

주파수 선택적 페이딩 채널에서 주파수 확산과 결합된 코딩과 송신안테나 다이버시티를 가진 Clustered OFCDM시스템에 관한 연구

정희원 류관웅*, 박용완*

A Study on Clustered OFCDM with Transmit Antenna Diversity and Coding Associated with Frequency Spreading over Frequency Selective Fading Channel

Kwan-Woong Ryu*, Yong-Wan Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 Beyond 3G시스템에서 연구되고 있는 OFCDM시스템에서 터보 코드화되고 클러스터링된 신호의 주파수 다이버시티 이득을 최대화하는 것을 목적으로 한다. 즉, OFCDM시스템은 OFDM과 달리 주파수 영역 확산을 하기 때문에 확산 후의 동일 심볼들을 여러 개의 안테나와 같은 안테나에 적절히 할당함으로써 동일 심볼 간의 페이딩을 거친 수신 신호의 무상관 특성을 최대화함으로써 주파수 다이버시티 이득을 최대화할 수 있다. 제안된 최적의 방식은 STA-OFCDM에 비해서는 낮은 지연 확산($\sigma=0.02\mu\text{sec}$)에서 4dB 성능 향상이 있고 높은 지연 확산($\sigma=0.3\mu\text{sec}$)에서는 2.5dB가량의 성능 향상되었다. 또한 제안된 최적화 방식을 부반송파 재배열(SR:subcarrier rearrange)을 가진 STA-OFCDM과 비교하면 10^{-3} 의 요구되는 BER에서 클러스터링에 의해 주파수 다이버시티 이득을 극대화함으로써 지연 확산과 상관없이 2dB정도의 성능 향상을 시킬 수 있었다. 또한 제안된 최적화 방식은 어떤 대역폭 확장이나 수신기로부터 송신기로의 피드백이나 기존의 클러스터링 방식에 비해 더 많은 복잡도를 요구하지 않는다.

Key Words : Clustered OFCDM, PAPR, frequency diversity gain

ABSTRACT

This paper improves the effects of clustered OFCDM scheme considering the frequency diversity effect over a frequency selective fading channel. In OFCDM with frequency domain spreading compared to OFDM, we can increase uncorrelated symbols by frequency allocation method of correspondent symbols over the same antenna and different antenna after spreading. The simulation results show that the performance of proposed system is improved by approximately 4 dB in $\sigma=0.02\mu\text{sec}$, the performance is improved by approximately 2.5dB in large delay spread in a 12-path Rayleigh fading channel with overall the root mean squared delay spread and the maximum Doppler frequency of 20 Hz. Also, the required average received E_b/N_0 at the average BER of 10^{-3} by

※ 본 연구는 2003학년도 영남대학교 학술 연구 조성비에 의한 지원임 및 대학 IT연구센터 육성·지원 사업의 연구 결과로 수행되었음.

* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실(kwryu@yumail.ac.kr, ywpark@yu.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-09-369, 접수일자 : 2005년 9월 12일, 최종논문접수일자 : 2006년 3월 6일

optimum method is improved by approximately 2.0 dB, compared to that of STA-OFCDM with frequency rearrange. The new method does not require any bandwidth expansion any feedback from the receiver to the transmitter and its computation complexity is similar to clustered OFCDM.

I. 서론

3세대 이상(beyond 3G)의 미래 이동 통신시스템에서 요구되는 IP기반의 코어 네트워크는 짧은 지연과 높은 호환성을 가진 무선 접속 네트워크(RAN: radio access network)와 같은 새로운 공간 인터페이스(air interface)가 고려되어야한다. 또한, 시스템 구현은 낮은 가격으로도 순방향 셀룰라 환경에서 100Mbps이상의 최대 데이터 전송율을 가진 고속 데이터 전송 서비스들의 제공이 가능해야한다. 이러한 상황에서 Multi-carrier CDMA(MC-CDMA)에 기반을 둔 OFCDM(Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) 시스템이 광대역 순방향 무선 접속에 적합한 방식임을 보여주었다¹⁻⁴⁾. 또한, 동일한 무선 접속 네트워크로 다양한 무선 채널 환경에 대응하기 위해 OFCDM시스템에서 가변확산지수(VSF:variable spreading factor)개념을 도입한 VSF-OFCDM시스템이 제안되었다⁷⁾. VSF-OFCDM시스템은 OFCDM의 시간과 주파수 영역에서 확산지수(SF:spreading factor)가 셀구조, 채널 로드, 무선 링크 상태, 무선 링크 파라미터에 따라 적응적으로 변화하도록 설계 되었다⁹⁻¹⁰⁾. 즉, OFCDM시스템에서 VSF방식을 사용함으로써 하나의 무선 인터페이스를 통해 다중 셀 구조를 가진 셀룰라 시스템에서 매우 작은 셀(very small cell), 인도어 셀(indoor cell), 아이솔레이트 셀(isolated cell)과 같은 로컬 영역 환경(local area environment)에서 다양한 서비스를 호환적으로 사용하는 것이 가능하다.

한편, 이러한 3세대 이상(beyond 3G)시스템을 위해서 연구되고 있는 OFDM 기반의 멀티캐리어 시스템에서 문제점 중의 하나인 최대 전력 대 신호 전력의 비(PAPR: peak-to-average power ratio)를 줄이고 주파수 다이버시티를 얻기 위한 연구가 진행되고 있다. 즉, 다중 안테나를 이용하여 COFDM(coded OFDM)의 부반송파를 여러 개의 클러스터로 나누어 여러 개의 안테나를 통해 송신하는 clustered OFDM이 제안되었다¹¹⁾. 즉,clustered OFDM은 클러스터링(clustering)와 코딩(coding)이 같이 결합된 형태로 사용되며 리드 솔로몬 부호(Reed-Solomon code), 길쌈 부호(convolution code), 터보 코딩(turbo code)등의 채널 코딩되고 인터리빙(inter-

leaving)된 신호가 연속된 부반송파에 걸쳐 사용되었을 경우 각각의 송신 안테나를 통해 전송된 각 클러스터(cluster)가 독립적인 페이딩을 겪게 되어 무상관(uncorrelated) 심볼 수의 증가로 주파수 다이버시티 효과를 얻고 부호화 이득의 폭을 증가시킴으로써 코딩을 더욱 효과적으로 만들수 있다¹¹⁾. 또한 clustered OFDM의 하나의 특별한 형태로 PAPR을 clustered OFDM와 동일하게 줄일 수 있고 각각의 안테나에 대해 송신된 데이터들을 전체 주파수 대역에 확산하여 주파수 다이버시티 이득을 증가시킬 수 있는 AI(Antenna Interleaving) OFDM 방식이 제안되었다¹²⁾.

본 논문에서는 100MHz의 채널 대역폭을 가진 OFCDM 광대역 패킷 무선 접속을 가정하에서 기존의 OFCDM과 clustered-OFCDM시스템에 관해 연구한다. 또한 PAPR을 줄이기 위해 clustered OFCDM시스템에서 주파수 다이버시티를 극대화시킬 수 있는 방식을 제안하고 OFCDM과 비교 분석한다.

II. 시스템 모델(System Model)

2.1 clustered OFCDM 구성

송신 다이버시티에서 인코딩전의 데이터 변조된 심볼은 $a_{i,j}$ 로 가정한다. 여기서, i 와 j 는 각각 주파수와 시간 영역의 지수(index)를 나타낸다. 또한 2개 송신 다이버시티 안테나를 가진 k 번째 송신 안테나의 인코딩 후의 변조된 데이터 심볼은 $b_{i,j}^{(k)}$ 로 가정한다. 따라서 clustered OFCDM 인코딩을 사용한 송신 다이버시티에 대한 인코딩은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$(b_{i,j}^{(0)}, b_{i,j}^{(1)}) = \begin{cases} (a_{i,j}, 0) & i \bmod 2 = 0 \\ (0, a_{i,j}) & i \bmod 2 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

수신기에서는 하나 안테나 다이버시티 응답이 고려되고 각 수신 안테나에서는 이상적인 OFCDM시간 동기가 이루어졌다고 가정한다. 여기서 시간 동기를 위한 심볼 타이밍은 다중 경로 채널의 첫번째 경로에 대해 정렬되어지는 것으로 한다. 심볼 타이밍에 기초를 두고 보호 구간을 제거한 후에 수신된

OFCDM신호들은 FFT를 사용한 각 부반송파에 대한 변조된 신호로 변환되어진다. 그리고, 일치하는 송신 안테나에 대한 각 부반송파의 채널 임펄스 응답은 한 패킷 프레임 안의 파일럿 채널을 사용하여 추정되어진다. 첫번째 시간 영역에서 4개의 파일럿 심볼을 동기 방식으로 평균함으로써 1번째 수신 안테나의 k 번째 송신 안테나의 m 번째 부반송파의 임의의 채널 이득 $\xi_m^{(k,l)}$ 을 계산한다. 따라서 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\xi_m^{(k,l)} = \frac{1}{N_p} \left\{ \sum_{n=1}^1 y_m^{(l)}(n) c_m^*(n) d_m^{(k)*}(n) + \sum_{n=N_{avg}+1}^{N_{avg}+2} y_m^{(l)}(n) c_m^*(n) d_m^{(k)*}(n) + \sum_{n=N_{avg}+4}^{N_{avg}+4} y_m^{(l)}(n) c_m^*(n) d_m^{(k)*}(n) \right\} \quad (2)$$

여기서 $y_m^{(l)}(n)$ 은 수신된 부반송파 성분, $d_m^{(k)}$ 은 k 번째 송신 안테나의 파일럿 심볼 패턴이고 n 번째 수신 OFCDM심볼 안의 m 번째 부반송파의 확산 코드의 칩 파형을 나타낸다. 추정된 채널 이득의 정확한 개선을 위해서 부반송파 m 의 임의의 채널 이득은 중앙으로서 부반송파 m 을 가진 $(2N_{avg} + 1)$ 부반송파들을 평균한다. L 번째 수신 안테나의 k 번째 송신 안테나에 대한 부반송파 m 의 채널 임펄스 응답의 마지막 추정 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{h}_m^{(k,l)} = \begin{cases} \frac{1}{m + N_{avg}} \sum_{j=0}^{m+N_{avg}} \xi_j^{(k,l)} & m < N_{avg} \\ \frac{1}{2N_{avg} + 1} \sum_{j=m-N_{avg}}^{m+N_{avg}} \xi_j^{(k,l)} & N_{avg} \leq m \leq N_c - N_{avg} \\ \frac{1}{(N_c - m) + N_{avg} + 1} \sum_{j=m-N_{avg}}^{N_c-1} \xi_j^{(k,l)} & m \geq N_c - N_{avg} \end{cases} \quad (3)$$

본 논문에서는 $N_{avg} = 1$ 인 경우가 사용되었다. 클러스터링 방식에서 각 부반송파의 확산 시퀀스는 각각의 송신안테나에 대해서 교대로 시간과 주파수 영역에서 역확산된다. 여기서 j 번째 시간 지수의 i 번째 주파수 지수상의 심볼의 결과 값은 다음과 같이 표현된다.

$$Z_{i,j} = \sum_{l=0}^{N_{rx}-1} \sum_{m=1}^{SF_{freq}-1} \sum_{n=1}^{SF_{time}-1} y_m^{(l)}(n) \tilde{h}_m^{(j \bmod 2, l)*} \quad (4)$$

주파수 영역에서 심볼 디인터리빙(de-interleaving) 후에 비트 시퀀스 정보를 복원하기 위해 8번의

반복을 통한 Max-Log-MAP에 기초를 둔 터보 디코딩(turbo decoding)이 수행된다.

2.2 제안하는 clustered-OFCDM 부반송파 할당방식

본 장에서는 clustered OFCDM시스템에서 다이버시티 이득을 최대화하기 위한 최적의 원리를 제안한다. $1/T$ 떨어진 N_c 개의 부반송파를 가정한다. 여기서 T 는 개개의 부 채널들을 위한 심볼 간격을 나타낸다. 주어진 부채널안에서 ISI가 거의 없다고 가정한다. 따라서, 개개의 부 채널들은 충분히 협대역이고 다중반송파의 영향은 각 부 채널에서 플랫폼 페이딩이다. 주어진 채널을 경유하여 다중반송파 채널이 플랫폼 페이딩이더라도 전체 다중반송파에 대해서는 주파수 선택적이다. 이것은 몇 개의 OFCDM 부반송파들은 우수한 성능을 나타내고(요구되는 수신 BER에 대한 충분한 수신 전력을 가짐), 나머지 부반송파들은 성능을 열화시킨다. 그러므로, 식(5)에서 보여주는 동일한 심볼들의 상관 함수로서 각 안테나에 대한 부반송파를 할당을 최적화함으로써 clustered OFCDM의 성능을 향상시킬 수 있다. 여기서 수신 안테나의 k_1 과 k_2 의 송신 안테나의 동일 심볼에 관한 상관관계는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{k_1, k_2} = E\{H_{k_1, l}(f) H_{k_1, l}(f + A)\} \quad (5)$$

여기서 H 는 채널의 주파수 응답을 나타내고 A 는 그림 1에서 보여 주는 것과 같이 하나의 안테나의 그룹을 이루는 심볼간의 거리를 나타낸다. 무상관 심볼들을 증가시키기 위해서는 같은 심볼간의 상관 값인 R_{k_1, k_2} 의 값을 작아져야한다. 따라서, 그림 1에서 보여주는 방식으로 clustered OFCDM의 부채널들을 할당할 수 있다. 즉, 제안하는 원리는 같은 안테나에서와 서로 다른 안테나에서의 주파수 확산 후의 동일 심볼들 간의 영향을 받는 주파수 선택적 페이딩의 상관성이 낮도록 동일 심볼을 배치한다. 즉 상관성이 낮은 심볼을 최대화하는 것을 목적으로 한다.

(i) 주파수 확산된 동일 심볼들을 안테나별로 동일하게 분배한다. 즉, 송신 안테나 수가 N_{TX} 이고 주파수 영역의 확산 지수 SF_{Freq} 일 때 주파수 확산된 동일 심볼 수는 SF_{Freq} 개라고 볼수 있고 안테나 별로 SF_{Freq}/N_{TX} 개의 심볼이 전송된다. 각 안테나간의 상관도가 낮다고 가정하면 안테나끼리의 동일 심볼들은 상관성이 낮다고 가정할 수 있다.

(ii) 같은 안테나 기리의 SF_{Freq}/N_{TX} 개의 동일 심볼의 이격 거리를 최대화하기위해 동일 심볼의 이격 거리를 N_c/SF_{Freq} 로 한다. 여기서 N_c 는 부반송파수를 의미한다. 주파수 확산된 동일 심볼의 수가 많을수록 무상관 심볼의 수의 증가로 성능 향상되고 r.m.s 지연 확산이 클수록 인접 심볼간의 무상관 특성(uncorrelated character)이 증가한다. 본 논문에서는 부반송파 재배열(SR:subcarrier rearrange)로 표시하기로 한다.

그림 1(a)는 기존의 OFCDM시스템의 하나의 송신안테나에서 부반송파 할당을 나타내고 그림 1(b)는 기존의 OFCDM시스템의 하나의 송신안테나에서 동일 심볼을 가진 주파수 간의 거리를 최대화시킨 부반송파 할당을 나타낸다(SR). 그림 1(c),(d)의 경우는 다중 안테나를 사용하여 클러스터링을 한 경우의 부반송파 할당을 표시한다. 주파수 할당 그림 1(c)의 경우처럼 OFCDM시스템에서 (i)만을 만족하는 시스템으로 준최적화 방식(suboptimal method)으로 정의한다. 그림 1(d)의 경우처럼 (i)와 (ii)의 clustered OFCDM시스템에서 주파수 다이버시티 이득을 최대화시킴으로 최적화 방식(optimum method)으로 정의한다. SR을 가진 부반송파할당으로 정의 된다.

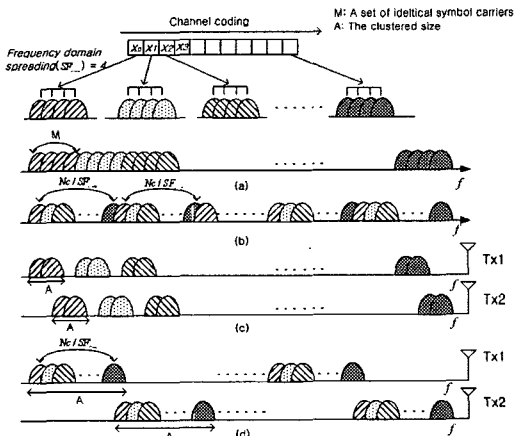


그림 1. OFCDM시스템의 부반송파 할당. (a) 주파수 영역의 확산후 스펙트럼(STA). (b) 부반송파 재배열 후 스펙트럼(STA). (c) 부반송파 준최적화 할당방식(clustering). (d)부반송파의 최적화 할당방식(clustering)

III. 모의실험 구성

표 1와 그림 2는 각각 중요한 모의실험 파라미터와 OFCDM시스템의 송수신기 블록 다이어그램을 보여주고 있다.

표 1. 모의실험 파라미터

Number of antenna branches	$N_{TX}=1,2, N_{RX}=1$
Bandwidth	101.5MHz
Number of sub-carriers	$N_c=768(=131.836MHz)$
Number of sub-carriers of each antenna(clustering)	$768/N_{TX}$
OFDM symbol duration	7.585 μ sec+Guard interval 1.674 μ sec
FFT size	1024 points
Data modulation	QPSK
Spreading factor	$SF_{Time} \times SF_{Freq}=8 \times 16$
Channel coding/decoding	Turbo code($R=1/2, K=4$) / Max-Log-Map decoding
Number of bits per packet frames	183bits
Channel estimation	pilot-symbol assisted channel estimation

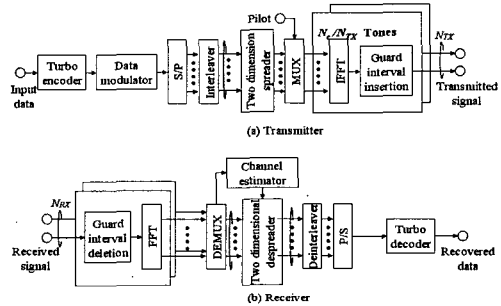


그림 2. clustered OFCDM시스템의 송수신기 구조

그림 2의 clustered OFCDM방식을 보여주고 있다. 송신기에서 이진 정보 데이터 비트는 $R=1/2$ 의 코드 율(code rate)과 $K=4$ 의 구속장(constraint length)을 가진 터보 코드로 인코딩되어진다. 인코딩된 데이터 시퀀스 열은 QPSK로 변조되고 변조된 데이터 시퀀스는 $N_c/SF_{Freq}(=768/16=48)$ 병렬 시퀀스를 가진 직병렬 변환기로 변조되어진다. 병렬 데이터 변조된 심볼 시퀀스에 대해 주파수 영역에서 심볼 인터리빙을 적용한 후에 송신 다이버시티를 위해 clustered OFCDM방식에 기초를 둔 N_{TX} 개의 안테나로 인코딩된다. 각각의 송신 안테나의 발생 열은 시간과 주파수 영역의 2차원 확산($SF_{Time} \times SF_{Freq} = 8 \times 16$)에 의해 확산되어진다. 한 프레임안에서 파일럿 채널과 데이터 채널들과 멀티플렉싱되고 멀티플렉싱된 병렬 심볼 시퀀스는 IFFT에 의해 $N_c = 768$ 개의 부반송파를 가진 OFCDM심볼 시퀀스로 변환되어진다. 그리고, 7.585 μ sec길이의 모든 OFCDM심볼들은 1.674 μ sec의 보호 구간(여기선 cyclic prefix을 사용)이 덧붙여진다. 각 송신 안테나에서 송신된

신호들은 독립적인 다중경로 레일레이 페이딩을 겪는다고 가정한다. 여기서 r.m.s 지연확산은 $\sigma \mu\text{sec}$ 이고 최대 도플러 주파수는 fd Hz인 $L = 12$ 경로 지수 함수적으로 감소하는 레일레이 페이딩 채널(exponentially decayed Rayleigh fading channel)을 가정한다.

IV. 모의 실험

송수신 안테나 수는 레퍼런스 신호로 사용된 하나의 안테나 송신(STA: single transmit antenna)의 경우에는 송신 안테나 수 $N_{TX}=1$, 수신 안테나 수 $N_{RX}=1$ 을 가정한다. 클러스터링 방식에서는 송신 안테나 수 $N_{TX}=2$, 수신 안테나 수 $N_{RX}=1$ 을 가정한다. 코드 율(code rate) $R = 1/2$ 이고 구속장(constraint length) $K = 4$ 을 가진 터보 코드를 가정하고 변조방식은 QPSK, 변조를 거친후의 직렬별 변환기된 심볼은 N_c/SF_{Freq} ($768/16=48$)로 가정한다. 만약, 768개의 부반송파를 가정하면 STA-OFCDM의 평균 PAPR은 28.85dB이고 clustered OFCDM의 평균 PAPR은 약 25.84dB로 약 3dB의 PAPR을 줄일 수 있다. 따라서 증폭기에서 3dB감소된 증폭기를 사용할 수 있는 상황에서 다이버시티 이득을 증가시킴으로써 동일 심볼을 같은 안테나와 다른 안테나에 적절히 할당함으로써 주파수 다이버시티이득에 의한 성능을 향상시킬 수 있다. 시간과 주파수 영역의 2차원 확산은 $SF_{Time} \times SF_{Freq} = 8 \times 16$ 로 가정하였다. 그리고, 7.585 μsec 길이의 모든 OFCDM심볼은 1.674 μsec 의 보호 구간(여기선 cyclic prefix을 사용)이 덧붙여진다. 부 반송파의 r.m.s 지연확산은 $\sigma \mu\text{sec}$ 이고 최대 도플러 주파수는 fd Hz인 $L=12$ 경로 지수 함수적으로 감소하는 레일레이 페이딩 채널(exponentially decayed Rayleigh fading channel)을 가정한다. 또한 각각의 송신 안테나로부터 각각의 수신 안테나로의 페이딩은 상호 무상관 레일레이 분포를 가진다. 수신기에서는 하나의 안테나 다이버시티 응답이 고려되고 각 수신 안테나에서는 이상적인 OFCDM시스템의 시간 동기가 이루어졌다고 가정한다. 여기서 시간 동기를 위한 심볼 타이밍은 다중 경로 채널의 첫번째 경로에 대해 정렬되어지는 것으로 한다. 여기서 N_c 는 총 부반송파 수를 나타내고 M 은 주파수 영역 확산 후의 동일 심볼을 나타내는 부반송파 수(a set of identical subcarriers)를 나타낸다. A 는 각각의 송신 안테나에서 클러스터링을 위한 연속된 부반송파 크기를 나타낸다. 또한 부반송파 재배열을 통해서 동일 심볼을 가진 부반송

파가 최대가 되게 만들 수 있다. 본 논문에서는 $N_c=768$, $M=16$ 일 때 A 값을 변화시킴으로써 두개의 송신 안테나별로 부반송파 할당을 다르게 하여 성능을 분석한다. 성능을 향상시킬 수 있는 두가지 성분은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 안테나간 상관성이 없다는 가정하에서는 같은 주파수 확산된 심볼들중 다른 안테나를 통해 전송되는 심볼과는 상관성이 없다.
2. 같은 주파수 확산된 심볼들 중에 같은 안테나를 통해 전송되는 심볼들은 지연 확산(r.m.s) 값에 따라 상관성과 부반송파간 이격 거리에 따른 상관성에 의해 성능이 결정된다.

그림 5는 $A=384$ 와 $A=16$ 인 STA-OFCDM시스템은 클러스터링과 코딩만을 고려한 시스템으로 볼 수 있고 기존의 clustered OFDM과 동일한 시스템으로 가정할 수 있다. 그러나 $A=8$, $A=1$ 인 clustered OFCDM시스템은 클러스터링과 코딩뿐만 아니라 주파수 영역 확산 후의 확산된 동일 심볼을 서로 다른 안테나로 전송함으로써 무상관된 동일 심볼 수를 증가시키는 방법으로 최적적 방법이다. $A=48$ 인 clustered OFCDM시스템이고 부반송파 재배열(SR)을 가진 시스템은 무상관된 동일 심볼 수 증가시킬 뿐만 아니라 같은 안테나에서 동일 심볼의 이격 거리를 최대화함으로써 최적화 방식(optimal method)로 볼 수 있다. 제안된 준최적화 방식(suboptimal method)과 최적화 방식(optimal method)은 무상관 심볼 수의 증가로 기존의 방식에 비해 성능이 향상됨을 알 수 있다. 또한, 낮은 지연 확산에서는 같은 안테나의 인접 부반송파는 상관성이 상당히 높다. 따라서 낮은 지연 확산에서는 A 의 값이 작을수록

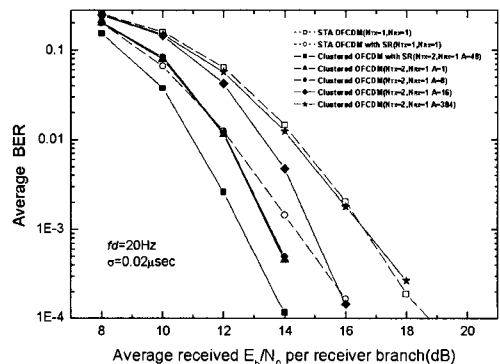


그림 5. 낮은 지연확산에서 clustered OFCDM시스템의 BER 성능

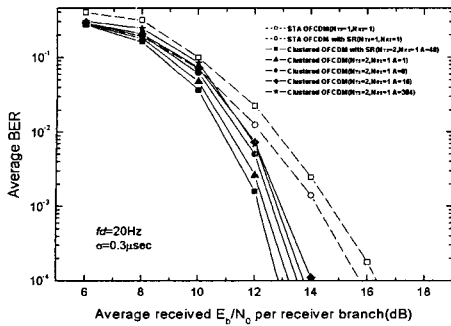


그림 6. 높은 지연 확산에서 clustered OFCDM시스템의 BER 성능

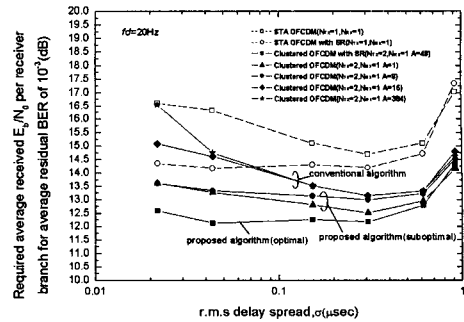


그림 7. fd = 20Hz에서 clustered OFCDM시스템의 주파수 다이버시티 효과

성능이 향상된다. 왜냐하면 A의 값이 작을수록 인접 부반송파의 동일 심볼이 다른 안테나를 통해 전송되기 때문이다. 기존 시스템에서 A=16인 방식이 A=384인 방식에 비해 성능이 향상된다. 제안된 준최적화 방식인 A=8개의 동일한 정보를 가진 심볼들을 각각 8개씩 2개의 안테나로 전송한다. 따라서 이러한 경우 무상관 심볼의 수가 증가함으로써 기존의 A=16과 A=384인 시스템에 비해 성능이 향상된다. 낮은 지연확산에서는 주파수 영역 채널의 느린 변화로 인해 A=1인 경우와 A=8인 경우 같은 안테나의 동일 심볼들사이의 상관도가 거의 같으므로 다이버시티 이득이 거의 같다.

A=48인 부반송파 재배열(SR:subcarrier rearrange)을 가진 시스템은 앞에서 설명한 두가지 조건을 모두 만족시키는 최적화된 방식이라고 할 수 있다. 최적화 방식을 사용하면 주파수 다이버시티 이득의 증가로 최적화 방식의 경우 STA-OFCDM에 비해 2dB만큼 성능 향상됨을 알 수 있다. 그림 6은 높은 지연 확산(주파수 선택적 페이딩)에서의 clustered OFCDM의 성능을 나타낸다. 높은 지연확산에서는 인접 부반송파 심볼간의 상관성이 낮아진다. 이것은 인접 부반송파사이도 충분한 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 의미한다. 따라서 기존 방식과 제안된 방식간의 성능 차이가 거의 없다. 또한 clustered된 모든 시스템이 다이버시티 이득의 증가로 기존의 STA-OFCDM에 비해 성능이 우수하다.

그림 7은 r.m.s 지연확산에 따른 10^{-3} 의 평균 여분의 BER에 위한 수신 안테나당 요구되는 평균 수신 E_b/N_0 을 나타낸다. 그림 7은 100MHz의 대역폭에서 안테나다이버시티 응답이 없고($N_{RX}=1$)지연 확산이 약 0.6 μsec 까지 증가함에 따라 요구되는 평균 수신 E_b/N_0 은 지연확산이 증가함에 따라 주파수 다이버시티 이득 증가함으로써 감소함을 알 수 있다.

그러나, 지연 확산(σ)이 약 0.6 μsec 보다 커지면 지연된 다중 경로 성분이 가드 구간을 초과하게 되고 연속된 OFCDM심볼 사이에 심각한 ISI가 발생하기 때문에 요구되는 평균 수신 E_b/N_0 은 증가하게 된다. 부반송파 재배열을 가진 STA시스템과 부반송파 재배열을 가진 A=48인 clustered OFCDM의 같은 심볼사이의 이격거리가 충분히 크므로 지연확산의 상관없이 같은 심볼사이의 상관성이 낮으므로 충분한 다이버시티 이득을 얻음으로써 성능이 일정하다. 부반송파 재배열을 가진 A=48인 clustered OFCDM인 시스템은 최적의 조건을 만족하고 부반송파 재배열(SR)을 가진 STA시스템 비해 2dB성능 향상을 가짐을 알 수 있다. 그리고 A=48인 최적 방식과 A=1과 A=8인 준최적 방식은 동일정보를 가진 심볼 사이의 상관도가 낮음으로 주파수 다이버시티 이득의 증가로 기존 시스템인 A=16, A=384에 비해 성능이 향상됨을 알 수 있다.

V. 결론

제안된 최적의 방식은 10^{-3} 의 요구되는 BER에서 STA-OFCDM에 비해서는 낮은 지연 확산($\sigma=0.02\mu\text{sec}$)에서 4dB정도 성능 향상이 있고 높은 지연 확산($\sigma=0.3\mu\text{sec}$)에서는 2.5dB가량의 성능 향상되었다. 또한 제안된 최적화 방식을 부반송파 재배열을 가진 STA-OFCDM과 비교하면 10^{-3} 의 요구되는 BER에서 클러스터링에 의해 주파수 다이버시티 이득을 극대화함으로써 지연 확산과 상관없이 2dB 정도의 성능 향상을 시킬 수 있었다. 이것은 제안된 방식은 어떤 대역폭 확장이나 수신기로부터 송신기로의 피드백(feedback)이나 기존의 클러스터링 방식에 비해 더 많은 복잡도를 요구하지 않고 각 송신 안테나에서 전력의 3dB 감쇠는 저가의 소형 비선형

적인 증폭기 사용할 수 있고 동시에 주파수 다이버시티에 의해 STA-OFCDM에 비해 최대 4dB 정도의 성능 향상을 가질 수 있음을 의미한다.

참 고 문 헌

[1] S. Abeta, H. Atarashi, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Performance of coherent Multi-Carrier/DS-SS and MC-SS for broadband packet wireless access," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E84-B, no. 3, pp. 406-414, Mar. 2001.

[2] H. Atarashi, S. Abeta, and M. Sawahashi, "Broadband packet wireless access appropriate for high-speed and high-capacity throughput," *IEEE VTC2001-Spring*, pp. 566-570, May 2001.

[3] N. Yee, J.-P. Linnartz, and G. Fettweis, "Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio networks," *PIMRC'93*, pp. 109-113, Sept. 1993.

[4] K. Fazel and L. Papke, "On the performance of convolutional-coded CDMA/OFDM for mobile communication systems," *PIMRC '93*, pp. 468-472, Sept. 1993.

[5] Kwan-Woong Ryu, Yoshihisa Kishiyama, and Yong-Wan Park, "Investigation of STBC and TSTD Transmitter Diversity Effect Using Chase Combining in Spread OFDM Broadband Packet Wireless Access", *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E89-B, No.5, May. 2006

[6] KwanWoong Ryu, Yoshihisa Kishiyama, Hiroyuki Atarashi, Mamoru Sawahashi, and YongWan Park, "Investigation of STBC and TSTD Transmitter Diversity Effect Considering Frequency and Time Diversity in Spread OFDM Broadband Packet Wireless Access", *The 9th CDMA international Conf*, p2-12, Oct 2004

[7] H. Atarashi, S. Abeta, and M. Sawahashi, "Variable spreading factor orthogonal frequency and code division multiplexing (VSF-OFCDM) for broadband packet wireless access," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E86-B, no. 1, pp. 291-299, Jan. 2003.

[8] A. Sumasu, T. Nihei, K. Kitagawa, M. Uesugi, and O. Kato, "An OFDM-CDMA system using combination of time and frequency domain spreading," *Technical Report of IEICE*, RCS2000-3, Apr. 2000(in Japanese).

[9] A. Persson, T. Ottosson, and E. Ström, "Time-frequency localized CDMA for downlink multi-carrier systems," *IEEE ISSSTA 2002*, pp. 118-122, Sept. 2002.

[10] H. Atarashi, N. Maeda, S. Abeta, and M. Sawahashi, "Broadband packet wireless access based on VSF-OFCDM and MC/DS-SS," *IEEE PIMRC2002*, pp. 992-997, Sept. 2002.

[11] L.J.Clmini, Jr.B., Daneshrad, and N.R. Sollenberger, "Clustered OFDM with transmitter diversity and coding" *IEEE Global Telecomm. Conf.*, Nov.1996,pp.703-707.

[12] A.N.Barreto, "Transmit antenna diversity for OFDM based W-LANs with a priori channel state information," in *Processings of International Zurich Seminar on Broadband Communications*, 2002 vol.1.

류 관 응 (Kwan-Woong Ryu)

정회원



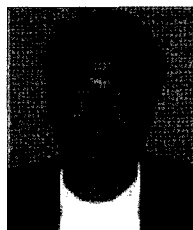
1997년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업
1999년 2월 영남대학교 전자공학과 석사
2006년 2월 영남대학교 정보통신공학과 박사
2004년 2월~2005년 1월 일본

NTT DoCoMo YRP 연구소 Internship

<관심분야> Multicarrier CDMA, MIMO-OFCDM, Binary CDMA

박 용 완 (Yong-Wan Park)

정회원



1982년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
1984년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1989년 2월 뉴욕 주립대 전자공학 석사
1992년 2월 뉴욕 주립대 전자공

학과 박사

1992년 10월~1993년 12월 캘리포니아 공과대학 Research Fellow

1994년 1월~1996년 8월 SKT기술연구부장

1996년 9월~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수

2000년 1월~2000년 2월 NTT DoCoMo 연구소 초빙교수

2003년 1월~2004년 1월 UC Irvine 방문교수

<관심분야> 무선통신, 디지털통신