

논문 2007-44TC-1-14

보조 및 관리 단말을 갖는 새로운 시공간 협동 다이버시티 중계 전략

(A New Space-Time Cooperative Diversity Relaying Strategy with
Assistant and Management Terminals)

김 은 기*, 김 영 주**

(Eun Ki Kim and Young Ju Kim)

요 약

본 논문에서는 다중-홉(multi-hop) 무선통신시스템에서 보조 및 관리단말을 추가로 갖는 시공간 협동 다이버시티 중계 시스템을 제안한다. 한 협동그룹에 1개 이상의 중계단말을 추가하여, 프레임 에러율 및 채널정보 등의 상태정보만을 공유한다. 상태가 좋은 수신신호를 가지는 단말을 선택하며, 선택된 각 중계단말은 같은 시공간 부호로 다중안테나 송신다이버시티 중계전송을 한다. 그리고 협동그룹 내에 중계단말 간의 교신 프로토콜을 제안한다. 이 방식에 대해, 수신신호 대 송신신호 비(E_r/E_s)를 측정하여 성능개선 됨을 증명하였으며, 플랫 페이딩(flat-fading) 채널에서의 시뮬레이션은 기존의 협동다이버시티에 비해 혁신적인 성능향상을 보인다.

Abstract

A new space-time cooperative communication relaying strategy with assistant or management terminals is proposed in multi-hop wireless communication systems. More than one relaying terminals are included in one cooperative group to share the state information such as frame error rate and channel information. Among the cooperative group, the best ones are selected to send bit information using space-time codes. An implementation for the proposed scheme is also presented using a TDMA cooperative protocol. Receive signal to transmit signal ratio(E_r/E_s) and computer simulation show the strategy outperform the conventional cooperative system.

Keywords : cooperative diversity, cooperative communication, space-time relaying

I. 서 론

최근 무선통신시스템에서 협동 다이버시티 중계(cooperative diversity relaying)가 새로운 다이버시티(diversity) 기법의 하나로 연구되고 있다^{[1]-[4]}. 협동 다이버시티 중계 방식에서, 각 단말에 1개 또는 그 이상의 협력단말이 지정된다. 협력단말들은 서로에게 송신

신호를 동시에 전달받고, 목적단말로 재전송하여 다이버시티 효과를 얻는다.

협동다이버시티 중계방식은 페이딩 환경에 능동적으로 대응하기 위해, 시공간 부호(Space-Time Code)^{[5]-[8]}가 적용된 형태로 제안 및 연구로 진화 되고 있다. 다중-홉(multi-hop) 중계통신에서도 시공간 부호를 이용한 시공간 협동 다이버시티 중계가 있다^[9]. 이 방식은 1개의 송수신 안테나를 가지고 있는 단말들에 대하여, 전송단말(source terminal)에서 목적단말(destination terminal) 사이에 1개 또는 다수 개의 협동그룹들을 거쳐서 신호를 중계전송(relaying)하는 방식이다. 한 협동그룹내의 중계단말 개수는 시공간 부호화 방식에 따라 필요한 안테나 수(M)와 같다.

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 정보통신공학과 무선통신시스템연구실

(School of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National, Univ.)

※ 이 논문은 2006년도 교육인적자원부 지방연구중심 대학 육성사업의 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2006년11월7일, 수정완료일: 2007년1월15일

한편, 다중 안테나를 이용한 시공간 전송은 송신 전력이 각 안테나에서 동일해야 한다. 또한, 각 중계단말들이 수신한 정보가 동일해야 성능이 향상된다. 어느 중계단말에서 버스트에러, 프레임 에러가 발생하거나, 신호의 신호-대-잡음비(SNR)가 기준 이하로 나쁜 상황에서는 한 협동그룹의 중계전송이 성능이 유효하지 않는 경우가 발생한다. 본 논문은 이런 문제에 대해, 협동그룹내의 중계단말을 M 개에 1개 이상 다수의 N 개를 더한 $M+N$ 개만큼 지정하는 새로운 전략을 제안한다. $M+N$ 개 중계단말 중에서 우수한 수신신호를 획득한 중계단말들을 선택하여 활용 및 운영한다.

이를 채용한 무선 디지털 전송 시스템은, 전송단말에서 목적단말로 무선 디지털 전송 시 겪게 되는 fading 등의 심각한 잡음에 대해, BER, FER 등의 성능을 혁신적으로 향상시킬 수 있다. 또한, 중계단말간의 교신 프로토콜에 대해서도 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 방식의 시스템 모델을 기술한다. III장에서는 시공간 중계전송 방식에 대해 기술하며, IV장에서는 중계단말간의 교신 프로토콜을 기술한다. V장 및 VI장에서는 플랫폼 페이딩(flat-fading) 채널에서 모든 중계단말이 수신한 신호와 선택된 단말이 수신한 신호의 수신신호-대-송신신호 비(E_r/E_s)를 측정 및 비교하여 성능개선을 증명하며, 2와 3-hop에 대해 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보이고 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

기존의 시공간 협동 다이버시티 중계 방식^[9]은 전송단말이 협동그룹들의 중계전송에 의해 목적단말까지 신호를 전송한다. 이때 한 협동그룹 내에 포함되는 중계단말의 개수(M)는 적용되는 시공간 부호화 방식에 따라 정해진다. 중계단말들이 협동하여 각 단말마다 해당 시공간 부호화된 후, 다음 홉(협동그룹)으로 신호를 전송한다. 이것은 시공간 부호를 이용하여 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻기 위함이다.

본 논문에서 제안하는 새로운 시공간 협동다이버시티 중계 전략의 개념도가 그림 1에 나타나 있다. 모든 단말은 1개의 안테나를 갖는다. 전송단말은 첫 협동그룹으로 신호를 동시에 전송(broadcasting)한다. 한 협동그룹 내에는 $M+N$ 개의 중계단말이 존재한다. 또한 모든 협동그룹에 다양한 개수의 중계단말을 지정할 수 있다. 다음 단계로, 각 중계단말들은 서로의 채널정보 및

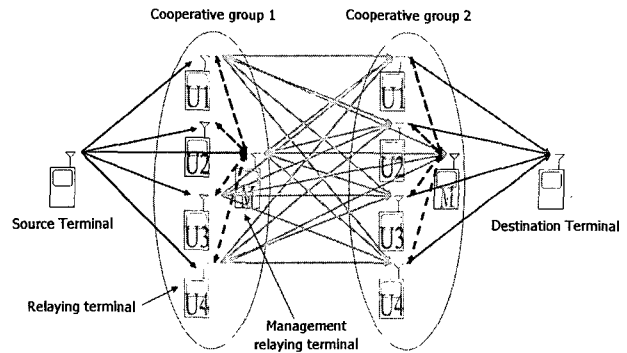


그림 1. 1개의 중계단말이 추가된 3-hop Space-Time 협력중계 시스템

Fig. 1. Space-time cooperative relaying system adding 1 relay.

프레임에러정보와 같은 수신신호의 상태정보만을 공유한다. 공유한 정보를 바탕으로 상태정보가 좋은 단말을 선택하는 'partnering' 과정을 거친다. 그림 1은 인 총 5개의 중계단말이 하나의 협동그룹을 갖는다. 그 첫 번째 협동그룹에서 partnering과정을 거쳐 선택된 중계단말들은 U1, U3, U4, 그리고 M1이다. 시공간 전송을 통해 전달된 2번째 협동그룹에서는 U1, U2, U3, U4가 선택되었다. 이렇게 선택된 단말은 non-regenerative 혹은 regenerative방식으로 다음 협동그룹 또는 목적단말로 재전송 한다. Non-regenerative(amplify-and-forward) 방식에서는 수신 신호를 복조하지 않고 시공간 전송을 위해 전력 제어하여 재전송한다. 각 중계단말들은 같은 시공간 부호로, 각 안테나마다 다르게 부호화된다. Regenerative(decode-and-forward)방식은 수신 신호에 대해 복조를 수행하고 심벌판정을 한 후, non-regenerative 에서와 같이 각 안테나에 맞게 부호화하여 재전송한다.

다음 장에서는 플랫폼 페이딩 채널 하에서 제안하는 시스템에 대해 시공간 부호가 적용된 예를 들어 설명한다.

III. 시공간 부호를 사용한 협동 중계

본 장에서는 제안하는 시공간 부호를 갖는 새로운 협동 다이버시티 중계 방식을 2hop에 대해 non-regenerative 방식을 예로 들어 설명한다. 모든 통신 링크에 대해, 한 개의 부호 블록을 전송하는 동안에는 동일한 채널 계수를 갖는 플랫폼 페이딩 채널환경을 가정한다.

그림 2는 제안하는 시스템의 개념도를 보여준다. 전송 및 중계되는 신호는 각 경로에 따른 fading 및 백색

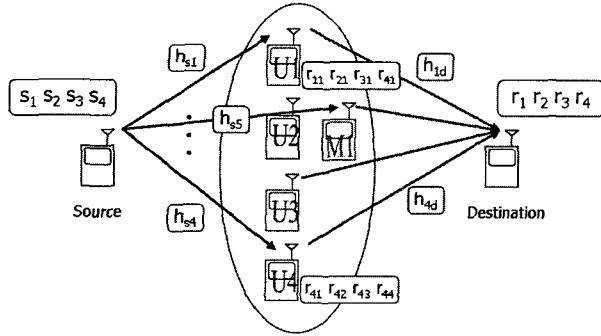


그림 2. 중계단말이 1개 추가된 시공간 협동 다이버시티

Fig. 2. 2-hop Space-Time cooperative relaying $M=4$, $N=1$.

잡음(AWGN)에 노출되어 전송된다. 시공간 부호는 Jafarkani가 제안한 준-시공간 블록부호(Quasi-STBC)^[7]를 표본으로 하며, (1)과 같이 표현된다. 각 열의 부호는 각 중계단말들이 보내는 신호이며, 각 행의 부호는 동시에 전송된다.

$$C = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\ -c_2^* & c_1^* & -c_4^* & c_3^* \\ -c_3^* & -c_4^* & c_1^* & c_2^* \\ c_4 & -c_3 & -c_2 & c_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

전송단말이 신호 $s_i (i=1,2,3,4)$ 를 다음 협동그룹의 j 번째 단말로 동시에 전송(broadcasting)한다. 그 식은 (2)과 같다. 여기서, r_{ij} 는 수신신호, h_{sj} 는 페이딩 계수, n_{ij} 는 백색잡음, $j=1, 2, \dots, M+N$ 이다. 이때, 협동그룹내의 중계단말들은 partnering을 통해 시공간 부호 방식에 필요한 개수(M)만큼 선택한다. 그림 2에서는 U1, U3, U4, M1이 선택된다.

$$r_{ij} = h_{sj}s_i + n_{ij} \quad (2)$$

목적단말에서 받은 수신신호는 다음과 같이 표현된다. 이때, M1은 $j=5$ 번째 단말이다.

$$r_1 = r_{11}h_{1d} + r_{25}h_{5d} + r_{33}h_{3d} + r_{44}h_{4d} + n_1 \quad (3)$$

$$r_2 = -r_{21}^*h_{1d} + r_{15}^*h_{5d} - r_{43}^*h_{3d} + r_{34}^*h_{4d} + n_2 \quad (4)$$

$$r_3 = -r_{31}^*h_{1d} - r_{45}^*h_{5d} + r_{13}^*h_{3d} + r_{24}^*h_{4d} + n_3 \quad (5)$$

$$r_4 = r_{41}h_{1d} - r_{35}h_{5d} - r_{23}h_{3d} + r_{14}h_{4d} + n_4 \quad (6)$$

여기서, n_i 과 h_{jd} 는 각각 협동그룹에서 목적단말로의

AWGN과 페이딩 계수이다. (3), (4), (5), (6)의 채널 계수와 잡음을 다음과 같이 표현하였다.

$$H_j = \begin{cases} h_{sj}h_{jd} & (i=1,4) \\ h_{sj}h_{jd}^* & (i=2,3) \end{cases} \quad (7)$$

$$N_1 = n_{11}h_{1d} + n_{25}h_{5d} + n_{33}h_{3d} + n_{44}h_{4d} + n_1 \quad (8)$$

$$N_5 = -n_{21}^*h_{1d} + n_{15}^*h_{5d} - n_{43}^*h_{3d} + n_{34}^*h_{4d} + n_5 \quad (9)$$

$$N_3 = -n_{31}^*h_{1d} - n_{45}^*h_{5d} + n_{13}^*h_{3d} + n_{24}^*h_{4d} + n_3 \quad (10)$$

$$N_4 = n_{41}h_{1d} - n_{35}h_{5d} - n_{23}h_{3d} + n_{14}h_{4d} + n_4 \quad (11)$$

수신심벌은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3^* \\ r_4 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_1 \\ N_5^* \\ N_3^* \\ N_4 \end{pmatrix} \quad (12)$$

여기서,

$$H = \begin{bmatrix} H_1 & H_5 & H_3 & H_4 \\ H_5^* & -H_1^* & H_4^* & -H_3^* \\ H_3^* & H_4^* & -H_1^* & -H_5^* \\ H_4 & -H_3 & -H_5 & H_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

신호는 무선채널을 통과하면서 페이딩과 같은 잡음을 겪은 후, 중계단말에 도착한다. 이 신호는 서로 다른 SNR를 가지게 된다. 목적단말에서 결합된 중계신호를 적절히 수신 및 복조하기 위해서는 전력제어가 반드시 필요하다. 이를 위해, 중계단말들은 채널정보를 공유하여, 적절한 중계신호를 찾아낸다. 그 교신 프로토콜을 다음 장에서 제안하고 설명한다.

IV. 제안하는 중계단말 간의 교신 프로토콜

한 협동그룹에서 최적의 상태를 갖는 단말을 선택하는 프로토콜은 추가된 단말의 운용 방식에 따라, 관리 모드(managing mode), 공유모드(sharing mode), 하이브리드모드(hybrid mode)를 제안한다. 관리모드는 추가된 관리단말이 다른 단말들의 신호 상태 정보를 총괄적으로 관리한다. 따라서 전체의 상태정보는 관리단말이 알게 된다. 공유모드에서 추가된 보조단말은 다른 단말들과 동등한 역할을 하며, 이 경우에는, 모든 협동그룹

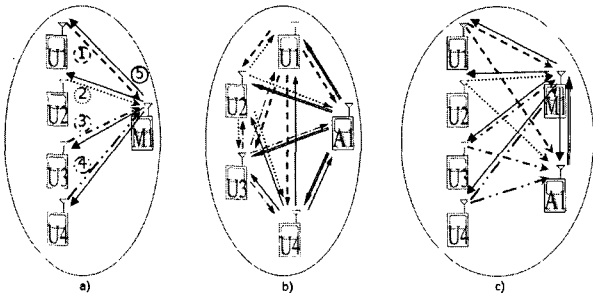


그림 3. 중계단말 간의 교신 과정 a) N=1인 관리모드, b) N=1개의 공유모드, c) N=2인 하이브리드 모드

Fig. 3. Partnering process among relay (a) management mode(M=4, N=1) (b) sharing mode(M=2, N=1) (c) management mode(M=4, N=2).

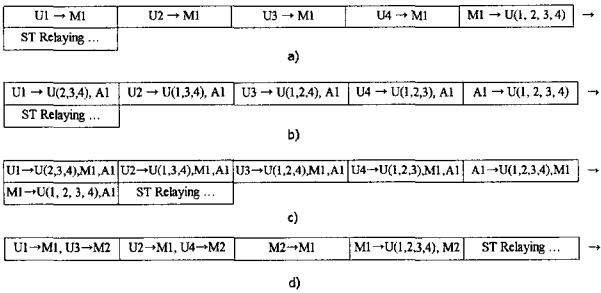


그림 4. TDMA에서 중계단말 간의 교신 과정 a) N=1인 관리모드, b) N=1인 공유모드, c) N=2인 하이브리드 모드, d) N=2인 관리모드

Fig. 4. Partnering flow chart in TDMA system (a) management mode (M=4, N=1) (b) sharing mode(M=4, N=1) (c) management and sharing mode(M=4, N=2) (d) management mode(M=4, N=2).

내 단말들이 서로의 상태정보를 모두 알게 된다. 하이브리드 모드는 그 합성형태이다.

그림 3에서 a), b)는 각각 M=4, N=1로 관리모드와 공유모드의 교신과정을 보여주며, TDMA시스템에서의 교신 프로토콜은 각각 그림 4. a), b)이다. 그림 3. c)는 M=4, N=2로 관리단말 1개와 보조단말 1개가 추가된 하이브리드 모드이며, 프로토콜은 그림 4. c)이다. 그림 4. d)는 N=2로 관리단말이 2개인 관리모드이며, 그림 3. c)에서 A1이 관리단말인 경우이다. 관리단말이 증가하면, 더욱 빠른 시간 내에 partnering이 이루어진다.

V. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 모델

본 시뮬레이션에서는 제안하는 방식에 대한 BER 및

FER을 조사한다. 에러정정부호와 같은 채널부호화는 사용하지 않았다. 한 협동그룹 내에서의 중계단말간의 통신은 완벽한 것으로 가정한다. 무선채널에 있어서, 각 링크마다 페이딩현상은 독립적으로 발생하며, 한 데이터 전송프레임(frame)에 대해서는 정적인 채널상태를 갖는 플랫폼 페이딩 채널을 가정한다. 한 프레임은 108심벌을 가지며, 채널추정은 완벽하게 이루어진다.

2. 중계 및 partnering 알고리즘

다이버시티 이득을 얻기 위해, 시공간 부호를 사용한다. 이때, 반드시 송신신호의 전력제어가 필요하게 된다. 컴퓨터 시뮬레이션에서는 non-regenerative와 regenerative 2가지 방식이 있다. Non-regenerative 방식에서는 각 중계단말이 신호-대-잡음비를 측정하며, 서로의 교신을 통해 그 정보를 공유하고, 신호-대-잡음비가 높은 단말을 선택한다. 선택된 단말들은 반송파복구를 행하고, (14)를 이용하여 중계전송신호의 전력을 평균화시켜 재전송한다. 여기서, \hat{s}_j 는 j번째 단말의 전송 신호이며, r_j 과 h_j 는 각각 j번째 단말의 수신신호와 그 추정된 채널계수의 전력이다.

$$\hat{s}_j = r_j / |h_j| \tag{14}$$

Regenerative방식은 non-regenerative에서와 같이 partnering과정을 거친다. 선택된 단말은 수신신호를 복조하고 심벌판정 한 후, 시공간 부호화를 하여 재전송한다.

3. 실험결과

중계전송에 사용된 시공간 부호는 준-시공간 블록부호(Quasi-STBC)이며, 변조방식은 QPSK를 사용한다. 그림 5, 6은 2-hop에 대해, non-regenerative방식과 regenerative에 대한 BER 곡선이다. 그림 7은 3-hop, regenerative의 BER이다. 기존의 N=0에 비해, N=1의 경우, BER이 10⁻³에서 그림 5는 9.2dB, 그림 6은 9dB까지 성능이 향상된다. N이 증가할수록, 적용한 시공간 부호의 1대1 통신 성능에 매우 근접한다. N의 개수를 선택하는 문제에 있어서, N=2이상에서는 성능향상이 거의 없다.

한편, 중계단말들의 수신신호의 전력이 어떤 분포를 갖는지 (15)를 이용하여 확인하였다. (15)는 수신신호 대 송신신호의 비(E_r/E_s)를 구하는 식이며, 수신신호에 비해 송신신호가 어떤 분포를 갖는지 알 수 있다.

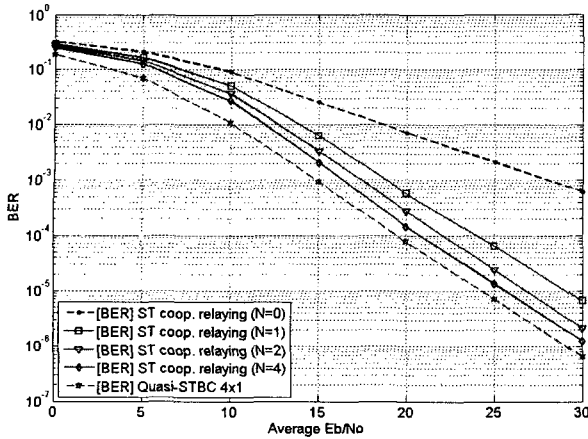


그림 5. Non-regenerative방식의 2-hop 시공간 협동 중계 BER

Fig. 5. Non-Regenerative 2-hop space-time cooperative relaying BER.

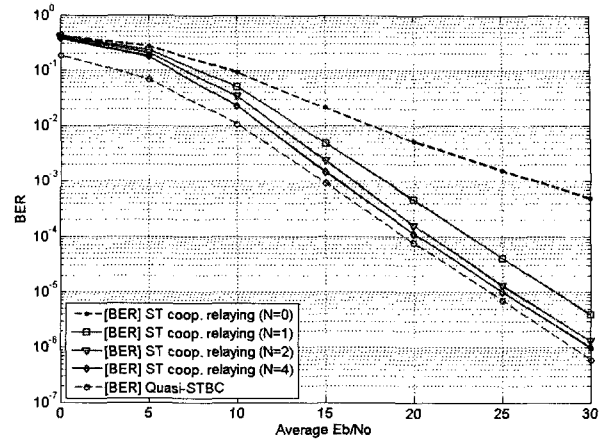


그림 7. Regenerative방식의 3-hop 시공간 협동 중계 BER

Fig. 7. Regenerative 3-hop ST cooperative relaying BER.

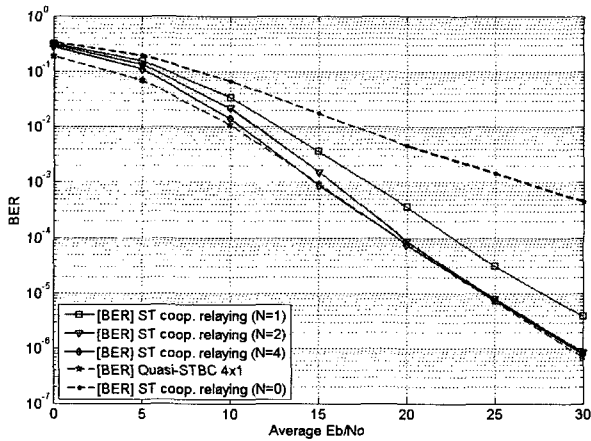


그림 6. Regenerative방식의 2-hop 시공간 협동 중계 BER

Fig. 6. Regenerative 2-hop ST cooperative relaying BER.

$$E_r/E_s = 20 \log \frac{(\text{power of received signal})}{(\text{power of transmitted signal})} \text{ [dB]} \quad (15)$$

그림 8은 첫 번째 협동그룹에서의 모든 중계단말이 수신한 신호와 선택된 단말이 수신한 신호의 수신신호-대-송신신호 비(E_r/E_s)를 평균 신호-대-잡음비(E_b/N_0)가 20dB에서 $N=0, 1, 2, 4$ 에 대해 측정된 히스토그램 (histogram)이다. partnering을 통한 중계단말 선택은 중계단말이 추가될수록 선택된 단말의 신호의 범위가 높은 쪽에 분포시키며, 좋은 수신 신호를 중계한다. 그림 9는 두 번째 협동그룹에 대해 측정된 히스토그램이다. 시공간전송을 하기 때문에, 첫 번째 협동그룹보다 선택도가 떨어진다.

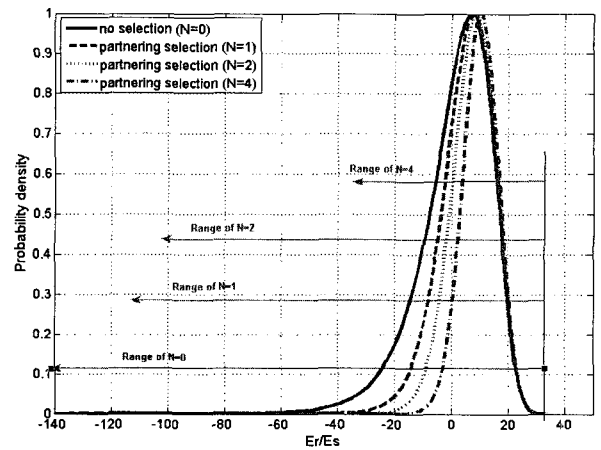


그림 8. 첫 번째 협동그룹에서 E_r/E_s 분포도

Fig. 8. E_r/E_s probability distribution at 1st cooperative group (20 dB).

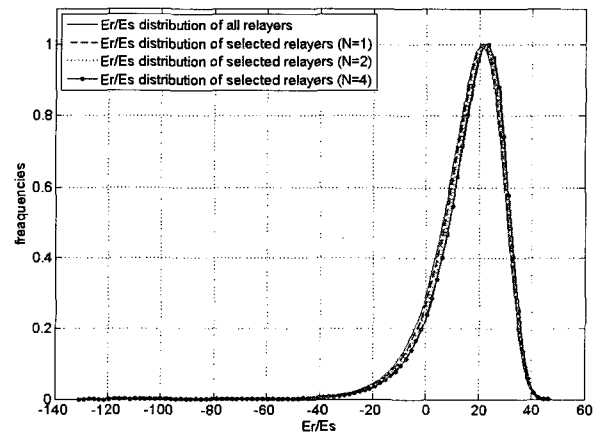


그림 9. 두 번째 협동그룹에서의 E_r/E_s 분포도

Fig. 9. E_r/E_s probability distribution at 2nd cooperative group (20 dB)

VI. 결 론

본 논문에서는 1개의 안테나를 갖는 단말들의 다중-협동 중계 시스템에 대해 고려하였다. 무선채널의 페이딩 현상을 극복하기 위해, 시공간 전송에 필요한 M 개 보다 더 많은 $M+N$ 개의 중계단말을 지정하였으며, 더 나은 신호를 수신한 단말을 선택하여 중계하는 시스템을 제안하였다. 수신신호 대 송신신호 비(E_r/E_s)의 측정하여, partnering을 통해 선택된 중계단말들은 M 개의 중계단말을 가지는 시스템보다 좋은 신호로 중계함을 확인하였다. 2, 3-hop의 non-regenerative와 regenerative 중계방식에 대해 BER을 시뮬레이션 하였으며, 이는 제안하는 방식이 기존의 협동중계 시스템보다 성능이 매우 우수함을 증명한다. 한편, 단말의 추가 개수에 있어서 2개 이상에서는 큰 성능향상이 없다.

참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaris, e. Erkip, and B. Aazhang, "Increasing uplink capacity via user cooperation diversity," in Proc. IEEE ISIT, pp. 156, Aug. 1998.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description," IEEE Trans. Communication, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity - Part II: Implementation aspects and performance analysis," IEEE Trans. Communication, vol. 51, no. 11, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [4] A. Nosratinia, T. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," IEEE Communication Mag., vol. 42, no. 10, pp. 68-73, Oct. 2004.
- [5] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, Oct. 1998.
- [6] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 44, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [7] Hamid Jafarkhani, "A quasi-orthogonal space-time block code," IEEE Transactions on Communication, vol. 49, no. 1, pp. 1-4, Jan. 2001.
- [8] Gesbert, D., Shafi, M., Da-shan Shiu, Smith,

P.J., Naguib, A., "From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems," Selected Areas in Communications, IEEE Journal, vol. 21, Issue 3, pp. 281-302, Apr. 2003.

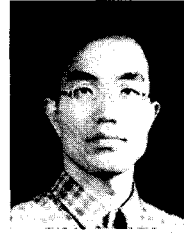
- [9] Miyano, T., Murata, H., Araki, K., "Cooperative relaying scheme with space time code for multihop communications among single antenna terminals," Global Telecommun. Conference, 2004. GLOBECOM '04. IEEE, vol. 6, pp. 3763-3767, Dec. 2004.

저 자 소 개



김 은 기(학생회원)
 2005년 2월 충북대학교 정보통신
 공학과 졸업
 2005년 2월~현재 충북대학교
 대학원 정보통신공학과
 석사과정

<주관심분야 : MIMO, cooperative diversity,
 OFDM, USN>



김 영 주(정회원)
 1988년 2월 고려대학교 전자전산
 공학과 학사 졸업
 1996년 2월 한국과학기술원 정보
 통신공학과 석사 졸업
 2001년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 박사 졸업
 1987년11월~1993년12월 (주)금성사 평택연구소
 1996년 2월~1997년 2월 동경공업대학교 연구원
 2000년 4월~2000년12월 ETRI 위촉연구원
 2001년 1월~2003년 8월 (주)엘지전자 UMTS
 시스템 연구소
 2003년 9월~현재 충북대학교 정보통신공학과
 교수

<주관심분야 : 이동통신 시스템, MIMO, 유비쿼
 터스 네트워크>