

# 반복 전송을 이용한 D-STBC 중계기 협력 통신 기법

정회원 송 기 오\*, 준회원 정 용 민\*, 종신회원 정 혁 구\*

## Relay-based Cooperative Communication Technique using Repetitive Transmission on D-STBC

Ki-O Song\* *Regular Member*, Yong-Min Jung\* *Associate Member*,  
Hyeok-Koo Jung\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 무선 랜 환경에서 반복 전송 알고리즘을 적용한 중계기 기반의 분산 시공간 블록 부호(distributed space-time block code: D-STBC) 복호 후 전송(decode-and-forward: DF) 협력 통신 방식을 제안한다. 반복 전송 기법에 의하여 추가적인 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만, 기존의 기법에 비해 데이터 전송률이 절반으로 감소하기 때문에 데이터 변조 성상도를 기존 기법의 2배로 사용한다. 또한, 소스 노드와 중계 노드 간 전송에만 반복 전송 알고리즘을 적용하여 시스템 복잡도를 줄이고 성능 열화를 최소화했다. 제안한 알고리즘을 HiperLAN/2 레일레이 페이딩 채널에서 시뮬레이션을 통하여 비부호화 비트 오류율 성능을 검증하였다.

**Key Words** : Relay, Cooperative Communication, Diversity, OFDM, Decode and Forward

### ABSTRACT

In this paper, we propose a relay-based DF cooperative communication scheme using repetitive transmission algorithm for wireless LAN environments on D-STBC. Additional transmission diversity gain can be obtained by repetitive transmission algorithm. However, in comparison with conventional schemes, data rate is decreased in half. We consider data modulation constellation twice higher than conventional schemes. Further, system complexity is decreased and performance degradation is minimized because repetitive transmission algorithm is adapted between source and relay node. We show the uncoded BER performance of the proposed algorithm over HiperLAN/2 Rayleigh fading channel.

### 1. 서 론

최근 무선 네트워크 환경에서 물리적인 제약에도 불구하고, 대용량 고품질의 서비스가 가능한 통신 시스템의 개발이 요구되어지고 있다. 특히 고속의 데이터 전송과 높은 전송 효율은 현재 무선 통신의 핵심이며, 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>1)</sup>.

협력 통신은 공간 다이버시티를 이득을 획득하기 위

한 새로운 전송 방식으로 제안되었다. 협력 통신이란 데이터를 주고받는 소스 노드와 목적지 노드의 사이에 위치한 중계 노드를 사용하여 소스 노드로부터 수신한 신호를 목적지 노드로 재전송하고, 목적지 노드는 소스 노드와 중계 노드로부터 수신된 각각의 신호를 결합 또는 선택함으로써 추정된 전송 정보의 신뢰성을 높이는 통신 방식이다<sup>2-3)</sup>. 즉, 협력 통신에서는 공간적으로 분산된 다수의 중계기가 안테나 공유를 통하여 가상의

\* 본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임(No. 2009-0073944).

\* 본 논문은 2단계 BK21 사업의 지원에 의하여 연구되었음.

\* 한밭대학교 정보통신전문대학원 전파공학과 디지털통신 연구실(songko1129@naver.com, ymjung0913@naver.com, junghk@hanbat.ac.kr)  
논문번호 : KICS2010-09-451, 접수일자 : 2010년 9월 15일, 최종논문접수일자 : 2010년 12월 6일

다중 입력 다중 출력(multiple input multiple output: MIMO) 시스템이 구현되므로 송수신단에 추가로 안테나를 설치하지 않더라도 중계기간의 협력을 통하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 항상 중계기를 사용하기 때문에 직접 전송에 비해 주파수 재사용 효율이 감소한다는 단점이 있다<sup>4)</sup>. 협력 다이버시티 모델은 중계 노드의 방식에 따라 구분되는데, 소스 노드로부터 신호를 받아 증폭만 하고 목적 노드로 전달하는 증폭 후 전송(amplify-and-forward: AF) 방식과 디코딩하여 전달하는 복호 후 전송(decode-and-forward: DF), 디코딩한 신호를 좀 더 가공하여 전달하는 압축 후 전송(compress-and-forward, CF)로 크게 나눌 수 있다. 최근에는 중계 노드가 다중 송수신 안테나를 가지고 있을 때 직교 시공간 블록 부호(orthogonal space time block code: OSTBC)를 AF와 DF의 중간 방식으로 전달하는 디커플 후 전달(decouple-and-forward: DCF) 방식이 소개되었다<sup>5)</sup>.

시공간 블록 부호(space-time block code: STBC)는 시공간 부호화된 신호를 다중 안테나를 통해 전송함으로써 수신단에서 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 다중 안테나 기술로 Alamouti에 의해 처음 제안되었으며, 2개의 송신 안테나에만 적용이 가능하였으나, 이 후 Tarokh에 의해 3개 또는 4개의 송신 안테나에 적용하도록 확장되었다. 직교 코드(orthogonal code)를 이용하여 간단한 선형 계산만으로 신호 검출이 가능하다는 장점이 있는 반면 안테나가 3개 이상인 경우 전송률이 감소한다는 단점이 있지만 현재까지 다양하게 연구되고 있는 분야이다<sup>6,7)</sup>.

본 논문에서는 다중 송수신 안테나 기술, 전송 다이버시티 응용 기술 중에서 중계기에서 적용 가능한 다중 송수신 안테나 직교 주파수 분할 다중(orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 시스템의 성능 향상 알고리즘을 제안한다. 반복 전송 기법을 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 제안하는 알고리즘은 더 높은 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만, 기존의 기법인 단일 전송에 비해 데이터 전송률은 절반으로 감소하기 때문에 본 논문에서는 데이터 변조 성상도를 기존 기법의 2배로 사용한다. 분산 시공간 블록 부호(distributed space-time block code: D-STBC) 기법은 소프트웨어 STBC 부호기를 사용하여 구현하기 때문에 추가적인 안테나 없이 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 D-STBC 및 반복 전송을 적용한 협력 통신에 대해서 간단하게 설명한다. 3장에서는 제안한 알고리즘의 구성 및 동작

원리에 대해서 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해서 제안한 알고리즘의 성능을 비교·분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. D-STBC 및 DF 협력 통신

### 2.1 D-STBC

무선 채널은 전송 과정 중 여러 가지 상황에 의하여 채널의 상태가 다양하게 변화하고, 그에 따라 신호가 불규칙하게 변하는 페이딩 현상을 겪게 된다. 이러한 페이딩 현상은 독립적인 경로를 통해 수신하는 다이버시티를 획득함으로써 극복할 수 있다. Alamouti STBC 방식은 직교 코드를 이용함으로써 수신단에서 단순하게 선형적인 계산으로 신호의 복구가 가능하다. Alamouti 방식은 송신 안테나가 2개인 경우에 적용할 수 있는 방법으로 심벌  $x_1$ 과  $x_2$ 에 대한 시공간 부호 코드 행렬은 다음과 같다.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

\*는 공액 복소수 연산을 의미하고, 행은 송신 안테나, 열은 시간 슬롯을 의미한다.  $h_i$ 는 안테나  $i$ 로 전송할 시 통과하는 채널로 두 개의 연속되는 심벌 전송 구간에서 일정하다고 가정한다.

$$h_i(t) = h_i(t+T) = h_i, \quad i=1, 2 \quad (2)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix}$$

시간 슬롯  $t$ 와  $t+T$ 동안 수신 안테나 행렬  $\mathbf{R}$ 에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{N}$$

$$\begin{pmatrix} r_1 & r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 & n_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$\mathbf{N}$ 은 수신 안테나의 잡음 행렬로  $n_1, n_2$ 는 각각 시간 슬롯  $t$ 와  $t+T$ 에서의 부가성 백색 잡음(additive white gaussian noise: AWGN)이다. 원 신호  $x_1, x_2$ 는 수신 신호  $r_1, r_2$ 를 결합하여 식(4)와 같이 추정할 수 있으며, 식(4)를 최대우도(maximum likelihood: ML) 검출기를 이용하여 원 신호로 복구할 수 있다<sup>8)</sup>.

$$\begin{aligned} \hat{x}_1 &= h_1^* r_1 + h_2 r_2^* \\ \hat{x}_2 &= h_2^* r_1 - h_1 r_2^* \end{aligned} \quad (4)$$

D-STBC는 Alamouti STBC 방식에서 시간 인덱스와 안테나 인덱스를 변형하여 사용하는 것으로 본 논문에서는 표 1과 같이 적용하였다. 안테나 0, 2는 소스 노드(Source: S)에서 중계 노드(Relay: R), 소스 노드에서 목적 노드(Destination: D)로 각각 전송하는 안테나를 의미하며, 안테나 1은 중계 노드에서 목적 노드로 전송하는 안테나를 의미한다.  $X_1, X_2$ 는 소스 노드에서 전송한 데이터,  $X_1', X_2'$ 를 중계 노드에서 복호한 후, 목적 노드로 재전송을 위하여 재변조한 데이터를 의미한다. 안테나 1과 2의 데이터 배열에서 시간 인덱스와 안테나 인덱스가 변형된 Alamouti STBC 전송 배열을 확인할 수 있으며, D-STBC 방식의 복호화는 식 (4)와 같이 수행된다.

표 1. 분산 시공간 부호 및 전송 배열

	time $t$	time $t+T$	time $t+2T$
antenna 0 (S→R)	$X_1$	$X_2$	
antenna 1 (R→D)		$X_1'$	$X_2'$
antenna 2 (S→D)		$-X_2^*$	$-X_1^*$

2.2 DF 협력 통신

복호 후 전송 협력 통신은 그림 1과 같이 종래의 중계기 개념을 의미하며, 협력 통신 동작 방법은 다음과 같다. 소스 노드 S가 목적지 노드 D에 신호를 전송하면, S와 D 사이에 위치한 중계기들도 또한 그 신호를 수신하게 된다. 각 중계기들은 수신 신호를 복호한 후, 에러 없이 디코딩에 성공한 중계기들만이 두 번째 전송 구간을 이용하여 목적지 노드에게 자신이 복호한 신호를 재부호화하여 송신한다. 목적지노드에서는 소

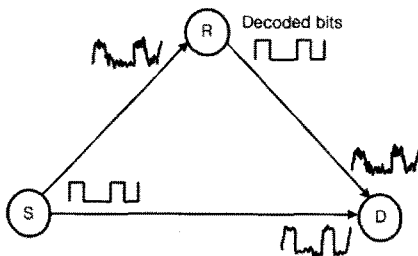


그림 1. 복호 후 전송 협력 통신 방법

스 노드로부터 수신한 신호와 각 중계기들로부터 수신한 신호를 최대비 합성법(maximum ratio combining: MRC)을 이용하여 복호한다.

III. 제안하는 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 2.1과 2.2절에서 설명한 STBC가 적용된 DF 방식의 협력 통신 방식을 기초로 하여, 목적지 노드에서 MRC를 이용한 복호 시 전송 다이버시티를 향상시키기 위하여 반복 전송 기법을 사용한다. 모든 노드 간 전송에 반복 전송 기법을 적용하면 목적 노드에서 높은 전송 다이버시티를 획득할 수 있지만 반복 전송에 따른 시스템의 복잡도가 향상되는 단점을 가진다. 따라서 높은 전송 다이버시티의 획득과 시스템의 복잡도를 줄이기 위하여 소스 노드와 중계 노드 간 전송 시에만 반복 전송 기법을 적용하고 그 외의 소스 노드와 목적 노드 간 전송 및 중계 노드와 목적 노드 간 전송은 기존에 단일 전송과 동일하게 적용하였다. 이것은 DF 방식의 협력 통신이 중계 노드에서 수신한 소스 노드의 데이터를 복호할 때 채널에 의하여 발생하는 오류가 그 외의 노드 간 전송에서 발생한 오류보다 성능에 크게 영향이 미치지 때문이다. 그림 2는 표 1의 D-STBC 전송 배열을 적용한 협력 통신 시스템 구조도를 나타낸다.

D-STBC 방법으로 전송 시 소스 노드와 중계 노드 간 전송에서 각 데이터는 반복 전송되어 추가적인 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만, 기존의 기법에 비해 데이터 전송 속도가 2배로 걸리므로 데이터 전송률이 절반으로 감소하는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 데이터 변조 성상도(constellation)를 기존의 기법인 단일 입출력(single input single output: SISO) OFDM과 비교하여 2배의 데이터 전송 속도가 가능하도록 표 2과 같이 변조 방식을 제안한다. 데이터

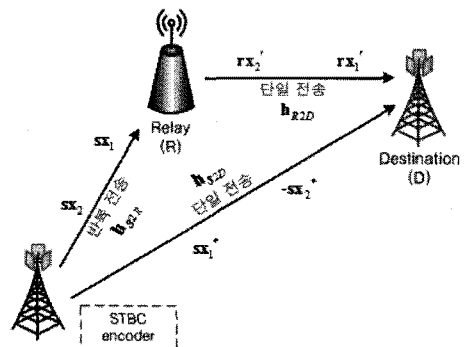


그림 2. 제안하는 협력 통신 방법

변조 성상도가 2배로 증가하기 때문에 복호 시 오류 확률이 증가하여 성능 열화가 발생하지만, 반복 전송으로 인한 추가적인 전송 다이버시티를 획득하기 때문에 결과적으로 성능이 개선된다. 표 2에서 M2, M4, M6, M8, M12는 변조 시 1 심볼을 생성하는데 필요한 비트수인 변조 레벨을 의미한다.

소스 노드에서 중계 노드로 전송되는 반복 전송이 적용된 주파수 영역의 OFDM 심볼  $X_1, X_2$ 는 식 (5)와 같이 64개의 부 반송파로 구성된다.

$$X_i = [X_i(1:32) \ X_i(1:32)], \quad i=1, 2 \quad (5)$$

여기서  $X_i(k)$ 는  $i$ 번째 OFDM 심볼의  $k$ 번째 부 반송파를 의미한다. 두 개의 연속적인 OFDM 심볼에 대한 시간 영역 신호  $x_1(n), x_2(n)$ 는 각각 길이가 64인 역 이산 푸리에 변환(inverse discrete fourier transform: IDFT)에 의해 생성된다. 이후 신호표기 시 소문자는 시간 영역 신호, 대문자는 주파수 영역 신호를 의미한다.

$$x_i = IDFT\{X_i\}, \quad i=1, 2 \quad (6)$$

IDFT된 OFDM 블록은 인접 심볼 간 간섭(inter-symbol interference: ISI)을 제거하기 위해 16개의 주기적 전치 부호(cyclic prefix: CP)를 삽입하여 그림 3과 식 (7)과 같이 80개의 부반송파인  $sx_1, sx_2$ 로 만든 다음 중계 노드와 목적 노드로 전송한다. 중계 노드에서 수신한 신호를 주파수 영역에서 표현하면 다음과 같다.

$$sx_i(1:80) = [x_i(49:64) \ x_i(1:64)], \quad i=1, 2 \quad (7)$$

$$Y_i(j) = H_{S2R,i}(j)SX_i(j) + V_i(j), \quad \begin{cases} i=1, 2 \\ j=1, \dots, 80 \end{cases} \quad (8)$$

$Y_i(j)$ 는 중계 노드에서 수신한  $i$ 번째 OFDM 심볼의  $j$ 번째 주파수를 의미한다.  $H_{S2R,i}(j)$ 는  $i$ 번째 OFDM 심볼이 통과한 소스 노드와 중계 노드 간 전송 채널의  $j$ 번째 주파수 영역 채널 계수이고,  $SX_i(j)$ 는  $sx_i(1:80)$ 의  $j$ 번째 주파수 영역 신호이며,  $V_i(j)$ 는 중계 노드에서  $i$ 번째 OFDM 심볼을 수신 시  $j$ 번째 주파수의 부가성 백색 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)을 의미한다. 중계 노드에서 수신한 반복 전송된 데이터의 복호는 CP를 제거한 후, 이산 푸리에 변환(discrete fourier transform: DFT)을 취해 주파수 영역에서 아래와

같이 MRC 방식을 적용한다.

$$RX_i(1:64) = (H_{S2R,i}^*(\square)Y_i(\square) + H_{S2R,i}^*(\circ)Y_i(\circ)) / (|H_{S2R,i}(\square)|^2 + |H_{S2R,i}(\circ)|^2), \quad i=1, 2 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} rx'_i(1:64) &= IDFT\{RX_i(1:64)\}, \quad i=1, 2 \\ rx'_i(1:80) &= [rx'_i(49:64) \ rx'_i(1:64)] \end{aligned} \quad (10)$$

( $\square$ )는 17번째부터 48번째 부반송파를 의미하며, ( $\circ$ )는 49번째부터 80번째 부반송파를 의미한다.  $RX_1, RX_2$ 는 중계 노드에서 수신한 반복 전송 방식의 OFDM 심볼인  $Y_1, Y_2$ 에 MRC를 적용하여 각각 복호한 후 단일 전송 방식으로 재변조한 주파수 영역 신호를 의미하고,  $rx'_1, rx'_2$ 는 목적 노드로 전송하기 위하여 식 (10)과 같이 IDFT를 취한 후 CP를 추가하여 단일 전송 방식의 OFDM 심볼로 재변조한 시간 영역 신호를 의미한다.

두 번째 시간 슬롯인  $t+T$ 에서 소스 노드는 중계 노드로  $sx_2$ 신호를 전송하고, 목적 노드로  $-sx_2^*$  신호를 전송하며, 중계 노드는 목적 노드로 전송하기 위해서 재변조한 신호  $rx'_1$ 를 전송한다. 세 번째 시간 슬롯인  $t+2T$ 에서 소스 노드는 목적 노드로  $sx_1^*$ 신호를 전송하며, 중계 노드는 목적 노드로 전송하기 위해서 재변조한 신호  $rx'_2$ 를 목적 노드로 전송한다. 목적 노드가 수신한 신호를 주파수 영역에서 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_1(j) &= H_{R2D}(j)X'_1(j) - H_{S2D}(j)X_2^*(j) + N_1(j) \\ R_2(j) &= H_{R2D}(j)X'_2(j) + H_{S2D}(j)X_1^*(j) + N_2(j) \end{aligned} \quad (11)$$

$j=1, 2, \dots, 80$

$R_1(j)$ 는 시간 인덱스  $t+T$ 에 목적 노드가 수신한 주파수 영역의  $j$ 번째 부반송파를 의미하며,  $R_2(j)$ 는 시간 인덱스  $t+2T$ 에 목적 노드가 수신한 주파수 영역  $j$ 번째 부반송파를 의미한다.  $N_1(j), N_2(j)$ 는 각각 시간 인덱스  $t+T, t+2T$ 에서 목적 노드가 수신한 주파수 영역 신호의  $j$ 번째 AWGN을 의미한다. 식 (11)은 Alamouti의 STBC 수신 신호와 유사하며, 두 신호  $R_1, R_2$ 를 결합하여 소스 노드의 단일 전송 방식 원 신호를 아래와 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_1 &= H_{R2D}^*R_1 + H_{S2D}R_2^* \\ \hat{X}_2 &= H_{R2D}^*R_2 - H_{S2D}R_1^* \end{aligned} \quad (12)$$

제안한 알고리즘은 SNR이 높을수록 중계 노드에서 복호 후 재변조된 신호의 비트 오류 확률이 작아진다. 즉, 높은 SNR 상황에서 중계 노드의 재변조된 신호는 소스 노드의 신호와 동일하게 된다. 또한, 반복 전송 방식을 소스 노드와 중계 노드 간 전송에 사용하여 추가적인 전송 다이버시티를 획득하였기 때문에 중계 노드에서 복호 시 발생하는 오류가 줄어들어 목적 노드에서 신호 추정이 정확하게 됨을 확인할 수 있으며, 시스템의 복잡도를 줄일 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 제안한 알고리즘의 시뮬레이션을 통한 성능을 분석한다. 모의실험은 HiperLAN/2 채널 A를 사용하였다. 각 경로는 도플러 주파수가 50 Hz인 독립적인 페이딩 채널을 겪게 된다. 전 대역폭 20 MHz는 부반송파가 64개이며, 유효 심플 주기( $\approx 3.2\mu s$ )와 보호구간을 포함한 하나의 OFDM 심플 구간은  $T_s$ 는  $4.0\mu s$ 이다. 무선 채널의 추정에는 채널의 시간 영역 임펄스를 평균한 후에 FFT(Fast Fourier Transform)하여 이상적인 채널 값을 추정하였다. 표 2는 각 노드 간 전송 방식의 구분에 따른 모의실험 시나리오이며, 동기는 완벽하다고 가정한다.

그림 3에서는 제안한 알고리즘과 전송 방식만 다른 알고리즘의 uncoded BER 성능을 비교하였다. 목적 노드에서 D-STBC 부호화되어 수신된 신호를 복호하기 위해서는 두 수신 신호의 전송 방식이 반복 전송 또는 단일 전송으로 동일해야 하므로 표 2와 같이 3가지 전송 모드에 대한 성능을 비교하였다. QPSK 변조 방식의 경우 BER이  $10^{-5}$ 인 지점에서 제안한 알고리즘을 모드 1과 비교하였을 때 약 12 dB의 전력 이득을 가지며, 모드 2와 비교하였을 때 동일한 성능을 보인다. 16QAM 변조 방식의 경우 BER이  $10^{-5}$ 인 지점에서 제안한 알고리즘을 모드 1 과 비교하였을 때 약 9 dB의 전력 이득을 가지며, 모드 2와 비교하였을 때 동일한 성능을 보인다. 64QAM 변조 방식의 경우 BER이  $10^{-5}$ 인 지점에서 제안한 알고리즘을 모드 1과 비교하였을 때 약 2 dB의 전력 이득을 보이며, 모드 2와 비교하였을 때 동

표 2. 협력 통신 전송 모드

	S→R	R→D / S→D
mode 1	단일 전송	단일 전송
mode 2	반복 전송	반복 전송
proposed	반복 전송	단일 전송

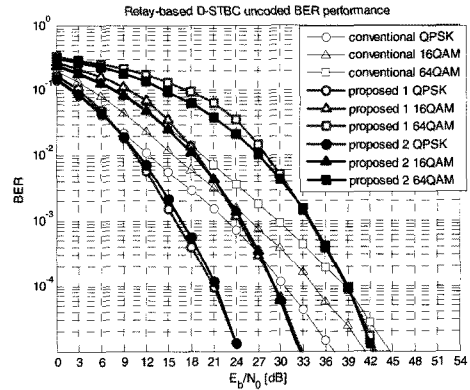


그림 3. 제안한 알고리즘의 uncoded BER 성능 곡선

일한 성능임을 확인할 수 있다. 제안한 알고리즘이 더 나은 성능을 보이는 이유는 DF 방식의 협력 통신에서 중계 노드의 수신 신호 복호 과정에서 발생하는 오류가 전체 시스템 성능에 큰 영향을 미치기 때문이다. 또한 모든 노드 간 전송에 반복 전송 방식을 적용한 모드 2와 제안한 알고리즘의 성능이 동일하지만, 전체 시스템의 복잡도 관점에서 본다면 소스 노드와 중계 노드 간 전송에만 반복 전송 방식을 적용한 제안한 알고리즘이 간단하게 구현이 가능하기 때문에 제안한 알고리즘은 충분한 효율성을 가진다고 볼 수 있다.

그림 4는 제안한 알고리즘과 동일한 다이버시티를 가지는  $D = 2$ 인 단일 입력 다중 출력(single input multiple output: SIMO) 성능과 비교한 BER 성능 곡선이다. 제안한 알고리즘은 BER이  $10^{-5}$ 인 지점에서 이론적인  $D = 2$ 인 SIMO BER 성능과 동일함을 확인할 수 있으며, 제안한 알고리즘의 BER 성능 곡선 기울기가  $D = 2$ 인 SIMO BER 성능 곡선보다 크므로 BER이  $10^{-5}$ 이

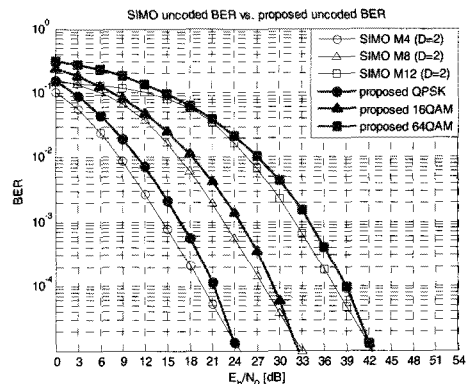


그림 4. 동일한 다이버시티의 SIMO와 제안한 알고리즘의 uncoded BER 성능 곡선 비교

하인 지점에서 전력 이득이 발생됨을 예측할 수 있다.

### V. 결 론

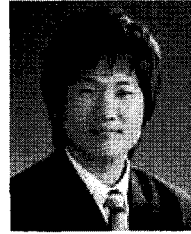
본 논문에서는 DF 방식의 기존의 D-STBC 협력 통신에 반복 전송 방식을 적용한 협력 통신 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 소스 노드와 중계 노드 간 전송에만 반복 전송 방식을 적용하여 시스템의 복잡도를 줄이면서 기존의 D-STBC 방식이 적용된 DF 협력 통신보다 uncoded BER 성능을 향상시켜 신뢰성 높은 데이터 전송이 가능함을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 홍성욱, 공형윤, "STBC와 ARQ를 이용한 1-2-1 부호화 협력 통신", *한국전자과학회논문지*, 20권, 5호, 421-427쪽, 2009년 5월.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.51, 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. Commun.*, Vol.51, pp.1939-1948, Nov. 2003.
- [4] 류현석, 강충구, "다중홉 릴레이 시스템에서의 협력 통신", *한국통신학회지 (정보와 통신)*, 24권, 5호, pp.47-62, 2007년 5월.
- [5] 김중빈, 김동우, "협력 다이버시티 기술", *한국통신학회지 (정보와 통신)*, 25권, 5호, pp.38-46, 2008년 4월.
- [6] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No.8, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [7] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications : Performance results", *IEEE Trans. on Selected Areas in Commun.*, Vol.17, Issue3, pp.451-460, Mar. 1999.

송 기 오 (Ki-O Song)

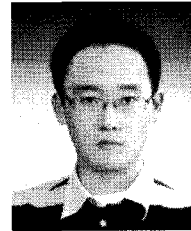
정회원



2008년 2월 한밭대학교 전파공학과 학사  
 2010년 2월 한밭대학교 전파공학과 석사  
 2010년 3월~현재 한밭대학교 전파공학과 박사과정  
 <관심분야> OFDM 시스템, 무선 통신 모델

정 용 민 (Yong-Min Jung)

준회원



2009년 2월 한밭대학교 전파공학과 학사  
 2009년 3월~현재 한밭대학교 전파공학과 석사과정  
 <관심분야> OFDM 시스템, 무선 통신 모델

정 혁 구 (Hyeok-Koo Jung)

중신회원

현재 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 부교수  
 한국통신학회논문지 제30권 제5C호 참조