

논문 2008-45TC-6-3

다중 안테나의 relay를 가진 MIMO-OFDM시스템의 Cooperative diversity에 따른 성능

(Performance of MIMO-OFDM Systems using The Relay With
Multi-Antennas for Cooperative Diversity (Put English Title Here))

김 찬 규*, 김 영 일**

(Chan Kyu Kim and Young-Il Kim)

요 약

이 논문에서는MIMO(Multi-Input Multi-Out)-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에 다중 안테나를 가진 relay를 적용 할 경우, cooperation 통신을 하기 위한 기법을 제안하고 성능을 분석한다. 이동국과 relay간 뿐만 아니라 relay와 기지국간에도STC(space time coding)에 의해 MIMO채널이 형성되어 cooperative diversity와 MIMO에 의한 diversity 이득을 함께 얻을 수 있어 시스템의 성능이 크게 향상된다. 또한 이동국과 relay에서 송신전력을 위한 간략화 된 전력할당 기법을 제안하여 이에 따른 시스템의 성능이 향상됨을 분석한다

Abstract

In this paper, the new cooperative communication techniques is proposed for multi-input multi-output(MIMO)-orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system using the relay with multiple antenna. As the MIMO channel is formed by space time coding at the MS(mobile station)-RS(relay station) and RS-BS(base station), we can get the cooperative diversity and MIMO diversity gain simultaneously. Therefore, the performance of MIMO-OFDM system using the relay with multiple-antennas is very improved. And the simple power allocation technique is proposed for the transmitting power of the mobile station and the relay

Keywords : Cooperative diversity, MIMO, Space-Time Coding, Relay

I. 서 론

Cooperation 통신은 각 이동국 간에 데이터를 협력하여 전송하는 것으로, 즉 이동국이 자신 뿐 만 아니라 주변의 다른 이동국을 이용하여 데이터를 전송하는 통신 방식이다. Cooperation 통신을 하고 있는 모든 이동국으로부터 기지국으로 수신된 데이터를 결합하여 cooperative diversity를 얻으므로 열악한 무선채널 환

경에서도 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다^[1~2]. 셀룰러 이동통신 시스템에서 이동국이 셀 경계에 있거나 전파음영 지역에 있어 기지국과 통신이 어려운 환경에 있을 때 relay라는 중계기를 이용하여 통신하게 되면 좋은 품질의 서비스를 제공받을 수 있다. 이와 같이 relay에 의해서 서비스가 어려운 지역이나 셀 경계까지 서비스 영역을 확대할 수 있고 전송율을 향상시킬 수 있기 때문에 relay를 WiBro (wireless broadband internet), 4G등의 이동통신 시스템에 적용한 사례가 발표되었다^[3]. 최근에 여러 개의 relay 간에 협력을 통한 데이터 전송과 기지국에서 협력에 이용된 relay를 통해서 송신된 데이터들을 결합하는cooperative diversity 이득을 얻을 수 있는 cooperative relay 개념이 제안되

* 정회원, 한밭대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering Hanbat University)

** 정회원, 한국전자통신연구원 이동통신본부
(Mobile Telecommunication Division, ETRI)

접수일자: 2008년3월7일, 수정완료일: 2008년6월19일

었다^[4~5]. 여기서 relay들 간에 자신의 안테나를 공유해서 확장된 MIMO개념의 가상 송신 배열 안테나를 만들어 데이터를 전송하므로 diversity를 얻을 수 있다. 또한 가상 송신 배열 안테나를 구성하는 relay에 분산 시공간 부호화 기법이라는 STC(space time coding)기법을 적용하여 최대 diversity 이득을 얻을 수 있고 주파수 효율을 높일 수 있어 시스템의 성능을 향상시키는 방법으로 연구되어 왔다^[6~8]. 기존에는 이동국과 relay에 하나의 안테나를 이용해서 cooperation 통신하므로 decode-to-forward 과정에서 오류가 생기고 이 오류가 전파되어 전체 시스템의 성능이 크게 감소된다. 따라서 relay에서 가능하면 오류율을 줄이는 것이 필요하다. 이를 극복하기 위해 다중 안테나의 relay를 cooperation 통신에 이용하는 방안을 제안한다. 즉 본 논문에서는 MIMO-OFDM시스템에 다중 안테나의 relay를 적용하여 cooperation 통신을 하는 경우 시스템의 성능을 분석한다. 또한 이동국과 relay에서 송신전력을 위한 간략화된 전력할당 기법과 Alamouti coding방식을 적용에 따른 relay간 전력할당 방식을 제안한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 relay를 가진 MIMO-OFDM시스템을 모델링하고 이에 대한 설명을 하며 III장에서는 다중 안테나의 relay를 이용한 경우 MIMO diversity와 cooperativediversity가 고려된 시스템의 성능특성을 수식적으로 유도하고 분석하였다. 그리고 간단한 전송전력 할당 방식을 제안하였다. IV장에서는 수학적 해석을 통해서 성능분석을 하고 그 결과에 대하여 논하며, V장에서는 이 논문의 결론을 맺는다

II. Relay를 가진MIMO-OFDM 시스템

(그림 1)에 cooperation 통신을 위해서 relay를 가진 네트워크 구조도를 보여준다. (그림 1a)와 (그림 1b)는 다중 안테나를 가진relay, 한 개의 안테나를 가진 relay를 이용한 구조를 각각 보여준다. (그림 2)에서는 MIMO-OFDM시스템에 다중 안테나를 가진 relay를 적용한 시스템의 블록도를 보여준다. 여기서 cooperation 통신을 위한 프로토콜을 설명하면, 단말기에서 Alamouti coding 및 주파수 영역에서 시간영역의 변환된 신호가 첫 번째 슬롯시간 동안 relay 및 기지국으로 송신된다. 두 번째 슬롯시간 동안에는 각 relay에서 신호가 decode-to-forward 되어 기지국으로 송신된다.

이와 같이 슬롯시간에 따라 송신신호의 source가 다르기 때문에 각 슬롯시간에 따라서 송신신호를 달리 표

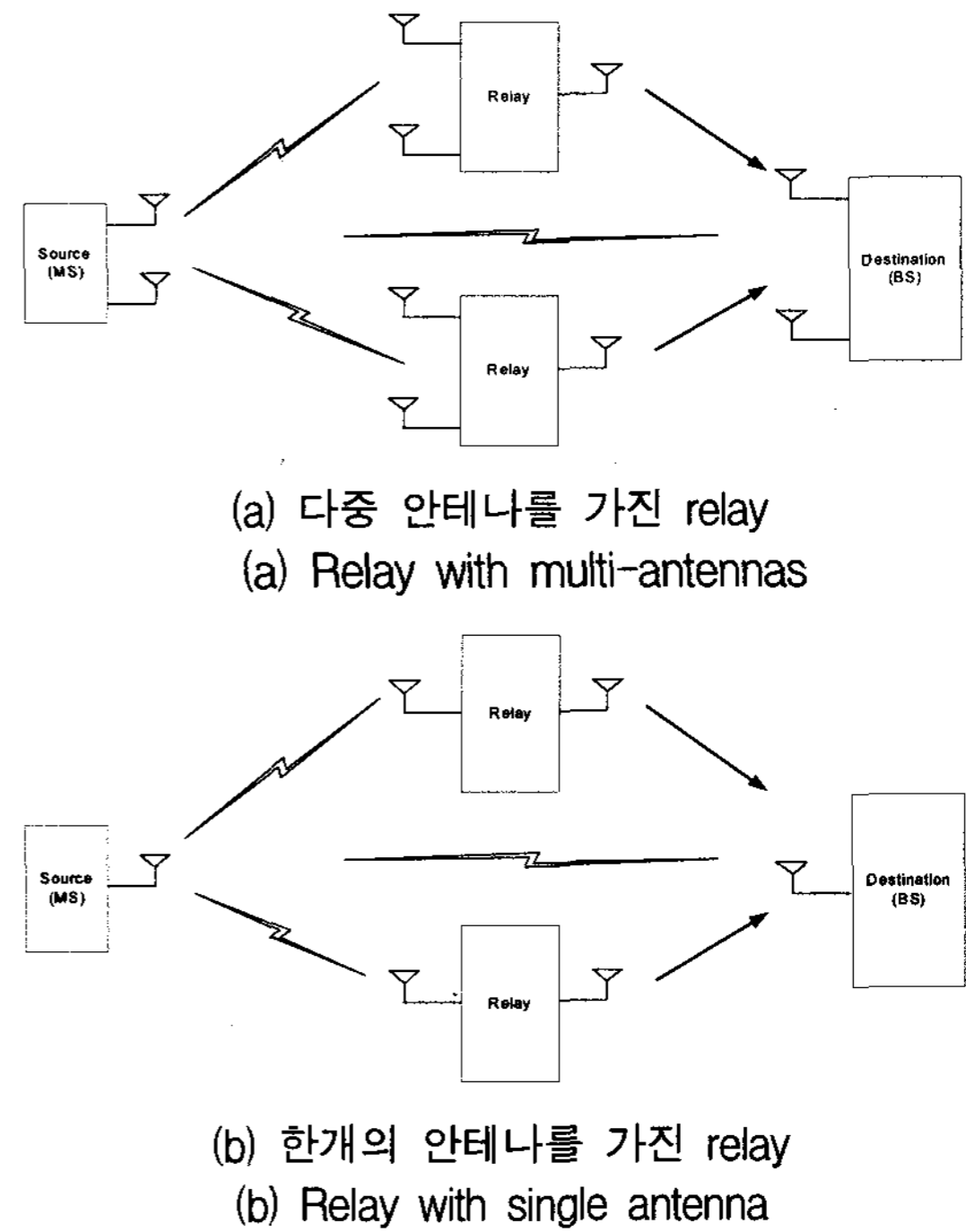


그림 1. Relay를 통해 cooperation 통신을 위한 네트워크 구조도

Fig. 1. Network block diagram for cooperation communication.

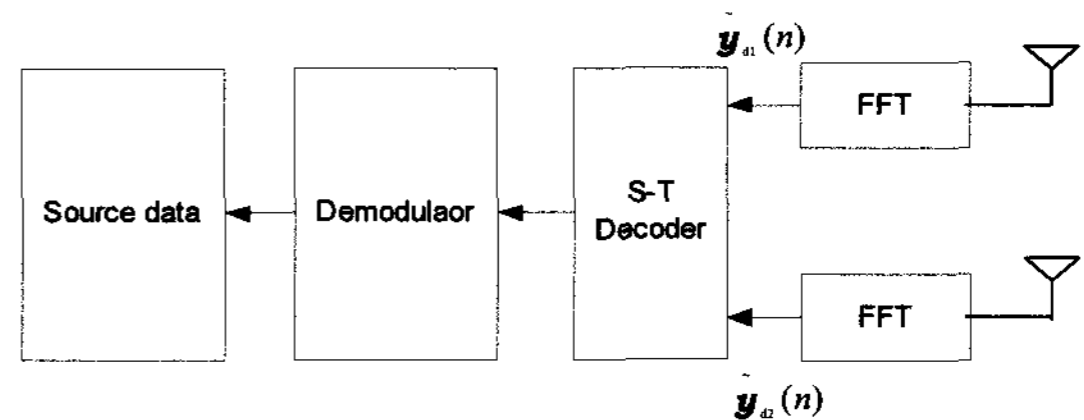
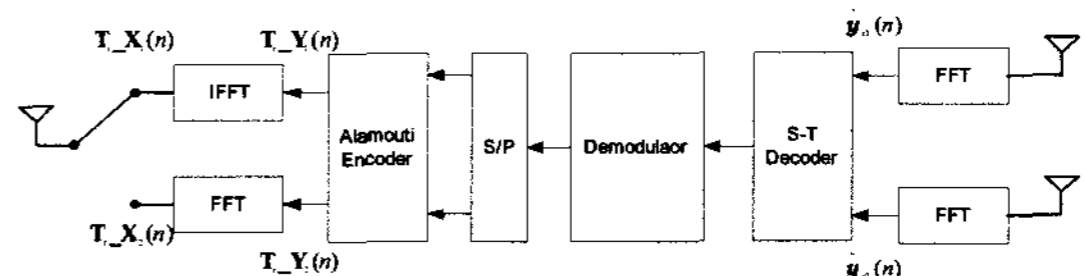
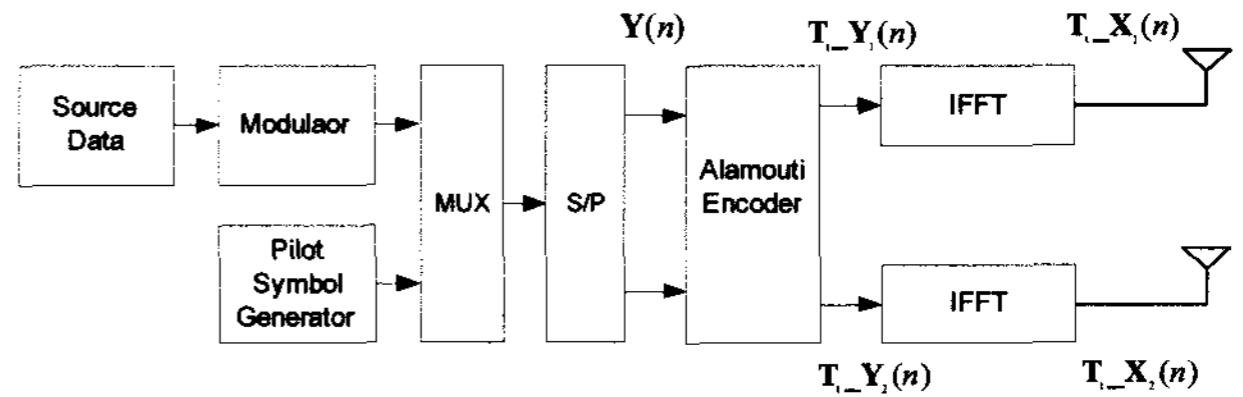


그림 2. MIMO-OFDM시스템에 다중 안테나를 가진 relay를 적용한 시스템의 블록도

Fig. 2. The system block diagram of MIMO-OFDM using the relay with multi-antennas.

현을 해야 하는데 여기서 수식적 표현을 단순하게 하기 위하여 슬롯의 시간적 구분을 생략하여 각 수신기에서 수신된 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉 각 안테나(relay, 기지국)에서 수신된 시간영역의 신호

$$\mathbf{R} = \mathbf{h} \otimes \mathbf{F}^H (\mathbf{T}_t \mathbf{Y}) + \boldsymbol{\varsigma} \quad (1)$$

여기서 \mathbf{h} 는 시간영역에서 채널행렬, \mathbf{F} 는 FFT연산 행렬, \mathbf{H} 는 Hermitian 변환을 의미한다. $\boldsymbol{\varsigma}$ 는 잡음행렬, $\mathbf{T}_t \mathbf{Y}$ 는 주파수 영역의 전송신호이며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\mathbf{T}_t \mathbf{Y} = [\mathbf{T}_t \mathbf{Y}_1 \quad \mathbf{T}_t \mathbf{Y}_2]$$

$$\mathbf{T}_t \mathbf{Y}_1 = \begin{bmatrix} y_0 \\ -y_1 \\ y_2 \\ -y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ -y_{N-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_t \mathbf{Y}_2 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_0 \\ y_3 \\ y_2 \\ y_5 \\ \vdots \\ y_{N-1} \end{bmatrix}$$

FFT후에 주파수 영역으로 다시 변환된 신호는

$$\tilde{\mathbf{y}} = \mathbf{F} \mathbf{R} = \tilde{\mathbf{Y}} + \boldsymbol{\eta} \quad (2)$$

이며 여기서 $\tilde{\mathbf{Y}}$, $\boldsymbol{\eta}$ 는 주파수 영역 수신된 신호 행렬, 잡음 행렬을 각각 나타내며 다음과 같은 식으로

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{H} \mathbf{F}^H \{ \mathbf{F}^H (\mathbf{T}_t \mathbf{Y}) \}$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_1 \beta_1 H_{00} y_0 + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_1 & \alpha_1 \beta_1 H_{01} y_0 + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_1 \\ -\alpha_1 \beta_1 H_{00} y_1 + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_0 & -\alpha_1 \beta_1 H_{01} y_1 + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_0 \\ \alpha_1 \beta_1 H_{00} y_2 + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_3 & \alpha_1 \beta_1 H_{01} y_2 + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_3 \\ -\alpha_1 \beta_1 H_{00} y_3 + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_2 & -\alpha_1 \beta_1 H_{01} y_3 + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_2 \\ \alpha_1 \beta_1 H_{00} y_4 + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_5 & \alpha_1 \beta_1 H_{01} y_4 + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_5 \\ \vdots & \vdots \\ -\alpha_1 \beta_1 H_{00} y_{N-1} + \alpha_2 \beta_2 H_{10} y_{N-2} & -\alpha_1 \beta_1 H_{01} y_{N-1} + \alpha_2 \beta_2 H_{11} y_{N-2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\eta} = \mathbf{F} \boldsymbol{\varsigma} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\eta} = \begin{bmatrix} n_0 & n_1 \\ n_2 & n_3 \\ \vdots & \vdots \\ n_{2N-2} & n_{2N-1} \end{bmatrix}$$

\mathbf{H} 는 주파수 영역에서 채널 행렬을 나타내며, $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ 는 송신기에 할당된 전력 및 송수신기사이 거리에 따른 계수들을 나타내며 다음 장에서 자세히 정의 된다. space decoding 통해 신호를 검출하기 위하여 주어진 신호행렬을 재정리 하면 다음과 같은 식으로 표

현 된다

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \beta_1 H_{00} & \alpha_2 \beta_2 H_{10} \\ \alpha_1 \beta_1 H_{01} & \alpha_2 \beta_2 H_{11} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{10} & -\alpha_1 \beta_1 H_{00} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{11} & -\alpha_1 \beta_1 H_{01} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0 & y_2 & \cdots & y_{N-2} \\ y_1 & y_3 & \cdots & y_{N-1} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} n_0 & n_4 & \cdots & n_{2N-4} \\ n_1 & n_5 & \cdots & n_{2N-3} \\ n_2 & n_6 & \cdots & n_{2N-2} \\ n_3 & n_7 & \cdots & n_{2N-1} \end{bmatrix}$$

$$= \tilde{\mathbf{H}} \mathbf{y} + \tilde{\boldsymbol{\eta}} \quad (5)$$

$$\tilde{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \beta_1 H_{00} & \alpha_2 \beta_2 H_{10} \\ \alpha_1 \beta_1 H_{01} & \alpha_2 \beta_2 H_{11} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{10} & -\alpha_1 \beta_1 H_{00} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{11} & -\alpha_1 \beta_1 H_{01} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_0 & y_2 & \cdots & y_{N-2} \\ y_1 & y_3 & \cdots & y_{N-1} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\boldsymbol{\eta}} = \begin{bmatrix} n_0 & n_4 & \cdots & n_{2N-4} \\ n_1 & n_5 & \cdots & n_{2N-3} \\ n_2 & n_6 & \cdots & n_{2N-2} \\ n_3 & n_7 & \cdots & n_{2N-1} \end{bmatrix}$$

II. 다중 안테나의 relay를 가진 MIMO-OFDM 시스템의 Cooperative diversity를 통한 성능

(그림 3)에서는 다중 안테나를 가진 relay를 이용하여 cooperative diversity에 의한 성능 향상을 확인하기 위한 기하학적 블록도를 보여준다. 여기서 P 는 MS와 relay에 할당된 총 전력이 1이라 할 때 MS에 할당된 전력비, q_1, q_2 는 relay1과 relay2에 할당된 전력비를 각각 나타낸다. 또한 r_{sd}, r_{sr1}, r_{sr2} 는 MS와 BS, relay1, relay2의 사이의 거리를 각각 나타낸다. r_{r1d}, r_{r2d} 는 relay1, relay2와 BS사이의 거리를 나타낸다. ρ_1, ρ_2 는 MS, RS1, RS2, BS가 동일 직선상에 있을 때 MS와

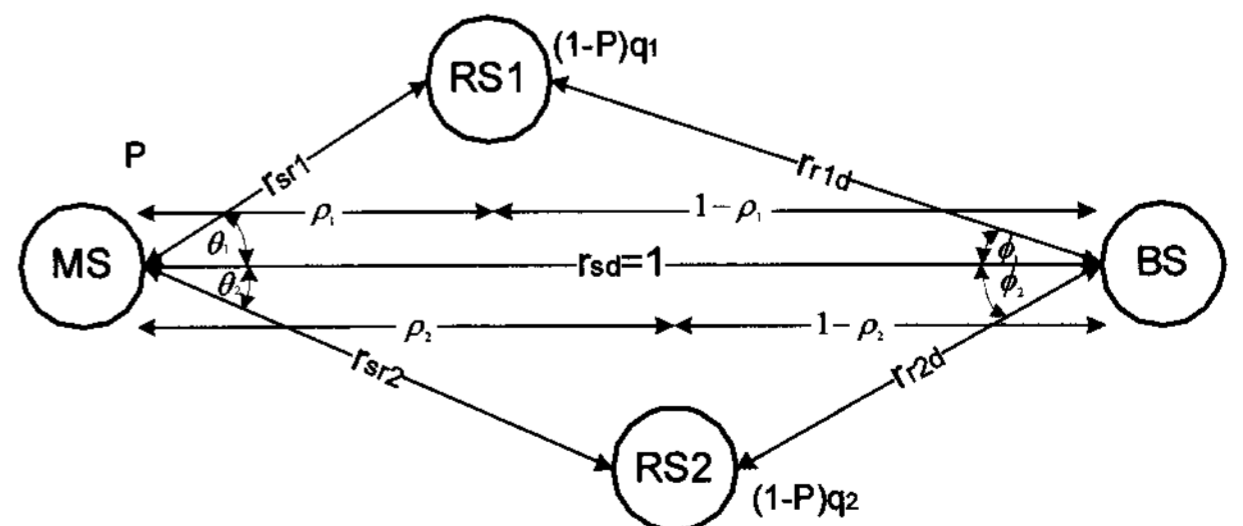


그림 3. Cooperative diversity를 위해 relay를 가진 시스템의 기하학적 블록도
Fig. 3. The geometric block diagram of system with relay for Cooperative diversity.

RS1, RS2사이의 거리를 각각 나타낸다.

MS와 BS간에 relay가 있을 때 거리 및 전력할당 비에 따른 각 구간 별 채널행렬의 계수 값들은 다음과 같이 정해진다.

<MS-to-Relay>

1) MS-to-RS1

MS와 RS1사이의 MIMO 채널을 위한 계수값들은 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$\alpha_2 = \alpha_1 = \frac{P}{r_{sr-1}^k} = \frac{P}{\rho_1^k} \cos^k \theta_1, \beta_1 = \beta_2 = 1, \quad (6)$$

여기서 k 는 거리에 따른 감쇠계수이다. 채널행렬은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\tilde{\mathbf{H}}_{sr-1} = \frac{P}{\rho_1^k} \cos^k \theta_1 \begin{bmatrix} H_{00}^{r1} & H_{10}^{r1} \\ H_{01}^{r1} & H_{11}^{r1} \\ H_{10}^{*r1} & -H_{00}^{*r1} \\ H_{11}^{*r1} & -H_{01}^{*r1} \end{bmatrix} = \frac{P}{\rho_1^k} \cos^k \theta_1 \mathbf{H}_0^{r1} \quad (7)$$

여기서 \mathbf{H}_0^{r1} 는 MS-RS1간의 독립적인 ZMCSSG 랜덤변수를 가진 채널행렬이다. MS-RS1간의 채널행렬을 수신기에서 알고 있다면 오류율은 거리 및 할당된 전력비에 따라서 다음과 같은 식으로 유도된다^[9].

$$P_{err-1} \leq \bar{N}_e \exp\left(-\sum_{i=1}^M \|\mathbf{H}_0^{r1}\|^2 \frac{d_{\min}^2}{4} \frac{P \cos^k \theta_1}{2} \rho_1^{-k} SNR_{r1}\right) \quad (8)$$

2) MS-to-RS2

마찬가지 방법으로 MS와 RS2사이의 MIMO 채널을 위한 계수값 및 채널행렬들을 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_2 = \alpha_1 = \frac{P}{r_{sr-2}^k} = \frac{P}{\rho_2^k} \cos^k \theta_2, \beta_1 = \beta_2 = 1 \quad (9)$$

$$\tilde{\mathbf{H}}_{sr-2} = \frac{P}{\rho_2^k} \cos^k \theta_2 \begin{bmatrix} H_{00}^{r2} & H_{10}^{r2} \\ H_{01}^{r2} & H_{11}^{r2} \\ H_{10}^{*r2} & -H_{00}^{*r2} \\ H_{11}^{*r2} & -H_{01}^{*r2} \end{bmatrix} = \frac{P}{\rho_2^k} \cos^k \theta_2 \mathbf{H}_0^{r2} \quad (10)$$

여기서 \mathbf{H}_0^{r2} 는 MS-RS2간의 독립적인 ZMCSSG 랜덤변수를 가진 채널행렬이다. MS와 RS2사이의 오류율은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{err-2} \leq \bar{N}_e \exp\left(-\sum_{i=1}^M \|\mathbf{H}_0^{r2}\|^2 \frac{d_{\min}^2}{4} \frac{P \cos^k \theta_2}{2} \rho_2^{-k} SNR_{r2}\right) \quad (11)$$

<Relay(RS1,RS2)-to-BS>

Relay와 BS사이의 MIMO 채널행렬은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{H}}_{r12d} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \beta_1 H_{00}^{r12d} & \alpha_2 \beta_2 H_{01}^{r12d} \\ \alpha_1 \beta_1 H_{01}^{r12d} & \alpha_2 \beta_2 H_{11}^{r12d} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{10}^{r12d*} & -\alpha_1 \beta_1 H_{00}^{r12d*} \\ \alpha_2 \beta_2 H_{11}^{r12d*} & -\alpha_1 \beta_1 H_{01}^{r12d*} \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서 채널행렬의 계수값들은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\alpha_1 = \frac{(1-P)}{r_{rd-1}^k} = \frac{(1-P)}{(1-\rho_1)^k} \cos^k \phi_1$$

$$\alpha_2 = \frac{(1-P)}{r_{rd-2}^k} = \frac{(1-P)}{(1-\rho_2)^k} \cos^k \phi_2 \quad (13)$$

$$\beta_1 = q_1, \beta_2 = q_1$$

$$\phi_1 = \tan^{-1}\left[\frac{\rho_1}{1-\rho_1} \tan \theta_1\right], \phi_2 = \tan^{-1}\left[\frac{\rho_2}{1-\rho_2} \tan \theta_2\right]$$

이다. 그런데 각 relay에 할당된 전력비의 계수 q_1, q_2 는 Alamouti decoding과정에서 구할 수 있다. 여기서 relay(R1, R2)와 BS 사이 채널, \mathbf{H}_0^{r12d} ,을 독립적인 ZMCSSG 랜덤변수를 가진 채널행렬이며 수신기에서 이 채널을 완전하게 알고 있다 가정하면 decoding 과정은 식(14)에서처럼 표현된다.

$$\mathbf{H}_0^{r12dH} \tilde{\mathbf{H}}_{r12d} = \begin{bmatrix} H_{00}^{r12d*} & H_{01}^{r12d*} & H_{10}^{r12d} & H_{11}^{r12d} \\ H_{10}^{r12d*} & H_{11}^{r12d*} & -H_{00}^{r12d} & -H_{01}^{r12d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 q_1 H_{00}^{r12d} & \alpha_2 q_2 H_{01}^{r12d} \\ \alpha_1 q_1 H_{01}^{r12d} & \alpha_2 q_2 H_{11}^{r12d} \\ \alpha_2 q_2 H_{10}^{r12d*} & -\alpha_1 q_1 H_{00}^{r12d*} \\ \alpha_2 q_2 H_{11}^{r12d*} & -\alpha_1 q_1 H_{01}^{r12d*} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} a_{00} & a_{10} \\ a_{01} & a_{11} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$a_{00} = \alpha_1 q_1 |H_{00}^{r12d}|^2 + \alpha_1 q_1 |H_{01}^{r12d}|^2 + \alpha_2 q_2 |H_{10}^{r12d}|^2 + \alpha_2 q_2 |H_{11}^{r12d}|^2$$

$$a_{11} = \alpha_1 q_1 |H_{00}^{r12d}|^2 + \alpha_1 q_1 |H_{01}^{r12d}|^2 + \alpha_2 q_2 |H_{10}^{r12d}|^2 + \alpha_2 q_2 |H_{11}^{r12d}|^2$$

$$a_{01} = (\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2) H_{00}^{r12d} H_{10}^{r12d*} + (\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2) H_{01}^{r12d} H_{11}^{r12d*}$$

$$a_{10} = (\alpha_2 q_2 - \alpha_1 q_1) H_{10}^{r12d} H_{00}^{r12d*} + (\alpha_2 q_2 - \alpha_1 q_1) H_{11}^{r12d} H_{01}^{r12d*}$$

Relay와 BS간에 Alamouti encoding 해서 송신되었을 때 신호를 검출하기 위해서는 decoding 과정에서 직교성이 유지되어야 한다. 즉 주어진 채널행렬에서 대각선 값이 "0"가 되어야 한다

$$\alpha_{01} = \alpha_{02} = 0: \quad \alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2 = 0$$

$$q_1 + q_2 = 1$$

이므로

$$q_1 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad q_2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (15)$$

식(14)는 각 relay에 할당된 전송전력의 비가 된다. 식(13)과 식(15)을 식(12)에 대입하여정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}_{r12d} &= \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \begin{bmatrix} H_{00}^{r12d} & H_{10}^{r12d} \\ H_{01}^{r12d} & H_{11}^{r12d} \\ H_{10}^{r12d*} & H_{00}^{r12d*} \\ H_{11}^{r12d*} & H_{01}^{r12d*} \end{bmatrix} \\ &= \frac{(1-P) \cos^k \phi_1 \cos^k \phi_2}{(1-\rho_2)^k \cos^k \phi_1 + (1-\rho_1)^k \cos^k \phi_2} \mathbf{H}_0^{r12d} \end{aligned} \quad (16)$$

이 식을 이용하여 relay와 BS사이 주어진 MIMO 채널행렬에 따른 오류율은 다음과 같이 표현된다.

$$P_e^{stc} \leq \bar{N}_e \exp\left(-\sum_{i=1}^M \|\mathbf{H}_0^{r12d}\|^2 \frac{d_{\min}^2}{4} \frac{(1-P) \cos^k \phi_1 \cos^k \phi_2}{(1-\rho_1)^k \cos^k \phi_2 + (1-\rho_2)^k \cos^k \phi_1} SNR_{r12d}\right) \quad (17)$$

Relay를 가진 MIMO-OFDM시스템의 전체성능은 다음과 같은 식으로 표현된다^[4].

$$P_e^{all} = [1 - P_{err}] P_e^{Coop} + P_{err} P_e^{Direct} \quad (18)$$

여기서 P_{err} , P_e^{Coop} 는 각 relay에서의 오류율, cooperative diversity에 따른 오류율을 각각 의미하며 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$P_{err} = 1 - \prod_{n=1}^r (1 - P_{err,n}) = \sum_{n=1}^r \binom{N-r}{n} (-1)^{n+1} (P_{err,n})^n \quad (19)$$

$$P_e^{Coop} = P_{err} P_e^x + (1 - P_{err}) P_e^{stc} \quad (20)$$

P_e^x , P_e^{stc} 는 전파오류율, MIMO diversity에 따른 BS에서의 오류율을 각각 의미한다. MS, relay(RS1,RS2)에 전력 할당은 P에 의해 결정되는데 P를 어떻게 설정하는가에 따라 성능이 변화가 있다. 본 논문에서는 P가 고정되었을 때, relay의 상대적인 위치에 따른 P가 변화되는 전력할당 방식이 이용될 때 이에 따른 성능분석을 한다. 즉

한 relay(RS2)의 위치가 고정되어 있다 가정할 때, 다른 relay(RS1)의 상대적인 위치에 따른 MS의 전력 할당비를 다음과 같이 구할 수가 있다

$$P = \frac{\rho_1}{\rho_1 + (1 - \rho_1) \frac{\cos \theta_1}{\cos \phi_1}} \quad (21)$$

다음 장에서 이 수식에 따라 MS, relay에 전력이 할당되었을 때 성능을 분석한다.

III. 수치해석 및 결과

(그림 2)에서 다중 안테나의 relay를 가진 MIMO-OFDM 시스템에 cooperation 통신을 위해 (그림 3)에서 주어진 기하학적 블록도를 이용하여 시스템의 성능을 분석한다. (그림 4)에서는 다중안테나의 단말기가 다중 안테나 수신기를 가진 relay를 통해서 cooperation 통신을 하였을 때 MIMO-OFDM시스템의 성능을 보여준다. 제안된 시스템과 relay가 없는 MIMO-OFDM 경우, 하나의 안테나를 가진 relay OFDM시스템의 경우와 성능을 비교하였다. 이 그림으로부터 cooperative diversity에 의해 다중 안테나 수신기를 가진 relay 시스템이 기존의 시스템보다 성능이 크게 향상됨을 알 수 있다. 여기서 relay와 BS에서 SNR이 동일하게 증가된다 가정하였다. (그림 5)은 relay와 BS가 다르게 SNR이 변할 때 비트오류율을

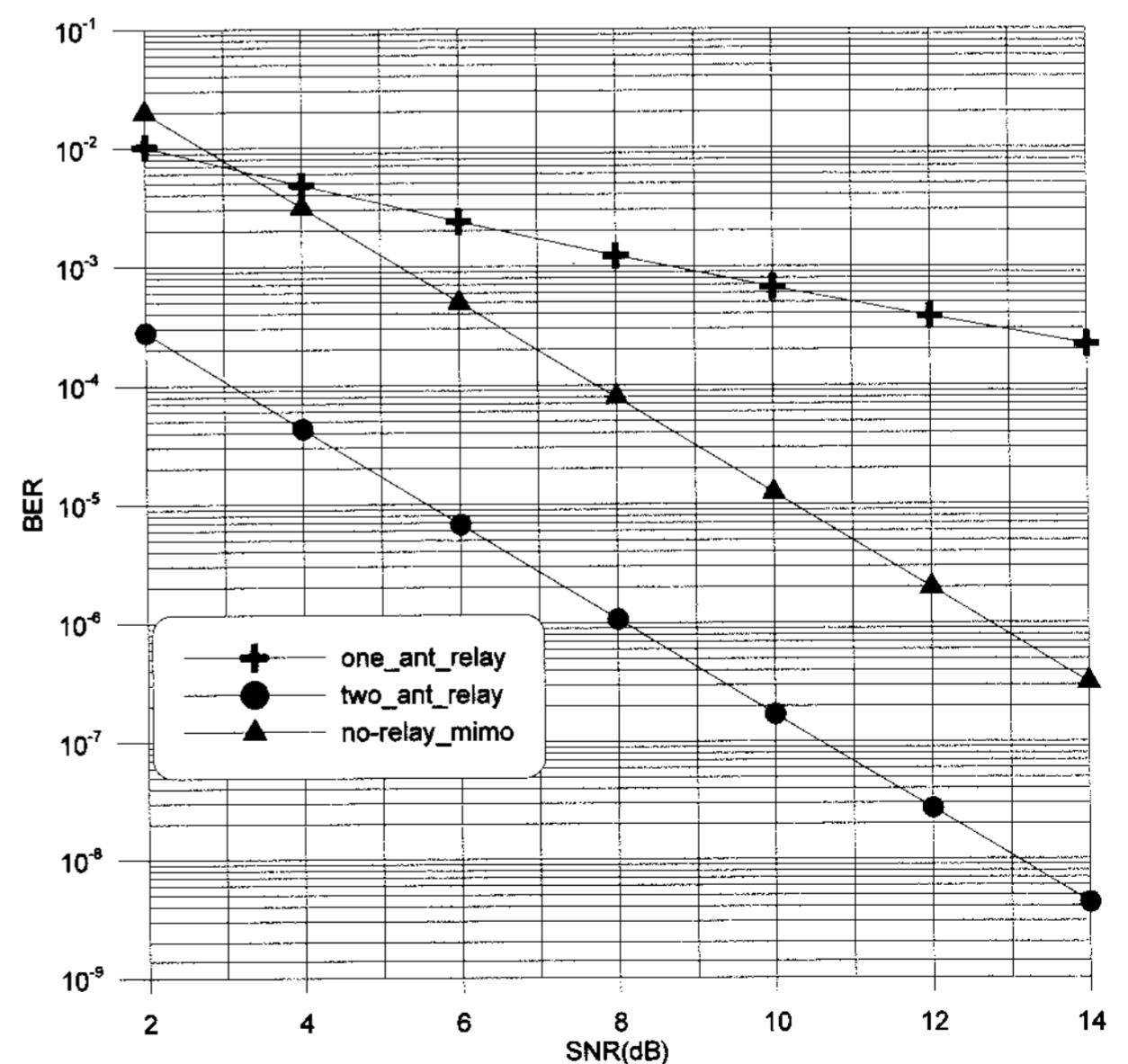
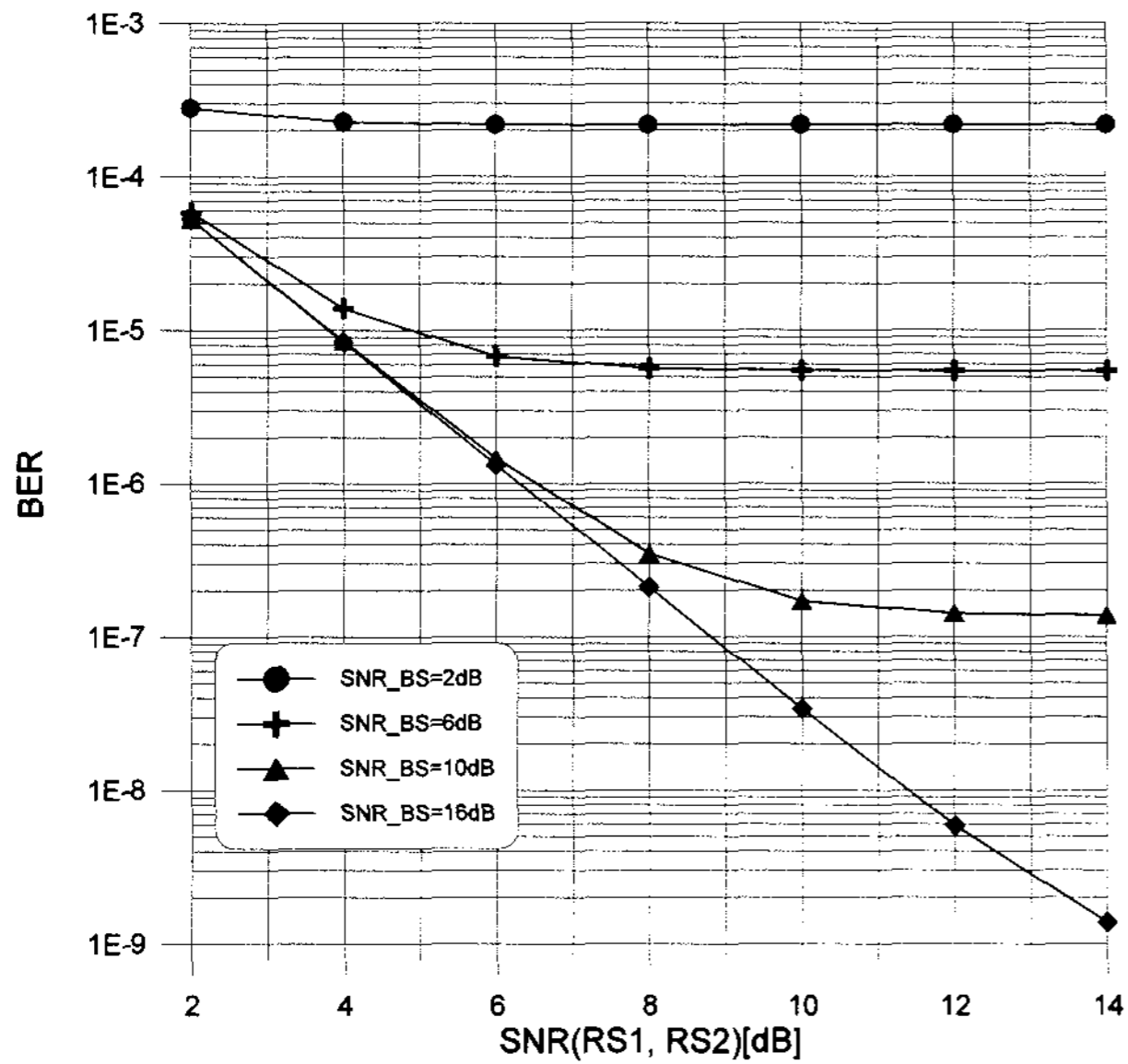
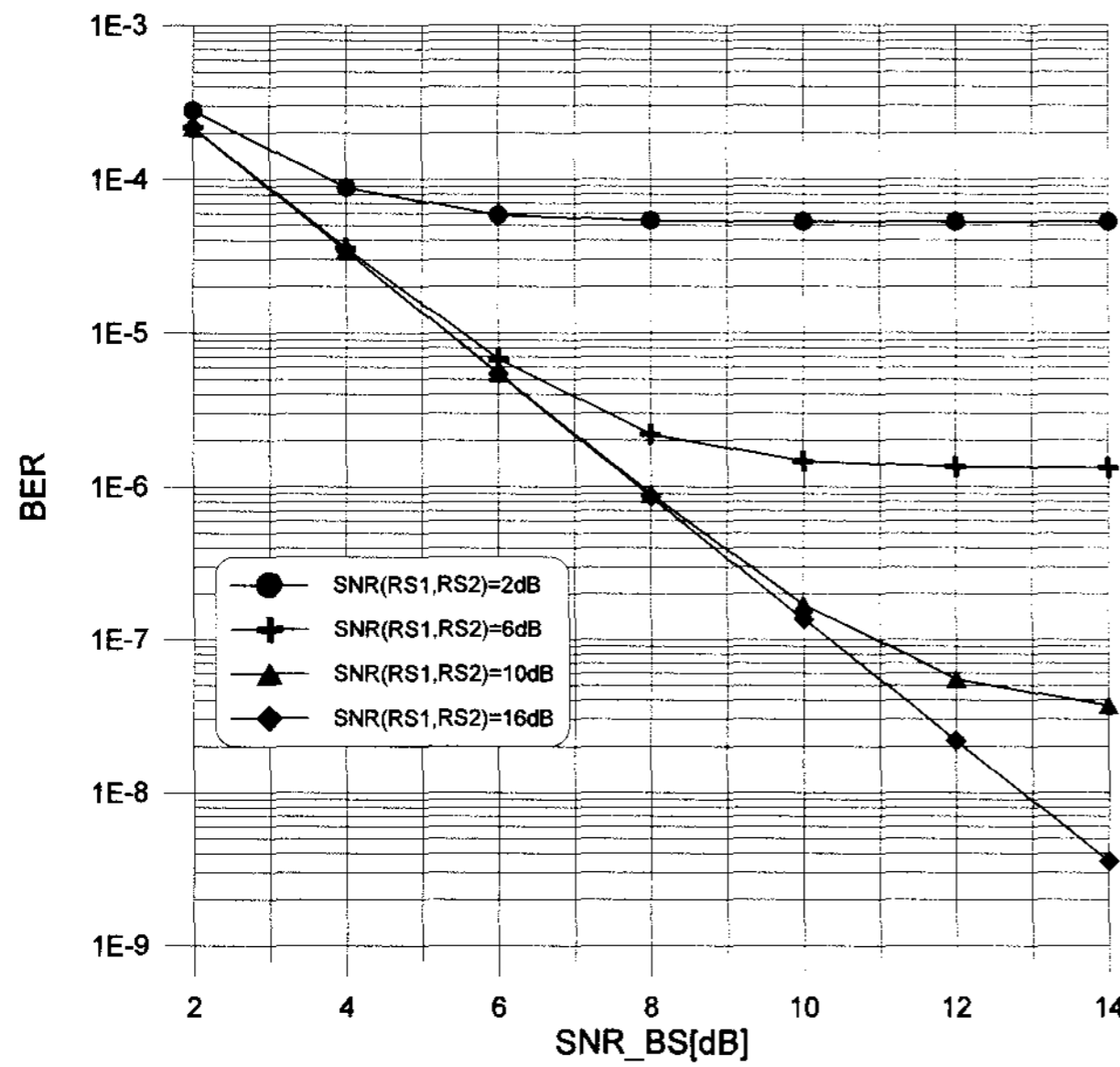


그림 4. 제안된 cooperative diversity를 가진 시스템과 기존 시스템과의 성능비교
Fig. 4. Comparison the performance of the proposed system to conventional system.



(a) Relay의 SNR에 따른 전체시스템의 오류율

(a) The BER of system when the SNR of relay is varied



(b) BS의 SNR에 따른 전체시스템의 오류율

(b) The BER of system when the SNR of BS is varied

그림 5. Cooperative diversity을 가진 경우 relay와 BS의 각 SNR에 따른 전체시스템의 비트 오류율

Fig. 5. The BER of system with cooperative diversity when the SNR of relay and BS is varied.

보여준다. (그림 5a)에서는 BS의 SNR이 일정하고 relay의 SNR이 증가될 때 전체 시스템 오류율을 보여준다. 여기서 BS의 SNR=10dB 일 때 relay의 SNR이 10dB까지는 전체 시스템의 비트 오류율은 지속적으로 감소하다가 SNR이 12dB이상으로 증가되면 비트 오류율은 1.5×10^{-7} 로 거의 일정한 값을 갖는다는 것을 보여준다. 이와 반대로 (그림 5b)은 relay의SNR이 일정하고 BS

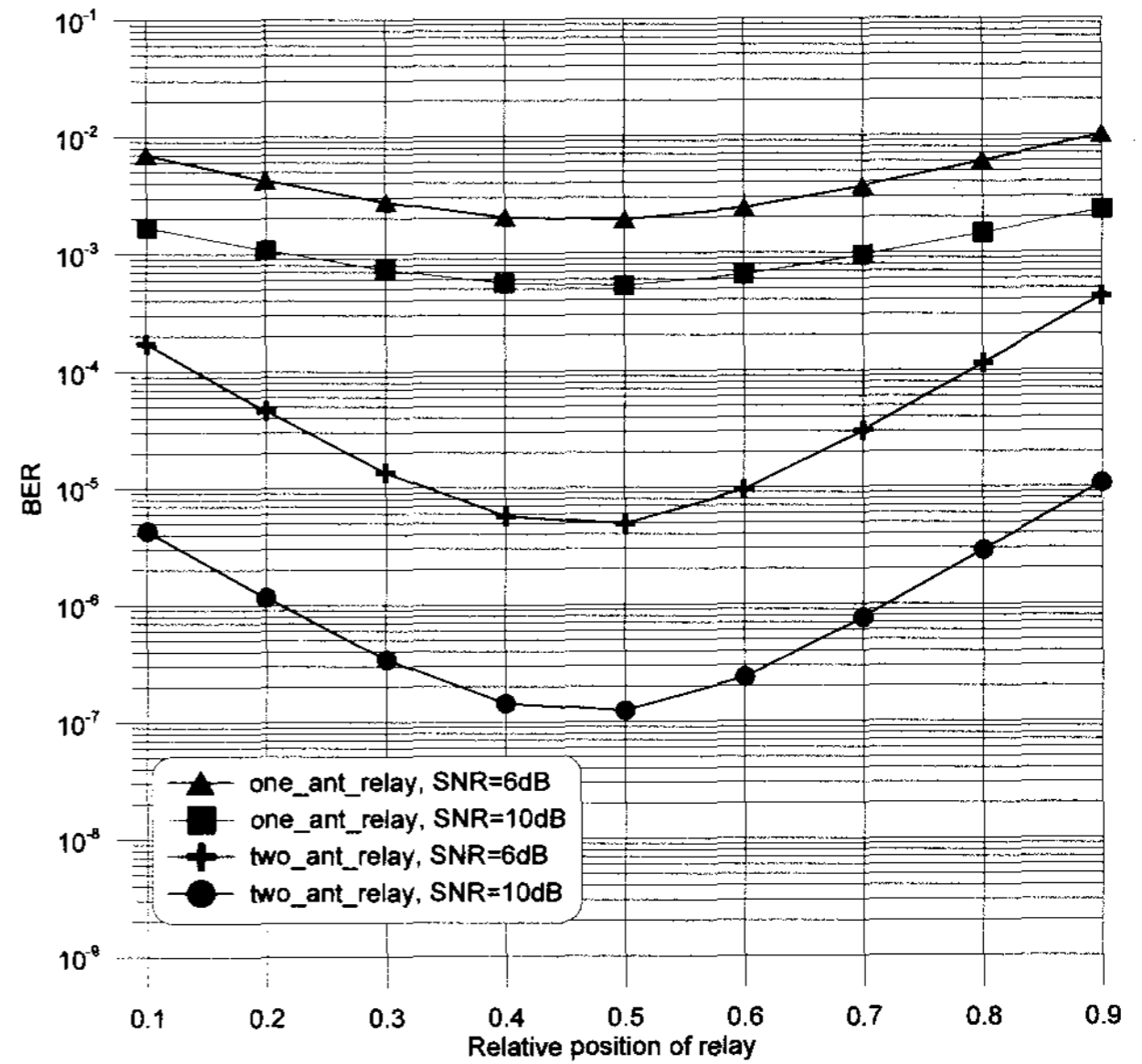


그림 6. Relay의 상대적인 위치에 따라 송신전력을 할당했을 때 전체시스템의 오류율

Fig. 6. The BER of system as allocating to transmitting power according to relative position of relay.

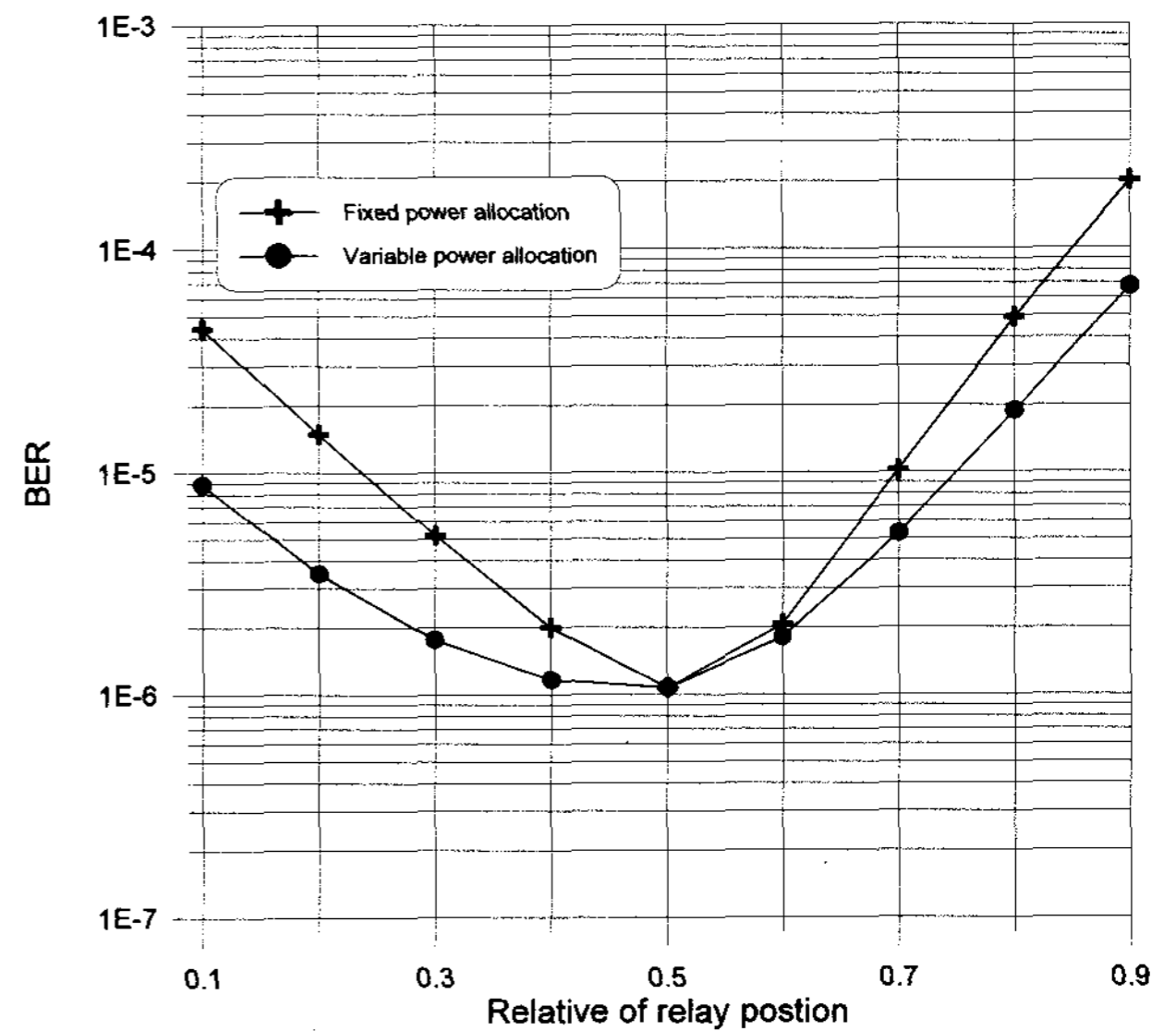


그림 7. Relay의 상대적인 위치에 따라 송신전력을 할당했을 때와 고정되었을 때 전체시스템의 오류율 비교

Fig. 7. The BER of system as comparing fixed power to variable power allocation according to relative position of relay.

의 SNR이 변할때 비트 오류율을 보여준다. 이 그림에서 relay의 SNR=6dB 일 때 BS의 SNR이 10dB까지는 전체 시스템의 비트 오류율은 지속적으로 감소하다가 SNR이 10dB이상으로 증가되면 비트 오류율은 1.5×10^{-6} 로 거의 일정한 값을 갖는다는 것을 보여준다. 이 그림으로부터 BS의 SNR과relay의 SNR을 적절한 값으로 균형을 유지하는 것이 전체 시스템의 성능을 개선하는데 효율적이

라는 것을 알 수 있다. (그림 6)에서는 시스템 전체 전송 전력이 일정할 때 (21)식에서 주어진 것처럼 relay의 위치에 따라 단말기와 relay의 전송 전력 할당을 하였을 때 시스템의 오류율을 relay의 상대적인 위치에 따라 보여준다. (그림 7)에서는 relay의 위치에 따라 전력할당을 하였을 경우와 고정되었을 경우 성능을 비교하였다. 이 그림으로부터 전력할당을 거리에 따라 한 경우가 고정되었을 경우보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

IV. 결 론

이 논문에서는 MIMO-OFDM시스템에 다중 안테나를 가진 relay 이용하여 cooperative diversity를 얻는 방식을 제안하고 이에 따른 시스템의 성능 개선효과를 분석하였다. 여기서 MIMO시스템의 diversity효과와 cooperative diversity 효과에 의해서 성능이 크게 개선되었음을 확인할 수 있었다. 또한 relay와 기지국사이에 space time coding을 사용해서 주파수 효율도 크게 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 간단한 전력할당 기법을 제안하고 이에 따른 시스템의 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 향후 과제는 최적의 전력할당 기법을 제안과 안테나 수를 더 확장한 경우에 시스템의 성능개선효과를 분석 할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-part I and part II," IEEE Trans. commun., Vol. 51, No. 5, pp. 1927-1948, Nov. 2003.

[2] Aria Nosratinia, Todd E. Huter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless network," IEEE Magazine, pp. 74-80, Oct. 2004.

[3] R. Pabst, P. Herhold, and S. Mukherjee and etc., "Relay-based development concepts for wireless and mobile broadband radio," IEEE Magazine, pp. 80-89, Sept. 2004.

[4] A. Adinoyi, H. Yanikmeroglu, "Cooperative relaying in Multi-antenna fixed relay networks," IEEE Trans. commun., Vol. 6, No. 2, pp. 553-544, Feb. 2007.

[5] P. Herhold, E. Zimmermann and G. Fettweis, "A simple cooperative extension to wireless relaying," IZS, pp. 36-39, Feb. 2004.

[6] J. N. Laneman, G. W. Woneil, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting

cooperative diversity in wireless networks," IEEE Trans. On inform. theory, Vol. 49, No. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003.

[7] G. Sctari, S.Barbarossa, "Distributed space-time-coding for regenerative relay networks," IEEE Trans. On wireless commun., Vol. 4, No. 5, pp. 2387-2399, Sept. 2005.

[8] P. A. Anghel, G. Leus and M. Kaveh, "Distributed space-time cooperative systems with regenerative relays," IEEE Trans. On wireless commun., Vol. 5, No. 11, pp. 3130-3141, Nov. 2006.

[9] A. Paulraj, R. Nabar and D. Gore, "Introduction to Space-Time Wireless Communications," Cambridge Univ. Press, May 2003.

저 자 소 개



김 찬 규(정회원)
1985년 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업.
1987년 중앙대학교 전자공학과 석사 졸업.
2000년 중앙대학교 전자공학과 박사 졸업.

1991년~2002년 한국전자통신연구원 선임연구원.
2005년~2006년 스텐포드대학 방문교수
2002년~현재 한밭대학교 교수
2007년 ETRI 초빙연구원
<주관심분야 : 이동통신시스템 성능분석, 통신 및 신호처리, MIMO-OFDM, MMR>



김 영 일(정회원)
1985년 경희대학교 전자공학 학사
1988년 경희대학교 전자공학 석사
1996년 경희대학교 전자공학 박사

1985년~1986년 삼성전자
1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, WiBro시스템연구팀 (팀장)
1994년 정보통신기술사
1995년 전기통신기술사
2007년 MUST(Mongolian University of Science and Technology) 명예교수
2007년 과학기술연합대학원대학교(UST) 겸임교수
2008년 한밭대학교 겸임교수