

차세대 통신 시스템을 위한 향상된 하이브리드 MIMO 기법

조 봉 균^{a)}, 한 동 석^{a)†}

Improved Hybrid MIMO Scheme for Next Generation Communication System

Bong Gyun Jo^{a)} and Dong Seog Han^{a)†}

요 약

본 논문에서는 선형분산행렬(linear dispersion)을 이용한 하이브리드 MIMO(multi-input multi-output) 시스템을 적용하여 차세대 지상파 DTV 시스템을 구현하기 위한 새로운 전송 기법을 제안한다. 유럽형 방송 시스템인 DVB-T2에서는 수신 성능을 향상시키기 위하여 STBC(space time block code) 기법을 선택적으로 적용하였다. 그러나 STBC 기법은 송신 안테나에 비례하여 전송량이 증가하지 않는 단점이 있다. 이러한 STBC의 단점을 극복하기 위하여 전송단에 여러 개의 서로 다른 STBC 전송 행렬을 배치하는 하이브리드 STBC 기법이 사용된다. STBC 기법보다 향상된 수신 성능을 가지는 선형분산행렬을 하이브리드 형태로 구성하여 전송량 및 수신 성능을 향상시켰다. 제안한 하이브리드 MIMO 기법과 기존의 하이브리드 STBC 기법의 성능을 컴퓨터 실험을 통하여 비교분석하였다.

Abstract

In this paper, a terrestrial transmission system is proposed for the next generation digital television (DTV) system by applying a hybrid multi-input multi-output (MIMO) technology based on linear dispersion codes (LDCs). The digital video broadcasting-2nd generation terrestrial (DVB-T2) system adopted a space time block code (STBC) for improving receive performance. However, the data rate of STBC is not increased in proportion to the transmitter. The hybrid STBC scheme utilizes several STBC transmission blocks for increasing data rate. It is possible to increase the data rate and performance in the receiver by utilizing LDC. The performances of the proposed and conventional hybrid STBC schemes are evaluated through computer simulations.

Keyword : DTV, LDC, Hybrid STBC, Hybrid LDC

1. 서 론

최근 유럽에서 개발된 DVB-T2 시스템은 변조 레벨 256-QAM까지 지원되며, 차세대 방송 시스템을 위하여 최대 50Mbps 급의 전송량을 지원한다^[1]. 그러나 단일 안테나 시스템으로는 높은 전송량을 달성하기 힘들기 때문에 유럽형 DVB-T2 시스템은 MIMO (multi-input multi-output) 시

a) 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyung Pook National University

† 교신저자 : 한동석 (dshan@ee.knu.ac.kr)

※ 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신미디어 원천기술개발사업의 연구 결과로 수행되었음(KCA-2011-10912-02002)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C6150-1102-0011)

· 접수일(2011년9월6일), 수정일(2011년11월24일), 게재확정일(2011년11월25일)

시스템을 선택적으로 적용할 수 있게 하였다. MIMO 시스템 중에서 공간 다이버시티를 가지는 STBC(space time block code) 기법을 사용하여 주어진 SNR(signal to noise ratio)에 따른 수신 성능을 향상시켰다. 이러한 MIMO 시스템은 여러 개의 송·수신 안테나를 이용하여 수신 BER(bit error rate) 성능을 향상시키는 STC(space time coding) 기법, 여러 개의 송신 안테나를 이용하여 전송량을 증가시키는 공간 다중화(spatial multiplexing) 기법 및 공간 다이버시티 (spatial diversity)와 공간 다중화를 둘 다 이용하는 하이브리드(hybrid) 기법으로 나눌 수 있다^[2].

공간 다이버시티를 사용하는 STBC 기법은 직교성을 이용하여 정보를 송신하고 수신된 신호를 간단하게 분리하여 검파한다^[3]. 공간 다중화 기법을 이용하는 LDC(linear dispersion code) 기법은 선형 분산 행렬을 이용하여 정보를 전송 행렬에 분산 배치시켜 전송한다^[4]. 마지막으로 하이브리드 STBC는 송신단에서 STBC 전송 행렬을 두 개 이상 배치하여 정보 전송량을 송신 안테나 개수에 비례하여 증가시킨다^[5].

본 논문에서는 기존 기법의 장점을 고려하여 전송률 및 주어진 SNR에서 수신 성능을 향상시킬 수 있는 하이브리드 계열의 MIMO 기법을 제안한다. 제안한 하이브리드 기법은 STBC 기법 대신에 LDC 전송 행렬을 여러 개를 배치하여 전송량을 증가시키는 하이브리드 LDC 기법이다. LDC 기법의 SNR에 따른 비트오류율 성능은 MIMO 기법 중에서 가장 좋으며 STBC 기법과는 다르게 송신 안테나 개수에 비례하여 전송량이 증가한다. 그러므로 여러 개의

LDC 전송 행렬을 송신단에 배치하여 기존 하이브리드 STBC 기법보다 높은 성능을 가지는 하이브리드 LDC 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존 하이브리드 STBC 기법의 신호 전송 기법 및 신호 검파 기법에 대하여 소개하고 3장에서는 새로운 MIMO 하이브리드 전송 기법을 제안한다. 4장에서는 전형적인 하이브리드 기법과 제안한 하이브리드 기법의 성능을 모의실험을 통하여 비교 분석하였다. 또한 기존의 송·수신 안테나가 각각 2개인 LDC 기법과 성능 및 복잡도를 비교하여 장단점을 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 하이브리드 STBC 전송 기법

본 장에서는 STBC 전송 행렬을 송신단에 여러 개를 배치시켜 정보 전송량을 증가시키는 하이브리드 STBC 기법을 설명한다^[5]. 그림 1은 네 개의 송·수신 안테나로 구성된 하이브리드 STBC 기법의 블록도이다.

연속적인 심볼 x_1, x_2, x_3, x_4 는 두 개의 2×2 STBC 전송행렬로 구성되어 16개의 채널을 통과한 수신 신호 $y_{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \\ y_{31} & y_{32} \\ y_{41} & y_{42} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 - x_2^* \\ x_2 \quad x_1^* \\ x_3 - x_4^* \\ x_4 \quad x_3^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \\ n_{31} & n_{32} \\ n_{41} & n_{42} \end{bmatrix} \quad (1)$$

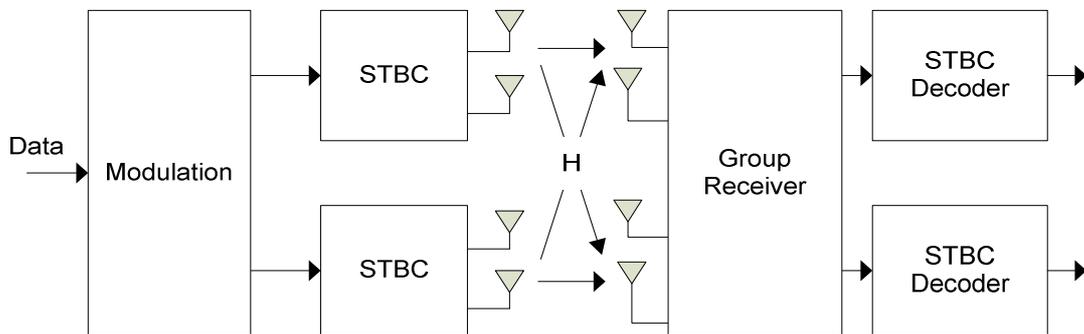


그림 1. 하이브리드 STBC의 블록도
Fig. 1. Block diagram of hybrid STBC

여기서 h_{ij} 는 채널 정보, n_{ij} 는 수신기의 열잡음이다. 식 (1)을 벡터로 간단히 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{y} = H\vec{x} + \vec{n} \quad (2)$$

4개의 수신된 신호를 두 개씩 분리하여 STBC 복호를 하기 위하여 ZF(zero forcing) 알고리즘을 이용하는 방법으로 식 (1)에 나타나있는 채널 행렬의 각 2×2 원소 행렬들을 A, B, C, D 로 나타내면 다음과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (3)$$

A, B, C, D 의 역행렬을 이용하여 다음 식 (4)를 구성한 후 식 (1)의 양변에 곱하면 다음 식 (5)와 같다.

$$W^{ZF} = \begin{bmatrix} B^{-1} & -D^{-1} \\ A^{-1} & -C^{-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$W^{ZF}\vec{y} = W^{ZF}H\vec{x} + W^{ZF}\vec{n} \quad (5)$$

식 (5)를 정리하면

$$\begin{aligned} W^{ZF} \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12} \end{bmatrix} &= B^{-1}A - D^{-1}C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + W^{ZF}\vec{n}_1 \\ &= \begin{bmatrix} h'_{11} & h'_{12} \\ h'_{21} & h'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + W^{ZF}\vec{n}_1 \\ W^{ZF} \begin{bmatrix} y_{21} \\ y_{22} \end{bmatrix} &= A^{-1}B - C^{-1}D \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + W^{ZF}\vec{n}_2 \\ &= \begin{bmatrix} h''_{11} & h''_{12} \\ h''_{21} & h''_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + W^{ZF}\vec{n}_2 \end{aligned} \quad (6)$$

이 된다. 식 (6)과 같이 각각 나누어진 두 개의 수신 행렬은 STBC 복호를 하여 x_1, x_2, x_3, x_4 를 추정된 뒤 ML 검파를 통하여 신호를 검파하게 된다. 하이브리드 STBC의 전송량은 2×2 STBC 전송행렬 개수에 비례하여 늘어난다. 그러나 송신 안테나 개수가 타 기법보다 두 배 정도 더 필요하며 ISI(inter-symbol interference) 제거를 위해 사용하는 ZF 알고리즘으로 인하여 약간의 성능저하가 있다.

III. 제안하는 하이브리드 LDC 전송 기법

기존의 MIMO 전송 기법인 STBC 기법은 주어진 SNR에 따른 낮은 비트오류율을 나타내지만 전송량이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 높은 전송량을 가지며 주어진 SNR에 따른 비트오류율 성능이 가장 좋은 LDC 기법은 수신단의 복잡도가 높은 단점이 있다. 또한 하이브리드 STBC 기법은 주어진 SNR에 따른 비트오류율이 높은 단점이 있다. 그러므로 기존의 MIMO 전송 기법들의 성능을 개선하기 위하여 여러 개의 LDC 전송 행렬^[7]을 사용하는 제안된 하이브리드 LDC 기법의 블록도를 그림 2에 나타내었다.

변조된 심볼들은 두 개의 서로 다른 전송 행렬에 선형분산행렬을 곱하여 전송되며 수식은 다음과 같다.

$$s_q = \alpha_q + j\beta_q, \quad q = 1, \dots, Q \quad (7)$$

$$S = \sum_{q=1}^Q (\alpha_q I_q + j\beta_q L_q) \quad (8)$$

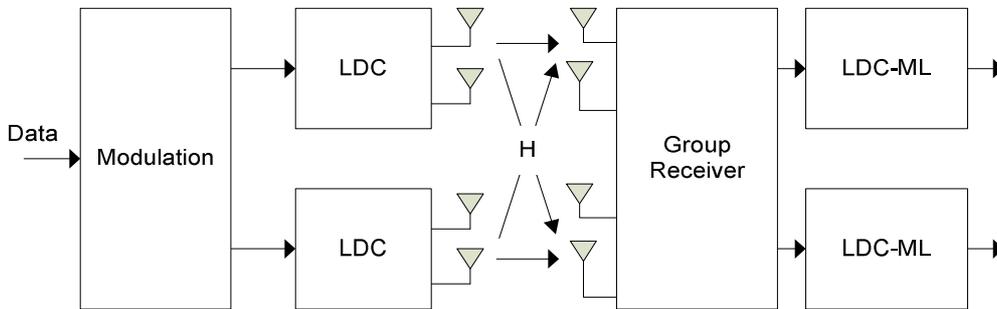


그림 2. 하이브리드 STBC의 블록도
Fig. 2. Block diagram of hybrid STBC

$$Q = \min(M, N) \times T \tag{9}$$

식 (7)과 같이 QAM(quadrature amplitude modulation)이나 PSK(phase shift keying) 변조된 심볼 s 는 식 (8)의 선형 분산행렬 I, L 에 곱하여 신호전송행렬 S 를 구성하게 된다. 식 (9)에서 나타내는 Q 값은 송신 안테나 개수 M 과 수신 안테나 개수 N 을 비교하여 구한 최소값과 신호전송행렬 S 의 길이 T 의 곱보다 작거나 같게 정의된다. 만약 Q 값이 4라고 가정하면 네 개의 변조된 심볼 s_1, s_2, s_3, s_4 를 이용하여 행과 열이 각각 2인 전송 행렬을 구성한다. T 는 한 개의 전송행렬의 열의 개수를 의미하며, 선형분산행렬 I, L 은 T 와 M 이 같다면 다음과 같이 정의된다.

$$I_{M(k-1)+p} = L_{M(k-1)+p} = \frac{1}{\sqrt{M}} D^{k-1} \Pi^{p-1} \tag{10}$$

$$k = 1, \dots, M, \quad p = 1, \dots, M$$

여기서

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\frac{2\pi}{M}} & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & e^{j\frac{2\pi(M-1)}{M}} \end{bmatrix}, \quad \Pi = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

식 (10)을 살펴보면 선형분산행렬 I 와 L 이 서로 같고 송신 안테나 개수 M 에 따라서 행렬의 크기가 결정된다. 이렇게 결정된 선형분산행렬을 $M=4, N=4$ 인 하이브리드 MIMO 시스템의 LDC 전송 행렬에 적용하여 수식으로 나타내면 식 (11)과 같다.

여기서 α, β 는 LDC 전송 행렬에서 부호화 될 심볼의 실수 및 허수 값이며, y_{ij} 는 수신된 신호이다. 수신된 신호를 분리하기 위하여 ZF 알고리즘을 이용하는 방법은 다음

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \\ y_{31} & y_{32} \\ y_{41} & y_{42} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{32} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} (\alpha_1 + \alpha_3) + j(\beta_1 + \beta_3) & (\alpha_2 + \alpha_4) + j(\beta_2 + \beta_4) \\ (\alpha_2 + \alpha_4 e^{j\frac{2\pi}{2}}) + j(\beta_2 + \beta_4 e^{j\frac{2\pi}{2}}) & (\alpha_1 + \alpha_3 e^{j\frac{2\pi}{2}}) + j(\beta_1 + \beta_3 e^{j\frac{2\pi}{2}}) \\ (\alpha_5 + \alpha_7) + j(\beta_5 + \beta_7) & (\alpha_6 + \alpha_8) + j(\beta_6 + \beta_8) \\ (\alpha_6 + \alpha_8 e^{j\frac{2\pi}{2}}) + j(\beta_6 + \beta_8 e^{j\frac{2\pi}{2}}) & (\alpha_5 + \alpha_7 e^{j\frac{2\pi}{2}}) + j(\beta_5 + \beta_7 e^{j\frac{2\pi}{2}}) \end{bmatrix} + \vec{n} \tag{11}$$

과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$W^{ZF} = \begin{bmatrix} B^{-1} - D^{-1} \\ A^{-1} - C^{-1} \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$W^{ZF}H = \begin{bmatrix} B^{-1}A - D^{-1}C & 0 \\ 0 & A^{-1}B - C^{-1}D \end{bmatrix} \tag{14}$$

식 (12)와 같이 채널 행렬의 부분 행렬들을 A, B, C, D 라고 정의하면 H 의 역행렬 W^{ZF} 는 식 (13)과 같이 구성되며 W^{ZF} 를 채널 행렬 H 에 곱하여 식 (14)와 같이 신호를 분리하는데 사용된다. 식 (14)를 이용하여 분리된 신호는 서로 다른 검파 기법을 이용하여 신호를 검파하게 되며 다음과 같다.

$$W^{ZF}H = \begin{bmatrix} K_1 \tilde{h}_1 & Z_1 \tilde{h}_1 & \dots & K_Q \tilde{h}_1 & Z_Q \tilde{h}_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_1 \tilde{h}_N & Z_1 \tilde{h}_N & \dots & K_Q \tilde{h}_N & Z_Q \tilde{h}_N \end{bmatrix} \tag{15}$$

$$W^{ZF} \begin{bmatrix} y_{31,R} \\ y_{31,I} \\ \dots \\ y_{42,R} \\ y_{42,I} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{\rho}{M}} W^{ZF}H \begin{bmatrix} \alpha'_1 \\ \beta'_1 \\ \dots \\ \alpha'_Q \\ \beta'_Q \end{bmatrix} + W^{ZF}n \tag{16}$$

식 (15)는 송신 행렬에 곱해진 LD 행렬이 채널 행렬과의 곱으로 재배열 것이다. 여기서 K, Z 는 ZF 기법으로 인하여 변화된 선형분산행렬을 나타내며 R, I 는 수신된 신호의 실수 및 허수 값을 나타낸다. 또한 ρ 는 주어진 SNR을 나타낸다. 식 (15)에서 재배열된 $W^{ZF}H$ 는 검파될 두 개의 서로

다른 LDC행렬 중 한 개를 나타낸 것이며, 나머지 한 개의 재배열된 LDC 부분도 동일한 방법으로 검파된다. 재배열된 LDC의 검파를 하기 위하여 다시 나타내면 식 (16)과 같다. 기존의 하이브리드 STBC 기법은 그룹 수신기에서 신호를 분리한 뒤 STBC 복호기에서 ISI를 제거하고 신호를 검파한다. 그룹 수신기를 사용하는 이유는 각각의 STBC 전송단에서 송신되는 신호가 수신기에 섞여서 수신되기 때문에 간섭을 일으킨다. 그러므로 그룹 수신기에서 ZF를 사용하여 신호를 분리한다. 제안한 하이브리드 기법은 그룹 수신기에서 신호를 분리한 뒤, LDC 기법으로 부호화 된 식 (16)을 이용하여 ISI제거 없이 모든 채널 정보를 이용하여 신호를 검파하기 때문에 주어진 SNR에 따른 비트오류율 성능이 향상되게 된다. 그러므로 STBC 기법보다 향상된 성능을 가지는 LDC 기법을 하이브리드 형태로 신호를 전송하여 기존의 하이브리드 STBC 기법보다 더 좋은 성능을 가진다. 또한 신호를 분산시켜 전송하므로 연접에러에 강인하다.

IV. 모의 실험

본 논문에서는 기존의 하이브리드 STBC와 제안된 하이브리드 기법을 16-QAM, 4-QAM에 대하여 실험을 수행하였다. 기법 간의 정확한 성능을 비교하기 위하여 두 개의 기법 모두 송신 안테나 4개, 수신 안테나 4개에서 실험하였으며 전송량을 동일하게 두었다. 또한 채널은 평균이 0인 평평한 레일리 채널을 사용하였다. 채널의 정보를 수신기에서 모두 알고 있다고 가정하였으며 세부적인 실험 조건은 표 1과 같다.

표 1. 하이브리드 기법 성능 비교를 위한 실험 환경
Table 1. Simulation environment for performance comparison of hybrid schemes

	하이브리드 STBC	하이브리드 LDC
변조레벨	16-QAM	4-QAM
시스템	M=4, N=4	M=4, N=4
채널상태	레일리 채널	레일리 채널

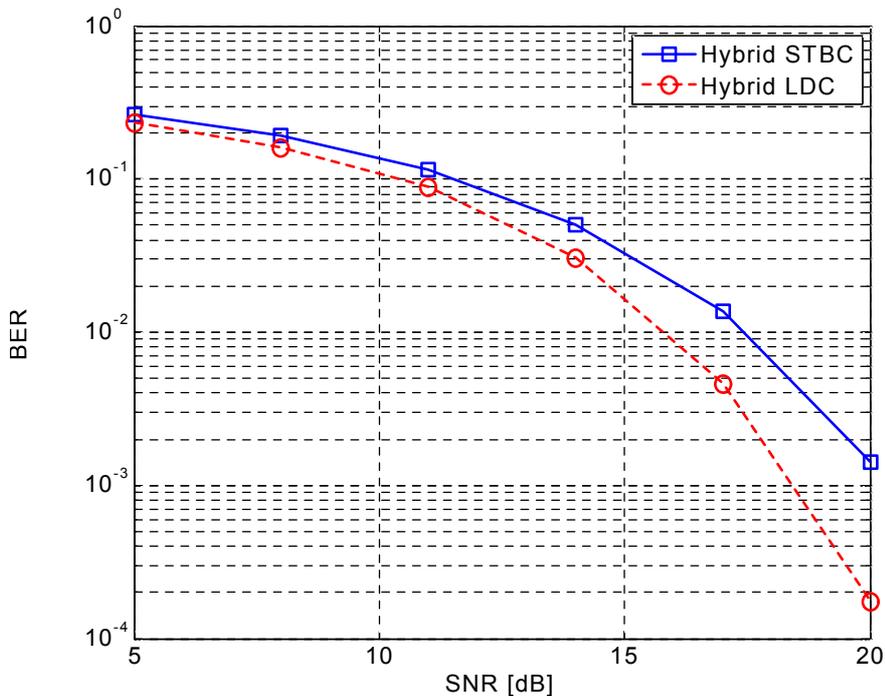


그림 3. 하이브리드 STBC, 하이브리드 LDC의 성능비교
Fig. 3. Comparison of BER performances of hybrid STBC and hybrid LDC

그림 3에서는 하이브리드 STBC 기법과 하이브리드 LDC 기법의 SNR에 따른 BER 성능을 비교하였다. 그림 3을 살펴보면 BER 10^{-2} 기준으로 제안한 하이브리드 LDC 기법이 기존의 하이브리드 STBC 기법에 비해 약 2dB 정도 BER 성능이 더 좋음을 알 수 있다. 성능의 차이가 나는 이유는 하이브리드 STBC 기법이 심볼간의 직교성을 이용하여 각각의 수신단에서 ISI를 제거한 후 검파하는 반면, LDC 기법은 송신단에서 LD 코드를 통하여 신호를 분산시키고 수신된 모든 신호들을 이용하여 ML을 통해 검파하기 때문이다.

마지막으로 기존의 LDC 시스템과 성능 및 복잡도 비교를 통하여 제안한 하이브리드 LDC 시스템의 장단점을 고려하였다. 복잡도 실험은 수신기에서 한 개의 심볼을 검파하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 실험 환경 및 예상되는 전송량을 표 2에 나타내었으며 그림 4에서 두 기법의 성능을 LDC는 4-QAM과 16-QAM, 제안한 기법은 4-QAM을

사용하여 비교하였다. 또한 각 시스템에 대한 계산량을 표 3에 나타내었다.

표 2. LDC와 하이브리드 기법 성능 비교를 위한 실험 환경
Table 2. Simulation environment for performance comparison of hybrid scheme and LDC

시스템	LDC (Tx2 Rx2)	LDC (Tx2 Rx2)	하이브리드 LDC (Tx4 Rx4)
변조레벨	4-QAM	16-QAM	4-QAM
채널 상태	레이리 채널	레이리 채널	레이리 채널

표 3. LDC와 하이브리드 LDC의 계산량 비교
Table 3. Complexities of LDC and hybrid LDC

시스템	LDC (4-QAM)	LDC (16-QAM)	하이브리드 LDC (4-QAM)
계산량	0.42323 msec	78.34017 msec	1.0245 msec

사용된 컴퓨터 사양: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400@3.00GHz

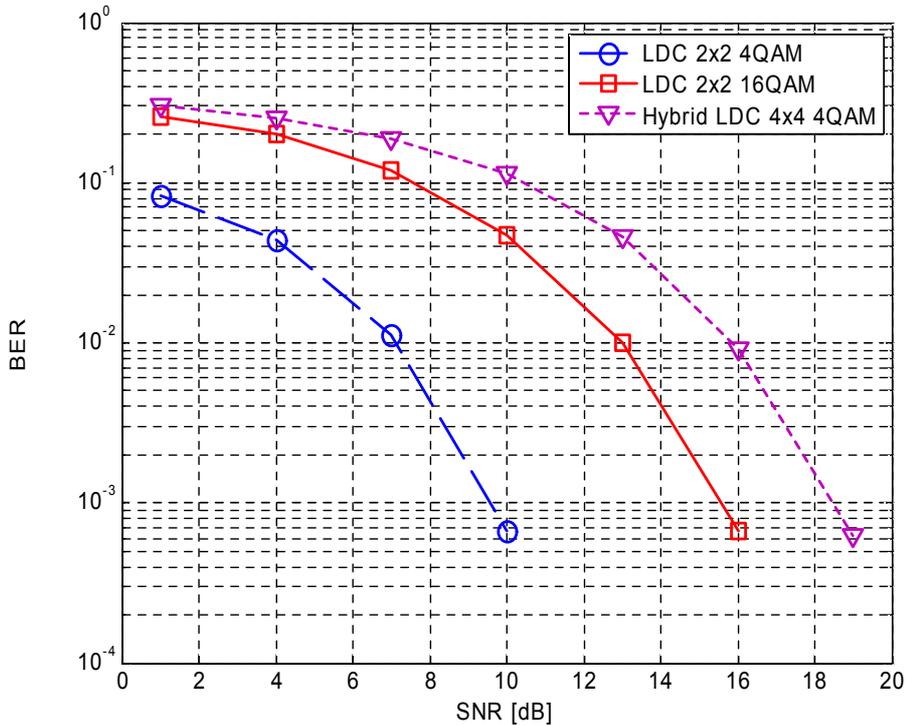


그림 4. LDC, 하이브리드 LDC의 성능비교
Fig. 4. Comparison of BER performances between LDC and hybrid LDC

그림 4에서 제안한 기법의 비트오류율 성능이 LDC 16-QAM보다 BER 10⁻³ 기준으로 약 3dB 정도 떨어진다. 이유는 그룹 수신기에서 사용하는 ZF 기법의 영향으로 잡음의 영향을 증가시키기 때문이다. 그러나 표 3에서 계산량 측면에서 바라보면, 똑같은 전송량을 가지는 하이브리드 LDC와 16-QAM을 전송하는 LDC 기법이 약 78배 정도 차이가 난다. LDC 기법의 특성상 송·수신 안테나 개수가 각각 2개일 경우, 신호 4개를 2x2 전송행렬에 분산시켜 전송하기 때문에 수신기에서 검파하는 것은 변조레벨이 증가할수록 기하급수적으로 늘어난다. 또한 제안한 기법이 4-QAM으로 전송하는 LDC 기법보다 약 2.5배 정도 차이가 나는 이유는 신호를 분리하기 위하여 사용되는 그룹 수신기의 영향으로 시간이 조금 더 걸린다. 앞으로 차세대 3DTV 및 UHDTV(ultra high definition television) 방송이 요구하는 높은 전송량을 달성하기 위해서는 필연적으로 변조 레벨을 증가시켜야 한다. 그러나 송·수신 안테나 2개를 사용하는 LDC 시스템은 실시간 처리가 힘들므로 하이브리드 형태의 MIMO 기법을 적용하여 수신기의 계산량을 줄여야 한다. 또한 그룹 수신기에서 ZF 기법 대신에 더 좋은 성능을 가지는 선형 수신기를 개발하면 성능도 향상시킬 수 있으며, 전력분배 기법을 적용하여 채널 상황이 열악한 환경인 경우에 전력을 적절히 분배하여 비트오류율 성능도 향상시킬 수 있다.

V. 결론

차세대 방송 시스템이 요구하는 높은 전송량을 달성하기 위하여 MIMO 기법을 이용한 하이브리드 LDC 기법은 기존의 하이브리드 STBC 기법의 전송량 및 주어진 SNR에

따른 수신 성능을 향상시켰다. 또한 기존의 LDC 기법의 계산량을 하이브리드 기법을 통하여 현저히 줄임으로써 실시간으로 고품질의 정보를 처리할 수 있다. 그러나 수신기를 여러 개 사용하면 수신기 간의 간섭문제가 발생하게 된다. 이러한 문제도 간단히 극복할 수 있다. 그 이유는 지상파 방송 시스템이 사용하는 대역폭은 500MHz ~ 600MHz 정도이다. 여기서 각 안테나 사이의 거리가 반파장($\lambda/2$) 이상이 되어야 하므로 500MHz를 기준으로 계산하면 약 30cm 정도이다. 수신 안테나가 4개일 경우 약 90cm 정도만 확보하면 되므로 TV에 바로 안테나를 설치한다고 고려해도 충분히 현실성이 있다. 제안한 기법으로 차세대 3DTV 및 UHDTV가 요구하는 높은 전송량도 변조 레벨을 증가시키면 충분히 달성 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] European Telecommunication Standard, Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), June 2008.
- [2] 조봉균, 한동석 "UHDTV를 위한 MIMO 전송 시스템 성능 분석 및 설계" 방송공학회논문지, 제15권, 제4호, pp. 547~554, Jul. 2010
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 17, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [4] B. Hassibi and B. M. Hochwald, "High-rate codes that are linear in space and time," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 48, no. 7, pp. 1804-1824, Jul. 2002.
- [5] L. Zhao and V. K. Dubey, "Detection schemes for space-time block code and spatial multiplexing combined system," IEEE Commun., Lett. vol. 9, no. 1, pp. 49-51 Jan. 2005.
- [6] C. K. Sung, H. Lee, H. Song, and I. Lee, "Decision feedback detection with error compensation for hybrid space-time block codes," IEEE Commun., Lett. vol. 9, pp. 882-884, October 2005.
- [7] R. W. Health and A. J. Paulraj, "Linear dispersion codes for MIMO systems based on frame theory," IEEE Trans. Signal Process, vol. 50, pp. 2429-2441, Oct. 2002.

저 자 소 개



조 봉 군

- 2008년 8월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학사
- 2011년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석사
- 2011년 3월 ~ 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정
- 주관심분야 : MIMO, 방송통신기술



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1989년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사
- 1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
- 1987년 10월 ~ 1996년 8월 : 삼성전자 기술총괄 신호처리 연구소 선임연구원
- 1996년 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
- 2006년 7월 ~ 2008년 7월 : 정보통신연구진흥원 디지털TV/방송사업단 단장
- 주관심분야 : 차세대 방송 시스템, 이동통신 신호처리 및 차량형 통신 시스템