 2.4, L_2 = 0.08, L_1 = 2.4, L_2 = 0.08$ )

지금까지 소수의 사용자가 좋지 않은 채널을 경험하는 경우에 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 나타내었다. 다양한 채널 환경에서 평

균 PAR 성능을 비교하기 위하여, 식 (12)와 같이 large scale fading을 임의적으로 발생시켜 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 비교하였다.

$$L_k = 10^{0.1G_k} \quad (12)$$

여기서  $G_k$ 는 shadowing에 의한 감쇠 정도를 나타낸 값이며, 평균이 0이고 표준 편차가  $\sigma$ 인 정규 분포를 따른다. 위성통신시스템에서는 사용자 간에 거의 동일한 경로 손실을 경험하기 때문에, 본 논문에서는 실험 환경을 최적화 하기 위하여 다수의 사용자들간의 경로 손실 값을 동일하게 설정하였다. 그림 8에서는  $K=32, N_k=4$ 인 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA의 PAR 성능을 각각  $\sigma=4$ 와  $\sigma=16$ 인 경우에 비교하였다. 본 실험에서는 한 프레임 단위로 각 사용자의 채널 이득을 임의적으로 발생 시키고 여러 개의 프레임을 발생시켜 PAR을 성능을 측정했다.  $\sigma=4$ 인 경우 PC-OFDMA의 PAR의 성능이 AMC-OFDMA보다 0.5 dB 감소되었고 반면에  $\sigma=16$ 인 경우 PC-OFDMA가 AMC-OFDMA보다 1.5dB PAR 감소가 된 것을 알 수 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이  $\sigma$ 이 증가할수록 PAR 성능이 좋아진다. 사용자들간의 채널 이득의 차가 클 수록  $\sigma$  값이 증가하기 때문에 PAR 감소의 효과가 나타난다.

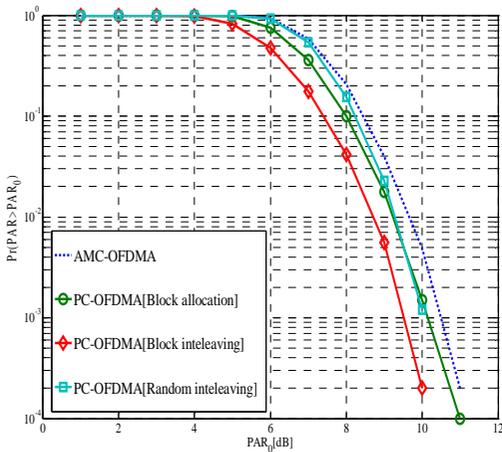


그림 6. AMC-OFDMA와 PC-OFDMA의 PAR 성능 ( $K=8, N_k=16, [L_1, L_2, \dots, L_{16}] = [0.9 \ 0.8 \ 0.78 \ 0.002 \ 0.98 \ 0.077 \ 0.85 \ 0.001]$ )

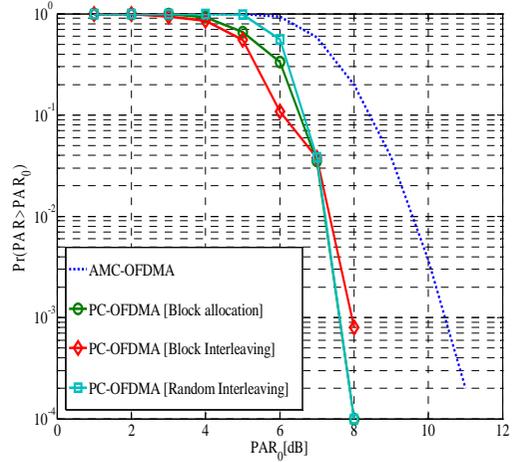


그림 7. AMC-OFDMA와 PC-OFDMA의 PAR 성능 ( $K=32, N_k=4, [L_1, L_2, \dots, L_{32}] = [0.9 \ 0.7 \ 0.5 \ 0.066 \ 0.78 \ 0.67 \ 0.7 \ 0.64 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.9 \ 0.66 \ 0.78 \ 0.67 \ 0.7 \ 0.78 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.5 \ 0.66 \ 0.78 \ 0.67 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.08 \ 0.7 \ 0.5 \ 0.76 \ 0.78 \ 0.67 \ 0.7 \ 0.078]$ )

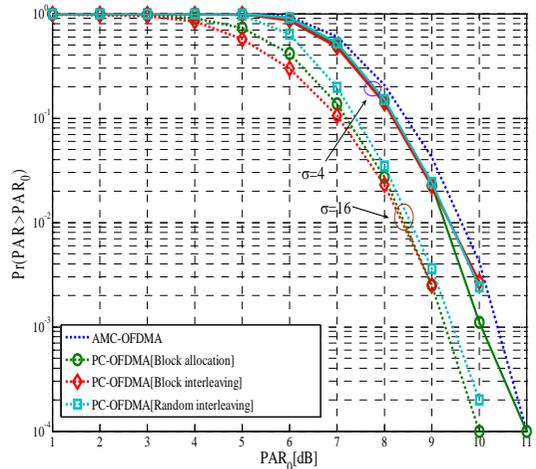


그림 8. AMC-OFDMA와 PC-OFDMA의 PAR 성능 ( $K=32, N_k=4, \sigma=4$  and  $16$ )

## V. 결론

본 논문에서는 전체 부반송파 송신 전력이 불균등할 경우 OFDMA 송신신호의 PAR이 감소되는 현상을 발견하였다. 특히 부반송파의 수가 작은 사용자에게 다른 사용자들에 비해 큰 전력을 할당할 경우 PAR의 감소가 더 많이 일어나는 것을 알 수 있었다.

AMC-OFDMA가 PC-OFDMA 비해 채널 용량이

크다는 장점은 널리 알려진 사실이다. 그래서 PC-OFDMA와 AMC-OFDMA를 효율적으로 사용하기 위해서 적은 수의 사용자들의 채널 환경이 좋지 않은 경우에 대해서만 PC-OFDMA로 전환하는 알고리즘을 연구 중에 있다.

### 참 고 문 헌

[1] Meng Wang, Quevedo, D.E, Goodwin, G.C, Krongold B.S, "OFDMA Uplink PAR Reduction via Tone Reservation," *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp.3802 – 3806, Nov. 2007

[2] Krongold, B.S, "PAR Reduction in the Uplink for OFDMA Systems," *IEEE 7<sup>th</sup> Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp.1 – 5, Jul 2006

[3] Hao Wang, Biao Chen, "Asymptotic distributions and peak power analysis for uplink OFDMA signals," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 4*, pp. 1085-1088, May. 2004

[4] Cimini, L.J., Jr., Sollenberger, N.R, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences," *IEEE Communication Letters*, Vol. 4, pp.86 – 88, Mar. 2000

[5] Yung-Lyul Lee, Young-Hwan You, Won-Gi Jeon, Jong-Ho Paik, Hyung-Kyu Song, "Peak-to-average power ratio in MIMO-OFDM systems using selective mapping," *IEEE Communication Letters*, Vol. 7, pp. 575 – 577, Dec. 2003.

[6] Ian C. Wong, Zukang Shen, Andrews, J.G., "A Low Complexity Algorithm for Proportional Resource Allocation in OFDMA Systems," *IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, pp.1-6, Oct. 2004

[7] Cheong Yui Wong, Roger S. Cheng, "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation," *IEEE Journals on Selected Areas in Communications*, Vol.17, pp.1747-1758, Oct. 1999.

[8] R.van Nee, *OFDM wireless multimedia communication*. Boston.London, Artech House, 2000.

### 저 자

김 한 나(Hannah Kim)

학생회원



2007년 2월: 영남대학교  
전자공학과 학사

2008년 3월~현재: 영남대학교  
정보통신공학과  
석사 과정

<관심분야> MIMO detection 알고리즘

최 권 휴(Kwonhue Choi)

정회원



1994년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 학사

1996년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 석사

2000년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 박사

2000년 4월~2003년 2월:  
한국전자통신연구원

광대역 무선전송 연구부 광대역(ETRI)  
무선전송연구팀 선임연구원

2003년 2월~현재: 영남대학교 전자정보공학부  
정보통신공학전공 조교수

<관심분야> OFDM 기반 다중반송파 전송방식,

MIMO detection 알고리즘, CDMA 시스템

안 도 섭(Do seob Ahn)

정회원



1988년 2월: 경북대학교  
전자공학과 학사

1990년 2월: 경북대학교  
전자공학과 석사

1990년 3월~현재:  
한국전자통신연구원  
(ETRI)

위성휴대전송연구팀장

<관심분야> 위성 통신 시스템, 성층권 통신  
시스템

강 군 석(Kunseok Kang)

정회원



1997 년 2 월: 경북대학교  
전자공학과 학사  
1999 년 2 월: 경북대학교  
전자공학과 석사  
1999 년 3 월~현재:  
한국전자통신연구원  
(ETRI) 위성휴대전송  
연구팀 선임연구원

<관심분야> 이동 및 위성 통신 시스템,  
채널코딩, 다중 반송파 전송

김 희 옥(Hee Wook Kim)

정회원



2001 년 8 월: 고려대학교  
전자전파공학부 학사  
2004 년 2 월: 한국과학 기술  
원 전자공학과 석사  
2004 년 3 월~현재: 한국전자  
통신연구원(ETRI)  
위성휴대전송연구팀

<관심분야> 위성통신, OFDM, 동기, MIM