

논문 2007-44TC-5-7

음영감쇄 환경에서의 IEEE 802.16j 상호 협조 중계 방식 성능 평가

(Performance of IEEE 802.16j using Cooperative Relaying
in Correlated Shadow Fading)

하 동 주*, 김 석 찬**, 박 동 찬*, 김 영 일***

(Dong Ju Ha, Suk Chan Kim, Dong Chan Park, and Young Il Kim)

요 약

IEEE 802.16j는 기존의 IEEE 802.16e에 중계기를 도입하여 커버리지 확장과 데이터 처리율 향상을 목적으로 하고 있다. 일반적인 셀룰러 시스템과 마찬가지로 IEEE 802.16j 또한 셀 가장자리에서 경로손실(Path loss), 음영감쇄(Shadow Fading)와 다중경로 감쇄(Multipath fading)에 의해 성능 열화를 겪게 된다. 한편, IEEE 802.16j 시스템에서 두 개 이상의 중계기를 상호 협조적으로 사용함으로써 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 여기에, 공간 시간 부호를 사용하는 상호 협조 중계 방식은 일반적인 단일 중계기를 사용하는 방식보다 Multipath Fading 환경에서 보다 우수한 성능을 제공하며, Shadow Fading에 대해서 링크간의 통신 신뢰도를 높인다. 이 논문에서는 상호 협조 중계 방식을 사용하는 IEEE 802.16j의 성능을 링크 레벨 모의 실험을 통해 구하고, 그 방식이 기존의 단일 중계 방식보다 우수한 성능을 가짐을 보인다. 또한 서로 다른 경로들마다 각각의 Shadow Fading을 겪으므로, 이 점을 고려한 실제적인 Shadow Fading 모델을 적용하고 분석하여, 중계기의 공간적인 위치가 시스템의 성능에 큰 영향을 준다는 것을 밝힌다.

Abstract

The purpose of IEEE 802.16j is to extend coverage and to enhance throughput by using relay station additionally to conventional IEEE 802.16e. The cellular system experiences performance degradation at the cell edge due to path loss, shadow and multipath fading. We can get advantage of spatial diversity gain by using relays more than two cooperatively in the IEEE 802.16j system. Cooperative relaying using space-time code provides better performance under multipath fading and has more robustness against the shadow fading than single relaying. In this paper, we investigate the performance of IEEE 802.16j using cooperative relaying by link level simulation. We also show that the cooperative relaying system achieves better performance than the conventional single relaying system. We apply realistic shadow model considering correlations between shadow fadings of different relaying paths. It is shown that the performance of the system depends highly on the spatial location of relay stations.

Keywords: IEEE 802.16j, 상호 협조 중계, 시공간 부호, 상관관계 음영감쇄.

I. 서 론

IEEE 802.16j는 IEEE 802.16 표준에 준거한 시스템의

멀티 중계 운용을 가능하게 하기 위해 중계기를 도입하여 OFDMA PHY 및 MAC을 확장하는 것과, 음영 지역 해소를 통한 커버리지 확대와 데이터 처리율 향상을 목적으로 하고 있다. 2006년 3월에 IEEE 802.16j Relay TG이름으로 정식 프로젝트 그룹화 된 후, 2006년 5월부터 2007년 3월까지 총 6차례의 표준회의를 통해 표준화 작업이 활발하게 진행 중에 있다. 이를 위하여 IEEE 802.16j에서는 받은 신호를 단순 증폭하는 기존의 아날로그 중계기 보다는 받은 신호를 복조 및 재 변조하여

* 비회원, ** 정회원, 부산대학교 전자공학과
(Pusan National University)

*** 정회원, 한국전자통신연구원
(ETRI)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2007년5월1일, 수정완료일: 2007년5월14일

재 송신하는 방법을 사용하는 중계기를 도입한다^[10].

IEEE 802.16j에서 중계 방식은 다이버시티 특성에 따라 일반적인 단일 중계 방식과 상호 협조형 중계 방식으로 나눌 수 있다. 상호 협조 중계 방식은 일반적으로 기지국에서 같은 신호를 여러 개의 중계기를 통해 전송하는 cooperative source diversity, 다른 신호를 여러 개의 중계기를 통해 전송하는 cooperative transmit diversity와 두 가지 방식의 혼합방식인 cooperative hybrid diversity로 나눌 수 있다^[2]. 이 논문에서는 Alamouti가 제안한 시공간 부호를 사용하는 cooperative transmit diversity에 대해 주로 다룬다^[11].

한편, IEEE 802.16j와 같은 셀 기반 시스템에서는 경로 손실뿐만 아니라 도심지역과 같이 건물이 많은 곳에서는 주변 환경으로 인해 음영감쇄에 의한 성능 열화를 겪게 되는데^[6], 이는 각 링크간의 상관관계를 고려하여 중계기를 공간적으로 거리를 두고 배치하는 상호 협조 중계 방식을 사용함으로써 어느 정도 성능 열화를 극복할 수가 있다.

이 논문에서는 IEEE 802.16j 시스템과 상호 협조 중계 방식에 대해 살펴본 뒤, IEEE 802.16j시스템에서 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식에 대한 성능을 BLER와 SINR관점에서 평가한다. 또한 독립적인 음영감쇄 모델보다 실제적인 상관관계를 가지는 음영감쇄 모델을 적용하여 음영감쇄 환경에서의 성능 평가를 한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 IEEE 802.16j 시스템 모델에 대해 살펴보고, III장에서는 시공간 부호와 상호 협조 중계 방식 및 상관관계를 가지는 음영감쇄 모델에 대해 살펴볼 것이다. 그리고 IV장에서는 시뮬레이션 방법 및 결과와 결과에 대한 고찰을 하며, 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

이 논문에서 주로 다루는 IEEE 802.16j 시스템은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. BS는 기지국 그리고, RS는 중계기를 나타낸다. 기지국은 중계기를 통해 셀 커리리지 외부의 단말과 통신을 할 수 있고, 셀 내부의 단말과 LOS(line of sight)환경을 통해 통신을 할 수 있다. 변조방식은 OFDMA를 사용하며, 단말기는 기존의 802.16에서의 단말기능을 그대로 유지한다.

중계기 형태는 3가지로 구분할 수 있는데, 고정형(Fixed), 유목형(Nomadic), 이동형(Mobile)으로 나눌 수

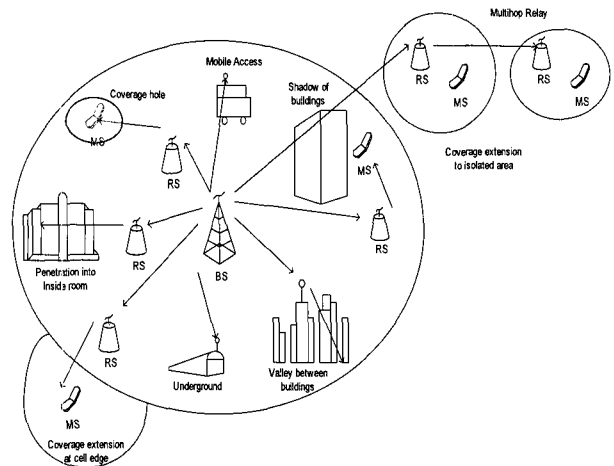


그림 1. IEEE 802.16j 시스템 모델
Fig. 1. System model for IEEE 802.16j.

가 있다. 고정형 중계기는 가장 일반적인 형태로써 많이 사용되는 중계기이다. 유목형 중계기는 각종 이벤트나 전시회 등 한시적으로 많은 가입자가 모이는 경우에 설치하여 원활한 서비스를 제공한다. 이동형 중계기는 기차, 버스 등에 사용자가 단채로 움직이는 경우에 유용하게 사용될 수 있다.

IEEE 802.16j의 프레임 구조는 중계기 도입으로 인하여 기존의 IEEE 802.16e의 프레임 구조와 달라지게 되며, 중계기에 따라 transparent와 non-transparent의 2가지로 나뉘게 된다. transparent구조는 단말이 셀 내부에 있는 경우, 중계기가 기지국에서 받은 신호를 동기를 맞춰 단말로 전송을 하게 된다. non-transparent구조는 단말이 셀 외부에 있는 경우, 중계기에 의해 제어정보가 단말로 보내어지게 된다.

III. IEEE 802.16j에서 상호 협조 중계

가. 시공간 부호화 OFDMA

시공간 부호를 사용하는 IEEE 802.16j 시스템의 구조는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 참고로, 주파수 영역인 신호는 대문자로, 시간 영역 신호는 소문자로 표시한다.

입력 신호인 이진 데이터가 채널코딩을 거치고 인터리빙된다. QAM Symbol로 매핑된 후, 부반송파 할당방식에 의해 1024 FFT 크기 중에 사용 가능한 841개의(Nused)에 따라 부반송파에 할당을 하게 되고 나머지는 보호 구역으로 0으로 할당된다^{[3][4]}. 연속된 두개의 OFDMA 심볼 S_1, S_2 는 시공간 부호 인코더에서 $S_1,$

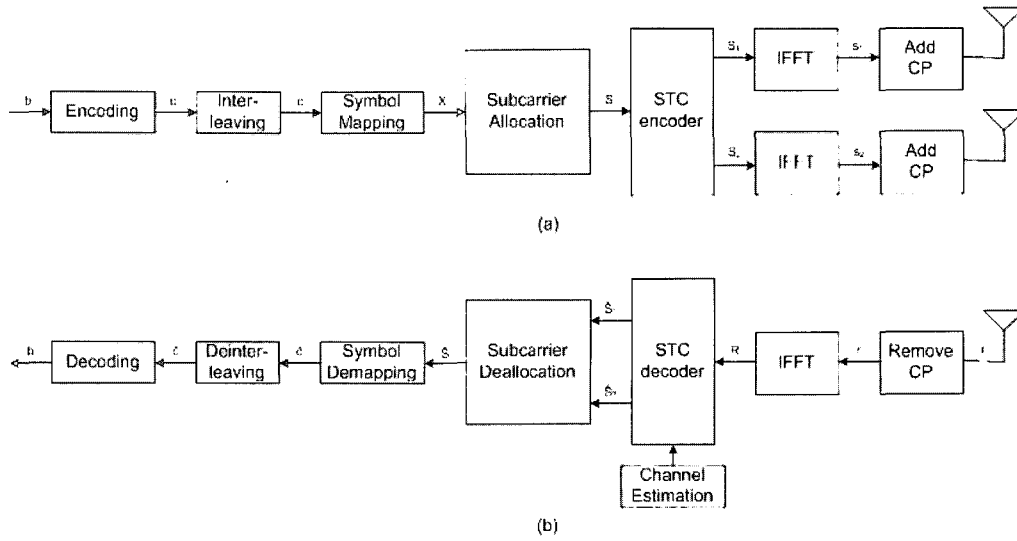


그림 2. IEEE 802.16j 기반 시공간 부호화 OFDMA (a) 송신단 (b) 수신단
 Fig. 2. Structure of space-time coded OFDMA. (a) transmitter (b) receiver

$S_2, -S_2^*, S_1^*$ 로 인코딩 된다. 시공간 부호 인코더를 거친 신호들은 IFFT과정을 통해 시간영역의 신호로 식 (1)과 같이 바뀌게 된 후 CP(Cyclic Prefix)를 더해지게 되어 전체길이가 $N + L$ 인 심볼을 이루게 된다^[8]. 여기서, N 은 FFT 크기를 나타내며 L 은 Cyclic Prefix 크기를 나타낸다. 이와 같은 전송 신호는 두 개의 전송 안테나를 통해 1번 안테나로 s_1 과 $-s_2^*$ 을 전송하게 되고, 2번 안테나로 s_2 와 s_1^* 을 전송하게 된다.

$$S_i(t) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} S_m e^{j2\pi mt} \quad (1)$$

전송 안테나를 거친 신호들은 각기 다른 페이딩 채널을 겪게 되며, 페이딩 채널의 임펄스 응답은 다음과 같이 행렬로 나타내어진다.

$$\tilde{h} = \begin{bmatrix} \underline{h}_1 & \underline{h}_2 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} h_{1,0} & h_{1,1} & \dots & h_{1,N} \\ h_{2,0} & h_{2,1} & \dots & h_{2,N} \end{bmatrix} \quad (2)$$

\underline{h}_1 과 \underline{h}_2 는 각각의 다중 경로 페이딩 채널의 임펄스 응답을 나타내는 벡터이며, $h_{i,k}$ 는 i 번째 안테나에 대한 채널 임펄스 응답의 k 번째 계수를 나타낸다. 수신단에서, 두 개의 페이딩 채널을 겪은 신호들은 하나의 수신 안테나를 통해 더해지며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{r} = \tilde{h}^T \underline{s} + n \quad (3)$$

여기서 n 은 평균이 0이고, 분산이 σ_n^2 인 AWGN 벡터를 나타낸다. CP를 제거하고 난 뒤, 수신된 신호는 FFT연산을 하게 되어 다시 주파수 영역 신호가 된다. FFT과정을 거친 주파수 영역 수신 신호 R 과 채널 추정치를 이용하여 결합기에서는 결합 신호 추정치 \hat{S} 를 다음 식을 이용하여 구할 수 있다^[11].

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= \frac{\hat{H}_1^* R_1 + \hat{H}_2 R_2^*}{|\hat{H}_1|^2 + |\hat{H}_2|^2} \\ \hat{S}_2 &= \frac{\hat{H}_2^* R_1 - \hat{H}_1 R_2^*}{|\hat{H}_1|^2 + |\hat{H}_2|^2} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, \hat{H}_1, \hat{H}_2 는 주파수 영역에서의 채널 추정값이다. 결합기에서 구한 추정치 \hat{S} 는 디코더로 보내어지게 되고, 부채널 할당의 역과정과 심볼 매핑의 역과정을 거친 후, 비터비 디코더에서는 추정치 \hat{S} 를 이용하여 원래의 데이터를 복구할 수 있다.

나. 상호 협조 중계 방식

일반적으로 다이버시티 특성에 따라 중계 방식은 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식으로 나뉘어진다. 그림 3은 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식을 나타낸다. 단일 중계 방식은 하나의 중계기에 의해 하나의 경로를 따라 전달되는 방식인데 반해, 상호 협조 중계 방식은 둘 또는 그 이상의 중계기에 의해 다수의 경로로 전달되는 방식이다^[10]. 상호 협조 중계 방식은 수

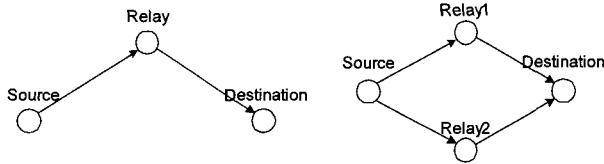


그림 3. 단일 중계 방식 및 상호 협조 중계 방식
Fig. 3. Single relaying and cooperative relaying.

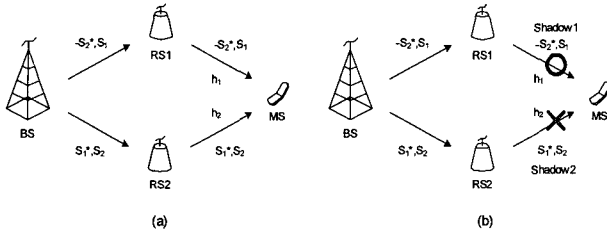


그림 4. IEEE 802.16j에서의 상호 협조 중계 방식
Fig. 4. Cooperative relaying method in IEEE 802.16j.

신 SINR의 향상뿐만 아니라, 링크간의 신뢰성을 제공한다. IEEE 802.16j 시스템에서 상호 협조 중계 방식은 단일 중계 방식보다 우수한 성능을 제공하기 위해 사용된다.

그림 4(a)는 IEEE 802.16j 시스템에서 시공간 부호를 사용하는 상호 협조 중계 방식을 적용하는 방법을 나타낸다. 여기서, BS는 기지국, RS는 중계기, 그리고 MS는 단말기를 나타낸다. 기지국에서 시공간 부호화된 신호를 생성하여 중계기로 전송하게 되고, 중계기는 받은 신호를 단말기로 전송하게 된다. 앞서 살펴본 시공간 부호를 적용한 OFDMA시스템에서 두 개의 안테나로 전송되는 각각의 신호 $[S_1^* - S_2^*]$, $[S_2, S_1^*]$ 를 상호 협조 중계 방식에서 각기 다른 기지국, 중계기와 단말기 간의 경로로 전송함으로써 상호 협조 중계 방식을 적용할 수 있다. 따라서 상호 협조 중계 방식은 다이버시티 이득에 의해 단일 중계 방식을 사용하는 방법보다 우수한 수신 SINR값을 제공한다. 또한, 상호 협조 중계 방식은 서로 다른 경로를 통해 전송되므로 각각 다른 음영감쇄 환경을 겪게 된다. 따라서, 그림 4(b)와 같이 한 링크가 음영감쇄로 인해 수신 SINR성능이 떨어지더라도 다른 링크에 의해 어느 정도 성능 열화를 극복할 수 있다.

다. 상관관계를 가지는 음영 감쇄 페이딩 모델

음영감쇄 모델은 일반적으로 log-normal 확률 변수를 독립적으로 발생하여 나타낼 수 있다^[6]. 하지만, 이와 같은 경우 서로 다른 무선 링크에 대한 전파 환경의

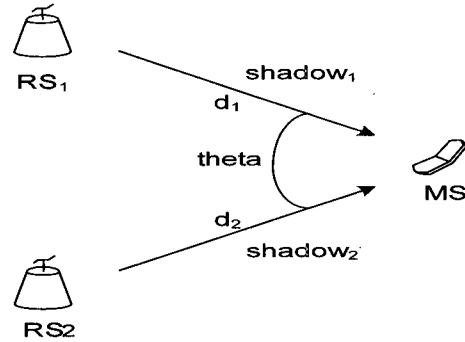


그림 5. IEEE 802.16j에서의 음영 감쇄 환경
Fig. 5. Shadow fading of IEEE 802.16j.

상관관계를 나타내지 못하므로, IEEE 802.16j 시스템에서는 서로 다른 무선 환경의 상관관계를 가지는 음영감쇄 모델을 적용한다^[5].

그림 5에서와 같이 주어진 단말에서 서로 다른 중계기로부터의 음영감쇄값은 상관관계를 가지며, 음영감쇄의 영향을 덜 받기 위해서 중계기들은 공간적으로 영향을 주는 위치를 벗어나 배치되어야 한다. 음영 감쇄의 상관관계를 나타내는 식은 다음과 같이 표현할 수 있다^[5].

$$\rho = \begin{cases} \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} & 0^\circ \leq \theta < \theta_T \text{ and } d_1 \geq \frac{d_c}{2} \\ \left(\frac{\theta_T}{\theta}\right)^\gamma \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} & \theta_T \leq \theta < \Pi \text{ and } d_1 \geq \frac{d_c}{2} \\ \sqrt{\frac{d_c}{2d_2}} & d_1 < \frac{d_c}{2} \end{cases} \quad (5)$$

ρ 는 상관관계를 나타내며, d_c 는 1/e decorrelation 거리로서 실제적인 환경에서 23m를 사용하고, θ^T 는 같은 상관관계를 가지는 임계각이며 $2\sin^{-1}\left(\frac{d_c}{2d_1}\right)$ 으로 표현하며, γ 는 지형의 크기와 높이에 따른 값으로 보통 0.3을 사용한다.

상관관계 행렬 R_{yy} 는 식 (5)를 이용하여 구할 수 있으며, 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{yy} &= E[yy^H] = E[Tx[Tx]^H] \\ &= TE[xx^H]T^H \\ &= TTT^H \\ &= TT^H \end{aligned} \quad (6)$$

변환행렬 T 는 Schur's 분해방법^[7]을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다

$$\begin{aligned}
 R_{yy} &= UDU^H \\
 D &= D^{1/2} D^{1/2} \\
 R_{yy} &= (UD^{1/2})(D^{1/2}U^H) \\
 &= (UD^{1/2})(UD^{1/2})^H \\
 &= TT^H
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

우리가 구하고자 하는 상관관계를 가지는 음영감쇄 값 y 는 독립적으로 생성된 음영감쇄 x 를 R_{yy} 를 나타내는 변환행렬 T 를 취해 줌으로써 구할 수 있다.

IV. 실험

가. 모의 실험 환경

모의실험은 IEEE 802.16j 시스템에서 모든 부채널을 사용하는 하향링크에 대한 성능 평가를 하였다. 모의 실험에서 사용하는 파라미터로는 표 1과 같으며, 특히 채널코드는 부호율이 1/2인 Convolutional tailbiting 코드를 사용하였고, encoding block 크기는 288 바이트다. 또한, 채널추정과 동기는 완벽하다고 가정하였고, 다중 경로 페이딩 채널은 표 2와같이 SUI모형을 사용하였다. 한편 SUI 모델은 이동속도가 3km/h의 저속이므로, 여

표 1. 모의 실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameters.

Parameters	Values
System Frequency	2.3 GHz
Sampling Frequency	10 MHz
FFT Size	1024
Guard Interval	128
Modulation	QPSK
Useful Symbol Time	102.4 μ s
Cyclic Prefix Time	12.8 μ s
OFDMA Symbol Time	115.2 μ s
Code rate	1/2

표 2. SUI 모델
Table 2. SUI model.

SUI1		Tap1	Tap2	Tap3	Unit
	Delay	0	0.4	0.9	μ s
Power	0	-15	-20	dB	
SUI2		Tap1	Tap2	Tap3	Unit
	Delay	0	0.4	0.9	μ s
Power	0	-12	-15	dB	
SUI4		Tap1	Tap2	Tap3	Unit
	Delay	0	4	10	μ s
Power	0	-5	-10	dB	
SUI5		Tap1	Tap2	Tap3	Unit
	Delay	0	14	20	μ s
Power	0	-10	-14	dB	

기서는 이동속도가 없다고 가정하였고^[9], 기지국과 중계 기간의 링크는 에러발생시 재전송 등을 통해 에러가 발생하지 않는다고 가정하였다.

또한, 음영감쇄 모델은 평균이 0이고, 표준편차가 6dB인 Log normal 확률 변수를 1000개 생성하여 평균을 취함으로써 성능 평가의 신뢰성을 높였다.

나. 모의 실험 결과

그림 6과 그림 7은 각각 SUI 다중 경로 페이딩 채널 모델에서 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식의 BLER과 SINR에 대한 성능을 나타내었다. SUI 1 과 SUI 2는 LOS 환경인 반면, SUI 4와 SUI 5는 NLOS 환경이다. 따라서 그림에서 알 수 있듯이, SUI 1과

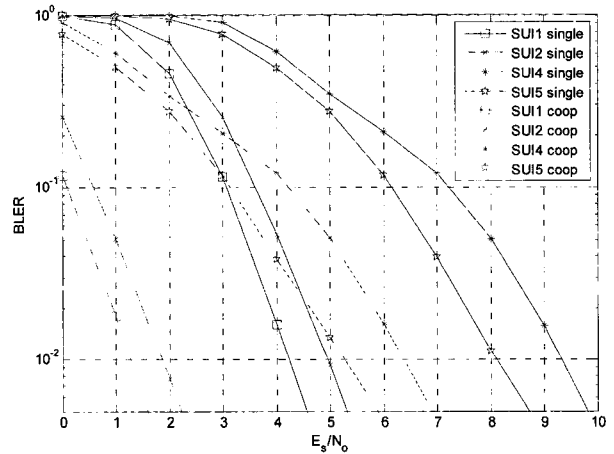


그림 6. 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식의 BLER 성능

Fig. 6. BLER of single relaying and cooperative relaying with SUI multipath fading channel.

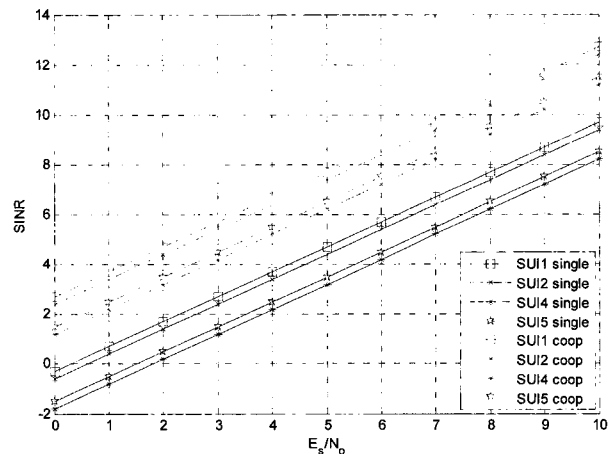


그림 7. 단일 중계 방식과 상호 협조 중계 방식의 SINR 성능

Fig. 7. SINR of single relaying and cooperative relaying with SUI multipath fading channel.

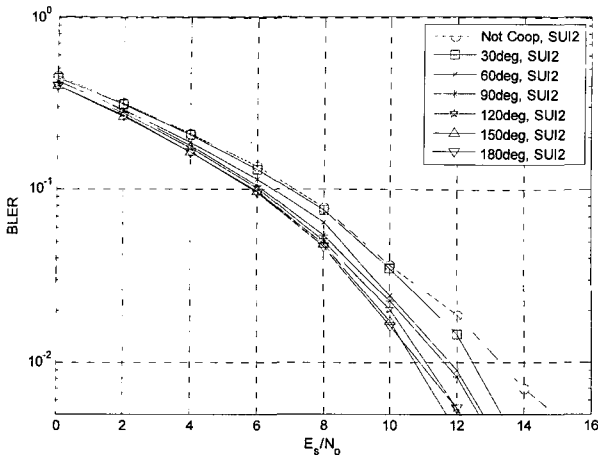


그림 8. 음영 감쇄 환경에서의 상호 협조 중계 방식의 BLER 성능 (SUI2)

Fig. 8. BLER of cooperative relaying in shadow fading (SUI2).

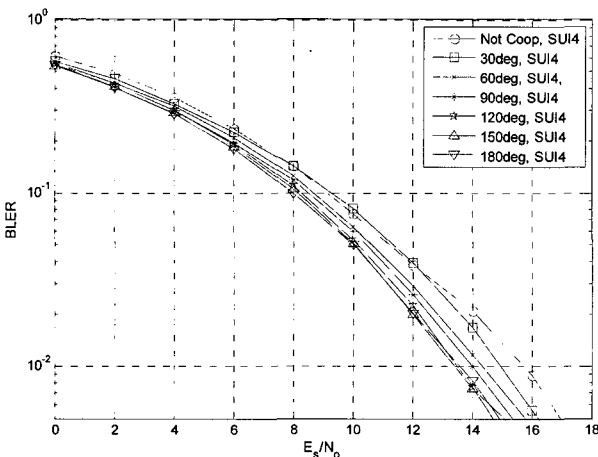


그림 9. 음영 감쇄 환경에서의 상호 협조 중계 방식의 BLER 성능 (SUI4)

Fig. 8. BLER of cooperative relaying in shadow fading (SUI4).

SUI 2에 대한 성능이 SUI 4와 SUI 5에 대한 성능보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 상호 협조 중계 방식의 성능이 단일 중계 방식의 성능 보다, BLER에서 약 3dB 정도 이득을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 7에서는 그림 6에서의 결과와 비슷하게 상호 협조 중계 방식의 수신 SINR성능이 단일 중계 방식에 비해 3dB정도의 이득을 얻는다는 것을 알 수 있으며, LOS인 SUI 1과 SUI 2의 경우가 역시 NLOS인 SUI 4와 SUI 5보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 8과 9는 음영감쇄환경에서 SUI 2와 SUI 4 다중 경로 페이딩 채널 환경에 대한 상호 협조 중계 방식과 단일 중계 방식의 BLER 성능을 또한 나타내었다. 상호 협조 중계 방식을 사용한 방식이 단일 중계 방식에 비

해 음영감쇄 환경에서 보다 우수한 성능을 나타낸다. 또한 상호 협조 중계 방식에서 두개의 중계기와 단말기가 이루는 사잇각이 커질수록, 음영 감쇄 효과가 적어지므로 성능은 더욱 좋아진다는 것을 알 수가 있다.

그림 8과 그림 9에서 LOS인 SUI 2의 BLER 성능이 NLOS인 SUI4의 성능보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 IEEE 802.16j에서 시공간 부호를 사용하는 상호 협조 중계 방식의 성능에 대해 살펴보았다. 상호 협조 방식이 단일 중계 방식보다 우수한 성능을 보이며, 특히 음영 감쇄 환경에서도 중계기를 공간적인 이점을 이용하여 배치하여 상호 협조 중계를 함으로써 그렇지 않은 경우에 비해 좋은 성능을 가짐을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] S. A. Alamouti, A simple transmit diversity technique for wireless communication, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, no. 10, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [2] Baseline Document for Draft standard for Local and Metropolitan Area Networks, *Part 16: Air interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Multihop Relay Specification*, 802.16j-06/026r2, Feb. 2007.
- [3] IEEE Std 802.16 - 2004, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Oct. 2004.
- [4] IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005, *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, Feb. 2006.
- [5] IEEE 802.16j-06/013r3, Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric), Feb. 2007.
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice-Hall, pp. 105-255, 1996.
- [7] G. Strang, *Linear Algebra And Its Applications*, Thomson Higher Education, pp. 233-307, 2006.
- [8] N. Al-Dhahir, Single-Carrier Frequency-Domain Equalization for Space-Time Block-Coded Transmissions Over Frequency-Selective Fading Channels, *IEEE Commun. Letter*, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [9] V. Erceg and L. J. Greenstein, An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels

in Suburban Environments, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 7, pp. 1205-1211, July 1999.

[10] Y. I. Kim and J. C. Shin, IEEE 802.16 MMR 동향, *전자통신동향분석 제21권 제3호*, pp. 91-99, 2006년 6월

저 자 소 개



하 동 주(비회원)
2006년 부산대학교 전자전기통신 공학부 학사 졸업.
2006년~현재 부산대학교 전자공학과 석사과정.
<주관심분야 : OFDMA, WiBro, MIMO, Space-time code>



김 석 찬(정회원)
1993년 부산대학교 전자공학과 학사 졸업.
1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
2000년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.
2000년 한국전자통신연구소 (ETRI) 연구원.
2001년 Princeton대학교 박사후 '과정'.
2002년 Lehigh대학교 박사후 과정.
2002년~현재 부산대학교 전자공학과 부교수, 컴퓨터 및 정보통신 연구소 연구원
<주관심분야 : 이동통신, 통신 신호처리, OFDM, UWB>



박 동 찬(비회원)
2001년 부산대학교 전기공학과 학사 졸업.
2004년 부산대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년~현재 부산대학교 전자공학과 박사과정
<주관심분야 : OFDMA, MMR, 부호화변조>



김 영 일(정회원)
1985년 경희대학교 전자공학과 학사 졸업.
1988년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
1996년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업.
1986년 삼성전자
1994년 정보통신기술사
1995년 전기통신기술사
1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, WiBro시스템연구실 (팀장)
<주관심분야 : 무선통신, 이동통신>