

PB/MC-CDMA 시스템에서 여분의 코드집합을 이용한 PAPR 감쇄기법에 관한 연구

Research on the PAPR Reduction Method using Selection of Extra Code Set in PB/MC-CDMA System

이 규 진* 이 동 준** 이 계 산*** 김 진 영****
(Kyu-Jin Lee) (Dong-Joon Lee) (Kye-San Lee) (Jin-Young Kim)

요 약

PB/MC-CDMA(Partial Block Multi Carrier Code Division Multiple Access) 시스템은 사용자간의 코드 간 간섭을 줄임으로써 성능을 향상 시키는 시스템이다. 또한, 이 시스템은 심볼 간 간섭을 피하면서 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 MC-CDMA(Multi Carrier Code Division Multiple Access) 시스템보다 향상된 성능을 보여준다. 그러나, 다중캐리어를 사용함으로써 PAPR 문제가 발생하여 시스템의 성능을 저하 시킨다. 이 논문에서는, PB/MC-CDMA 시스템에서 추가적인 정보 없이 여분의 확산 코드를 이용하여 최적화된 확산코드를 선택함으로써, 피크전력을 줄이는 방법을 제안한다. PB/MC-CDMA 시스템은 각 블록 단위로 확산 코드를 재사용함으로써, 여분의 코드가 남게 된다. 이러한 여분의 코드를 여러 개의 그룹으로 나누어 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 계산하고, 피크전력이 최소가 되는 코드를 선택하여 전송함으로써 PAPR 문제를 해결할 수 있는 방법이다.

Abstract

The PB/MC-CDMA(Partial Block Multi Carrier Code Division Multiple Access) system can improve the performance by reducing the ICI(Inter-Code Interference) between users. Also, this system can achieve the frequency diversity gain by avoiding ISI(Inter Symbol Interference). Therefore, the performance of PB/MC-CDMA system is better than that of conventional MC-CDMA(Multi Carrier Code Division Multiple Access) system. However, similarly to other multi-carrier systems, it still has a PAPR(Peak to Average Power Ratio) issue. In this paper, we propose a peak power reduction technique involving optimized spreading code selection without side information for the PB/MC-CDMA. The PB/MC-CDMA system in each block of units reuses the code so the extra code will be remained. This extra code is divided into several groups to calculate the PAPR and solving the PAPR problem by transferring the selected code which has minimum peak power.

Key words: Partial block MC-CDMA, peak power reduction technique, spreading code selection, extra code

† 이 논문은 중소기업청 『산학 공동기술개발 지원사업』 ‘차세대 텔레메틱스용 가시광 통신 모듈 개발’의 일환으로 수행되었음 (중소기업청 공고 2008-44)

* 주저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 대학원

** 공저자 : (주)모나드 기술연구소

*** 공저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 교수

**** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 1월 10일

† 논문심사일 : 2008년 2월 23일

† 게재확정일 : 2008년 2월 24일

I. 서 론

고속 데이터, 고품질의 오디오 동영상 등 광대역 멀티미디어 서비스를 무선 통신 특히, 이동 통신 환경에서 효과적으로 제공하기 위해서는 기존의 단일 반송파 변조방식 보다 다중 반송파 변조 방식이 유리하다. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이 대표적인 다중 반송파 변조 방식으로 전송 대역을 여러 개의 좁은 전송대역으로 나누어 각각의 부반송파를 통하여 동시에 정보를 전달하는 방식으로, 단일 전송과 시스템에 비해 채널 등화기가 간단해지며 전송효율을 최적화시킬 수 있다. 그러나, OFDM 시스템은 주파수 및 시간 오프셋에 민감한 단점이 있다. 또한, 멀티 셀 환경에서 타셀로부터의 간섭이 존재하여 성능이 열화된다.

MC-CDMA (Multi Carrier Code Division Multiple Access) 시스템은 주파수 선택적 페이딩에 강한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 방법에 CDMA (Code Division Multiple Access)를 결합한 시스템으로 다중경로 페이딩 환경에서 고속, 고용량의 통신을 지원하는 시스템으로 주목을 받았다 [1, 2]. MC-CDMA 시스템은 다수의 부반송파의 신호를 주파수 도메인에서 확산한다. 그리고 각 사용자별로 특정한 확산 코드를 사용함으로써 같은 부반송파에서 다중접속을 함으로써 주파수 효율을 높일 수 있다. 또한, 이러한 MC-CDMA 시스템은 같은 데이터를 서로 다른 주파수를 사용하여 전송함으로써 수신단에서 역확산 후에 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 보호구간 및 순환확장을 이용하여 심볼 간 간섭과 코드 간 간섭을 피할 수 있다 [3]. 그러나, MC-CDMA 시스템은 동시에 접속하여 사용할 수 있는 사용자의 수가 확산 코드의 길이에 의해서 제안되어진다. 더욱이, 시스템의 사용자가 증가할수록, 코드간 간섭이 급격하게 증가하여 시스템의 성능이 크게 저하되는 단점이 있다 [4].

이러한 문제를 해결하기 위하여, 우리는 PB/MC-CDMA 시스템을 제안하였다 [5-7]. PB/MC-CDMA 시스템은 사용자를 여러 개의 주파수 블록에 할당시켜 시스템을 사용함으로써 MAI(Multiple Access

Interference)를 줄일 수 있다. 또한, 각 블록에서 확산 코드를 재사용함으로써 시스템에 동시에 접속하여 사용할 수 있는 사용자의 수를 증가시킬 수 있다. 그러나, 여러 개의 부반송파를 사용하는 PB/MC-CDMA 시스템은 PAPR의 문제가 발생한다. PAPR 문제는 비선형 증폭기에서 전력효율과 BER 성능저하 면에서 큰 손실을 가져온다.

피크전력 문제를 해결하기 위해, 다양한 방법이 제시되었다. 그 중 하나인 클리핑 방법이다 [8]. 클리핑은 PAPR을 줄이는 가장 간단한 방법이다. 이 방법은 피크 값을 설정하고 하는 최대 레벨로 제한된다. 그러나, 클리핑은 비선형 동작이다. 그러므로, 이 방법은 시스템의 성능을 저하시키는 밴드 내 왜곡을 발생시키고, 근접채널의 시스템 대역에 간섭을 발생시키고 근접채널을 사용하는 다른 시스템에 간섭을 발생시키는 밴드 외 방출을 일으킨다. 다른 방법은, 클리핑과 필터링을 재귀적으로 사용하는 방법이다 [9, 10]. 그러나, 이 방법은 요구되는 PAPR을 위해서는 재귀적으로 많은 순환을 필요로 하는 단점이 있다. 블록코딩 방법은 낮은 PAPR을 발생시키는 코드를 코드워드에 입력시킴으로써 PAPR을 줄이는 방법이지만, 이는 사전에 낮은 PAPR을 발생시키는 코드를 찾기 위한 단계가 우선 수행되어야 하고, 코딩 디코딩을 위한 look-up table이 필요하다 [11]. 또한, PAPR을 줄이기 위한 많은 코딩 방법들이 사용되었다 [12, 13]. 그러나 이 방법들은 작은 부반송파들을 가지고 많은 선행단계가 필요로 하는 제약이 있다. PTS(Partial transmit sequence) 기술은 입력 데이터 블록이 PAPR을 최소화시키기 위해 조합된 신호를 여러개의 클러스터로 나누어 전송하는 기술이다. PTS는 사이드 정보 비트들이 필요하고 이는 전송효율에 문제를 발생시킨다 [14]. SLM(Selected Mapping)은 서브캐리어의 위상을 회전시키고 스크램블 코드를 사용함으로써 PAPR을 감소시키는 기술이다. 만약 위상 회전의 부가정보를 전송하지 않으면 원본 데이터를 복구할 수 없다. 이는 이 방식은 부가정보를 필요로 하는 방법이므로 전송효율 손실을 일으킨다는 의미가 된다 [15-18].

이 논문은, PB/MC-CDMA 시스템에서 확산 코드를

선택하는 방법으로 피크전력을 감소시키는 방법을 제안한다. 이것은, Walsh-Hadamard 코드로부터 사용하여 가장 낮은 피크전력을 발생시키는 최적의 확산 코드를 계산하여 각 사용자에게 할당된다.

이 방법은 각 확산코드 세트를 사용하여, IFFT 후에 PAPR 값을 계산 하여 피크전력이 최소가 되는 확산 코드세트를 사용하여 데이터를 전송하고 BER 성능을 평가한다. 제안된 방법은 PB/MC-CDMA 시스템의 특성을 이용하는 방법으로, 복잡한 기술이 없이 피크전력을 줄이는데 매우 효과적이며, 추가적인 정보를 전달하지 않음으로써 전송효율의 손실이 발생하지 않는다.

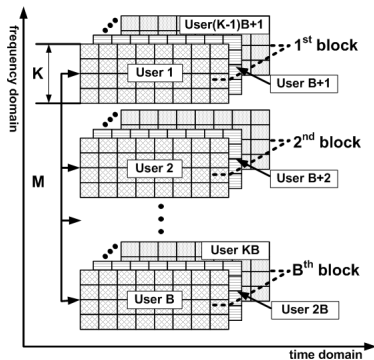
II. 제안된 시스템 모델

PB/MC-CDMA은 최근에 제안되었다 [5-7]. 이 시스템은 데이터 율과 채널상태에 따라서 사용자를 주파수 블록에 할당함으로써 성능을 향상 시킬 수 있는 방법이다.

<그림 1>은 제안된 PB/MC-CDMA 시스템을 보여 주고, <그림 2>는 기존의 MC-CDMA 시스템에서의 다중 접속 방식을 보여준다. <그림 1>에서, 제안된 시스템의 사용자들은 전체 대역폭을 사용하지 않고 직교 확산 코드의 길이, K 로 이루어진 블록 단위의 대역폭만을 사용한다. 기존의 MC-CDMA 시스템은 데이터 확산을 위해 모든 대역폭을 사용한다. 그러므로, 만약 다수의 사용자가 시스템을 사용하면, 다중

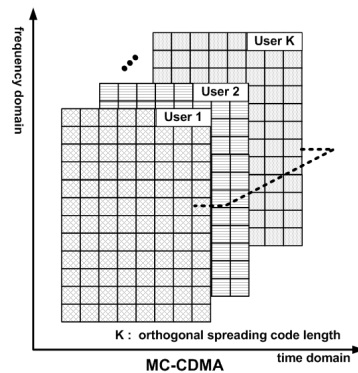
접속 간섭(MAI)이 모든 사용자들로부터 발생된다. 제안 시스템에서, 간섭은 단지 블록 한 개로부터만 발생하고, 그러므로 MAI의 양을 감소시킬 수 있다. 그러므로, 다른 부반송과 블록을 사용하는 사용자는 블록 한 개의 직교 확산 코드를 재사용하고, 그러므로 사용자의 수용량은 기존의 MC-CDMA 시스템보다 훨씬 늘어난다. <그림 1>과 <그림 2>로부터, 우리는 동시 사용자의 수가 KB/M 명 (K 는 직교 확산 코드 길이, B 는 블록의 전체 개수를, M 은 사용된 블록들의 개수를 나타낸다)이고, 한편 기존의 MC-CDMA는 단지 K 명이라는 것을 보여준다. 더구나, 가용자들의 수가 블록들의 수보다 적거나, 높은 데이터율을 필요로 한다면, 블록의 수, M 을 사용하여 사용자의 데이터율은 쉽게 적용된다. ($M \leq B$, where $M \neq 1$) 만일 $M=B$ 라면, 데이터율은 기존의 MC-CDMA와 같다. 그러므로, PB/MC-CDMA 시스템은 높은 QoS, 적응성, 수용력의 면에서 기존의 MC-CDMA보다 더 낫다.

<그림 3>은 제안시스템의 전송단을 나타낸다. 전체 대역폭은 B 개의 블록으로 나누어 지고 각 블록 b 는 $b=(0,1,\dots,B-1)$ 가 된다. 이것의 의미는 시스템에서 블록의 총 사용자는 B 이고 이는 N 이 총 캐리어 수 일 때 $B=N/K$ 로 나타내어진다. 각 사용자는 b^{th} 블록에 할당되고 K 코드 길이, MK 부반송파를 갖는 직교확산 코드를 사용한다. M 은 사용자가 사용할 수 있는 주파수 대역의 밴드의 수를 가리킨다. 이 논문



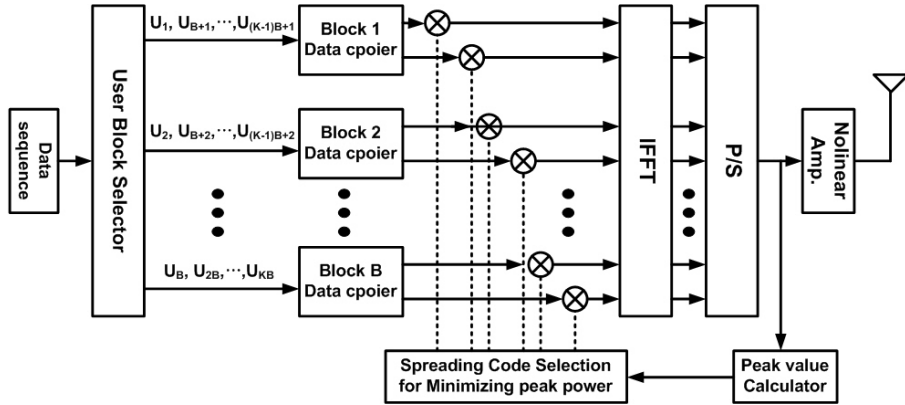
<그림 1> PB/MC-CDMA 시스템

<Fig. 1> Schematic diagram of a PB/MC-CDMA system



<그림 2> MC-CDMA 시스템

<Fig. 2> Schematic diagram of a PB/MC-CDMA and MC-CDMA system



<그림 3> PAPR 감소를 위한 PB/MC-CDMA 전송 시스템

<Fig. 3> Schematic diagram of the PB/MC-CDMA transmitter system for PAPR reduction

에서는 PAPR의 효과를 쉽게 보이기 위하여, $M=1$ 로 가정한다. 그러므로 사용자당 캐리어 수는 K 이다.

각 사용자의 데이터는 QPSK 변조되고 변조된 데이터 심볼은 블록 셀렉터를 통해 각 b^{th} 블록에 할당된다. <그림 3>은 블록 셀렉터에 의한 블록 할당 과정을 나타낸다. 확산 코드는 각 블록에서 재사용되므로 하나의 블록에서 최대 사용자수는 K 이고 전체 시스템에서 최대 사용자 수는 KB 이다.

각 블록에 할당된 사용자의 QPSK 심볼 데이터는 사용자의 직교 확산 코드에 의해 주파수 블록에 확산된다. 확산코드는 $C=(c_0, c_1, \dots, c_{K-1})$ 이고, 여기서 $c_k \in \pm 1$ 는 $K \times K$ Walsh-Hadamard 코드로부터 선택되고 각 사용자의 코드시퀀스 $k=(0, 1, \dots, K-1)$ 이다.

IFFT를 사용하여 orthogonal 다수 캐리어 신호가 생성되고, 다중경로 페이딩에 의해서 야기되는 ISI와 ICI를 제거하기 위해서 PB/MC-CDMA 심볼 사이에 순환보호 구간을 삽입하여 전송한다.

복소 등가 저역 통과 전송되는 신호는 식 (1)와 같이 나타낸다.

$$s(t) = \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{k=0}^{K-1} d_{\beta}^u(i) C^k P_s(t - iT_s) \times e^{j2\pi(K\beta+k)\Delta f(t-iT_s)} \quad (1)$$

$$T_s = t_s + T_g \quad (2)$$

$$\Delta f = \frac{1}{t_s} = \frac{1}{T_s - T_g} \quad (3)$$

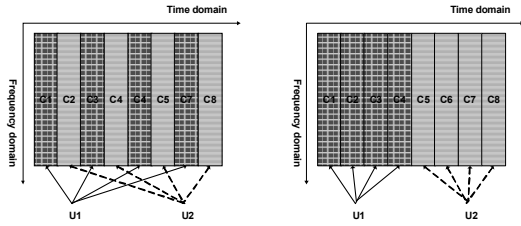
여기서 d_{β}^u 는 u^{th} 번째 사용자의 i^{th} 번째 QPSK 데이터 심볼이고, $d \in \{\pm(1 \pm j)/\sqrt{2}\}$ 이다. I 는 전송하는 하나의 패킷에서의 심볼의 개수이고, K 는 각각의 블록의 확산코드의 길이 즉, 각 블록에서의 부반송파의 개수이다. 그리고, β 와 ϕ 는 블록 선택 함수와 코드 재사용 함수를 나타내고 이 함수는 $\beta=(u \bmod B)$ 와 $\phi = \lfloor u/B \rfloor$ 로 나타낸다. 여기서 \bmod 는 나머지 값을 나타내고, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 정수를 나타낸다.

PB/MC-CDMA의 심볼 구간, 보호 구간 그리고 부반송파의 간격은 각각 t_s , T_g 그리고 Δf 로 정의된다. 이때 $P_s(t)$ 는 다음과 같이 정의되는 pulse shaping 함수를 나타낸다.

$$P_s(t) = \begin{cases} 1, & -T_g \leq t < t_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

제안시스템의 전송단에는 기존의 PB/MC-CDMA 시스템에 피크 값을 계산 할 수 있는 피크 값 계산기와 최소의 PAPR을 발생시키는 확산 코드를 선택할 수 있는 코드 선택기를 포함하고 있다. 모든 사용자는 미리 할당된 여분의 확산코드 가지고 있다. 이 논문에서는 시뮬레이션을 위해서 한 사용자당 4개의 코드를 사용하였다. 이러한 여분의 코드를 사용하기 위한 코드 할당 패턴이 필요하다.

<그림 4>는 확산코드의 할당 방법을 나타낸다. 그



<그림 4> 확산 코드 할당 방법
<Fig. 4> Assignment of the spreading code

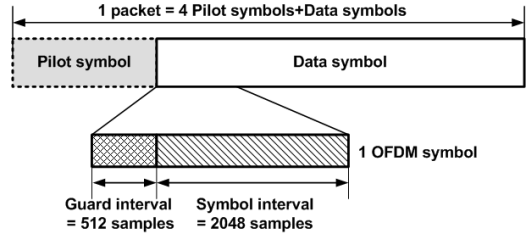
림에서의 각각의 색깔은 단일 사용자를 나타내는 두 개의 할당 패턴을 나타낸다. 이 경우, 두 사용자가 시스템에 존재하는 것을 나타내는 두 개의 색깔이 있다. 그리고 각 색깔의 수가 네 개씩 존재하는데 이는 각 사용자가 네 개의 미리 할당된 확산 코드 세트를 갖는 것을 의미한다. 시스템은 네 개의 확산 코드 세트에 따른 네 개의 피크전력을 가진다.

피크 전력 값은 시스템에서 IFFT 후 얻어진다. 피크 전력 계산기에 의해 피크 전력 값이 줄어들고 값들은 확산 코드 세트를 선택하는데 사용된다. 만약 첫 번째 값이 최소 값이면 이는 처음 사용된 확산 코드 세트가 최소의 PAPR을 가진다는 것이다.

이 확산 코드는 자동적으로 데이터 전송에 사용된다. 같은 원리로 두 번째 값이 최소이면 두 번째로 사용된 확산코드 세트가 최소의 PAPR을 가진다는 의미이고 시스템은 자동적으로 두 번째 확산 코드를 이용해 데이터를 전송한다. 이 프로세스를 통해 네 개의 피크 전력 값 중에 최소의 피크전력 값을 찾을 수 있다.

III. 시뮬레이션 파라미터 및 결과

<그림 5>는 제안 시스템의 packet 구조를 나타낸다. 심볼 간 간섭의 효과를 제거하기 위하여, 각 심볼에 보호구간을 삽입한다. 각 부반송파에의 앞부분은 파일럿 심볼로 구성되고, 그 뒤에 데이터 심볼이 구성된다. 이 논문에서는 각 부반송파마다 4개의 파일럿 심볼과 64개의 데이터 심볼을 구성하여 실험하였다. 제안 시스템을 효과적으로 평가하기 위하여, 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했다. 이 실험은 단일 셀



<그림 5> OFDM Packet 구조
<Fig. 5> Packet structure of OFDM

내에서의 성능을 평가 하였다.

이 실험에서 사용된 파라미터는 <표 1>에 나타나고 있다. 부반송파의 수는 512개를 사용하였고, 확산 코드는 $K=32$ 를 사용하였다. 또한, 변조방식은 QPSK를 사용하였고, 보호구간은 심볼 구간의 25%를 사용하였다. 또한 부반송파 결합 방법은 EGC를 사용하였다. 이 방법은 페이딩 채널에 의해서 발생하는 위상차를 보정한 후에 부반송파를 결합하는 방식으로 주파수 선택적 페이딩 환경에서 각 부반송파 사이의 직교성의 붕괴를 복잡하지 않게 줄일 수 있다.

이 논문에서, 피크전력을 계산하기 위하여, PAPR을 사용하였고, PAPR은 식 (5)와 같이 정의 된다.

$$PAPR = \max_{0 \leq t < T_s} \left(\frac{|s(t)|^2}{E[|s(t)|^2]} \right) \quad (5)$$

여기서 $s(t)$ 는 PB/MC-CDMA 신호이고, $|s(t)|^2$ 는

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
<Table 1> Simulation parameters

Number of Carriers	512
Modulation Type	QPSK
FFT point size	512×4
Number of the data symbol	64
Number of the pilot symbol	4
Length of Guard Interval	25%
Type of Nonlinear Amplifier	Rapp's Model
IBO	3
Type of spreading code	Walsh-Hadamard
PG (Processing Gain)	32
Channel Model	18path Exponential decay
Combining method	EGC

순간파워를 나타내고, $E[|s(t)|^2]$ 는 평균파워를 나타내고, 연속적인 PAPR과 비교된 이산적인 PAPR의 정확성을 향상시키기 위하여 oversampling을 하였다. 또한, 비선형 파워증폭기를 구현하기 위해서, 우리는 Rapp's 모델을 사용한다 [19].

$$g(A) = \frac{A}{(1+A^{2p})^{1/2p}} \quad (6)$$

여기서 A는 입력신호의 파워이고, $g(A)$ 는 출력신호의 파워이다. 그리고 p는 비선형 증폭기의 특성을 나타내는 상수 값이다. 이 논문에서, 우리는 일반적인 증폭기와 근접하게 하기위해서 $p = 3$ 을 사용하였다.

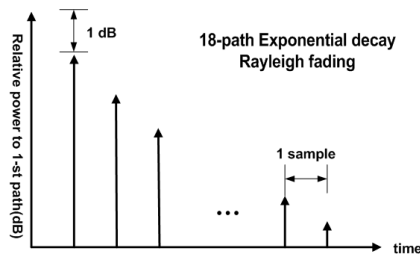
증폭기의 동작점은 IBO(Input Back Off)에 의해 결정되고, 그것은 식 (7)과 같다.

$$IBO = \frac{P_{input, saturation}}{E[|s(t)|^2]} \quad (7)$$

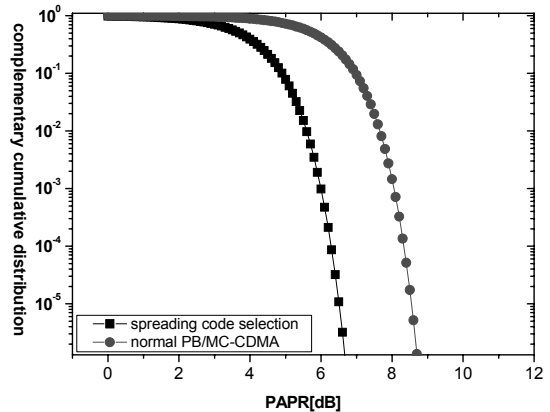
여기서 $P_{input, saturation}$ 는 입력 전력에 대응하는 증폭기의 포화점을 나타내고, $E[|s(t)|^2]$ 는 평균입력전력을 나타낸다. 큰 값의 IBO를 사용함으로써, 비선형에 의해서 발생하는 왜곡을 줄일 수 있지만, 파워의 효율은 나빠지는 단점이 있다.

채널은 <그림 6>과 같이 다중 경로인 18개의 다중 경로를 갖는 Exponential 감쇄 Rayleigh 페이딩 채널을 사용하였다. 또한, 각각의 경로는 1sample의 지연과 1dB의 신호감쇄를 갖는다. 채널 모의실험을 위해서, 우리는 논문 [20]에서 제안된, 수정된 Jake's 모델을 사용하였다.

<그림 7>은 제안 시스템의 PAPR의 누적분포 함수



<그림 6> 다중경로 채널 모델
<Fig. 6> Multipath channel Model



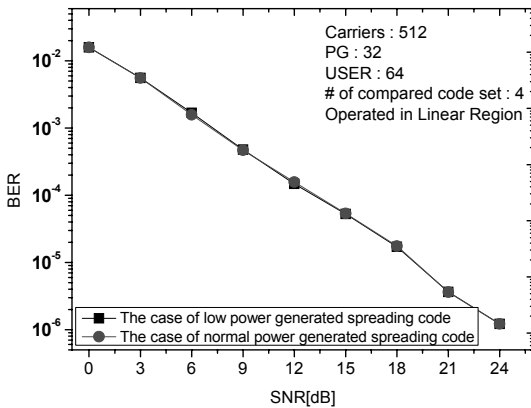
<그림 7> 제안 시스템의 PAPR의 누적분포 함수 CDF, 사용자 64명

<Fig. 7> PAPR CDF of the proposed system, 64 users

수 (CDF)를 보여준다. PAPR의 CDF는 PAPR의 값이 특정한 어떤 값보다 작을 확률이다. 이 결과는 두 종류의 확산 코드 선택 방법에 대한 것이다. 우선 하나는 여분의 코드를 사용하여 PAPR을 계산한 후, 최소의 PAPR의 값을 갖는 코드를 사용하여 전송하는 방법이고, 다른 하나는 일반적으로 PAPR을 계산하여 코드를 선택하는 것이 아니라, 랜덤하게 코드를 선택하여 전송하는 경우의 PAPR을 나타낸다. 그 결과로부터 우리는 PAPR을 계산하여 확산코드를 사용했을 때의 피크전력의 값이 일반적인 코드를 사용하여 전송할 때 보다 줄어들었음을 볼 수 있다. 64명의 사용자가 이 시스템을 사용할 때, $CDF = 10^{-3}$ 에서 2.0dB 정도 피크전력이 감소한 것을 볼 수 있다.

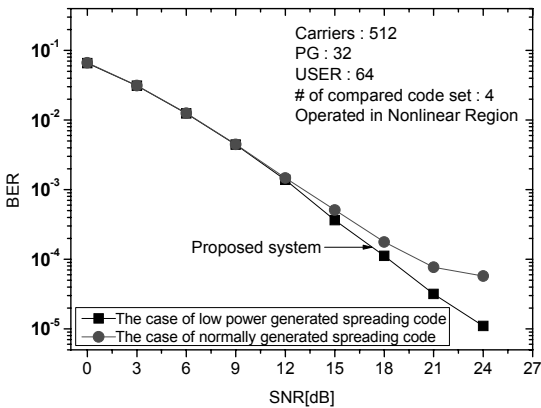
<그림 8>은 선형 증폭기에서의 BER 성능을 보여준다. PB/MC-CDMA에 확산코드 선택을 적용한 것과 적용하지 않은 것의 BER 성능이 거의 같은 것을 볼 수 있다. 이 경우 제안 시스템은 피크 전력 비교를 위해 4개의 확산 코드를 사용하였다. 시스템이 선형 증폭기를 사용하고 있기 때문에 성능의 저하가 거의 없는 것을 알 수 있다. 다시 말해, 두 시스템의 피크 전력 값이 증폭기의 포화영역을 벗어나지 않아 어떠한 신호외곡도 겪지 않기 때문에 두 시스템 간의 성능의 차이가 존재하지 않는다.

<그림 9>는 시스템이 비선형 영역에서 동작했을



<그림 8> 선형구간에서의 BER 성능

<Fig. 8> BER performance when operating in the linear region



<그림 9> 비선형 구간에서의 BER 성능

<Fig. 9> BER performance when operated in nonlinear region

때의 BER 성능을 나타낸다. 비선형 영역에서는 제안 시스템이 기존 시스템과 비교했을 때 성능이 향상됐음을 볼 수 있다. 비선형 영역에서 기존 시스템이 20dB의 SNR이득을 얻었을 때를 비교하여 제안 시스템이 약 3dB의 SNR 이득을 가진다. 미리 할당된 코드와 최소의 피크전력을 생성시키는 확산코드를 선택했을 때 피크전력이 약 2dB 줄어들기 때문에 제안 시스템 성능이 기존 시스템보다 좋은 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 피크전력에 영향을 미치는 요인 중 하나인 확산코드에 초점을 맞추어 PB/MC-CDMA 시스템의 피크전력을 낮출 수 있는 방법을 제안하였다. 우리는 미리 할당된 코드를 통해서 피크전력을 계산 하였다. 그 후 데이터는 최소의 피크전력을 생성시키는 확산코드를 사용하여 전송됐다. 이 결과를 바탕으로 제안 시스템이 복잡한 기술을 사용하지 않고, 추가의 정보 없이 피크전력을 줄일 수 있는 시스템을 증명했다.

참고문헌

- [1] S. Hara and R. Prasad, "Design and performance of multicarrier CDMA system in frequency-selective Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 48, no. 4, pp. 1584-1595, Sept. 1999.
- [2] S. Hara, R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 35, no. 12, pp. 126-133, Dec. 1997.
- [3] T. Fujii, Y. Kamiya, and Y. Suzuki, "Multi-stage RLS subcarrier combining method for uplink quasi-synchronous MC-CDMA," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 56, no. 6, pp. 3739-3748, Nov. 2007.
- [4] 이규진, 이계산, 김진영, "Multi-rate MC-CDMA 시스템에서의 코드간 간섭과 주파수 다이버시티와의 관계에 대한 연구," *한국ITS학회논문지*, 제7권, 제5호, pp. 131-138, 2008. 10.
- [5] K. J. Lee and K. S. Lee, "Clustered OFDMA in the multi-path fading Channel," *Lecture notes in Computer Science*, vol. 3984, pp. 708-716, May 2006.
- [6] M. A. Ullah and K. S. Lee, "BER performance comparison between FHPB/MC-CDMA and MC-CDMA under multi-path Rayleigh fading channels," *Proc. Asia-Pacific Conf. Communications*, pp. 1-5, Aug. 2006.

- [7] K. J. Lee and K. S. Lee, "Adaptive resource allocation for the PB/MC-CDMA system in frequency selective fading channels," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E91-B, no. 12, pp. 4042-4045, Dec. 2008.
- [8] R. O'Neill and L. B. Lopes, "Envelope variations and spectral splatter in clipped multicarrier signals," *Proc. IEEE PIMRC*, vol. 1, pp. 71-75, Sept. 1995.
- [9] J. Armstrong, "Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering," *IEE Electron. Lett.*, vol. 38, no. 8, pp. 246-247, Feb. 2002.
- [10] X. Li and L. J. Cimini, Jr., "Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 5, pp. 131-133, May 1998.
- [11] A. E. Jones, T. A. Wilkinson, and S. K. Barton, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission scheme," *IEE Electron. Lett.*, vol. 30, no. 22, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [12] B. M. Popovic, "Synthesis of power efficient multitone signals with flat amplitude spectrum," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 7, pp. 1031-1033, July 1991.
- [13] R. V. Nee, "OFDM codes for peak-to-mean power control and error correction," *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 740-744, Nov. 1996.
- [14] T. Fujii and M. Nakagawa, "Peak power reduction for MC-CDMA using cluster assigned code selection," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E86-B, no. 9, pp. 2637-2647, Sept. 2003.
- [15] R. W. Bauml, R. F. H. Fisher, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," *IEE Electron. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [16] S. H. Han and J. H. Lee, "Modified selected mapping technique for PAPR reduction of coded OFDM signal," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 50, no. 3, pp. 335-341, Sept. 2004.
- [17] M. C. Lin, Y. C. Tasi, and C. J. Yang, "Selective-mapping type peak power reduction technique for turbo coded OFDM," *Proc. IEEE Wireless Network, Communications and Mobile Computing*, vol. 1, pp. 119-122, June 2005.
- [18] Y. Xin and I. J. Fair, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using guided scrambling coding," *Proc. IEEE GLOBECOM*, vol. 4, pp. 2390-2394, Dec. 2003.
- [19] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [20] P. Dent, G. E. Bottomly, and T. Croft, "Jakes fading model revisited," *IEE Electron. Lett.*, vol. 29, no. 13, pp. 1162-1163, June 1993.

저자소개



이 규 진 (Lee, Kyu-Jin)

2005년 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)

2007년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)

2007년 ~ : 경희대학교 전자·전파공학과 박사과정 (전자·전파공학전공)



이 동 준 (Lee, Dong-Joon)

2003년 : 대림대학 (구:대림전문대학) 공학계열 통신공학 졸업
2005년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학사
2007년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
2007년 ~ : (주)모나드 기술연구소



이 계 산 (Lee, Kye-San)

2002년 : 게이오대학교 전자공학과 공학박사 (정보통신(무선통신)전공)
2002년 ~ 2003년 : 일본 KDDI 연구원
2003년 ~ 2003년 : 일본 게이오대학 교수
2003년 ~ 경희대학교 전파공학과 교수



김 진 영 (Kim, Jin-Young)

1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
1998년 ~ 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
2000년 ~ 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
2001년 ~ : 광운대학교 전파공학과 교수