

Multi-rate MC-CDMA시스템에서의 코드 간 간섭과 주파수 다이버시티와의 관계에 대한 연구

A Study on the Relation Between Frequency Diversity and Inter Code Interference in the Multi-rate MC-CDMA system

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

요 약

시스템의 성능은 RMS 지연확산과 도플러 주파수와 같은 채널 변수에 영향을 받는다. 이 논문은 Multi-rate MC-CDMA 시스템에서 주파수 다이버시티와 코드 간 간섭과의 관계에 대하여 연구하였다. Multi-rate MC-CDMA 시스템은 MC-CDMA 시스템보다 다양한 데이터율을 전송할 수 있는 장점이 있을 뿐 아니라, OFDMA 와 다르게 주파수 다이버시티 이득을 얻음으로써 성능을 향상 시킬 수 있다. 하지만, 확산코드를 사용함으로써 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭간의 trade-off 관계가 있다. 그러므로 이러한 관계를 평가하여, 시스템을 효율적으로 사용함으로써 성능을 향상 시킬 수 있다. 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭의 관계를 효과적으로 평가하기 위하여, 우리는 도플러 주파수와 RMS 지연확산을 변화시키며 모의실험을 수행하였고, 그 결과를 분석하였다.

Abstract

The channel parameters such as RMS delay spread and Doppler frequency have an effect on performance of system. This paper investigates the effect between the Inter-Code Interference (ICI) and the frequency diversity gain in the multi-rate MC-CDMA system. The multi-rate MC-CDMA system has achieved the more variable data rate than the MC-CDMA and moreover it has the better performance than the OFDMA system, because it has achieved the frequency diversity gain. However, the frequency diversity gain and ICI have a trade-off relationship by using the spreading code. Therefore, we have improved the system performance by efficient choice of system parameters. In order to evaluate the effectiveness of the frequency diversity gain and the ICI effect, we perform simulations by altering the Doppler frequency and RMS delay spread.

Key words: RMS, delay spread, doppler frequency, multi-rate MC-CDMA, inter-Code interference (ICI), MC-CDMA

* 주저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 대학원
** 공저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 교수
*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수
† 논문접수일 : 2008년 8월 18일
‡ 논문심사일 : 2008년 10월 23일
† 게재확정일 : 2008년 10월 24일

I. 서 론

정보화 사회가 진전됨에 따라서 미래의 통신서비스는 현재의 음성과 약간의 멀티미디어 서비스 뿐만 아니라 초고속의 데이터 통신과 좋은 품질의 멀티미디어 서비스를 원하고 있다. 이에 전송속도를 높이기 위해서 광대역 고속 통신을 하게 된다. 하지만 광대역 통신은 이동 통신에서 성능 저하의 주요 원인인 주파수 선택적 페이딩에 영향을 받는다. Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 방법은 주파수 선택적 페이딩의 환경에서 아주 효과적으로 성능저하를 줄일 수 있다. 주파수 선택적 페이딩에 강한 OFDM 전송 방법에 Code Division Multiple Access (CDMA)를 결합하여 각각의 부반송파에 확산 코드를 주파수 축으로 확산시켜 주파수 다이버시티를 얻는 MC-CDMA는 페이딩 환경에 강하며, 사용자가 같은 부반송파를 사용하여 다중 접속함으로써 주파수 효율을 높일 수 있다[1,2]. 뿐만 아니라 OFDM보다 주파수 및 시간 오프셋에 덜 민감하며, 순환확장을 통하여 심볼 간 간섭 및 채널 간 간섭을 제거할 수 있다. 그러나 MC-CDMA 시스템은 각각의 사용자를 위하여 다른 데이터율과 다른 통신의 질을 지원하지 못한다. 왜냐하면, MC-CDMA 시스템은 각각의 다른 사용자의 서로 다른 데이터 율과 다른 채널 상태에 상관없이 같은 수의 부반송파와 같은 확산 코드를 갖기 때문이다. 게다가, 사용자의 수가 증가할수록, 심각한 사용자 간의 간섭이 발생하여 성능이 저하된다 [3].

Multi-rate MC-CDMA 시스템은 이러한 문제를 해결할 수 있다. 이 시스템은 각 사용자의 요구에 따라서 다양한 데이터율과 통신의 질을 제공할 수 있다. Multi-rate MC-CDMA 시스템은 MC-CDM 과 OFDMA의 결합된 것과 비슷하다. 그것은 전체의 대역을 다수의 부반송파로 구성된 블록으로 나뉜다. 이 블록의 크기는 확산 코드에 의해서 결정된다 [4]. 사용자의 데이터 전송 속도는 적절한 QoS와 필요한 대역폭과 함께 사용자 서비스 인식의 요구를 고려함으로써 결정 된다. Multi-rate MC-CDMA 시스템은 보다 주파수 효율적이고 융통성이 있게 되

며 다중 서비스를 제공할 수 있다. 또한, 각각의 블록은 데이터 프레임에서 같은 확산 코드를 사용한다. 따라서 서비스 유형에 따라 적절한 계수를 선택함으로써 시스템 성능과 주파수 효율을 개선시키고, ISI, ICI 그리고 MAI 역시 제거 및 감소시킬 수 있다.

지금 까지 채널 환경이 변할 때, 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭의 관계에 대한 많은 연구가 진행되었다. 또한 채널 코딩과 주파수 다이버시티와 간섭 간의 많은 연구들이 진행되었다 [5, 6]. 그러나, 이러한 연구는 다양한 확산 코드와 변조 방식에 따른 연구는 고려되지 않았다. 논문 [7]에서는, 주파수 인터리빙을 이용한 주파수 다이버시티 이득과 간섭간의 trade-off에 관한 연구들이 진행 되었다. 그러나 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭과의 관계를 주파수 자원 할당과 관련된 연구는 아직 적까지 연구되지 않았다.

이 논문에서는 주파수 다이버시티 이득과 코드 간의 간섭의 관계를 주파수 자원할당과 관련하여 연구하였다. 만약, multi-rate MC-CDMA 시스템의 다이버시티 이득이 코드 간 간섭에 의한 시스템 열하보다 크다면, 긴 확산 코드를 사용하여 다이버시티 이득을 최대화시켜 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 반면에, 시스템의 다이버시티 이득이 코드 간 간섭에 의한 시스템의 열하보다 작다면, 짧은 확산 코드를 사용하는 반면, 여러 개의 주파수 대역을 사용함으로써, 전송률에 변화 없이, 코드 간 간섭을 줄임으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭과의 관계를 효과적으로 평가하기 위하여, 주파수 선택적 페이딩 채널에서 RMS 지연 확산 과 도플러 주파수와 같은 채널 환경을 변화시키며 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 여러 가지 확산 개수와 주파수 자원의 할당을 통하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

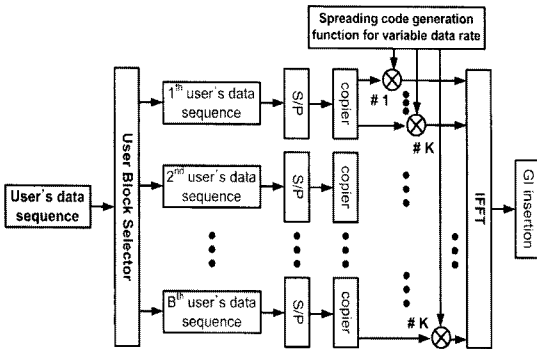
이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 multi-rate MC-CDMA 시스템에 대하여 설명하였고, 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션의 파라미터와 실험의 결과를 분석하였다. 4장은 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 논문의 결론을 맺는다.

II. Multi-rate MC-CDMA 시스템 모델

이 장은 multi-rate MC-CDMA 시스템을 설명한다.

1. Multi-rate MC-CDMA system 전송단

<그림 1>은 multi-rate MC-CDMA 시스템의 전송 단을 보여준다. 이 시스템에서 MC-CDMA 데이터 프레임은 B 부분 블록으로 분할되고 블록들은 $b=(0,1,\dots,B-1)$ 로 표시된다. 사용자는 각 블록에 할당된다.



<그림 1> Multi-rate MC-CDMA 시스템의 전송단
<Fig. 1> Transmitter of the multi-rate MC-CDMA system

각 블록에 할당되어진 각 사용자의 n ($n=(0,1,\dots,K-1)$)은 사용자에게 할당된 블록의 병렬 데이터 수이고, 그것은 서비스의 타입에 맞게 적절하게 조절된다. 각 블록은 K 개의 병렬 데이터를 포함한다. 각 데이터 심볼은 K 의 길이를 갖는 Walsh-Hadamard 확산 코드에 의해서 주파수 축으로 확산된다. 여기서 K 는 각 블록에서 병렬로 데이터를 전송할 수 있는 최대량이다.

첫 번째로, 사용자의 데이터는 QPSK로 변조되고 적절한 블록 선택 알고리즘에 의해서 사용자에게 맞는 블록에 할당된다. 블록 할당 알고리즘은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\beta = \text{mod}(u, B) \tag{1}$$

여기서, $u=(0,1,\dots,U-1)$ 는 시스템에서의 사용자 표시이고, β 는 수송된 u 번째 사용자의 데이터가 있는 블록 표시이다. 시스템을 사용하는 최대 사용자 수는 N/K 이다(N : 전체 부반송파 수, K : 확산 코드 길이). 사용자의 QPSK 심볼은 확산 코드에 의해서 주파수 축으로 확산된다. 확산코드는 $C=(c_0, c_1, \dots, c_{K-1})$ 와 $k=(0,1,\dots,K-1)$ 로 정의되어진다. 여기서, $c_k \in \pm 1$ 는 $K \times K$ Walsh-Hadamard code matrix로부터 추출된다. Multi-rate MC-CDMA 시스템은 각 사용자의 S/P 후에, 다중화를 통하여 사용자의 요구에 맞게 데이터를 전송한다. 즉, 음성과 같은 낮은 데이터 전송 속도를 요구하는 사용자에 대해 다수의 데이터 심볼들 (한 개의 데이터 또는 두 개의 데이터)을 전송한다. 반대로, 높은 데이터율이 필요한 사용자를 위해서는 K 개의 데이터 심볼을 전송한다. 결과적으로 각 사용자에게 맞는 데이터율을 전송할 수 있으며, 주파수 축으로의 확산을 통하여 주파수 다이버시티 이득을 얻음으로써 성능을 향상시킬 수 있다.

확산된 데이터 심볼은 역 고속 푸리에 변환을 하고, 다중경로 페이딩에 의해서 발생하는 ISI와 ICI를 피하기 위하여 보호구간 및 순환 확장을 삽입한다.

복소 등가 저역 통과 전송되는 신호는 식 (2)와 같이 나타낸다[1].

$$S(t) = \sum_{u=1}^U \sum_{n=0}^{K-1} \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{k=0}^{K-1} d^n(i) C^n(k) P_s(t - iT_s) e^{j2\pi k\beta + k\Delta f(t - iT_s)} \tag{2}$$

$$T_s = t_s + T_g \tag{3}$$

$$\Delta f = \frac{1}{t_s} = \frac{1}{T_s - T_g} \tag{4}$$

여기서, $d^n(i)$ 는 u^{th} 사용자의 i^{th} 복소 QPSK 데이터 심볼이다, $d \in \pm(1 \pm j)/\sqrt{2}$, I 는 패킷 길이이고 n 은 다중화 되는 데이터의 수이다.

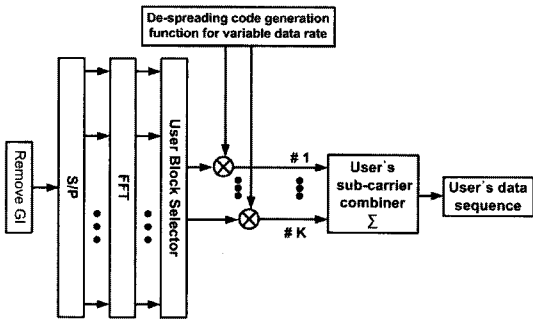
Multi-rate MC-CDMA 시스템의 심볼 구간, 보호 시간과 부반송파 간격은 각각 t_s , T_g , 그리고 Δf 로 표시된다. $P_s(t)$ 는 다음과 같이 정의되는 펄스 모양

함수를 나타낸다.

$$P_s = \begin{cases} 1 & -T_g \leq t \leq t_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

2. Multi-rate MC-CDMA 시스템 수신단

<그림 2>는 multi-rate MC-CDMA 시스템의 수신단을 보여준다.

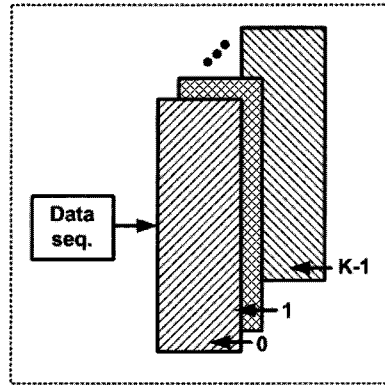


<그림 2> Multi-rate MC-CDMA 시스템의 수신단
<Fig. 2> Receiver of the multi-rate MC-CDMA system

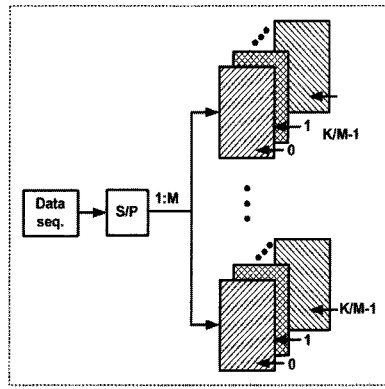
수신된 신호는 식(6)과 같이 나타낼 수 있다 [1].

$$r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t-\tau) \cdot h(\tau, t) d\tau + n(t) \\ = \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{n=0}^{K-1} \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{k=0}^{K-1} Z_B^u(t) d^u(i) C^n(k) P_s(t-iT_s) \\ e^{j2\pi(K\beta+k)\Delta f(t-iT_s)} + n(t) \quad (6)$$

여기서 $Z_{b,k}^u(t)$ 는 b^{th} 블록에 할당된 u^{th} 사용자의 $(K\beta+k)^{\text{th}}$ 부반송파의 복소 포락선이다. $n(t)$ 는 평균이 0 이고 $N_0/2$ 의 분산을 갖는 백색가우시안 잡음(AWGN)이다. 수신된 신호로부터 보호구간을 제거하고, 고속 푸리에 변환을 한다. 이러한 과정 후에 u^{th} 사용자의 신호는 b^{th} 블록에 할당되고, 확산 코드를 통하여 역확산 된다. 각 부반송파에서 역확산된 신호는 결합기를 통하여 합쳐지고, 이러한 신호는 QPSK 복조에 의해서 검출된다. 이 논문에서는 pilot 심볼을 이용하여 채널 추정을 하였다.



(a) Multi-rate MC-CDMA 시스템
(a) Schematic diagram of the multi-rate MC-CDMA system



(b) MB/multi-rate MC-CDMA 시스템
(b) Schematic diagram of the MB/multi-rate MC-CDMA system

<그림 3> Multi-rate MC-CDMA 시스템과 MB/multi-rate 시스템의 개념

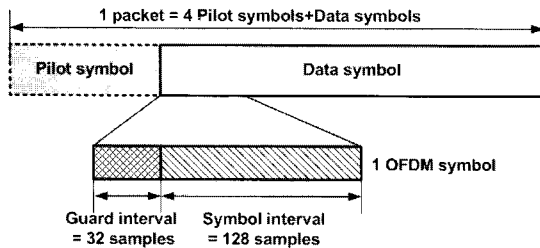
<Fig. 3> Concept of the multi-rate MC-CDMA system and the MB/multi-rate system

<그림 3의 (a), (b)>는 multi-rate MC-CDMA 시스템과 다수 블록을 사용하는 MB/multi-rate MC-CDMA 시스템을 보여준다. <그림 3의 (a)>는 기본적인 multi-rate MC-CDMA 시스템을 보여준다. 각 사용자의 데이터는 확산코드에 의해서 다중화 된다. 예를 들면, 코드의 길이가 K이면, 사용자는 0개부터 K-1개까지의 데이터를 같은 시간에 전송한다. 반대로, <그림 3의 (b)>는 MB/multi-rate MC-CDMA 시스템을 보여준다. <그림 3의 (b)>의 경우, 길이가 K/M 인 코드를 사용하는 반면, M 개의 블록을 사용함으로써 데이터율이 multi-rate MC-CDMA와 같게 된다. 예를

들어, multi-rate MC-CDMA 시스템은 길이가 K 인 확산코드를 사용하여 전송한다면, 길이가 $K/2$ 인 확산코드와 두 개의 블록을 사용하여, 두 시스템의 대역폭과 데이터율을 같게 할 수 있다.

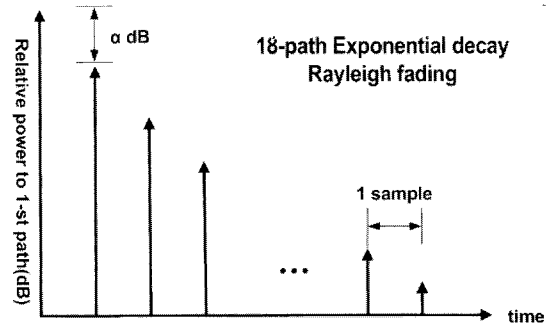
III. 모의실험 파라미터 및 결과

<그림 4>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 내에서의 성능을 평가 하였다.



<그림 4> OFDM Packet 구조
<Fig. 4> Packet structure of OFDM

이 실험에서 사용된 파라미터는 <표 1>에 나타나고 있다. 부반송파의 수는 128개를 사용하였고, 확산 코드는 $K=8, 16, 32$ 를 사용하였다. 또한, 변조 방식은 QPSK를 사용하였고, 보호구간은 심볼 구간의 25%를 사용하였다. 채널은 <그림 5>와 같이 다중 경로인 Rayleigh 페이딩 채널을 사용하였다. 각 경로 샘플의 간격은 1 sample (5G nsec)이고, 18개의 다중 경로이며, 각 경로마다 α dB의 신호 감쇄를 갖는다. 이러한 채널 구조는 심각한 주파수 선택적 (frequency selective) 페이딩 채널을 나타낸다. 채널 모의실험을 위해서, 우리는 논문 [8]에서 제안된, 수정된 Jake's 모델을 사용하였다. <표 2>는 각 경로



<그림 5> 다중 경로 채널 모델
<Fig. 5> Multipath channel Model

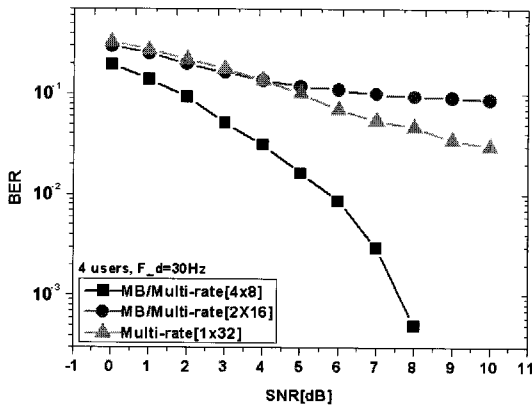
<표 1> 모의실험 파라미터
<Table 1> Simulation parameters

Number of sub-carriers	128
FFT/IFFT Point	128
Symbol rate	156.25 KHz
Short spreading code	Walsh-Hadamard code
Scramble spreading code	Random sequence
Data Modulation type	QPSK
Number of data symbols	64
Number of pilot symbols	4
FEC	Convolutional coding (R=1/2, K=7)
Guard interval	25%
Channel	18-path Exponential Rayleigh

<표 2> RMS 지연확산
<Table 2> RMS delay spread

Attenuation factor (α)	RMS delay spread
0 dB	9.52 samples
1 dB	4.76 samples
2 dB	2.40 samples
3 dB	1.42 samples
Channel	18-path Exponential Rayleigh

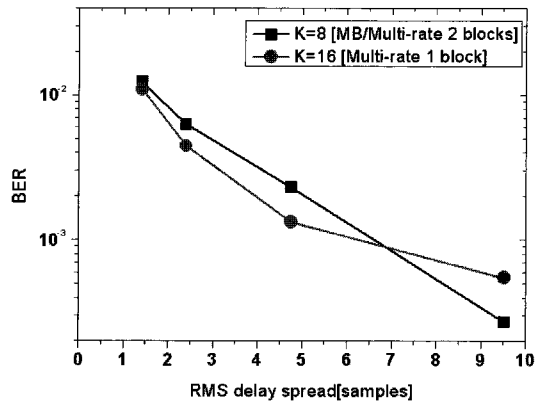
마다의 신호 감쇄 값 α dB에 따른 RMS 지연확산을 나타낸다.



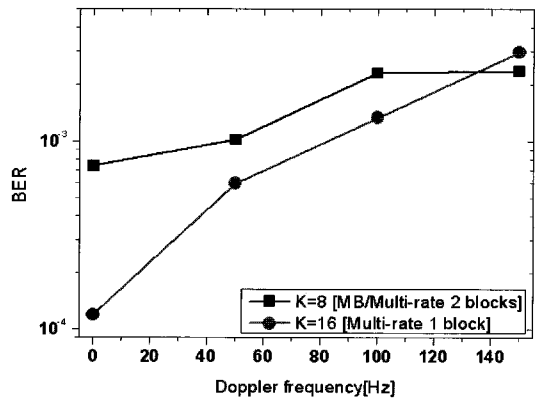
<그림 6> 확산 계수와 주파수 블록에 따른 BER 성능
 <Fig. 6> The BER performance according to the spreading factor and number of frequency block

<그림 6>은 4명의 사용자가 같은 데이터를 보낼 때, K=8, 16, 32를 사용하고 반대로 주파수 블록 M=4, 2, 1개를 사용하여 데이터를 전송할 때의 각 파라미터에 따른 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 이 실험에서는 4명의 사용자와, 도플러 주파수는 30Hz를 사용하였다. 또한, 각 시스템에서 사용한 시스템 용량은 50%이다. 즉, 코드의 1/2의 데이터를 전송하였다. 예를 들면, K=16이고 M=2인 경우 동시에 전송하는 데이터는 $16 \cdot (1/2) \cdot 2 = 16$ 이다. 이 결과를 보면, K=8, M=4인 경우가 다른 경우보다 성능이 좋다. 이것은, 주파수 선택적 채널 환경에서 다른 K=16, 32일 경우보다 코드 간 간섭이 적게 발생하기 때문이다. 반면에, K=16과 32일 경우 0dB부터 4dB까지는 두 시스템의 성능이 거의 비슷하지만 4dB 부터는 K=32, M=1의 경우의 성능이 좋은 것을 볼 수 있다. 이것은 4dB 이상에서 주파수 다이버시티 이득이 코드 간 간섭에 의한 성능 열하 보다 많아짐으로써 코드 간 간섭에 의해 발생하는 성능 열하를 극복했기 때문이다.

<그림 7>은 RMS 지연 확산이 변할 때, multi-rate MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 보여준다. 이 결과로부터, 우리는 multi-rate MC-CDMA 시스템과 multi block multi-rate MC-CDMA 시스템 모두 RMS 지연확산이 증가할 때 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다. 왜냐하면, RMS 지연확산이 증가할수록,



<그림 7> RMS 지연확산에 따른 BER 성능
 <Fig. 7> The BER performance according to the RMS delay spread



<그림 8> 도플러 주파수에 따른 BER 성능
 <Fig. 8> The BER performance according to doppler frequency

캐리어간의 상관도가 감소하여 주파수 다이버시티 이득을 얻기 때문이다. 그러나 RMS 지연 확산이 7 sample보다 클 경우에는, multi block multi-rate MC-CDMA 시스템의 성능이 multi-rate MC-CDMA 시스템의 성능보다 좋다. 왜냐하면, RMS 지연 확산이 더욱 증가할수록, 직교성이 더욱 붕괴되어 ICI가 발생되기 때문이다.

<그림 8>은 도플러 주파수가 변할 때, multi-rate MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 보여준다. 이 결과를 보면, the multi-rate MC-CDMA 시스템과 multi block multi-rate MC-CDMA 시스템 모두 도플러 주

과수가 증가할수록 성능이 열하되는 것을 알 수 있다. 도플러 주파수가 135Hz보다 작을 때, $K=16$ 일 때가 $K=8$ 일 때 보다 성능이 좋다. 왜냐하면, 다중 경로 페이딩 채널에서 코드 간의 직교성의 붕괴로 인하여 야기되는 코드 간 간섭 보다 주파수 다이버시티 이득이 더 크기 때문이다. 다시 말해서, multi-rate MC-CDMA의 주파수 다이버시티 이득이 직교성의 붕괴에 의해서 야기되는 성능 열하보다 크다. 반대로, 시스템의 주파수 다이버시티 이득이 코드 간 간섭에 의한 시스템의 열하보다 작다면, 짧은 코드를 사용하여 코드 간 간섭을 줄임으로써 성능을 향상 시킬 수 있다.

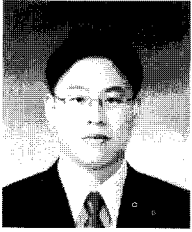
IV. 결 론

본 논문은 multi-rate MC-CDMA 시스템에서 코드 간 간섭과 주파수 다이버시티 이득 간의 효과에 대해서 연구하였다. Multi-rate MC-CDMA 시스템은 MC-CDMA 시스템에 비하여, 사용자의 다양한 요구를 만족할 수 있으며, OFDMA에 비하여 주파수 다이버시티 이득을 얻음으로써 성능을 향상 시킬 수 있다. 그러나 코드를 사용하여 다중화 함으로써, 주파수 다이버시티 이득과 코드 간 간섭과의 trade-off 관계에 있게 된다. 우리는 이 관계를 확인하기 위해서, RMS 지연확산과 도플러 주파수를 변화시키면서, BER 성능을 확인했다. 이러한 결과로부터, 특정한 값 이상이 되면 두 시스템의 성능이 교차하는 것을 볼 수 있다. 그러나 채널 값을 정확히 안다면, 적응적으로 블록의 수와 확산 코드의 길이를 변화 시킴으로써, 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다.

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 and R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 35, 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] K. J. Lee and K. S. Lee, "Clustered OFDMA in the multi-path fading channel," *LNCS*, vol. 3984, pp. 708~716, May 2006.
- [5] S. Kaiser, "Trade-off between channel coding and spreading in multi-carrier CDMA systems," *IEEE Int. Symp. Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 1366-1370, Sept. 1996.
- [6] S. Kaiser, "MC-FDMA and MC-TDMA versus MC-CDMA and SS-MC-MA: performance evaluation for fading channels," *IEEE Int. Symp. Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 200-204, Sept. 1998.
- [7] N. Maeda, H. Atarashi, and M. Sawahashi, "Performance comparison of channel interleaving methods in frequency domain for VSF-OFCDM broadband wireless access in forward link," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E86-B, no.1 pp. 300-313, Jan. 2003.
- [8] 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 공학박사과정 (전자·전파공학전공)



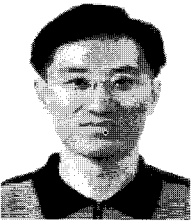
이 계 산 (Lee, Kye-San)

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