

일반논문-10-15-4-08

UHDTV를 위한 MIMO 전송 시스템 성능 분석 및 설계

조 봉 균^{a)}, 한 동 석^{b)‡}

Performance Analysis and Design of MIMO Systems for Terrestrial Transmission of UHDTV

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

요 약

본 논문에서는 MIMO(multi-input multi-output) 시스템을 적용하여 지상파 UHDTV 시스템을 구현하기 위한 전송 시스템을 제시하였다. 차세대 UHDTV 시스템이 필요로 하는 높은 전송량을 달성하기 위하여 기존의 MIMO(multi input multi output) 전송 방식인 STBC(space time block code), 하이브리드 STBC, V-BLAST 및 선형분산코드(linear dispersion matrix)를 이용한 송신 기법을 고려하였다. 이 중에서 대표적인 세 가지 MIMO 전송 기법의 심볼 오류 성능 및 복잡도를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 이를 통하여 UHDTV 시스템의 전송량을 달성하기 위한 최적의 송·수신 안테나 개수와 MIMO 파라미터 제시 및 세 개의 MIMO 전송 기법의 장단점을 비교 분석하여 가장 적합한 시스템을 제안하였다.

Abstract

In this paper, we propose transmission systems for ultra high definition television (UHDTV) through terrestrial transmission by applying the multi-input multi-output (MIMO) technology. The space time block code, hybrid STBC, V-BLAST and linear dispersion code are considered to support a high data rate of the UHDTV system. The performance of proposed MIMO systems are evaluated through computer simulations. Then we suggest MIMO parameters, number of antennas and optimal transmission scheme to achieve the transmission rate of the UHDTV system.

Keywords : UHDTV, LDC, Hybrid STBC, STBC, V-BLAST

I. 서 론

풀 HDTV 시스템은 최대 1920×1080 화소를 지원한다.

그러나 압축 기술의 발달 및 대형 TV의 등장으로 고화질의 영상에 대한 서비스 요구가 확대되고 있다. 이러한 요구에 발맞춰 일본의 NHK에서 제안한 UHDTV 시스템은 최대 $8K(7,680 \times 4,320)$ 화소를 지원한다^[1]. UHDTV 시스템은 현재의 풀 HDTV에 비하여 화질이 최대 약 16배 정도 좋으며 이에 따라 필요한 데이터 전송량 또한 증가하게 된다.

일본 총무성에서는 위성을 이용한 UHDTV 시스템을 약 2015년에 시행할 계획이나 지상파를 이용한 방송 계획은 세계적으로 거의 전무하다^[2]. 현재 우리나라의 지상파

a) 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

b) 경북대학교 IT대학 전자공학부
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

‡ 교신저자 : 한동석(dshan@ee.knu.ac.kr)

* 본 연구는 삼성전자의 지원으로 수행되었음
·접수일(2010년4월14일), 수정일(2010년7월2일), 게재확정일(2010년7월13일)

HDTV는 약 19Mbps 정도의 데이터 전송량을 가지고 있다. 앞으로 UHDTV 서비스를 위해서는 최소 약 48Mbps 정도의 데이터 전송량이 필요하다. 즉 $4K(3,840 \times 2,160(\text{화소})) \times 24(\text{프레임}) \times 24(\text{RGB}) \times 0.01(\text{H.264 사용시 압축률}) = 48 \text{ Mbps}$ 정도 필요하다³⁾. 이러한 높은 전송량을 달성하기 위하여 기존의 ATSC와 같은 단일 안테나 시스템이 아닌 다중 안테나를 이용한 MIMO 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다⁴⁾.

MIMO 시스템은 공간 다이버시티(spatial diversity)를 이용하여 SER(symbol error rate)성능을 향상시키는 STC(space time coding) 기법, 각각의 송신 안테나에서 서로 다른 데이터를 전송하여 전송량을 증가시키는 공간 다중화(spatial multiplexing) 기법 및 공간 다이버시티와 공간 다중화를 둘 다 이용하는 하이브리드(hybrid) 기법으로 나눌 수 있다⁴⁾.

STC 기법 중에 가장 대표적인 STBC(space time block code) 기법은 직교성을 이용하여 정보를 송신하고 수신단에서는 수신된 정보를 쉽게 분리하여 ML(maximum likelihood) 검파 기법을 사용하여 신호를 검파하는 것이다. 또한 공간 다중화 기법을 이용하는 대표적인 방식에는 V-BLAST(vertical-Bell laboratories layered space time) 기법과 LDC 기법을 들 수 있다. V-BLAST 기법은 서로 다른 신호를 각각의 송신단에서 전송하며 수신된 신호는 OSIC(ordered successive interference cancellation) 방법을 이용하여 신호를 검파한다. LDC 기법은 선형 분산 행렬을 이용하여 정보를 전송 행렬에 분산 배치시켜 전송하고 수신단에서는 ML검파 방법을 이용하여 신호를 검파한다.

마지막으로 공간 다이버시티와 공간 다중화를 동시에 이용하는 하이브리드 STBC 기법은 송신단에서 STBC 전송 행렬을 여러 개 배치하여 STBC 기법보다 정보 전송량을 증가시킨다. 동일한 전송량 관점에서 성능 및 계산량을 비교하기 위하여 STBC를 제외한 세 개의 서로 다른 MIMO 전송 방식을 실험하였다. 실험 후 결과 분석을 통하여 최소 약 48Mbps가 필요한 UHDTV 시스템에 적합한 MIMO 기법 제시와 송·수신 안테나 개수 및 최적의 시스템 파라미터들을 고려하여 최적의 시스템을 제안하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II절에서는 서로 다

른 네 개의 MIMO 기법들에 대한 설명 및 분석을 통하여 각각의 시스템을 간략하게 설명하고 III절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 똑같은 전송량 관점에서 SNR 성능 및 복잡도 측면에서 비교하여 UHDTV 시스템에 가장 적합한 MIMO 기법을 제안한다. 마지막으로 IV절에서는 제안한 기법에 대한 향후 연구 방향을 제시하고 결론을 맺는다.

II. MIMO 전송 기법

1. STBC

STBC 기법은 다중경로와 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한 직교성을 이용하여 송신 신호를 만들어 전송한 뒤 수신단에서 수신된 신호를 복호화하면 ISI(inter symbol interference)를 완벽히 제거 할 수 있다⁵⁾. 따라서 수신기의 SER 성능을 향상시킬 수 있다. 그림 1은 두 개의 송·수신 안테나로 구성된 STBC 시스템의 블록도를 보여준다.

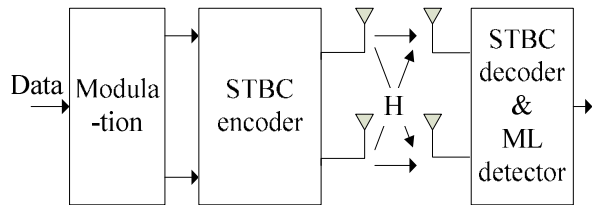


그림 1. STBC 기법 개념도
Fig. 1. STBC block diagram

송·수신 안테나 개수가 두 개인 STBC 전송 행렬은 다음과 같이 표현된다.

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

송신 안테나 두 개를 통하여 식 (1)과 같이 부호화된 신호 x_1, x_2 및 공액 복소수 x_1^*, x_2^* 를 채널을 통해 전송한 후 수신된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$ 는 신호가 통과한 레일리 (Rayleigh) 채널의 이득이고 $n_{11}, n_{12}, n_{21}, n_{22}$ 은 수신단의 0의 평균을 가지는 가우스(Gauss) 열잡음이다. 수신된 신호 $y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}$ 는 식 (3), (4)와 같이 STBC 복호 기법을 사용하여 ISI를 제거하고 추정된 신호 \tilde{x}_1, \tilde{x}_2 는 ML을 이용하여 검파한다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_1 &= h_{11}^*y_{11} + h_{12}^*y_{12} + h_{21}^*y_{21} + h_{22}^*y_{22} \\ &= (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2)x_1 \\ &\quad + h_{11}^*n_{11} + h_{12}^*n_{12} + h_{21}^*n_{21} + h_{22}^*n_{22} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{x}_2 &= h_{11}^*y_{11} - h_{12}^*y_{12} + h_{21}^*y_{21} - h_{22}^*y_{22} \\ &= (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2)x_2 \\ &\quad - h_{11}^*n_{12} + h_{12}^*n_{11} - h_{21}^*n_{22} + h_{22}^*n_{21} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 ISI를 제거하는 동시에 MRC(maximum ratio combining) 기법을 사용하여 수신 SNR 성능을 향상 시키게 된다. 이러한 STBC 기법은 공간다이버시티의 장점을 활용하지만 송신 안테나 두 개를 사용하여도 전송량은 단일 안테나 시스템과 동일한 단점이 있다. 즉, 송신 안테나 개수에 비례하여 전송률이 증가되지 않는다. 그러므로 많은 정보 전송량이 요구되어지는 UHDTV 시스템에는 부적합하다.

2. 하이브리드 STBC

본 장에서는 송신 안테나 두 개를 사용하는 STBC 전송 행렬을 송신단에 여러 개를 배치시켜 정보 전송량을 증가시키는 하이브리드 STBC 기법을 설명한다⁶⁾. 그림 2는 네 개의 송·수신 안테나로 구성된 하이브리드 STBC 기법의 블록도를 보여준다.

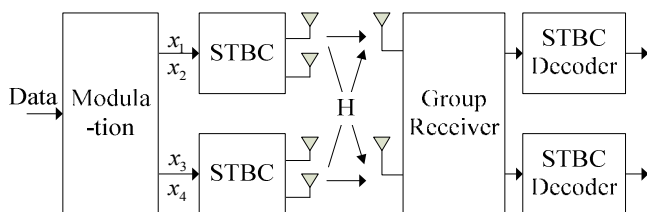


그림 2. 하이브리드 STBC 기법 개념도
Fig. 2. Hybrid STBC block diagram

연속적인 심볼 x_1, x_2, x_3, x_4 는 두 개의 2×2 STBC 전송행렬로 구성되어 네 개의 송신 안테나에서 전송되어 수신 신호는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 - x_2^* \\ x_2 & x_1^* \\ x_3 - x_4^* \\ x_4 & x_3^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)와 같이 수신된 데이터를 재구성하게 되면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12} \\ y_{21} \\ y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{12}^* - h_{11}^* & h_{14}^* - h_{13}^* \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{22}^* - h_{21}^* & h_{24}^* - h_{23}^* \end{bmatrix} \vec{n} \quad (6)$$

식 (6)을 벡터로 간단히 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{y} = H\vec{x} + \vec{n} \quad (7)$$

4개의 수신된 신호를 두 개씩 분리하여 STBC 복호를 하기 위하여 ZF(zero forcing)를 이용하는 방법으로 식 (7)의 채널 행렬의 각 2×2 원소 행렬들을 A, B, C, D 로 나타내면 다음과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (8)$$

A, B, C, D 의 역행렬을 이용하여 다음 식 (9)를 구성한 후 식 (7)의 양변에 곱하면 다음과 같다.

$$W^{ZF} = \begin{bmatrix} B^{-1} & -D^{-1} \\ A^{-1} & -C^{-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$W^{ZF}\vec{y} = W^{ZF}H\vec{x} + \vec{n} \quad (10)$$

식 (10)을 정리하면

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12} \end{bmatrix} &= B^{-1}A - D^{-1}C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_1 \\
 &= \begin{bmatrix} h'_{11} & h'_{12} \\ h'_{21} & h'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_1 \\
 \begin{bmatrix} y_{21} \\ y_{22} \end{bmatrix} &= A^{-1}B - C^{-1}D \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + n_2 \\
 &= \begin{bmatrix} h''_{11} & h''_{12} \\ h''_{21} & h''_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + n_2
 \end{aligned} \tag{11}$$

이 된다. 식 (11)은 식 (2)와 유사한 모양이 되며 이를 이용하여 식 (3), (4)와 같이 STBC 복호를 하여 x_1, x_2, x_3, x_4 를 추정한다. 마지막으로 ML을 통하여 신호를 검파하게 된다. 하이브리드 STBC의 전송량은 2×2 STBC 전송행렬 개수에 비례하여 늘어나며 수신단의 계산량이 적다. 하지만 송신 안테나 개수가 타 기법보다 두 배 정도 더 필요하며 ISI 제거를 위해 사용하는 ZF로 인하여 약간의 성능 저하가 있다.

3. V-BLAST

공간 다중화 방식은 각각의 안테나에서 서로 다른 정보를 전송하므로 전송량이 송신 안테나의 개수에 비례하여 늘어난다. V-BLAST 기법은 공간 다중화 방식의 대표적인 기법으로 서로 다른 안테나에서 전송된 서로 다른 신호를 수신기에서 OSIC 기법을 사용하여 신호 검파를 빠르게 할 수 있는 장점이 있다⁸⁾. 그러나 수신 SER 성능이 좋지 않기 때문에 본 논문에서는 최적의 검파 방법인 ML을 사용하였으며 수신식은 다음과 같다.

$$\tilde{x} = \min \| y - Hx \| \tag{12}$$

4. LDC

공간 다중화 방식은 각각의 안테나에서 서로 다른 정보를 전송하므로 전송량이 송신 안테나의 개수에 비례하여 늘어난다. LDC 기법은 채널 용량을 예측하고 전송할 신호를 분산시키는 선형 분산 행렬을 사용하여 신호를 전송한

다⁷⁾. LDC의 블록도는 다음과 같다.

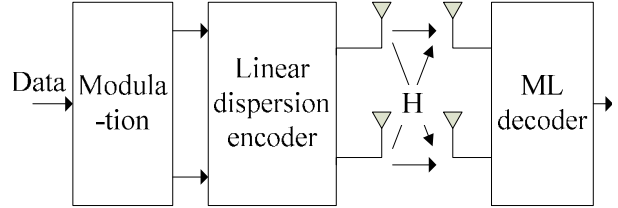


그림 3. LDC 기법 개념도
Fig. 3. LDC system block diagram

변조된 복소 심볼은 채널 용량을 예측하여 만들어진 선형 분산 행렬에 곱하여 전송되며 수신식은 다음과 같다.

$$s_q = \alpha_q + j\beta_q, \quad q = 1, \dots, Q \tag{13}$$

$$S = \sum_{q=1}^Q (\alpha_q I_q + j\beta_q L_q) \tag{14}$$

$$Q = \min(M, N) \times T \tag{15}$$

식 (13)와 같이 심볼 s 는 식 (14)의 선형분산행렬 I, L 에 곱하여 신호전송행렬 S 를 구성하게 된다. 식 (15)에서 나타내는 Q 값은 신호전송행렬 안에 서로 다른 심볼의 개수를 나타내며 그 값은 송신 안테나 개수 M 과 수신 안테나 개수 N 을 비교하여 구한 최소값과 신호전송행렬 S 의 길이 T 의 곱보다 작거나 같게 정의된다. T 는 한 심볼의 전송 시간을 나타내며 선형분산행렬 I 는 다음과 같다.

$$I_{M(k-1)+p} = L_{M(k-1)+p} = \frac{1}{\sqrt{M}} D^{k-1} \Pi^{p-1} \tag{16}$$

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

여기서

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

식 (16)을 살펴보면 선형분산행렬 I 와 L 이 서로 같고 송신 안테나 개수 M 에 따라서 행렬의 크기가 결정된다. 이렇게 결정된 선형분산행렬을 $M=2, Q=4$ 인 시스템에 적용하여 심볼 $s_k, s_{k+1}, s_{k+2}, s_{k+3}$ 을 전송한다. 전송된 신호는 채널을 통과하여 수신기에 수신되게 되며 이러한 과정을 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{R,1} \\ y_{L,1} \\ \dots \\ y_{R,N} \\ y_{L,N} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{\rho}{M}} H \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \alpha_q \\ \beta_q \end{bmatrix} + \vec{n} \quad (17)$$

식 (17)에서 채널행렬인 H 의 각 원소들은 신호가 통과한 채널의 상태의 실수 및 허수 값으로 재배열되게 된다. 이렇게 재배열된 수신행렬을 ML 기법을 이용하여 신호를 검파하게 된다. LDC 기법은 예측된 최대 채널 용량에 근접한 선형 분산 코드를 이용하여 신호를 분산시켜 전송한다. 수신기에서는 ISI 제거 없이 모든 채널 정보를 이용하여 ML 검파를 하기 때문에 SNR 성능이 좋다. 그러나 계산량은 송·수신 안테나 개수가 늘어날수록 지수적으로 증가하게 된다.

III. 모의 실험 및 고찰

UHDTV에 필요한 전송량을 STBC, 하이브리드 STBC 기법, V-BLAST 및 LDC 기법을 이용하여 계산하기 위하여 DVB-T2 규격을 참고하였다⁹⁾. 여기서 STBC 기법은 고려하지 않았다. 이유는 STBC 기법을 이용하여 송신 안테나 두 개를 이용하여 64-QAM의 신호를 보내게 되면 수신단에서는 12 비트 신호를 받게 된다. 이를 단일 안테나 시스템과 동일한 전송량을 가지는 STBC 기법을 사용하여 똑같은 전송량으로 전송하면 4096-QAM이라는 현실성 없는 변조레벨로 전송해야만 한다. 따라서 본 장의 모의 실험에서는 STBC 기법은 제외하고 나머지 3개의 기법의 성능 및 계산량 측면에서 비교하였다. UHDTV에 필요한 송신 안테나 개수를 DVB-T2 시스템 변조레벨 규격에 따라 대략 계

산하면 표 1과 같다.

표 1. UHDTV 시스템에 필요한 송신 안테나 개수
Table 1. Number of transmit antenna for UHDTV system

		하이브리드 STBC	LDC	V-BLAST
4K(48~60M bps)	QPSK	10 ~ 22	5 ~ 11	5 ~ 11
	16-QAM	6 ~ 12	3 ~ 6	3 ~ 6
	64-QAM	4 ~ 8	2 ~ 4	2 ~ 4
	256-QAM	4	2	2
8K(190~240 Mbps)	QPSK	36 ~ 80	18 ~ 40	18 ~ 40
	16-QAM	18 ~ 42	9 ~ 21	9 ~ 21
	64-QAM	12 ~ 26	6 ~ 13	6 ~ 13
	256-QAM	8 ~ 20	4 ~ 10	4 ~ 10

표 1을 살펴보면 각각의 4K, 8K 모드별로 변조레벨을 달리하였을 경우 필요한 송신 안테나 수를 나타내었다. UHDTV에 필요한 최소와 최대 안테나 개수는 DVB-T2 규격의 최대 전송량 및 최소 전송량 수치를 따랐다. 변조레벨에 따라서 필요한 송신 안테나 개수가 차이가 나며 최소, 최대 전송량 차이에 의해서도 송신 안테나 개수가 많은 차이가 있다. 본 논문에서는 4K모드 약 48Mbps를 구현하기 위하여 16-QAM, 64-QAM에 대하여 실험을 수행 하였다. 실험 조건은 표 2와 같다.

표 2. 실험 환경
Table 2. Simulation environment

	하이브리드 STBC	LDC	V-BLAST
변조레벨	16-QAM, 64-QAM	16-QAM, 64-QAM	16-QAM, 64-QAM
시스템	M=4, N=2	M=2, N=2	M=2, N=2
채널상태	레이리 채널	레이리 채널	레이리 채널
Code Gain	2	2	2

그림 4과 5에서는 하이브리드 STBC 기법과 LDC 기법의 SNR(signal to noise ratio)에 따른 SER 성능을 비교하였다.

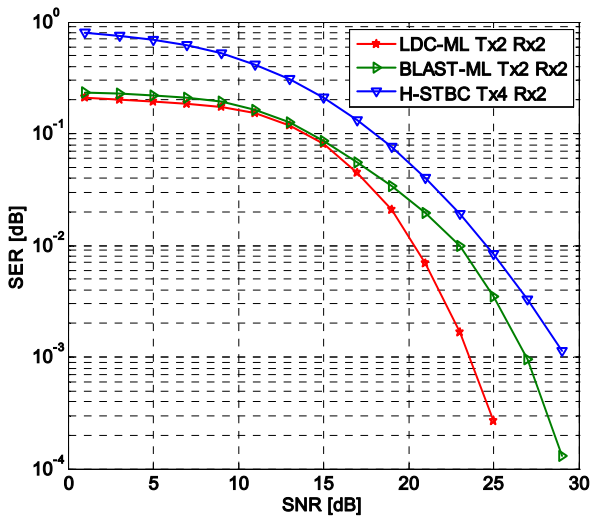


그림 4. 하이브리드 STBC, V-BLAST LDC의 SER 성능 비교(16-QAM)
 Fig. 4. Compare SER performance between Hybrid STBC, V-BLAST and LDC

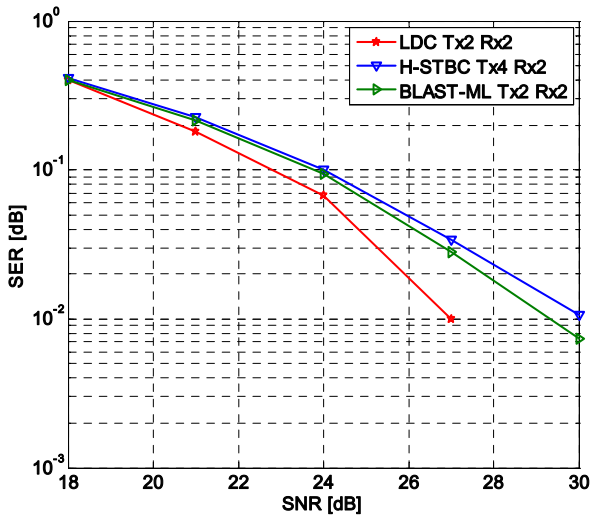


그림 5. 하이브리드 STBC, V-BLAST와 LDC의 SER 성능 비교(64-QAM)
 Fig. 5. Compare SER performance between Hybrid STBC, V-BLAST and LDC

그림 4와 5를 살펴보면 SER 10^{-2} 기준으로 LDC 기법이 다른 기법에 비해 약 2~3dB 정도 SER 성능이 더 좋을 수 있다. 성능의 차이가 나는 이유는 하이브리드

STBC 기법이 심볼간의 직교성을 이용하여 각각의 수신단에서 ISI를 제거한 후 검파하고 V-BLAST 기법은 송신단에서 어떠한 코딩도 하지 않고 수신단에서 ML 검파방법을 이용하는 반면, LDC 기법은 송신단에서 LD 코드를 통하여 신호를 분산시키고 수신된 모든 신호들을 이용하여 ML을 통해 검파하기 때문이다.

컴퓨터 실험을 통한 계산량 측면에서 살펴보면 표 3와 같으며 QPSK를 사용한 하이브리드 STBC의 계산량을 1로 두고 비례적으로 각각의 기법의 계산량을 나타내었다.

표 3. 변조 레벨에 따른 계산량 비교

Table 3. Compare complexity between Hybrid STBC, V-BLAST and LDC in modulation level

	QPSK	16-QAM
Hybrid-STBC	1	3.5
V-BLAST	0.91	12.4
LDC	16	3836

표 3에서 변조 레벨이 증가할수록 LDC 기법의 복잡도가 하이브리드 STBC 기법과 V-BLAST 기법에 비하여 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. LDC 기법의 계산량이 많은 이유는 2개의 송·수신 안테나를 가지는 시스템에서 송신 안테나에 최대의 다중화 이득을 내기 위하여 곱하여 주는 LD 코드의 영향으로 수신단에서 검파해야 하는 계산량이 늘어나기 때문이다. V-BLAST 기법은 QPSK 일 때는 하이브리드 STBC 기법보다 계산량이 적다. 이유는 하이브리드 STBC 기법이 전송단에서 STBC 기법 두 개를 사용하여 V-BLAST 기법과 동일하게 수신단에서 4개의 심볼을 ML 검파기법을 사용하여 검파한다. 그러나 하이브리드 STBC 기법은 두 개의 STBC 전송 행렬 신호를 따로 분리하기 위하여 ZF 기법이 사용되기 때문에 V-BLAST 기법 보다 계산량이 많다.

본 논문에서는 UHDTV 시스템이 요구하는 전송량을 충족시키기 위하여 DVB-T2 시스템을 이용하여 현재 제안되어진 MIMO 전송 기법들을 전송량 및 계산량 측면에서 비교해 보았다. DVB-T2 시스템은 8Mhz 대역폭을 사용하므로 6Mhz를 사용하는 ATSC 시스템에 맞게 변조하면 전송

량이 3/4로 떨어진다. 또한 레일리 채널에서 64-QAM을 사용하고 채널 코딩으로 LDPC(64800 비트) 코드를 4/5를 사용할 경우 BER 10^{-6} 을 달성하기 위하여 TOV(threshold of visibility) 약 19dB 정도 만족해야 한다. 그러므로 전송량을 계산해 보면 평균적으로 $30\text{Mbps} \times 2 \times 3/4 = 48\text{Mbps}$ 이다. 채널 코딩으로 인하여 SER 성능을 향상시켜도 SER이 가장 좋은 기법을 선택해야 한다. STBC 기법은 공간 다이버시티를 이용하여 수신 SER 성능을 향상시키지만 전송량이 늘어나지 않는 문제로 인하여 높은 전송량을 필요로 하는 UHDTV 시스템에는 적합하지 않다. 따라서 나머지 3개의 MIMO 전송 시스템인 하이브리드 STBC 기법(송신안테나 4개, 수신안테나 2개), V-BLAST(송신안테나 2개, 수신안테나 2개) 및 LDC 기법(송신안테나 2개, 수신안테나 2개)을 SER 성능 및 계산량 관점에서 비교하였다.

전체적인 성능 면에서는 LDC 기법이 우수하나 계산량 측면에서는 하이브리드 STBC 기법이 탁월한 성능을 보였다. 또한 V-BLAST 기법은 중간 정도의 SER 성능 및 계산량을 보였다. 이를 미루어 볼 때 수신 안테나의 개수가 한정되어 있고 송신 안테나의 개수가 많은 지상파 시스템일 경우 하이브리드 STBC 기법의 적용이 용이 할 수 있다. 그러나 48Mbps를 현실적으로 달성하기 위해서는 송·수신 안테나 개수가 두 개이고 변조 레벨이 64-QAM인 LDC 기법과 V-BLAST 기법이 가장 적합하다. 이것은 송신 안테나의 개수가 늘어날수록 커플링 효과를 방지하기 위하여 각각의 안테나 사이가 넓어져야 하기 때문이다. 특히 저주파수 대역의 신호를 전송할 때 많은 문제를 발생시킬 수 있으므로 송신 안테나 두 개를 사용하는 LDC 기법과 V-BLAST 기법이 차세대 UHDTV 방송에 가장 적합하다고 고려된다. 그러나 성능면에서 LDC 기법이 V-BLAST 기법보다 우월하므로 LDC 기법이 고전송량을 요구하는 UHDTV 시스템에 더 적합하다. 그러므로 기존의 MIMO 전송 기법들 중에서 고전송량이 요구되는 UHDTV 시스템을 구현하기 위해서는 송·수신 안테나 두 개를 가지는 LDC 전송 기법이 가장 적합하다.

IV. 결 론

UHDTV 시스템의 최소 요구치인 48Mbps의 높은 전송량을 달성하기 위하여 기존의 MIMO 시스템 전송 기법들을 비교 분석하였다. 이러한 기법들 중에서 LDC 기법이 수신 SNR 성능 및 적은 송·수신 안테나를 사용하기 때문에 가장 적합하다. 그러나 LDC 기법은 수신단의 높은 복잡도를 가지므로 이를 해결하기 위하여 하드웨어 성능 향상 및 ML 과 비슷한 성능을 가지면서 계산량을 줄여주는 SD(sphere decoding) 기법을 적용한다면 어느 정도의 성과는 거둘 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

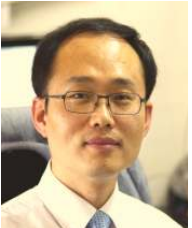
- [1] Y. Matsuo and S. Yano, "Converting Ultrahigh-Definition Video into Digital Cinema by Using Time-Expanding Bi-Directional Motion Estimation and Higher Green Frequency," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 65-75, Jan. 2010.
- [2] K. Mitani, M. Kanazawa, K. Hamasaki, Y. Nishida, K. Shogen, and M. Sugawara, "Current Status of Studies on Ultra High Definition Television," *SMPTE Motion Imaging Journal*, pp.377-381, September 2007.
- [3] ITU-T Recommendation 2003, ITU-T Recommendation for Advanced video coding for generic audiovisual services, ITU-T, 2003
- [4] C. K. Sung, H. Lee, H. Song, and I. Lee, "Decision feedback detection with error compensation for hybrid space-time block codes," *IEEE Communications Letters*, vol. 9, pp. 882-884, October 2005.
- [5] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [6] L. Zhao and V. K. Dubey, "Detection schemes for space-time block code and spatiol multiplexing combined system," *IEEE Commun., Lett.* vol. 9, no. 1, pp. 49-51 Jan. 2005.
- [7] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "VBLAST: An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-Scattering Wireless Channel," in *Proc. ISSE, Pisa, Italy*, September 1998.
- [8] 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.
- [9] European Telecommunication Standard, Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), June 2008.

저 자 소 개



조 봉 균

- 2008년 8월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사과정
- 주관심분야 : MIMO, 방송통신기술



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1989년 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 및 이동통신 신호처리