

OFDMA 상향링크 네트워크에서 협력 하이브리드 기법의 설계 및 성능 평가

정회원 김 대 환*, 종신회원 송 형 규**, 조 위 덕***

Design and Performance Evaluation of Cooperative Hybrid CDD Scheme in OFDMA Up-link Network

Dae-Hwan Kim* *Regular Member*, Hyoung-Kyu Song**, We-Duke Cho*** *Lifelong Members*

요 약

MIMO는 시스템의 크기와 비용측면 그리고 하드웨어의 복잡도 증가 등의 단점이 있다. 따라서 협력 전송 기술은 최근에 활발하게 논의 되고 있으며 또한 음영지역의 증가 문제를 해결할 수 있다. 그러나 수신측의 단일 안테나나 사용으로 협력 기술은 제한적으로 이용되고 있다. 하지만 베이스스테이션에서는 간단히 다중안테나를 설치할 수 있으므로 협력전송을 통한 다이버시티와 멀티플렉싱을 적용하기가 용이하다. 높은 처리량과 신뢰성을 보장하기 위해 협력 하이브리드 순환 릴레이 다이버시티 전송 방식은 임의의 수만큼 릴레이를 사용할 수 있다. 그리고 제안된 기법은 기존의 다양한 MIMO-OFDM통신 시스템에 적용할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

Key Words : Cooperative, MIMO, STBC, CDD, V-BLAST

ABSTRACT

The MIMO has weak points such as size and cost of systems and the complexity of hardware augment. Thus, the cooperative transmission techniques have been recently discussed briskly and it also solves problems by increase of shadowy area. However, limited cooperation scheme is utilized due to a single-antenna at the destination. The base station is simply equipped with multiple antennas. When the base station has multiple antennas, cooperative diversity and multiplexing schemes can be easily applied in the base station. To guarantee reliability with high throughput, a cooperative hybrid cyclic relay diversity transmission scheme is proposed which can use an arbitrary number of relays without rate loss and a modification of the base station. The presented results show that the proposed schemes can be effectively applied to the existing various MIMO-OFDM communication system.

1. 서 론

하이브리드 전송 기법은 MIMO 다이버시티 기술과 MIMO 멀티플렉싱 기술을 결합한 기법으로 다이버시티와 멀티플렉싱 이득을 동시에 얻어 높은 처리

량으로 신뢰성 있는 전송이 가능하다.

Destination에서 두 개 이상의 안테나가 장착되어 있는 협력통신 환경에서는 하이브리드 전송 기법을 통하여 다이버시티와 멀티플렉싱 이득을 동시에 얻을 수 있는데 하이브리드 STBC 협력전송은 대표적인 하

※ 본 연구는 지식경제 프론티어 기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업(11C3-C2-10M)의 지원에 의한 것임.

* 전자부품연구원 RFID-USN융합연구센터, ** 세종대학교 정보통신공학과 uT통신연구소 (songhk@sejong.ac.kr)

*** 아주대학교 전자공학부

논문번호 : KICS2011-04-193, 접수일자 : 2011년 4월 20일, 최종논문접수일자: 2011년 7월 5일

이브리드 전송기법이다. 하지만 하이브리드 STBC는 협력통신 환경에서 중계기의 개수가 증가함에 따라 전송률이 감소하고 수신기에서의 구조 변경을 요구하게 되며 복잡한 복호화를 요구한다. 또한 각 중계기에 특정한 직교 시공간 블록 부호 디자인을 요구하므로 중계기가 해당하는 부호기를 장착하고 있지 않으면 이 중계기는 이 기법 적용이 불가능해진다. 이와 같은 하이브리드 STBC의 단점을 보완하고 높은 전송량으로 신뢰성 있는 전송이 가능한 하이브리드 CDD를 살펴보기로 한다.

본 논문의 제 2장, 3장에서는 협력 전송 기법의 개요와 하이브리드 협력 전송 시스템의 모델에 대하여 알아보고 제 4장에서는 제안된 하이브리드 CDD 협력 전송 기법을 살펴본 후 기존의 하이브리드 STBC 협력 전송기법과 비교한다. 그리고 제 5장에서는 모의실험 및 고찰을 살펴보고 마지막 제 6장에서 결론을 끝으로 이 논문을 맺는다.

II. 협력 전송 기법 개요

MIMO 시스템은 송·수신단에 다중안테나를 적용하여 전송률과 신뢰성을 크게 높일 수 있지만 안테나 수가 증가할수록 하드웨어복잡도와 연산량이 매우 높아지게 되므로 시스템 구현 시 너무 많은 수의 안테나 적용은 실제로 불가능 하다. 더구나 각각의 안테나 사이에 공간이 충분히 확보 되지 않으면 원하는 성능을 이끌어 내지 못하게 된다. 이러한 MIMO 적용의 한계를 극복하기 위해 협력통신 기법이 제안되었다¹⁻³⁾. 협력통신 기법은 다른 단말의 안테나를 사용해 자신의 정보를 전송하여 마치 다중 안테나를 사용하여 신호를 전송하는 것 같은 효과를 제공하는 기술이다. 그러므로 협력전송은 각 사용자의 단일 안테나만으로 MIMO의 효과를 얻을 수 있으며, 음영지역과 같이 직접파가 존재하지 않는 환경에서 특히 유용하다. 단일 안테나를 가지는 협력통신 시스템에서는 여러 개의 중계 단말을 이용하여 MIMO 다이버시티 기술을 적용하면 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 하지만 수신단의 단일 안테나로 인해 MIMO 멀티플렉싱 기술 적용은 불가능하다. 그러나 Base station과 같은 수신단에서는 단말에 비해 비교적 다중안테나 장착이 용이하므로 멀티플렉싱 기술을 이용하여 처리량을 높일 수 있다.

III. 하이브리드 협력 전송 시스템 모델

본 논문에서는 이중 홉의 협력 전송 시스템을 고려

한다. 그림 1은 고려되는 협력 전송 시스템 모델로서, 각각의 source 단말과 다수의 relay 단말을 단일 안테나를 가지고 있으며 destination은 두 개의 안테나를 가지고 있다.

그리고 R_i ($i=1, 2, \dots, M$)는 source destination 사이의 신호전송을 돕는다. 시스템은 OFDM 전송 기법을 기반으로 하고 있으며, t 시간에서 전송되는 1번째 OFDM 심볼은 다음 식과 같다.

$$x_{i,t} = \frac{1}{\sqrt{N_F}} \cdot \sum_{k=0}^{N_F-1} X_i(k) \cdot e^{j\frac{2\pi}{N_F}kt} \quad (1)$$

여기서 N_F 는 부반송파의 개수를 나타내고 k 는 부반송파의 인덱스이다. 협력전송의 특징을 더 잘 나타내기 위하여 송신기와 수신기와의 직접 경로는 없는 것으로 가정하였다. 제안된 기법을 제공하기 위해 다수의 relay는 source와 다수의 relay 사이의 채널 정보 $g_{i,t}$ 을 그리고 destination은 다수의 relay와 destination의 각 안테나 사이의 채널 정보 $h_{M,n}$ 을 알고 있어야 한다. 그러나 제안된 협력 전송 기법의 성능만을 확인하기 위해 채널 추정 기법에 관해서는 다루지 않는다. 또한, 협력 전송 채널 $h_{M,n}$ 은 느린 다중 경로 페이딩 환경이라 가정한다. 그러므로 하나의 OFDM 프레임 전송 기간 동안에는 채널이 변하지 않는다.

또한 본 논문에서는 단방향 채널을 가정하여 전송과 수신에 같은 주파수대역 안에서 동시 일어나지 않는다. Source는 데이터 심볼을 relay에 전송하고 relay는 수신한 심볼을 검출한다. 그리고 검출한 신호를 destination으로 재전송한다. Destination에서는 relay로부터 수신한 신호를 조합하여 원래의 신호로 복조한다.

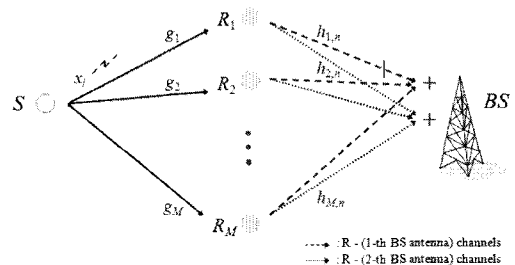


그림 1. 하이브리드 협력 전송 시스템 모델

IV. 하이브리드 협력전송 기법

4.1 하이브리드 STBC 협력 전송 기법

Hybrid STBC(Space Time Block Code) 협력전송 기법은 멀티플렉싱(Multiplexing) 이득과 다이버시티(Diversity) 이득을 동시에 얻을 수 있는 잘 알려진 기법이다. Hybrid STBC는 orthogonal STBC와 V-BLAST를 결합한 형태로 전송에 사용되는 STBC orthogonal 코드 설계는 식 (4), (5)에서 제안되었다. Relay 개수가 4개일 때를 예로 들면, source로부터 4개의 신호 X_1, X_2, X_3, X_4 가 전송된 후 relay에서 수신하게 되는 신호는 다음과 같다.

$$Y_{R_j} = X_j G_j + N_{j_i}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

여기서, G 는 source-relay 채널의 주파수 응답이고, N 은 평균이 0이고, 분산이 $N_0/2$ 인 잡음이다. 4개의 신호를 전송하는 이유는 hybrid STBC방식의 두 개의 그룹에서 사용되는 2×1 STBC에 각 두 개의 신호가 필요하기 때문이다. 그리고 각각의 relay에서 다음과 같이 source의 신호를 추정한다.

$$\hat{X}_j = Y_{R_j} / G_j, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

추정한 신호 X_1, X_2, X_3, X_4 를 각각의 relay에서 다음과 같이 코딩을 한다.

$$S_4 = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ -X_2^* & X_1^* & -X_4^* & X_3^* \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 S_{j_i} 의 열은 각각의 relay로부터 송신하는 신호를 나타낸다. S_{j_i} 의 같은 행의 신호들은 서로 다른 relay로부터 동시에 전송된다.

Destination에서 식 (4)와 같이 코딩된 신호를 각각의 relay로부터 수신된 신호에 대한 식은 다음과 같다. Hybrid STBC 협력전송 기법에서 모든 송신신호의 정보를 얻기 위해서는 STBC 코드의 특성에 의해 준정적 시간(quasi stationary time)이 요구된다.

$$\begin{bmatrix} Y_{1,1} \\ Y_{2,1}^* \\ Y_{1,2} \\ Y_{2,2}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{1,1} & H_{2,1} & H_{3,1} & H_{4,1} \\ H_{2,1}^* & -H_{1,1}^* & H_{4,1}^* & -H_{3,1}^* \\ H_{1,2} & H_{2,2} & H_{3,2} & H_{4,2} \\ H_{2,2}^* & -H_{1,2}^* & H_{4,2}^* & -H_{3,2}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} + N \quad (5)$$

여기서 $Y_{i,n}$ 는 t 번째 시간 슬롯에서 n 번째 안테나가 수신한 신호이다. $H_{i,n} = \alpha_{i,n} \cdot e^{j\theta_{i,n}}$ 는 relay-destination 채널 $h_{i,n}$ 의 주파수 응답이고, 채널 $H_{i,n}$ 는 준정적 시간 동안 동일하다고 가정한다.

Destination에서 수신된 신호를 이용하여 송신한 신호를 추정하기 위해서는 앞에서 살펴본 MIMO 신호검출 기법을 이용한다. 식 (5)를 4×4 V-BLAST와 같다고 가정하고 4×4 MIMO 신호검출 기법을 적용한다. 수신된 신호의 형태가 $N_r \times N_t$ V-BLAST의 형태일 경우, N_t 는 송신에 이용된 전체 relay의 개수이고 N_r 는 준정적 시간과 수신안테나 개수의 곱이 된다. 따라서 hybrid STBC 협력전송 기법은 relay의 개수와 수신안테나의 개수가 증가함에 따라 수신기에서의 구조 변경을 요구하게 되고 V-BLAST와 같이 그 복잡도 또한 증가하게 된다. 또한 각 relay에 특정한 STBC 코드 디자인을 요구하므로 relay가 해당하는 부호기를 장착하고 있지 않으면 그 relay는 이 기법 적용이 불가능해진다.

4.2 하이브리드 CDD 협력 전송 기법

여기에서는 멀티플렉싱 이득과 다이버시티 이득을 동시에 얻어 높은 전송량으로 신뢰성있는 전송이 가능한 Hybrid CDD(Cyclic Delay Diversity) 협력전송 기법을 제안한다.

제안된 방식에 대한 쉬운 이해를 위해서 예를 통해서 알아보고, 일반적으로 적용하기로 한다^{[6],[7]}. Relay의 개수가 4개일 때, source로부터 두 개의 신호 X_1, X_2 가 전송된 후 relay에서 수신하게 되는 신호는 다음과 같다.

$$Y_{R_j} = X_j G_j + N_{j_i}, \quad j = 1, 2, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

두 개의 신호만을 전송하는 이유는 제안된 방식의 두 개의 그룹에서 사용되는 2×1 CDD에 각 한 개의 신호가 필요하기 때문이다. 그리고 각각의 relay에서 다음과 같이 source의 신호를 추정한다.

$$\hat{X}_j = Y_{R_j} / G_j, \quad j = 1, 2, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

Hybrid CDD 협력전송 기법에서 relay는 두 개의 그룹으로 나누어지고 각 그룹은 $L \times 1$ CDD 전송 기법 적용을 위해 L 개로 구성된다. 전체 relay 개수에 M 따른 첫 번째 그룹 L_1 과 두 번째 그룹 L_2 의 각각 이용되는 relay 개수는 다음 식을 통해 구한다.

$$L_1 = L_2 = \frac{M}{2}, M = \text{even} \quad (8)$$

$$L_1 = \frac{M-1}{2}, L_2 = \frac{M+1}{2}, M = \text{odd}$$

Relay가 두 그룹으로 나누어질 때 relay들은 랜덤하게 선택된다. 예를 들어 R_1 과 R_2 는 첫 번째 그룹에서 R_3, R_4 는 두 번째 그룹에서 선택되었다. 그리고 추정된 신호 X_1, X_2 는 두 그룹으로 나누어진 4개의 relay를 통해서 destination으로 전달된다. X_1, X_2 는 각각의 relay에서 다음과 같은 코드 형태로 설계된다.

$$C_4 = [x_{1,\delta_1} \ x_{1,\delta_2} \ x_{2,\delta_1} \ x_{2,\delta_2}] \quad (9)$$

여기서 δ_l 는 각 그룹의 l 번째 relay의 순환지연(Cyclic delay) 길이를 나타낸다. 세로축은 각각의 relay로부터 송신하는 신호를 나타내며, 모든 신호는 동시에 송신한다. 그리고 신호 $x_{1,\delta_l}, x_{2,\delta_l}$ 는 신호 x_1, x_2 의 순환 지연된 신호를 시간 축에서 표현 한 것이고 시간 t 일 때 l 번째 relay에서 순환 지연된 신호는 아래와 같이 나타낸다.

$$x_{l,((t-\delta_l) \bmod N_F)} = \frac{1}{\sqrt{N_F}} \cdot \sum_{k=0}^{N_F-1} e^{-j\frac{2\pi}{N_F}k\delta_l} \cdot X_l(k) \cdot e^{j\frac{2\pi}{N_F}kt} \quad (10)$$

여기서 N_F 는 부반송파의 개수를 나타내고 k 는 부반송파의 인덱스이다. 식 (9)에서 볼 수 있듯이 첫 번째 그룹에 속한 relay R_1, R_2 은 신호 x_1 을 순환 지연시켜 수신기로 보내고 relay R_3, R_4 은 신호 x_2 를 전송한다. 여기서 순환 지연된 각 신호들은 다이버시티 이득을 얻어 보다 신뢰성 있는 전송을 할 수 있게 한다. 제안된 기법에서 순환 지연의 선택은 성능에 많은 영향을 미치게 되는데 최적의 순환 지연 값을 선택하기 위해서는 아래의 식을 따른다.

$$\delta_l = \frac{N_F(l-1)}{L} = \frac{N_F}{L} + \delta_{l-1} \quad (11)$$

여기서 L 은 각 그룹에 속한 relay의 개수를 나타낸다. 그리고 각 그룹 내의 첫 번째 신호의 순환 지연 요소 δ_1 는 항상 0이다 ($\delta_1 = 0$). Destination에서 식 (9)와 같이 코딩된 신호를 각각의 relay로부터 두 개의 안테나로 수신된 신호주파수 축에서 표현하면 다

음과 같다.

$$Y_n = X_{1,\delta_1}H_{1,n} + X_{1,\delta_2}H_{2,n} + X_{2,\delta_1}H_{3,n} + X_{2,\delta_2}H_{4,n} + N_n \quad (12)$$

여기서 Y_n 은 n 번째 안테나가 받는 신호를 나타내며, $H_{i,n}$ 은 R_i 과 destination 안테나 사이의 주파수 채널 응답이다. 각 그룹에서는 하나의 신호가 2개의 relay에서 순환 지연된 신호로 수신기에 송신되는데 이 신호들은 수신기에서 반사파처럼 보이게 되고, 채널의 주파수 선택적 특성을 증가 시킨다. 이 같은 이유로 2개의 relay에서 보낸 동일한 심볼은 합성된 하나의 채널을 통과하는 것처럼 보이게 되어 다음과 같은 형태로 구할 수 있다⁴⁾.

$$H_{i,n}^e = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{l=1}^L H_{l,n}(k) \cdot e^{-j2\pi k\delta_l / N_F} \quad (13)$$

여기서 $H_{i,n}^e$ 은 합성된 채널의 주파수 특성을 나타낸다. 그리고 L 은 각 그룹에 속한 동일한 심볼을 전송하는 relay의 개수이고, $\frac{1}{\sqrt{L}}$ 는 전송 파워를 일정하게 유지시키기 위한 표준화(Normalization) 요소이다. 이 합성된 채널의 증가된 주파수 선택적 특성 때문에 우리는 채널 코딩을 도입함으로써 주파수 다이버시티를 얻게 된다. 위의 식 (13)을 식 (12)에 대입을 하면 신호 X_1, X_2 의 합성된 채널의 식은 다음과 같다.

$$H_{12,n}(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} H_{1,n}(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N_F}k\delta_1} \\ + H_{2,n}(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N_F}k\delta_2} \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$H_{34,n}(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} H_{3,n}(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N_F}k\delta_1} \\ + H_{4,n}(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N_F}k\delta_2} \end{pmatrix}$$

순환 지연 다이버시티 기술은 다중 입력 단일 출력 채널(MISO)을 단일 입력 단일 출력(SISO)의 형태로 변형시키기 때문에 식 (12)를 다음과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$Y_n = X_{1,\delta_1}H_{1,n} + X_{1,\delta_2}H_{2,n} + X_{2,\delta_1}H_{3,n} + X_{2,\delta_2}H_{4,n} + N_n \quad (15)$$

$$= X_1H_{12,n} + X_2H_{34,n} + N_n$$

Destination에서 수신된 신호 식(15)는 다음과 같은 행렬 벡터 표기법으로 변형 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{12,1} & H_{34,1} \\ H_{12,2} & H_{34,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

위의 식은 2x2 V-BLAST 식과 동일하다. 제안된 기법에서는 relay의 개수가 늘어나더라도 relay 개수에 관계없이 두 개의 심볼이 두 개의 수신안테나로 동시에 전송되는 2x2 V-BLAST 형태의 수신기 구조를 가진다. 순환 지연 다이버시티 기술은 다중 입력 단일 출력 채널 (MISO)을 단일 입력 단일 출력(SISO)의 형태로 변형시키기 때문이다. 따라서 제안된 전송 기법에서 신호 검출을 하기 위해 식 (16)에 여러 가지 V-BLAST 복호화 알고리즘을 적용한다. 그중 잡음이 고려되지 않은 선형 ZF(zero-forcing) 검출을 예로 들면, ZF의 Moore-Penrose 의사 역행렬은 다음과 같다.

$$G_{ZF} = H^+ = (H^H H)^{-1} H^H \quad (17)$$

이 밖의 다른 V-BLAST 신호검출 기법도 사용 가능하다.

M개의 중계기와 두 개의 destination을 사용 할 때, 두 개의 그룹으로 나뉜 relay의 hybrid CDD 협력전송 기법의 코드 디자인을 일반화 하면 아래와 같다.

$$C_M = [x_{1,\delta_1} \ x_{1,\delta_2} \ \dots \ x_{1,\delta_{L_1}} \ x_{2,\delta_1} \ x_{2,\delta_2} \ \dots \ x_{2,\delta_{L_2}}] \quad (18)$$

제안된 하이브리드 협력전송 기법은 relay의 개수와 destination 안테나의 개수가 증가함에 따라 다이버시티 이득과 전송량을 높일 수 있다.

V. 하이브리드 CDD와 하이브리드 STBC 협력전송 기법 비교

제안한 Hybrid CDD 협력전송 기법은 hybrid STBC와 비교하여 많은 장점을 가진다. 표 1은 두 협력전송 기법의 주요특성을 비교한 것이다.

hybrid STBC 협력전송기법은 relay의 개수가 증가함에 따라 전송률이 낮아지고, 많은 준정적 시간이 필요하다. 이에 반해 hybrid CDD 협력전송기법은 relay의 개수가 증가하더라도 전송률이 변하지 않고 요구하는 준정적 시간 또한 짧게 고정되어 있다.

또한, hybrid CDD 협력전송 기법은 relay 개수 선

Transmit technique	Number of relays	Total rate	Required quasi-stationary time	V-BLAST detection complexity	
				$N_r \times M_r$ V-BLAST detection structure	Required number of multiplication for ZF detection
Cooperative hybrid CDD	3~10	2/3	1	$N_r = 2, N_r = 2$	56
	3	3/5	2	$N_r = 3, N_r = 4$	197
	4	2/3	2	$N_r = 4, N_r = 4$	208
Cooperative hybrid STBC	5	5/9	4	$N_r = 5, N_r = 8$	762
	6, 7, 8	3/5	4	$N_r = 6, N_r = 8$	757
	9	13/28	15	$N_r = 13, N_r = 30$	11548
	10	4/7	15	$N_r = 20, N_r = 30$	10320

표 1. 하이브리드 협력전송 기술의 간단한 비교

택에 있어서 flexibility를 지닌다. 그러나 hybrid STBC 협력전송 기법은 각 그룹에서 사용되는 relay 개수에 따른 특정 STBC 코드 설계를 위한 encoder가 필요하다. 따라서 적절한 STBC encoder를 가지고 있지 않은 relay로 이용될 수 없다. 실제로 무선 협력 중계 시스템에서 송신기를 도와주는 relay의 숫자는 고정되어 있지 않고, 시간에 따라 변한다. 협력 통신에 참여하는 relay의 개수는 전체 시스템 성능에 영향을 미치므로 제안된 hybrid CDD 협력전송 기법은 relay의 사용가능한 relay의 개수가 증가함에 따라 높은 다이버시티 이득을 얻게 된다. 그러나 relay의 수가 달라짐에 따른 수신단에서의 추가적인 구조 수정을 요구하지 않게 된다. 또한 수신기에서의 안테나 개수가 증가하면 추가적인 멀티플렉싱 이득을 얻을 수 있으므로 수신단에서의 안테나 개수를 증가함에 따라 데이터 전송률을 더욱 향상시킬 수 있다.

VI. 모의 실험 및 고찰

여기에서는 제안된 hybrid CDD 협력전송 기법과 hybrid STBC 협력전송 기법의 성능을 비교하였다. 모의실험에서 사용된 OFDM 방식 전송 환경은 다음과 같다. (1) FFT size : $N_p = 128$, GI=16 (2) 채널 모델 : 7-path Rayleigh fading 채널, (3) 변조방식 : QPSK 변조, (4) 채널 코딩 : 1/3 컨볼루션 코드. 실험에 사용된 순환지연 값은 식 (11)에 의해 고정되었다.

그림 2는 relay 개수에 따른 제안된 hybrid CDD 협력전송기법의 BER 성능을 보여준다. 여기서, SNR_{SR} 의 값은 source와 relay사이의 채널 SNR (Signal-to-Noise Ratio)이 relay와 destination사이의 채널 SNR보다 좋은 정도를 나타낸다. relay 개수 증

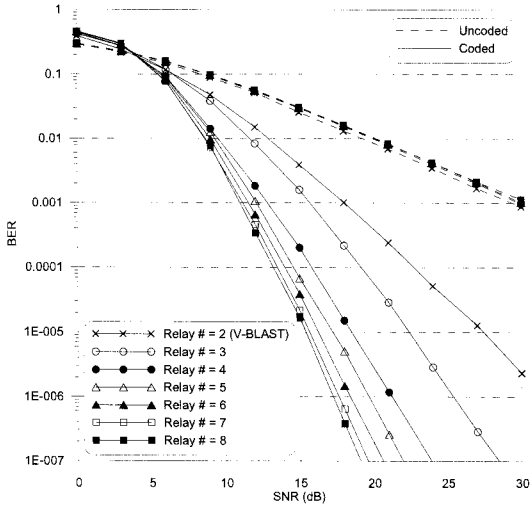


그림 2. relay 개수에 따른 제한된 hybrid CDD 협력전송 기법의 BER 성능

가에 따른 성능 향상 정도를 보다 분명하게 보여주기 위해, SNR_{SR} 은 10 dB로 지정한다. 다이버시티 이득은 relay의 개수에 영향을 받으므로 Hybrid CDD 협력전송 기법은 사용되는 relay의 개수가 증가함에 따라 시스템 성능이 상당히 좋아지는 것을 알 수 있다. 그러므로 만약 더 좋은 성능이 요구 된다면 더 많은 relay를 함으로써 성능을 향상 시킬 수 있다. 그리고 CDD 기술은 채널코딩을 사용하였을 때 다이버시티 이득을 얻을 수 있으므로, Hybrid CDD 협력전송 기법 역시 채널 코딩 없이 추가적인 다이버시티 이득을 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 SNR_{SR} 의 값이 10이고 relay의 개수가 3, 4, 6인 경우에 대하여 hybrid CDD와 hybrid STBC 협력전송 기법의 BER 성능을 비교한 것이다. Hybrid CDD 협력전송 기법과 전체 전송률을 동일하게 하기 위해서 hybrid STBC 협력전송 기법에서 relay가 3과 6개일 때 9/10의 친공된(punctured) 컨볼루션 코드를 사용한다. Relay의 개수가 증가할수록 다이버시티의 효과도 증가하여 더 좋은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 또한 낮은 SNR에서는 hybrid STBC 협력전송 기법이 조금 더 좋은 성능을 나타내지만, hybrid CDD 협력전송 기법은 SNR값이 높아짐에 따라 hybrid STBC와의 성능 차이를 좁혀간다. 그리고 성능을 따라잡아 높은 SNR에서 hybrid CDD 협력전송 기법은 더 좋은 성능을 갖는다. 두 개의 Hybrid 협력전송 기법은 기존의 V-BLAST기법에 추가적인 다이버시티 이득을 얻을 수 있으므로 V-BLAST 기법 보다 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

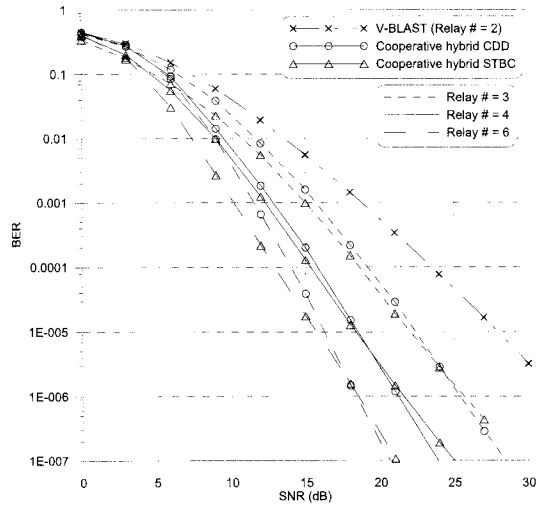


그림 3. SNR_{SR} 의 값이 10이고 relay의 개수가 3, 4, 6인 경우 hybrid 협력전송 기법의 BER 성능

그림 4에서는 source와 relay사이의 채널을 나타내는 SNR_{SR} 값이 V-BLAST, hybrid CDD와 hybrid STBC 협력전송 기법에 미치는 영향을 살펴본다. 세 전송기법에서 모두 SNR_{SR} 의 값이 좋을수록 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 이는 source와 relay사이의 채널상태가 좋아질수록 relay에서 정확히 신호를 받을 확률이 높아지고 최종적으로 destination에서 신뢰성 있는 정보를 수신할 수 있게 된다. hybrid CDD는 통합된 MISO채널에서 깊은 페이딩의 확률이 hybrid STBC의 채널 보다 적으므로 SNR_{SR} 값에 따른 성능

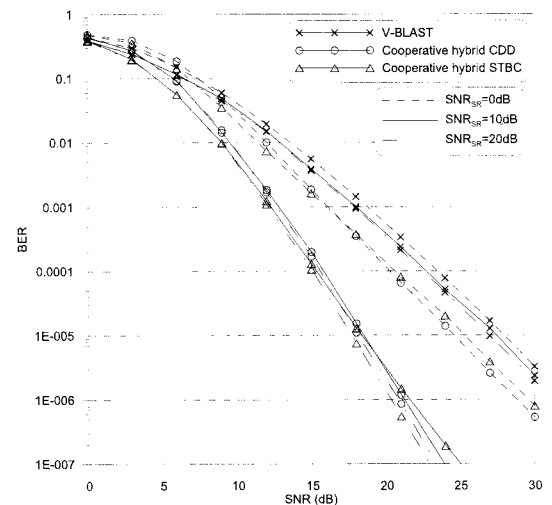


그림 4. relay 개수가 4개일 때, hybrid 협력전송 기법의 SNR_{SR} 에 따른 BER 성능

차이가 hybrid STBC와 비교하여 더 적다. 그리고 SNR_{SR} 값이 작을 때, hybrid CDD 협력전송 기법이 hybrid STBC와 비교하여 더 좋은 BER 성능을 지닌다.

VII. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 STBC와 비슷한 성능을 가지며 간단한 시프트 연산만으로 기존의 통신시스템에 쉽게 적용할 수 있고 높은 처리량으로 신뢰성 있는 전송을 할 수 있는 하이브리드 CDD 협력통신을 제안하고 모의실험을 통한 성능 평가를 진행하였다. 모의 실험 과정 결과 제안한 방식은 여러 relay를 사용하여 전형적인 V-BLAST보다 향상된 BER 성능을 제공하는 것을 보였다. 하이브리드 CDD 협력통신은 또한 중계기의 개수에 영향을 받지 않으며 중계기의 개수에 따라 수신기에서 추가적인 구조변경을 할 필요 없이 최적의 통신을 할 수 있다. 그리고 제안된 기법은 다중안테나를 사용하는 MIMO 단말들 사이의 하이브리드 협력전송으로 확장가능하다.

참 고 문 헌

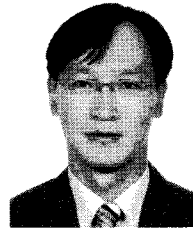
- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," IEEE Communication Magazine, pp. 74-80, October 2004.
- [2] O. Canpolat, and M. Uysal, "Super-orthogonal space-time trellis coded cooperative diversity systems," VTC 2004-Fall IEEE, vol. 4, pp. 2429-2433, September 2004.
- [3] Y. Liang and V. V. Yeeravalli, "Cooperative relay broadcast channels," IEEE Trans. Information Theory, vol 53, no. 3, pp. 900-928, March 2007.
- [4] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [5] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space time block codes from orthogonal designs," IEEE Trans. Info. Theory, vol. 45, no. 5, pp. 1456 - 1467, July 1999.
- [6] M. Bossert et al., "On Cyclic Delay Diversity in OFDM Based Transmission Schemes," in proc. 7th International OFDM Workshop,

Hamburg, Germany, September 2002.

- [7] Y. J. Song, J. S. Yoon and H. K. Song, "Cooperative hybrid cyclic delay diversity scheme in dual-hop wireless networks," ATNAC 2009, pp. 1-5, November 2009.

김 대 환 (Dae-Hwan Kim)

정회원



1991년 2월 명지대학교 전자공학과 학사

1993년 2월 명지대학교 전자공학과 석사

1993년~현재 전자부품연구원 융합산업본부 RFID·USN 융합연구센터 수석연구원

2006년~현재 아주대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> RFID, USN, 디지털 통신, 근거리 무선 통신

송 형 규 (Hyoung-Kyu Song)

종신회원



1996년 2월 연세대학교 전자공학과 박사

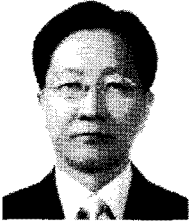
1996년 1월~2000년 2월 전자부품연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 디지털통신, 방송통신, WPAN

조 위 덕 (We-Duke Cho)

종신회원



1981년 서강대학교 전자공학과
학사

1983년 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 석사

1987년 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 박사

1983년~1990년 금성전기 (현

LG전자) 기술연구소 DSP 연구실장

1991년~2003년 전자부품연구원 시스템연구본부 본
부장

2003년~현재 유비쿼터스컴퓨팅사업단 단장, 아주대
학교 전자공학부 교수

<관심분야> ubiquitous intelligence / context aware
biz-model design, smart space system for
wellbeing life care, smart sensing embedded
platform