

논문 2011-2-5

## 다중 안테나를 이용하는 다중 홉 시스템의 안테나와 중계기 선택 기법

### Antenna and Relay Selection Technique of Multi-hop System using Multiple Antennas

김 럼\*, 공형윤\*\*

Lyum Kim, Hyung-Yun Kong

요 약 본 논문에서는 각 홉에서 다중 안테나를 가지는 노드 간 채널 환경을 고려하여 가장 좋은 성능을 가지는 하나의 안테나와 하나의 중계기를 동시에 선택하는 시스템을 제안하며, 제안된 시스템의 성능을 분석한다. 다중 채널을 통해 다수의 수신 신호를 받아 MRC(Maximal Ratio Combining) 기법을 이용하여 다이버시티를 얻는 일반적인 시스템은 상대적으로 열악한 채널을 통과하는 신호 또한 수신하며, 이는 곧 시스템의 성능 저하로 이어지는 결과를 얻는다. 제안하는 시스템은 송신단-중계기, 중계기-수신단 간의 모든 채널 환경을 고려하여 가장 좋은 채널을 통해서만 데이터를 전송함으로써 열악한 채널을 통과하는 신호의 수신을 차단함으로써 성능을 향상시킨다. 따라서 가장 좋은 채널상의 안테나와 중계기를 동시에 선택하는 과정을 거치며, 이를 구현하기 위해 단일 중계기만을 선택하고 각 홉에서는 단일 안테나만을 이용할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

**Abstract** In this paper, we propose antenna and relay selection system by considering channel environment between nodes. Each node has multiple antennas in each hop. And, we analyze the performance of proposed system. A General MIMO system receives signals through multiple channels and obtains diversity gain. But MIMO system causes performance degradation due to poor received signals. The proposed system consider transmitters-relays channels, relays-receivers channels and select a best channel. This channel selection prevents performance degradation and increase total system's performance. Therefore, we must select best antennas and a best relay, simultaneously.

**Key Words :** MIMO system, Multi-hop transmission, Opportunistic relaying, Antenna selection, Transmission power allocation

#### I. 서 론

이동통신은 보다 많은 용량이 요구되면서 과거의 아날로그 시스템에서 현재의 디지털 시스템으로 빠르게 발전하였다. 이러한 이동통신 환경은 유선 환경과 달리 페

이딩, 음영효과, 전파 감쇠, 시변 잡음, 간섭 등에 의해 낮은 신뢰도를 나타낸다. 이 중에서 다중경로에 의한 페이딩 현상은 서로 다른 경로를 거쳐 위상과 크기가 서로 달라진 신호들이 합쳐져 심한 왜곡을 겪은 신호로 수신되는 현상이다. 이러한 다중경로에 의한 페이딩 효과는 이동통신 환경에서의 고속 데이터 통신 실현의 난제이며, 이를 효과적으로 대처하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 대표적인 방법이 다이버시티 기법으로, 이는 독립적인 페이딩 현상을 겪은 여러 개의 신호를 수신하여, 결합 과

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과(교신저자)

접수일자: 2010.12.31, 수정일자: 2011.2.25

게재확정일자: 2011.4.15

정을 통해 페이딩 현상에 대처하게 된다. 이러한 다이버시티에 의한 페이딩 대처 방법은 우수한 성능을 내는 것으로 알려져 있으며, 다양한 다이버시티 방법이 제안되고 현재 상용화되고 있다.

다이버시티를 얻는 방법으로는 크게 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티, 공간 다이버시티 등이 있다. 이 중에서 공간 다이버시티는 송신기나 수신기, 또는 양쪽 모두에 여러 개의 안테나를 사용하여 다이버시티를 얻는 방법이다.<sup>[1],[2]</sup>

특히 MIMO(Multiple-Input-Multiple-Output) 시스템은 다수의 송·수신 안테나를 이용하여 공간 다이버시티를 얻음과 동시에 향상된 채널 용량을 제공하고, 데이터 전송률을 획기적으로 높일 수 있는 기술이다.<sup>[3]</sup> 여기서 다이버시티는 궁극적으로 보다 안정적이고, 신뢰성있는 무선통신 환경을 구축하는 기반이 된다.

채널 환경의 열화로 인해 송·수신단간에 직접 통신의 어려움이 있거나, 각 노드의 전송 전력을 줄일 수 있는 대표적인 방법으로 다중 홉(Multi-hop) 전송방식이 있다. 이는 송·수신단 사이에 하나 혹은 여러 개의 중계기가 통신에 참여함으로써 송신단으로부터 수신한 신호를 증폭하여 재전송(AF : Amplify-and-Forward)하거나, 복호하여 재전송(DF : Decode-and-Forward)함으로써 전송 시 전송 전력을 낮추고, 수신단에서 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 이 때 같은 홉에 참여하는 다중 안테나 중 최고 성능을 가지는 하나의 선택된 "Best" 중계기만이 통신에 참여하는 중계기 선택 기법(OR : Opportunistic Relaying or Relay Selection Technique)이 있다.<sup>[4],[5]</sup> OR 기법은 선택된 "Best" 중계기만이 전송을 함으로써 왜곡된 신호의 수신 확률을 줄이고, 전송 전력을 줄일 수 있는 효과적인 기술이다. 하지만 일반적인 OR 기법에서는 송·수신단 및 중계기가 하나의 안테나를 가지고 있는 시스템 모델을 고려한다. 이 때 송신단-중계기간, 중계기-수신단간 채널 환경을 고려하여 가장 안정적인 송신단-중계기-수신단으로 이어지는 채널을 이용하게 된다.

본 논문에서는, MIMO 시스템에 중계기 선택 기법을 적용하여 앞서 언급한 각 기술의 이점을 얻는다. 이와 더불어 송신단 및 중계기가 가지는 다중 안테나에 전송 전력을 공평하게 분산하여 전송하던 기존의 방식이 아닌, 다중 안테나 중 가장 좋은 채널 환경을 가지는 전송 안테나만이 모든 전송 전력을 이용하여 신호를 전송함으로써

보다 향상된 성능을 보이는 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다중 채널을 통해 수신되는 모든 신호에 대해 수신 신호 결합기법을 이용하는 기존의 방법을 간략하게 소개한다. 3장에서는 제안하는 안테나와 중계기 선택기법이 적용된 시스템을 소개한다. 4장에서는 제안한 시스템의 성능을 평가하며, 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 일반적인 시스템 모델

본 장에서는 모든 송신 안테나와 수신 안테나를 사용하는 일반적인 경우의 다중 안테나를 이용하는 다중 홉 시스템 모델을 설명한다.

### 1. 1-1-1 system model

먼저 각각 하나의 송신단-중계기-수신단으로 구성된 시스템 모델을 고려한다. 그림 1과 같이 송신단은 다중 송신 안테나, 중계기는 다중 송·수신안테나, 수신단은 다중 수신 안테나를 가진다.

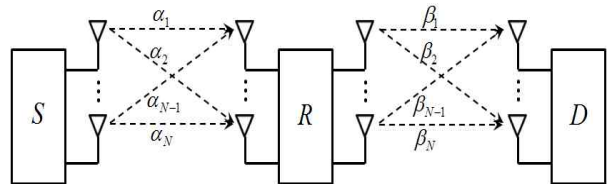


그림 1. 일반적인 1-1-1 시스템 모델  
Fig. 1. General 1-1-1 System Model

그림 1에서 S는 송신단, R은 중계기, D는 수신단을 나타내며,  $\alpha_i$ 와  $\beta_i (i = 1, \dots, N)$ 는 채널 계수(Channel coefficient)이다.

본 논문에서 일반적인 MIMO 시스템은 한 홉에서 전송단과 수신단이 가지는 모든 안테나를 이용하여 데이터를 전송하고 수신하는 경우로 정의한다. 이 때 송신단은 2개의 송신 안테나, 중계기는 2개의 송·수신 안테나, 수신단은 2개의 수신 안테나를 가지고 있으며, 다음 전송을 위해 중계기는 복호 후 전달 프로토콜(DF : Decode-and-Forward protocol)을 사용한다고 가정할 때 한 채널을 통해 수신되는 신호는 식 (1)과 같다.

$$\text{중계기 수신 신호} : r_i = \sqrt{\frac{1}{2}P_s} \alpha_i s + n_{ri} \quad (1)$$

$$\text{수신단 수신 신호} : y_i = \sqrt{\frac{1}{2}P_r} \beta_i \hat{s} + n_{di}$$

한 홉에서 총 전송전력( $P$ )을 1이라고 가정하며, 이때  $N$ 개의 송신 안테나를 사용하는 경우 이를 안테나 개수로 나누어 사용한다고 가정한다.  $\hat{s}$ 는 중계기에서 송신단으로부터 수신하여 복호한 신호를 나타내고  $n_r, n_d$ 는 중계기와 수신단에서 발생하는 Addictive White Gaussian Noise(AWGN)이며,  $i = 1, 2, 3, 4$ 이다.

먼저 중계기에서 수신한  $r_1, r_2, r_3, r_4$  신호를 다중 수신신호 결합기법 중 최대 비 결합(MRC : Maximal Ratio Combining) 기법<sup>[6]</sup>을 이용하여 신호를 결합하고, 복호한 신호를 수신단으로 전송한다. 수신단에서도 마찬가지로 수신한  $y_1, y_2, y_3, y_4$ 를 MRC 기법을 이용하여 신호를 결합한다. 각 홉에서의 이러한 과정은 신호 수신 시 공간 다이버시티 효과를 얻을 수 있게 된다.

### 2. 1-M-1 system model

송신단과 수신단 사이에 다중 중계기를 고려하기 위해 1-1-1 모델에 이어 그림 2와 같은 1-M-1 모델을 고려한다.

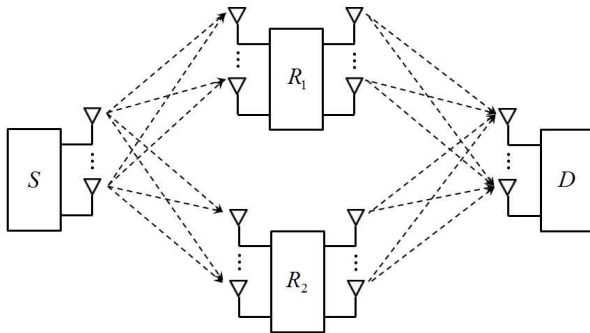


그림 2. 일반적인 1-2-1 시스템 모델  
Fig. 2. General 1-2-1 System Model

1-M-1 모델은 1-1-1 모델의 확장 개념이며, 동작 방식은 1-1-1 모델과 같다. 1-1-1 모델과 마찬가지로 각 홉에서 전송전력은 송신 안테나의 개수로 나누어 전송한다고 가정한다. 각 중계기에서는 다중 수신신호를 MRC 기법을 이용하여 얻고, DF 프로토콜을 이용하여 수신단으로 재전송한다. 수신단 또한 수신하는 다중 신호에 대해 MRC 기법을 이용한다.

### III. 제안하는 시스템 모델

본 장에서는 제안하는 다중 안테나를 이용하는 다중 홉 시스템 모델을 설명한다.

제안하는 모델에서는 각 홉에서 신호 전송 시에 각 채널 상태 정보(CSI : Channel State Information)를 이용한다. CSI를 바탕으로 다음 노드로의 전송 시 가장 좋은 채널을 확보한 "Best" 안테나에 모든 전송 전력이 할당되어, 선택된 안테나만이 신호를 송신한다. 이러한 "Best" 안테나 선택 기법은 그림 3과 같은 1-1-1 모델에서 간단히 설명할 수 있다.

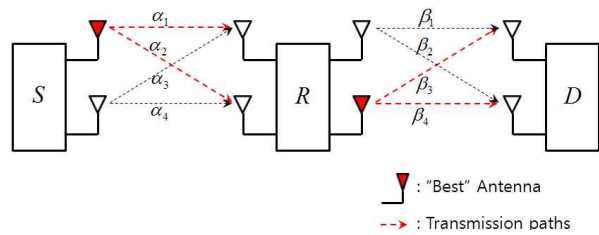


그림 3. 1-1-1 시스템 모델에서 송신 안테나 선택 기법  
Fig. 3. Transmission Antenna selection in 1-1-1 system model

그림 3에서는 각 홉에서 신호 전송 시 선택된 하나의 "Best" 중계기만이 전송에 참여한다. 이 때 선택된 안테나에 총 전송전력이 모두 할당되어 전송전력은  $\sqrt{P}$ 가 된다. 2개의 수신 안테나를 가지는 중계기에서는 식 (2), 수신단에서는 식 (3)과 같은 2개의 신호를 수신한다. 이 때 중계기에서는 송신단으로부터 수신한 신호를 DF 프로토콜을 이용하여 재전송한다.

$$\text{중계기 안테나 1} : \sqrt{P_s} \alpha_1 s + n_{r1} \quad (2)$$

$$\text{중계기 안테나 2} : \sqrt{P_s} \alpha_2 s + n_{r2}$$

$$\text{수신단 안테나 1} : \sqrt{P_r} \beta_1 \hat{s} + n_{d1} \quad (3)$$

$$\text{수신단 안테나 2} : \sqrt{P_r} \beta_2 \hat{s} + n_{d2}$$

이 때 각 홉에서 송신단 및 중계기가 가지는 두 개의 송신 안테나 중 "Best" 안테나 선택 방법은 식(4)와 같다.

$$S \rightarrow R : \max \left( \frac{|\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2}{2}, \frac{|\alpha_3|^2 + |\alpha_4|^2}{2} \right) \quad (4)$$

$$R \rightarrow D : \max \left( \frac{|\beta_1|^2 + |\beta_2|^2}{2}, \frac{|\beta_3|^2 + |\beta_4|^2}{2} \right)$$

일반적인 경우에서 1-M-1 모델이 1-1-1 모델의 단순한 확장이라는 것과는 달리, 제안하는 1-M-1 모델은 안테나 선택 기반의 1-1-1 모델의 단순한 확장이 아니다. 제안하는 1-M-1 모델은 하나의 송신단, M개의 중계기, 하나의 수신단을 가진다. 모든 송·수신 안테나 사이의 모든 CSI를 이용하여 각 홉에서 전송 시 가장 좋은 성능을 낼 수 있는 하나의 “Best” 송신 안테나만을 이용하며, M개의 중계기 중에서도 하나의 중계기만이 선택된다.

본 논문에서는 1-M-1 모델을 간단히 설명하기 위해 1-2-1 모델을 고려하며, 제안하는 시스템 모델은 그림 4와 같다. 그림 4는 제안하는 1-2-1 모델에서 송신단의 송신 안테나 2, 2개의 중계기 중 1번 중계기가 선택되고, 1번 중계기의 송신 안테나 1이 선택되었을 때 수신단에서 최종 수신하는 것을 나타내고 있다.

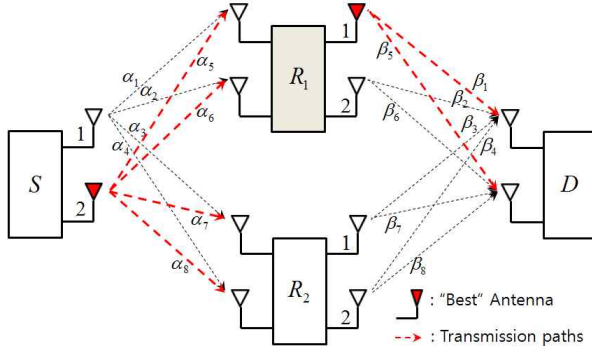


그림 4. 1-2-1 시스템 모델에서 송신 안테나와 중계기 선택 기법

Fig. 4. Antenna and Relay Selection in 1-2-1 system model

$R_1$  과 관련된 채널

$$\begin{cases} \max \left( \frac{|\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2}{2}, \frac{|\alpha_5|^2 + |\alpha_6|^2}{2} \right) = a, & (S \rightarrow R_1) \\ \max \left( \frac{|\beta_1|^2 + |\beta_4|^2}{2}, \frac{|\beta_2|^2 + |\beta_6|^2}{2} \right) = b, & (R_1 \rightarrow D) \end{cases}$$

$R_2$  와 관련된 채널

$$\begin{cases} \max \left( \frac{|\alpha_3|^2 + |\alpha_4|^2}{2}, \frac{|\alpha_7|^2 + |\alpha_8|^2}{2} \right) = c, & (S \rightarrow R_2) \\ \max \left( \frac{|\beta_3|^2 + |\beta_7|^2}{2}, \frac{|\beta_4|^2 + |\beta_8|^2}{2} \right) = d, & (R_2 \rightarrow D) \end{cases}$$

$$\max(\min(a,b), \min(c,d)) = x \quad (5)$$

그림 4와 같은 1-2-1 모델에서의 각 홉에서 송신 안테나와 중계기 선택 방법은 식 (5)와 같다.

식 (5)의  $x$ 가  $a$ 나  $b$ 라면  $R_1$ 이 선택되고,  $c$ 나  $d$ 라면  $R_2$ 가 선택되게 된다. 이렇게 중계기가 선택되면 중계기와 연결된 채널 중 가장 좋은 채널을 선택하는 과정을 거치며, 이 때 1-1-1의 경우와 같은 방법으로 “Best” 송신 안테나 하나만을 선택하여 전송한다.

#### IV. 성능 평가

본 장에서는 일반적인 시스템 모델과 제안하는 시스템 모델의 성능을 비교한다. 표 1에는 모의실험에 적용한 각종 파라미터를 간략하게 표기하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

Fading	Rayleigh fading
distance	$S - R_M = 0.5$
	$R_M - D = 0.5$
Path loss	3
Modulation	QPSK
Eb/No	-20 ~ 20 dB
Transmission Protocol	Decode-and-Forward
Received signal combining scheme	MRC (Maximal Ratio Combining)

먼저 1-1-1 모델을 고려한다. 안테나 선택기법을 적용한 시스템은 하나의 안테나만을 사용하며, 이 때 하나의 송신 안테나에 할당되는 전송전력을 1이라고 한다. 이 때 모든 송·수신 안테나를 사용하는 일반적인 시스템은 2개의 송신 안테나를 사용하므로 각 송신 안테나에 할당되는 전송전력을 1/2로 한다. 이는 한 홉 전송 시 사용되는 전송전력을 같게 하여 공평한 성능비교를 하기 위함이다. 이 때 두 모델의 성능은 그림 5와 같다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 안테나 선택기법을 적용한 시스템이 일반적인 시스템보다 나은 성능을 보인다. 이는 보다 나은 환경을 가지는 채널을 통해서만 모든 전송전력을 이용하여 전송함으로써 다중 채널을 통해 들어오는 모든 신호를 결합하는 것보다 보다 효율적인 전송이 가능해지기 때문이다.

다음으로 1-2-1 모델을 고려한다. 1-1-1 모델과 마찬가지로

가지로 한 홉 전송 시 사용되는 전송전력은 같게 한다. 따라서 일반적인 시스템의 경우 첫 홉에서 각 송신 안테나에 할당되는 전송전력은 1/2이며, 두 번째 홉에서는 각 송신안테나에 1/4이 할당된다. 일반적인 시스템과 안테나와 중계기 선택기법이 적용된 제안된 시스템의 성능은 그림 6과 같으며, 일반적인 시스템보다 제안된 시스템이 보다 나은 성능을 보인다. 제안된 안테나와 중계기 선택기법이 적용된 시스템은 각 홉에서 신호를 수신할 때 1-1-1 모델의 안테나 선택기법만이 적용된 시스템과 같은 개수의 신호를 수신하지만, 채널 선택의 폭이 넓어지는 이점을 가질 수 있다. 이는 중계기가 늘어날수록 보다 나은 성능을 기대할 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

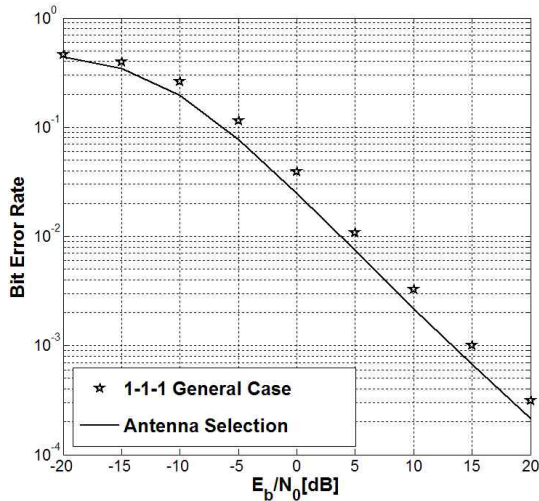


그림 5. 1-1-1 모델의 성능 비교  
Fig. 5. Performance comparison of 1-1-1 model

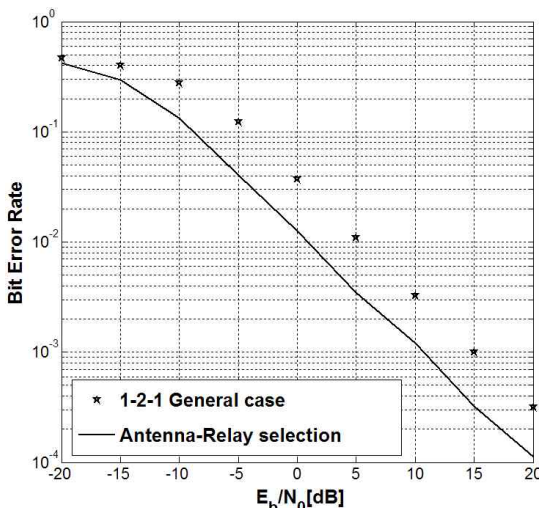


그림 6. 1-2-1 모델의 성능 비교  
Fig. 6. Performance comparison of 1-2-1 model

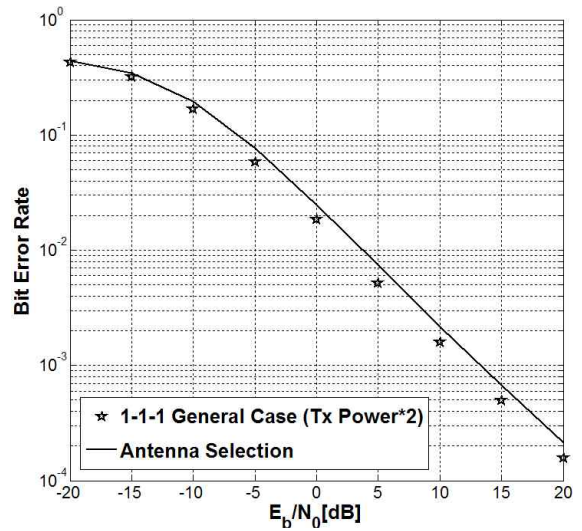


그림 7. 1-1-1 모델의 성능 비교 (일반적인 시스템 전송전력 ×2)  
Fig. 7. Performance comparison of 1-1-1 model (General system transmission power×2)

다음으로 1-1-1과 1-2-1의 일반적인 시스템에 각 홉에서 할당되는 전송전력을 2배로 늘리고 성능을 비교한다. 이때의 성능 비교는 1-1-1의 경우는 그림 7, 1-2-1의 경우는 그림 8과 같다.

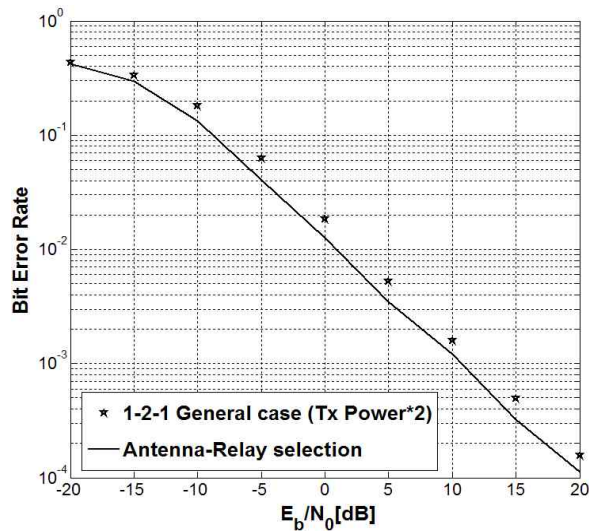


그림 8. 1-2-1 모델의 성능 비교 (일반적인 시스템 전송전력 ×2)  
Fig. 8. Performance comparison of 1-2-1 model (General system transmission power×2)

이 때 1-1-1 모델의 안테나 선택기법이 적용된 시스템의 성능보다 일반적인 시스템이 나은 성능을 보인다. 하지만 1-2-1 모델에서는 제안된 시스템이 보다 나은 성

능을 보임을 알 수 있다. 이는 제안된 시스템이 전송전력 측면에서 매우 효율적임을 보여준다.

## V. 결론

본 논문에서는 다중 안테나를 가지는 각 노드가 다중 홉 전송을 함에 있어서 채널 환경을 고려하여 보다 에너지 효율적이고, 나은 성능을 얻을 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 1-M-1 구성에서 최소 M이 2 이상일 때 적용이 가능하며, 1-1-1의 경우 성능 향상을 위해 간단한 안테나 선택기법을 적용할 수 있다. 성능 분석 결과, 제안한 시스템이 모든 채널을 통해 수신 신호를 수신하여 성능을 향상시키는 시스템보다 낮은 전송전력으로 나은 성능을 보임을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김진영, "초고속 무선 통신을 위한 MIMO/OFDM 시스템", 인터비전, 37-41쪽, 2008년 8월
- [2] M. Abrar, X. Gui, A. Punchinewa, S. Khan, M. Iqbal, "Cooperative Diversity versus Antenna Diversity in Wireless Communication Systems",

New Trends in Information Science and Service Science(NISS), 2010 4th International Conference on, pp.260-263, Gyeongju, Korea, May. 2010.

- [3] G. J. Foschini, "On the limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas", Wireless Personal Commun., vol. 6, no. 3, pp.311-335, 1998.
- [4] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection", IEEE J. Selet. Area Commun., vol. 24, no. 3, pp.659-672, Mar, 2006.
- [5] Qing F. Zhou, Francis C. M. Lau, "Asymptotic Analysis of Opportunistic Relaying Protocols", IEEE Transactions on Wireless Commun., vol. 8, no. 8, Aug, 2009.
- [6] Thomas Eng, Ning Kong, "Comparison of Diversity Combining Techniques for Rayleigh-Fading Channels", IEEE Transaction on Commun., vol. 44, no. 9, Sep, 1996.

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No. 2010-0016782)

## 저자 소개

김 렬(준회원)



- 2010년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
  - 2010년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사학위 과정
- <주관심분야 : 협력통신, MIMO, 인지통신, 다중 홉 시스템, 양방향 통신>

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
  - 1991년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
  - 1996년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
  - 1996년~1996년 : LG전자 PCS 팀장
  - 1996년~1998년 : LG전자 회장실 전략사업단
  - 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>