

논문 2007-44TC-4-10

다중안테나를 고려한 직교 주파수 분할 다중 접속 방식의 역방향 부호화 성능 검증

(Coded performance evaluation of a multi-antenna OFDMA system for reverse-link)

조한규*, 홍대식**

(HanGyu Cho and Daesik Hong)

요약

본고에서는 802.16, 802.20 및 3G-LTE, WiMax, 그리고, WiBro와 같은 차세대 이동통신 시스템의 규격으로 고려되고 있는 직교 주파수 분할 다중 접속 방식 (orthogonal frequency division multiple access; OFDMA)의 물리 계층 성능을 검증한다. 대부분의 연구 결과가 순방향 성능 향상에 집중되어 있기에 상대적으로 미약한 역방향을 고려하며, 많은 연구 결과가 부호화를 고려하지 않은 것에 비해 본 연구에서는 LDPC (low-density parity check) 부호화를 고려한다. 역방향의 경우 다양한 사용자 간의 시간 동기 오차, 그리고, FFT (fast Fourier transform) 시 주파수 동기 오차가 존재하므로, 이를 고려한 성능 열화를 살펴본다. 다양한 성능 열화 요인을 갖는 역방향 링크의 성능 향상을 위하여, 송수신 안테나 다이버시티에 의한 성능 향상을 살펴본다. 또한, 동일한 성능 열화 요인 하에서 코드 분할 다중 접속 방식 (code division multiple access; CDMA)과의 프레임 오류율 (frame error rate; FER) 및 throughput 비교를 통해 역방향 OFDMA 시스템의 장점을 부각하며, 최종적으로 다양한 부호화를 및 안테나 조합을 고려한 역방향 OFDMA시스템의 최대 throughput 달성을 위한 요구 E_b/N_0 를 제안한다.

Abstract

In this paper, link-level performance of a OFDMA technique, which has been considered as a standard for 802.16, 802.20, 3G-LTE, WiMax, and WiBro, is evaluated for next-generation wireless communication systems. While many researches have focused on uncoded forward-link performances, this paper provides a coded performance of a reverse-link OFDMA system. Performance degradation due to time offset among reverse-link users and frequency offset during FFT process is investigated. Transmitter and receiver antenna diversity techniques are used to overcome performance degradation. Performance of a OFDMA system is compared with a CDMA system in terms of FER and throughput to emphasize the advantage of OFDMA system for a reverse-link. Finally, under given specification, E_b/N_0 required to achieve the maximum throughput of a reverse-link is proposed considering various coded rates and antenna permutations.

Keywords: OFDMA, 동기 오차, 다이버시티, 역방향, 멀티 안테나

I. 서론

멀티미디어 서비스 및 이동형 서비스 지원에 대한 사

용자들의 요구는 기하급수적으로 증가하고 있으며, 차세대 이동통신 시스템 개발의 원동력이 되고 있다. 차세대 이동통신 시스템의 비전에 대해서는 다양한 의견들이 존재한다. 최근 활발히 진행 중인 3GPP-LTE 시스템, 802.16e에 기반한 WiBro 및 WiMAX 시스템이 4G 시스템으로 발전할 것이라는 주장도 있고, 혁신적인 새로운 시스템이 제안되어야 한다는 주장도 있다. 그러나 광의의 개념에서 차세대 이동통신 시스템의 큰 특징을 열거하면, 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경의 구현, 디지털 융합(Digital Convergence) 환경의 구현, 그리고

* 정회원, ECE, 텍사스 오스틴

(University of Texas at Austin)

** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과

(Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University)

※ 본 연구는 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-214-D00325).

접수일자: 2006년12월20일, 수정완료일: 2007년4월16일

사용자 중심(User-centric) 환경의 구현으로 정리할 수 있다^[1-6].

앞에서 언급한 차세대 이동 통신 시스템의 특징들을 수용하기 위해서는 다양한 멀티미디어 서비스 지원을 위한 초고속 전송, 주파수 효율 및 고속 이동 지원 기술이 요구된다. ITU-R (International Telecommunication Union- Radiocommunication Standardization Sector)에 따르면, 차세대 이동 통신 서비스의 서비스 개시 시기는 2010년 이후로 예측하고 있으며, 목표 데이터 전송율은 고정 및 저속 환경에서 최대 1Gbps, 고속 이동 환경에서 최대 100Mbps로 추정하고 있다^[7].

차세대 이동 통신 시스템에서 가장 주목 받고 있는 기술의 하나가 다중 반송파(multi-carrier) 전송 방식이다^[8]. WLAN(Wireless LAN)에서 주로 연구되어 오던 다중 반송파 시스템은 최근 들어 IEEE 802.16 와 802.20 등의 이동 통신 관련 국제 표준 및 그에 기반한 WiMAX 와 WiBro 같은 시스템에 채택됨으로써^{[9][10]}, 기존의 단일 반송파 기술이 주도하던 이동 통신 시스템에 획기적인 변화를 가져오고 있다. 현재 국내외의 주요 연구소 및 기업들은 차세대 이동 통신 시스템 표준화 주도 및 원천 기술 관련 특허 확보를 위해 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), MC-CDMA(Multi-Carrier CDMA) 및 다양한 형태의 다중 반송파 전송 방식에 관한 연구에 심혈을 기울이고 있다^[11-13]. 이러한 상황에서 다중 반송파 시스템의 물리 계층 성능을 살펴보는 것은 큰 의미를 갖는다.

본고에서는 차세대 이동통신 시스템을 위한 다중 반송파 시스템의 물리 계층 설계 기술 및 그에 따른 성능을 살펴보고자, 차세대 이동 통신 시스템의 modulation 기법으로 널리 각광 받고 있는 OFDMA 기법을 고려한다. 차세대 이동 통신 시스템의 연구에 있어서, 순방향과 역방향의 비대칭성에 기인하여 순방향의 데이터 전송을 향상 요구가 컸던 만큼 대부분의 연구 결과가 순방향에 치우쳐 있던 것이 사실이다^[14-18]. 또한, 실험 및 분석의 용이성을 위하여 많은 연구 결과가 부호화를 고려하지 않았다^[19]. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본고에서는 역방향 시스템을 고려하며, 시스템 성능 향상을 위한 송수신 안테나 다이버시티 기술 및 대표적 반복(iterative) 오류 정정 부호인 LDPC(Low-Density Parity Check)를 고려한다.

역방향 링크를 위한 OFDMA 시스템에서 각 사용자의 데이터는 직교하는 서로 다른 부반송파에 실려서 전송되므로, 안정적인 성능을 유지하기 위해서는 사용자

간 직교성 유지가 엄격히 요구된다. 그러나 역방향 OFDMA 시스템에서 사용자간 시간 동기 오차는 반송파 간 직교성을 깨뜨려, 심볼간 간섭(inter-symbol interference; ISI) 및 다중 사용자 간섭(multiple access interference; MAI)을 유발한다^[19]. 또한, 송수신간 발진기 오차 및 단말의 이동에 의한 도플러 주파수 편이에 기인한 주파수 동기 오차 역시 다중 사용자 간섭을 유발한다^[20]. 본고에서는 역방향 OFDMA 시스템에서 채널 추정 오차 및 시간/주파수 동기 오차가 성능에 미치는 영향을 채널 부호화 및 안테나 다이버시티가 결합된 환경에서 살펴본다. 이러한 모의실험 결과는 역방향 링크의 주요 성능 열화 요인이 실제 시스템 성능에 미치는 영향을 보여줌으로써, 차세대 시스템 구현을 위한 중요한 지표를 제공한다.

또한, 동일한 성능 열화 요인 하에서 CDMA(code division multiple access) 기법과의 프레임 오류율(frame error rate; FER) 및 throughput 비교를 수행한다. 현재까지 이동 통신 시스템 역방향 링크는 CDMA와 같은 단일 반송파 시스템에 기반하고 있으므로, 본 모의 실험 결과는 역방향 링크에 다중 반송파 시스템을 적용할 때 얻을 수 있는 성능 이득을 보여준다. 최종적으로 다양한 부호화율 및 안테나 조합을 고려한 최대 throughput 달성을 위한 요구 Eb/No를 제시함으로써, 차세대 역방향 OFDMA 시스템 동작을 위한 물리 계층 성능 요구 조건을 제안한다.

본고의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어지는 II장에서는 역방향 링크를 위한 채널 부호화를 고려한 다중 안테나 OFDMA 시스템 모델을 설명한다. III장에서는 역방향 OFDMA의 시간/주파수 동기 오차 및 채널 추정 오차에 따른 성능 열화를 살펴본다. 또한, 최대 throughput 달성을 위한 요구 Eb/No를 제시한다. IV장에서는 CDMA 기법과의 성능 비교가 이루어진다. 본고는 V장의 결론으로 끝맺는다.

II. 역방향 OFDMA 시스템 모델

그림 1은 역방향 OFDMA의 송신기 블록다이어그램을 나타낸다. 각 사용자의 정보 비트 열은 채널 부호화된 후에 특정 변조 레벨로 변조된다. 변조된 심볼 열은 시공간 블록 부호화(Space-Time Block Code; STBC) 과정을 거치게 된다. 시공간 블록 부호화된 각 사용자의 심볼 열 들은 역퓨리에 변환을 위하여 부반송파에 할당되는데, 이 과정을 본고에서는 사용자 인터리빙

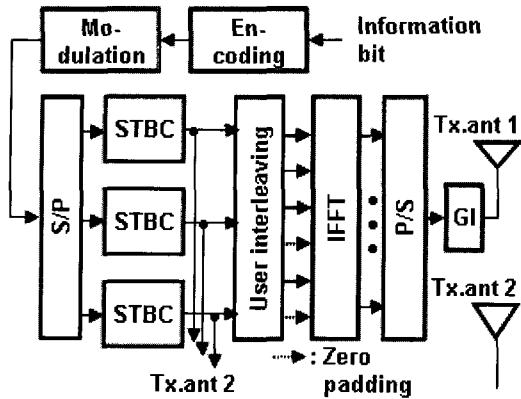


그림 1. 역방향 OFDMA 송신기 블록 다이어그램
 Fig. 1. Block diagram of reverse-link OFDMA transmitter.

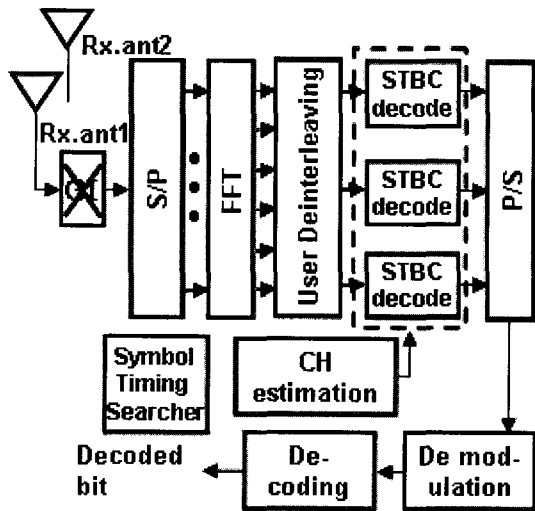


그림 2. 역방향 OFDMA 수신기 블록 다이어그램
 Fig. 2. Block diagram of reverse-link OFDMA receiver.

(user interleaving)이라고 표현한다. 본고에서는 한 사용자가 할당 받는 여러 개의 부반송파 들이 최대한 이격 되도록 할당하는 심볼 인터리빙 방식과, 한 사용자가 할당 받는 여러 개의 부반송파들이 인접하도록 하는 그룹 인터리빙 방식을 고려한다. 사용자 인터리빙 후 역푸리에 변환을 거친 심볼 열은 보호 구간이 더해진 후 각 안테나 별로 전송된다.

그림 2는 역방향 OFDMA의 수신기 블록다이어그램을 나타낸다. 역방향 링크이므로, 기지국에서의 수신 과정을 나타낸다. 각 이동국에서 수신된 신호 열은 시간 동기 오차 추정 및 보정 알고리즘을 통해 적정 값 이내의 시간 동기 오차를 가지게 될 것이므로, 보호 구간이 제거된 시간 영역의 다중 사용자 신호 열은 푸리에 변환을 거쳐 주파수 영역의 신호 열로 변환된다. 사용자 별로 정해진 부반송파에서 해당 신호 열을 추출한 후

시공간 블록 복호화 과정을 거치게 된다. 사용자 별로 복호된 신호 열은 복조 및 채널 복호의 과정을 거쳐 원래의 전송 비트열로 재생된다.

III. 시간/주파수 동기 오차 및 채널 추정 오차에 따른 성능 열화

OFDMA 시스템에서는 다중 사용자가 자신에게 할당된 숫자만큼의 부반송파 들을 사용하게 된다. 그러므로 주파수 다이버시티를 최대한 얻어내기 위해서는 한 사용자 내에서 사용하는 반송파를 최대한 멀리 떨어뜨려야 한다.

그림 3의 결과는 한 사용자가 사용하는 부 반송파를 인접하게 그룹으로 묶었을 때(그룹 인터리빙)와 최대한 멀리 떨어뜨렸을 때(심볼 인터리빙)의 성능을 비교한다. 부반송파 수 32개와, 보호 구간(guard interval; GI)의 길이 8을 가정하였다. LDPC의 반복 횟수는 8로 고정하고, 부호 길이 2048과 부호 유효율 1/2을 고려하였다. 단일 안테나를 사용하였고, 사용자 로딩은 50%에 QPSK를 고려하였다. 즉, 전체 부반송파 중 50%에만 심볼을 전송한 경우를 의미한다. 시간 동기 오차는 보호 구간 길이 내에서 임의로 발생한다고 가정하였으며, 각각의 인터리빙 방법에 대해서 주파수 오차와 채널 추정오차가 없는 경우와 있는 경우를 모두 고려하였다.

이후의 모든 실험에서 Jakes multi-path fading 채널 모델을 가정하였으며, 본 실험에서는 uniform decaying 4 path 채널을 가정하였다. 실험에서 채널 추정 오차는

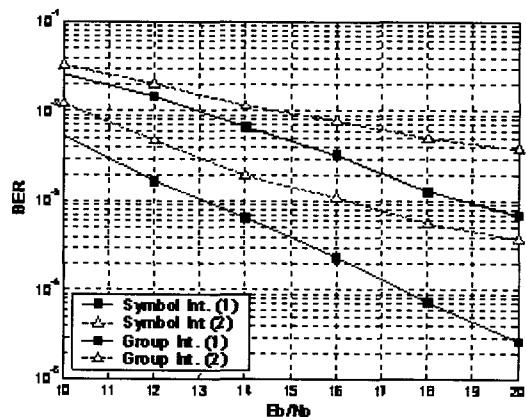


그림 3. 사용자 인터리빙 방법에 따른 비트 오율 비교
 ((1) ideal (2) freq.offset=5%, CH est. MSE=0.001)
 Fig. 3. BER comparison of different interleaving methods.
 ((1) ideal (2) freq.offset=5%, CH est. MSE=0.001)

다음과 같이 주어진다.

$$H'_n = H_n + k \times N(0, 1) \quad (1)$$

식 (1)에서 $N(0,1)$ 은 평균 0과 분산 1을 갖는 가우시안 임의의 (random) 변수이다. 즉, n번째 부반송파의 주파수축 채널 응답 H'_n 과 이상적인 채널 응답 H_n 사이의 제곱 평균 오차 (mean square error; MSE)가 k^2 이 되도록, 주파수축에서 가우시안 임의의 변수를 더해준다. 그림을 참고하면 주파수 다이버시티를 크게 얻는 심볼 인터리빙의 성능이 그룹 인터리빙의 방법에 비해 10^{-3} 의 비트 오류율(bit error rate; BER)에 대해 3dB만큼의 전력 이득이 있음을 알 수 있다. 그림의 결과를 바탕으로 이후의 모든 실험은 심볼 인터리빙을 가정한다.

OFDMA와 같은 다중 반송파 시스템의 경우는 단일 반송파 시스템에 비해서 시간 동기 오차 및 주파수 동기 오차에 민감하다. OFDMA 역방향 링크에서 사용자별 수신 신호간 시간 동기 오차가 보호 구간을 넘어서는 경우, 이전 심볼에 의한 심볼간 간섭이 발생하며, 심볼간 간섭은 다중 사용자 간섭을 유발하여, 심각한 성능 열화를 일으킨다. 또한, 송수신단간 발진기 오차 및 도플러 주파수 편이에 의한 주파수 동기 오차도 사용자간 직교성을 깨뜨리는 주요한 원인이 된다.

그림 4와 5는 OFDMA 역방향 링크에서 LDPC 채널 부호화를 결합하였을 때, 부반송파 대역폭으로 정규화된 주파수 동기 오차 및 시간 동기 오차에 따른 성능 열화를 보여준다. 실험 환경은 그림 3과 동일하다.

그림 4는 주파수 동기 오차가 증가함에 따라 프레임 오류 성능이 열화 됨을 보여준다.

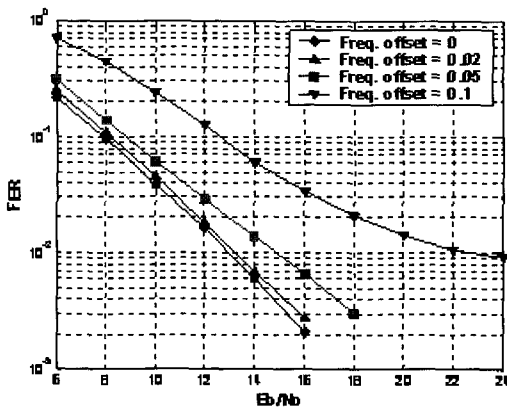


그림 4. 주파수 동기 오차에 의한 성능 열화
Fig. 4. Performance degradation due to frequency offset.

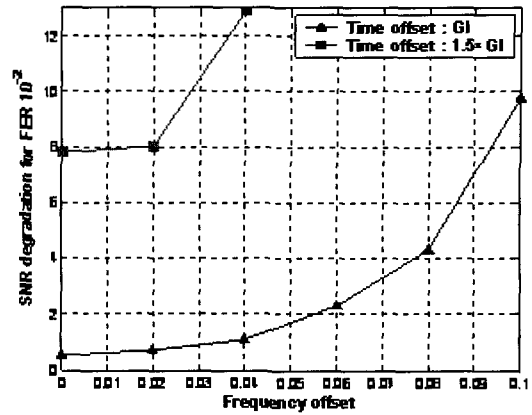


그림 5. 시간/주파수 동기오차에 따른 신호대잡음비 감소
Fig. 5. SNR degradation due to time/frequency offset.

그림 5는 그림 4의 결과를 바탕으로 주파수 동기 오차에 따른 신호 대 잡음 비 감쇄를 나타낸다. 그림에서 사용자 별 시간 동기 오차가 보호 구간 이내에서 임의로 존재하는 경우(모든 사용자의 시간 동기 오차가 보호 구간 이내에서 임의로 주어지는 경우는 멀티 패스 페이딩에 의한 심볼간 간섭이 거의 존재하지 않으므로, 시간 동기 오차에 의한 성능 열화가 미약하다(그림을 참고하면, 주파수 동기 오차가 없을 때, 0.5dB 정도의 성능 오차가 존재하는 것을 확인할 수 있다). 그러나 최대 시간 동기 오차가 보호 구간의 1.5배인 경우는 무시할 수 없는 심볼간 간섭이 존재하며, 결국 다중 사용자 간섭을 유발하게 되어 그림과 같이 심각한 성능 열화를 유발한다(주파수 동기 오차가 없는 경우도 약 8dB 정도의 성능 열화를 보인다). 결론적으로, 사용자 별 시간 동기 오차가 보호 구간 이내에 존재하도록 시간 동기 제어가 이루어진다고 가정하면, 4% 이내의 주파수 동기 오차가 존재하도록 주파수 동기 오차 보정 알고리즘이 설계될 때, 1dB 이내의 성능 열화가 존재함을 알 수 있다.

그림 6의 경우는 앞에서 살펴본 시간/주파수 동기 오차 및 채널 추정 오차를 함께 고려하였을 때의 프레임 오류율을 다양한 송수신 안테나 환경에서 살펴본다. 부반송파 수 128과 보호 구간 길이 16을 가정하였고, 6 path 채널을 가정하였다. 시간 동기 오차는 보호 구간 길이 내에서 임의로 발생한다고 가정한다. 나머지 실험 환경은 그림 3과 동일하다. 그림에서 점선은 주파수 동기 오차 보정 및 채널 추정이 완벽한 경우이며, 실선은 3%의 주파수 동기오차와 채널 추정의 제곱 평균 오차가 0.01인 경우이다. 그림을 참고하면, 주파수 동기 오차 및 채널

널 추정 오차가 존재할 때, 단일 안테나의 경우는 10^{-2} 의 프레임 오류에서 에러 플로어 (error floor)가 생기는 것을 볼 수 있다. 즉, 단일 안테나를 사용하는 경우는 3%보다 적은 오차가 존재하도록 효율적인 주파수 동기 오차 보정 알고리즘을 사용하고, 채널 추정의 제곱 평균 오차가 0.01보다 작도록 채널 추정 기법을 설계하여야 함을 알 수 있다. 그러나 수신 안테나 다이버시티를 사용하는 경우는 위와 같은 동기 오차 및 채널 추정 오차에도 불구하고, 1dB 이내의 성능 열화만이 존재함을 알 수 있다. 결론적으로 역방향에서 기지국의 수신 안테나 다이버시티를 이용하여, 주파수 동기 오차 및 채널 추정 오차에 대한 추정 오차 마진을 효율적으로 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

IV. 다중 안테나를 고려한 역방향 OFDMA throughput 및 CDMA 시스템과의 비교

그림 7은 역방향 OFDMA 시스템에서 LDPC의 부호화율 및 안테나 수의 조합에 따른 throughput 성능을 비교한다. 3가지의 부호화율과 4가지의 안테나 패턴에 따라 총 12가지의 성능을 비교한다. 실험 환경은 표 1과 같다. 그림을 참고하면 안테나 다이버시티 차수가 높을수록 최대 throughput을 향한 수렴속도가 빠르다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 다이버시티가 증가함에 따라 낮은 Eb/No에 대해서도 높은 부호화율을 적용할 수 있음을 확인할 수 있다. 표1과 같은 시스템 환경에 대해서 역방향 OFDMA 시스템의 경우 최대 24Mbps의 throughput (40MHz (대역폭) * 1/2 (부호화

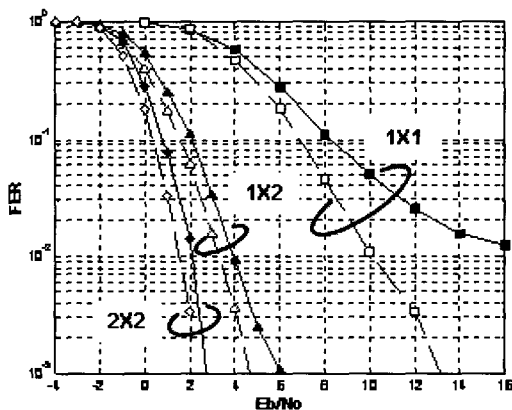


그림 6. 안테나 다이버시티에 의한 추정 오차 마진 향상
Fig. 6. Estimation error margin improvement using antenna diversity.

표 1. 그림 7, 8, 9를 위한 실험 환경

Table 1. Simulation environments for figure 7, 8, and 9.

대역폭	40MHz
중심 주파수	5GHz
(부반송파수, 보호 구간 길이)	(64, 16)
채널 부호화 (프레임 길이)	LDPC (2048)
프레임 길이	0.5ms
변조방법	QPSK
채널 모델	uniform decaying 6 path fading
mobile speed	60km/h
사용자별 시간 동기 오차	보호구간 내에서 임의
사용자 로딩	75 %

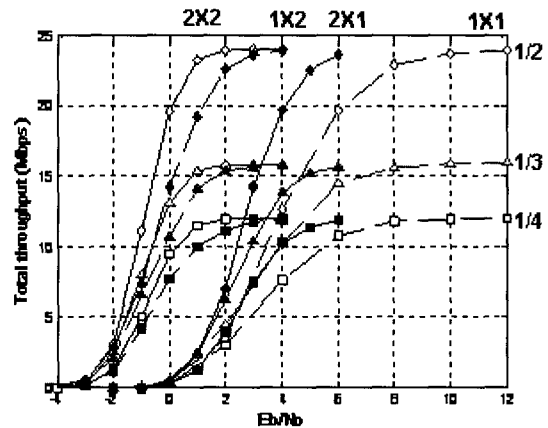


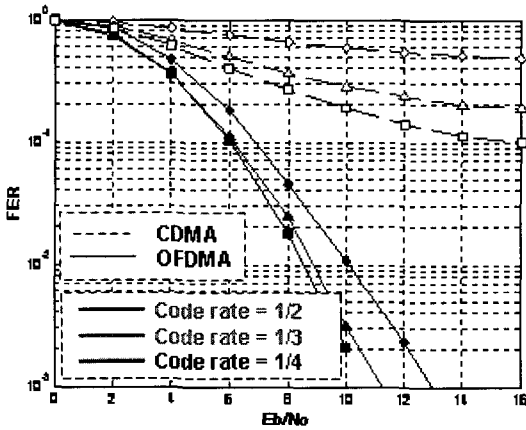
그림 7. 채널 부호화율 및 안테나 다이버시티에 따른 역방향 OFDMA throughput 성능
Fig. 7. Throughput performance of a reverse-link OFDMA with varying code rates and diversity patterns.

율) * 2 (변조 지수) * 4/5 (보호구간 손실) * 3/4 (사용자 로딩))을 달성할 수 있고, 이 경우 0.6bps/Hz의 주파수 효율을 달성할 수 있다. 그림을 참고하면 안테나 다이버시티에 따라 최대 throughput 달성을 위한 요구 Eb/No는 대략적으로 다음과 같다; 10dB (1X1); 7dB (2X1); 4dB (1X2); 2dB (2X2). 즉, 송수신 안테나를 각각 2개씩 사용할 경우 throughput 관점에서 8dB의 성능 향상을 가져올 수 있다.

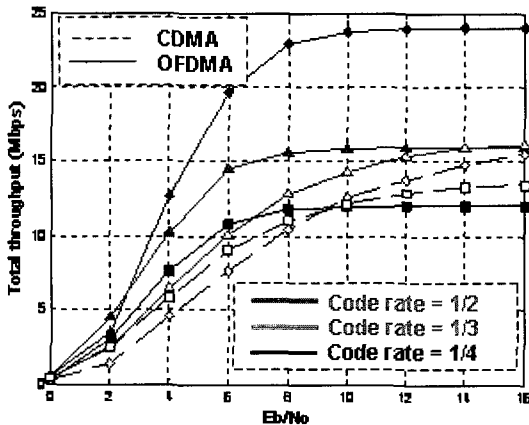
그림 8은 채널 부호화율에 따른 OFDMA(실선) 시스템과 CDMA(점선) 시스템의 프레임 오류 성능과 throughput 성능을 비교한다. 실험환경은 표 1과 같고, CDMA 시스템의 경우 확산 계수 (spreading factor; SF)는 16을 가정하였다. 그림 8에서 프레임 오류 곡선을 보면 부호화율이 감소함에 따라 두 시스템 모두 성

능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 OFDMA 시스템은 다중 사용자 간섭이 적기 때문에 전반적으로 CDMA 시스템 보다 우수한 성능을 보인다. 1/2 부호화율을 사용한 경우 대략 10 dB에서 10^{-2} 의 프레임 오율을 나타낸다. Throughput 성능을 보면 부호화율이 증가함에 따라 두 시스템 모두 도달할 수 있는 최대 throughput은 증가하나 그만큼 높은 신호 대 잡음비를 필요로 한다. 부호화율이 증가하면 정보 비트의 비율이 높아지면서 그에 따라 성능이 저하되기 때문이다.

특히, CDMA 시스템의 경우 심각한 성능 열화가 나타나는데, 프레임 오율 성능이 10^{-1} 이하로 떨어지기 전에 에러 플로우 현상이 발생하기 때문에 throughput 곡선을 보면 최대 전송량으로 수렴하지 못하는 현상을 확인할 수 있다. 특히 1/2 부호화율의 프레임 오율 성



(a) 프레임 오율



(b) Throughput

그림 8. 채널 부호화율에 따른 OFDMA 시스템과 CDMA 시스템의 성능 비교

Fig. 8. Performance comparison of an OFDMA system and a CDMA system with varying code rates.

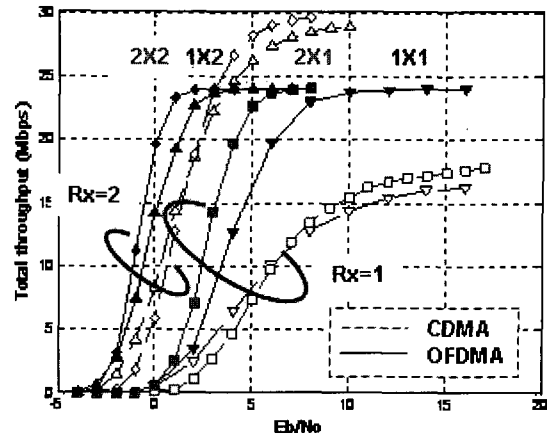


그림 9. 안테나 다이버시티에 따른 OFDMA 시스템과 CDMA 시스템의 throughput 비교

Fig. 9. Throughput comparison of an OFDMA system and a CDMA system with varying antenna patterns.

능이 매우 좋지 않기 때문에 1/2 부호화율의 throughput 성능이 1/3 부호화율 보다 좋지 못한 결과가 나타난다. 반면, OFDMA 시스템의 경우는 사용자가 증가하여도 간섭량이 거의 증가하지 않기 때문에 총 throughput 양은 부호화율 증가에 비례하여 증가하게 된다.

그림 9는 다중 안테나 환경에서 OFDMA 시스템과 CDMA 시스템의 throughput을 비교한다. 채널 부호화율 1/2을 적용하였고, CDMA 시스템의 경우는 수신 안테나가 1개인 경우에 한하여 성능 향상을 위해 1/3 부호화율을 적용하였다. 그림을 참고하면 수신 안테나가 1개인 경우, OFDMA 시스템의 성능이 사용자 간섭의 영향을 심하게 받아 최대 성능에 도달하지 못하는 CDMA 시스템에 비해 월등히 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 수신안테나가 2개인 경우는 OFDMA 시스템이 보호 구간 손실로 인하여 CDMA 시스템에 비해 최대 성능이 떨어진다. 그러나 실질적인 시스템이 낮은 E_b/N_0 에서 동작함을 고려할 때, 낮은 E_b/N_0 에서 최대 성능에 도달하는 OFDMA 시스템이 실질적으로 뛰어난 성능을 보임을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본고에서는 차세대 이동통신 시스템을 위한 역방향 OFDMA 시스템의 물리 계층 성능을 검증하였다. 차세대 이동 통신 시스템의 실질적인 구현을 고려하여 5GHz 대역 및, 40MHz 대역폭을 가정하였고, 채널 부

호화 및 다중 안테나를 기반한 모의실험을 수행하였다. 또한, 역방향 링크 성능 열화의 주요인인 시간 및 주파수 동기 오차, 그리고, 채널 추정 오차의 영향을 고려하였다. 모의실험을 통해 모든 사용자의 시간 동기 오차가 보호 구간 내에 존재할 때, 4% 이내의 주파수 동기 오차가 존재하도록 주파수 동기 오차 보정 알고리즘을 설계하면, 1dB 이내로 성능 열화를 억제할 수 있음을 확인하였다. 또한, 안테나 다이버시티에 의해 추정 오차에 대한 오차 마진을 향상 시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 다양한 채널 부호화 율 및 안테나 다이버시티 조합에 대해서 CDMA 시스템과의 비교를 수행함으로써, 역방향 링크에 OFDMA 시스템을 적용하는 것이 유리함을 증명하였다.

본고의 실험 결과는 다중 안테나 및 반복 채널 부호, 그리고, 다양한 성능 열화 요인을 고려한 실험 결과로서, 차세대 다중 반송파 시스템의 물리 계층 설계에 있어 기본 성능 지표로 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 육영수, 조남신, 조재희, 천현수, 홍대식, "4세대 무선 통신 시스템과 OFDM 기술," *한국통신학회지*, 제 18권 6편, 58-73쪽, 2002년 6월
- [2] 이석규, 장경희, 황승구, 한기철, "ETRI의 4세대 무선전송시스템 연구개발," *한국통신학회지*, 제 19권, 7편, 86-101쪽, 2002년 7월
- [3] Y. Kim, B. Jeong, J. Chung, C. Hwang, J. Ryu, K. Kim, and Y. Kim, "Beyond 3G: Vision, Requirements, and Enabling Technologies," *IEEE Comm. Mag.* pp. 120-124, Mar. 2003.
- [4] K. Tachikawa, "A Perspective on the Evolution of Mobile Communications," *IEEE Comm. Mag.* pp. 66-73, Oct. 2003.
- [5] 조한규, 노상민, 유현규, 조영보, 조면균, 홍대식, "4세대 이동통신 시스템을 위한 다중 반송파 전송 기법," *텔레콤*, 제 19권 제 2호, 21-32쪽, 2003년 12월
- [6] A. Ghosh, J. G. Andrews, R. Chen, and D. R. Wolter, "Broadband wireless access with WiMax/802.16: Current performance benchmarks and future potential," *IEEE Comm. Mag.* Feb. 2005.
- [7] ITU-R PDNR WP8F, "Vision, Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT-2000 and SYstems beyond IMT-2000," 2002.
- [8] L. J. Cimini, Jr. and N. R. Sollenberger, "OFDM with diversity and coding for high-bit-rate mobile data applications," *Mobile Multimedia Commun.*, Vol. 1, pp. 247-254, 1997.
- [9] IEEE 802.16, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16" IEEE Standards REV-d/D1-2004.
- [10] IEEE 802.20-PD: "802.20 Requirements Document -Ver. 13", May. 2004.
- [11] I. Koffman, V. Roman, "Broadband Wireless Access Solutions Based on OFDM Access in IEEE 802.16," *IEEE Comm. Mag.* pp. 96-103, April 2002.
- [12] IEEE C802.20-03-16, "Initial Contribution on a System Meeting MBWA characteristics," Flarion, March, 2003.
- [13] S. Hara and R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Comm. Mag.* Vol. 35, pp. 126-136, Dec. 1997.
- [14] 노상민, 조한규, 유현규, 조영보, 조면균, 홍대식, "차세대 이동통신 시스템용 순방향 MC-CDMA 링크레벨 성능 검증", *Telecommunication Review* 제 15권, 3호, 457-466쪽, 2005년 6월
- [15] 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. on Comm.*, Vol. E86-B, no.1, pp.291-299, Jan. 2003.
- [16] F. Ueng, et. al., "Adaptive MC-CDMA and MC-DS-CDMA Receivers for Multiuser and Multipath Fading Communications," in *Proc. of IWCMC'06*, pp. 821-826, 2006. 7,
- [17] M. Cho, H. Cho, H. Yu, and D. Hong, "A Novel 2-Dimensional Spreading Method for Down-link OFDM-Code Division Multiplexing Systems," *IEICE*, Vol. 89, no. 6, pp. 1907-1910, June 2006.
- [18] Y. Cho, S. Ro, H. Cho, J. Lee, and D. Hong, "A Novel Channel Estimation Method Using Pilot Channels for Frequency-Interleaved MC-CDMA Systems," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 12, no. 9, pp. 757-759, Nov. 2005.
- [19] M. Park, K. Ko, H. Yoo, and D. Hong, "Performance Analysis of OFDMA Uplink Systems with Symbol Timing Misalignment," *IEEE Comm. Letters*, Vol. 7, no. 8, pp. 376-378, Aug. 2003.
- [20] J. Beek, et. al., "ML Estimation of Time and Frequency Offset in OFDM Systems", *IEEE Trans. on Signal Processing*, pp. 1800-1805, Vol. 45, July 1997.

저 자 소 개



조 한 규(정회원)

1999년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.

2001년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.

2005년 연세대학교 전자공학과
박사 졸업.

2005년 3월~8월 연세대학교 IT 연구단 (CITY)
박사후 과정

2005년 9월~현재 Wireless Networking and
Communications Group (WNCG),
University of Texas at Austin 박사후
과정

<주관심분야 : 통신, 신호처리, 시스템 최적화>



홍 대 식(정회원)

1983년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.

1985년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.

1990년 Purdue Univ. Electrical
Eng. 박사 졸업.

1991년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과
정교수

<주관심분야 : 디지털 통신, 적응 신호처리, 다중
반송파 시스템>