

논문 2008-45TC-3-5

# 개선된 SOSTBC 적용된 BICM

( BICM Applied to Improved SOSTBC )

박 종 철\*, 김 창 중\*\*, 이 호 경\*\*\*

( Jong-Chul Park, Chang-Joong Kim, and Ho-Kyoung Lee )

## 요 약

본 논문에서는 개선된 초직교 시공간 블록 부호(Super-Orthogonal Space-Time Block Code; SOSTBC)에 적용되는 비트 인터리브 된 부호화 변조(Bit-Interleaved Coded Modulation; BICM)를 제안하였다. 이 시스템은 초직교 시공간 격자 부호(Super-Orthogonal Space-Time Trellis Code; SOSTTC)와 비슷한 복잡도로 더 높은 부호 다이버시티를 얻을 수 있다. 이는 개선된 SOSTBC를 사용함으로써 비트 다이버시티가 SOSTBC의 최대 다이버시티까지 이를 수 있기 때문이다. 반면 Jafarkhani 등이 제안한 SOSTBC를 사용하는 BICM은 비트 다이버시티가 항상 1이 되기 때문에 SOSTTC 보다 높은 부호 다이버시티를 얻기 어렵다.

## Abstract

In this paper, we propose a bit-interleaved coded modulation (BICM) applied to improved super-orthogonal space-time block code(SOSTBC). The proposed system achieves a greater diversity gain than that of super-orthogonal space-time trellis code (SOSTTC) with similar decoding complexity. Since, using the improved SOSTBC, the bit diversity can be full diversity of SOSTBC. In contrast, BICM applied to Jafarkhani's SOSTBC is difficult to achieve a greater diversity gain than that of SOSTTC, because every bit diversity of the system is 1.

**Keywords :** SOSTTC, BICM, SOSTBC, Rayleigh fading channel, MIMO

## I. 서 론

Seshadri와 Jafarkhani가 제안한 초직교 시공간 격자 부호(Super-Orthogonal Space-Time Trellis Code; SOSTTC)<sup>[1]</sup>는 전송율의 손실 없이 부호 이득을 얻을 수 있는 방식으로 시공간 격자 부호(Space-Time Trellis Code; STTC)<sup>[2]</sup>와는 달리 복호 복잡도가 매우 낮다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 SOSTTC가 내부 변조 방식으로 확장된 직교 시공간 블록 부호

(Orthogonal Space-Time Block Code; OSTBC)를 사용하기 때문에 생기는 것이다. 이 부호집합은 두 개 이상의 OSTBC의 합집합으로 이루어져있다. 본 논문에서는 이 부호집합을 OSTBC의 상위 집합(super-set)이라는 의미에서 초직교 시공간 블록 부호 부호 (Super-Orthogonal Space-Time Block Code; SOSTBC)라고 부를 것이다. 한 마디로 SOSTTC는 SOSTBC에 격자 부호화 변조(Trellis Coded Modulation; TCM)를 적용한 것으로 이해될 수 있다.

일반적으로 한 개의 송신 안테나를 사용하는 고속 폐이딩 환경에서는 TCM 보다 비트 인터리브 된 부호화 변조방식 (Bit Interleaved Coded Modulation; BICM)의 성능이 더 뛰어난 것으로 알려져 있다<sup>[3]</sup>. 이는 비트 단위의 인터리빙을 통해 더 나은 다이버시티 이득을 얻을 수 있기 때문이다. 심볼 단위 인터리빙을 통해서는 오류 사건의 경로 상에서 서로 다른 심볼이 할당된 가지

학생회원, 홍익대학교 전자정보통신공학과  
(Dept. of Information and communication  
Engineering, Hong-Ik University)

\*\* 정회원, 홍익대학교 전자전기공학부  
(Dept. of Electronic and Electrical Engineering,  
Hong-IK University)

\* 이 논문은 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된  
연구임(KRF-2007-311-D00496)  
접수일자: 2008년3월20일, 수정완료일: 2008년3월20일

에서 발생되는 다이버시티가 1에 불과하지만, 비트 단위 인터리빙을 사용하게 되면, 두 심볼의 서로 다른 비트들이 각각 하나의 다이버시티를 발생시키게 된다. 즉 비트 단위 해밍 거리만큼의 다이버시티가 발생하게 되는 것이다. 이러한 개념은 두 개 이상의 송신 안테나를 사용하여 송신 다이버시티를 얻는 환경에서도 적용될 수 있다. 이 경우에는 서로 다른 비트들이 1에서 송신 다이버시티만큼의 다이버시티를 발생시킬 수 있게 된다. 이를테면 Alamouti의 OSTBC를 내부 변조로 사용하는 BICM의 경우에는 서로 다른 비트들에 의해 발생되는 다이버시티가 2가 된다. 그러므로 BICM-OSTBC는 매우 높은 다이버시티 이득을 가진다. 그러나 기존에 Jafarkhani 등이 제안하였던 SOSTTC에 사용된 SOSTBC에는 BICM을 적용하더라도 기대만큼 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 그 이유는 Jafarkhani 등이 제안한 SOSTBC의 비트 단위 다이버시티는 언제나 1에 불과하기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 다이버시티 이득을 위해 개선된 SOSTBC를 내부 변조 방식으로 사용해야 한다. 이에 본 논문에서는 참고문헌 [4]에서 제안된 개선된 SOSTBC를 내부 변조 방식으로 사용하는 BICM을 사용하여 높은 다이버시티 이득을 얻었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II, III장에서 논문에서 제안한 전체적인 시스템 모델 및 채널 모델에 대해서 언급하고, IV장에서는 Jafarkhani의 부호행렬과 개선된 부호행렬의 다이버시티에 대해 논하여 본다. 그리고 V장과 BICM-SOSTBC의 수신기에 대하여 알아보고, VI장의 모의실험을 통해 기존의 Jafarkhani가 제안한 부호행렬을 사용한 경우와 개선된 부호행렬을 사용한 경우의 BICM-SOSTBC 성능을 알아본다. 다음으로 VII장에서 결론 및 향후 연구방향에 대해 제시한다.

## II. 시스템 모델

시공간 블록 부호(STBC)의 신호행렬 외부에 격자부호를 연결하는 방법은 격자부호에 의한 부호화 이득과 다이버시티 이득은 얻을 수는 있지만 부호기의 부호율에 따른 전송율의 손실이 생기는 단점이 있다.

예를 들어,  $2 \times 2$  Alamouti 시공간 블록 부호를 BPSK 변조 방법을 사용하면 표현 가능한 모든 신호행렬의 집합은 4개의 신호행렬로 표현된다. 이러한 경우 부호율 2/3인 길쌈부호기를 사용하게 된다면 1bit의 전송율 손실이 발생하게 된다.

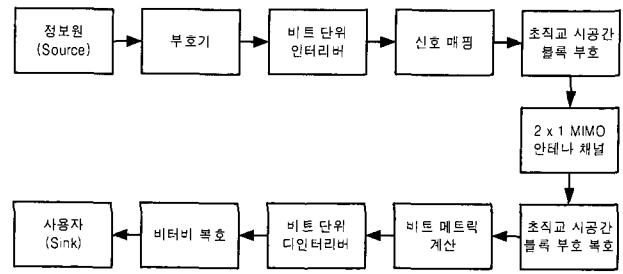


그림 1. BICM-SOSTBC의 블록도

Fig. 1. System block diagram of BICM-SOSTBC

하지만 Alamouti 신호행렬에 회전각  $\theta$ 를 가지는 유니터리 변환 행렬  $diag(e^{j\theta} 1)$ 을 곱하게 되면 직교성을 가지는 확장된 4개의 신호행렬을 더 만들 수 있음으로 1bit 전송율의 손실 없이 데이터를 전송할 수 있게 된다.

본 논문에서 제안한 전체적인 시스템 모델은 그림 1과 같이 표현할 수 있고, 길쌈부호기의 출력 신호열은 BICM을 적용할 경우, 비트단위로 뒤 섞인 후 SOSTBC에 매핑된다. 그림 1에서 SOSTBC는  $G(x_1, x_2, \theta)$ 는 Alamouti가 제안한 신호행렬에 아래와 같이 유니터리 변환(unitary transform)을 통해 신호행렬의 부류(class)를 생성한다. 이러한 신호 행렬은 Alamouti 신호 행렬의 특징인 직교성을 그대로 유지하기 때문에 복호시 Alamouti 신호 행렬과 유사한 형태의 간단한 복호가 가능해진다.<sup>[1]</sup>

$$G(x_1, x_2, \theta) = G(x_1, x_2) U = \begin{bmatrix} x_1 e^{j\theta} & x_2 \\ -x_2^* e^{j\theta} & x_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)의 행렬을 블록이라 정의하고, 첫 번째 행의  $x_1 e^{j\theta}, x_2$ 는 첫 번째 심볼 시간에 전송되는 심볼, 두 번째 행의  $-x_2^* e^{j\theta}, x_1^*$ 는 두 번째 심볼 시간에 전송되는 심볼에 해당하고, 첫 번째 행은 첫 번째 안테나 두 번째 행은 두 번째 안테나에서 전송되는 신호에 해당된다. 또한 본 논문에서는 부호행렬의 회전각이 0과 특정한  $\theta$  값을 가지는 경우만을 고려하여 BICM-SOSTBC에 적용하였다.

## III. 채널 모델

수신 안테나에서 받은 신호는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 e^{j\theta} & x_2 \\ -x_2^* e^{j\theta} & x_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

본 논문에서 가정한 채널모델은  $h_1, h_2$  가 서로 공간적으로 독립이고, 적어도 SOSTBC 하나의 신호 행렬이 전송되는 시간 동안, 즉 한 블록 시간 동안은 페이딩 성분이 일정하다고 가정하였다. 또한 잡음에 해당하는  $\eta_1, \eta_2$ 는 분산이  $N_0$  인 가산성 복소 백색 가우시안 (AWGN)이라 가정하였다.

#### IV. 개선된 부호행렬

SOSTBC는 두 개 이상의 OSTBC 부호의 합집합으로 이루어져 있다. 여기서 SOSTBC 부호 집합을 구성하는 각각의 OSTBC 부호 집합들을 클래스라고 부른다. 정의에 의하여 클래스 내의 모든 부호 행렬들은 서로 직교한다. 따라서 클래스 내의 서로 다른 부호 행렬 사이의 제곱 차분 행렬(클래스 내 제곱 차분 행렬)은 언제나 직교 행렬이며, 이 행렬은 언제나 최대 차수를 가진다. 즉 최대 다이버시티를 가진다. 그러나 클래스와 클래스 사이의 직교성은 보장되지 않는다. 따라서 서로 다른 클래스의 부호 행렬 사이의 제곱 차분 행렬(클래스 간 제곱 차분 행렬)은 최대 차수를 가지지 못할 수도 있다. 즉 최대 다이버시티를 가지지 못할 수도 있다. 대개 클래스와 클래스는 유니터리 변환 관계를 가지고 있다. 즉 하나의 클래스에 유니터리 변환을 취하면 다른 클래스를 얻을 수 있다. Jafarkhani 등은 이 유니터리 변환 행렬로  $diag(e^{j\theta} 1)$ 을 사용했으며,  $\theta$ 를 특수한 값으로 고정하여 신호 성좌의 확장을 막았다. 여기서 신호 성좌는 식 (1)의 부호 행렬의 각 원소들이다. 예를 들어 QPSK 신호 성좌를 사용하는 경우,  $\theta$ 를  $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$  중 하나를 사용하면, 신호 성좌의 확장 없이 부호 집합을 확장할 수 있다. 그러나 이러한 경우에는 클래스 간 제곱 차분 행렬의 차수가 언제나 1이 된다. 따라서 Jafarkhani 등이 제안한 유니터리 변환 방식은 다이버시티 이득 면에서는 바람직하지 못한 선택이다. 이러한 이유로 참고문헌 [4]에서는 Jafarkhani의 유니터리 변환 행렬을 개선하여 신호 성좌의 확장을 허용하는 대신 클래스 간 제곱 차분 행렬의 차수를 가능하면 최대가 되도록 하는 방식을 제안하였다. 이 방식은 클래스 간 제곱 차분 행렬의 고유치의 최소값을 최대화하는  $\theta$ 를 사용하는 것이다. 이러한 유니터리 변환 행렬의 최적  $\theta$ 는 표 1과 같다. 표 2는 BPSK 변조방법을 사용하였을 때, Jafarkhani의 SOSTBC 부호행렬과 참고문헌 [4]에서 제안한 개선된 SOSTBC 부호 행렬을 사용한 경우의 신호성좌와 매핑을 나타낸 것이다.

표 1 Jafarkhani가 제안한 SOSTBC의 회전각과 참고 문헌 [4]에서 제안한 개선된 SOSTBC 회전각

Table 1. Phase rotating angle of Jafarkhani's SOSTBC and that of improved SOSTBC proposed in [4].

	Seshadri & Jafarkhani	개선된 회전각
BPSK	180 degree	60 degree
QPSK	90 degree	34 degree
8-PSK	45 degree	18 degree

표 2. Jafarkhani의 SOSTBC와 개선된 SOSTBC

Table 2. Jafarkhani's SOSTBC and improved SOSTBC.

Jafarkhani	000	001	010	011
부호행렬	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 100 \\ 101 \\ 110 \\ 111 \end{bmatrix}$			
	$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 000 \\ 001 \\ 010 \\ 011 \end{bmatrix}$			
개선된	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$
부호행렬	$\begin{bmatrix} 100 \\ 101 \\ 110 \\ 111 \end{bmatrix}$			
	$\begin{bmatrix} e^{j\frac{\pi}{3}} & 1 \\ -e^{j\frac{\pi}{3}} & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -e^{j\frac{\pi}{3}} & -1 \\ e^{j\frac{\pi}{3}} & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -e^{j\frac{\pi}{3}} & 1 \\ -e^{j\frac{\pi}{3}} & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} e^{j\frac{\pi}{3}} & -1 \\ e^{j\frac{\pi}{3}} & 1 \end{bmatrix}$

표 3 가지 다이버시티 (Jafarkhani의 SOSTBC에 대해)  
Table 3 Branch diversity (for Jafarkhani's SOSTBC)

	000	001	010	011	100	101	110	111
000	0	1	1	2	1	2	2	3

표 4. 가지 다이버시티 (개선된 SOSTBC에 대해)  
Table 4. Branch diversity (for improved SOSTBC).

	000	001	010	011	100	101	110	111
000	0	2	2	4	1	3	3	5

표 3과 4는 각각 Jafarkhani의 SOSTBC를 사용하는 경우와 개선된 SOSTBC를 사용하는 경우 대하여 BICM-SOSTBC에서 전송된 신호가 표 1의  $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$ 라고 가정할 때, 가지(branch) 다이버시티를 나타낸 것이다.

표 3과 4에서 알 수 있듯이 Jafarkhani가 제안한 부호행렬을 사용할 경우 비트 다이버시티는 최대 3까지 얻어지는 반면, 개선된 부호행렬을 사용하였을 때에는 최대 5의 다이버시티가 얻어진다. 각각의 경우 얻어지는 최대 가지 다이버시티는 SOSTBC의 최대 가지 다이버시티인 2보다는 큰 값이다. 그러나 성능에 지배적인 영향을 미치는 것은 최대 가지 다이버시티가 아니라 최소 다이버시티이다. 최소 다이버시티는 기존의

SOSTTC와 표 3, 표 4의 경우 모두 1이 된다. (0이 되는 경우는 사소한 경우이므로 제외한다.) 최소 가지 다이버시티 다음으로 성능에 영향을 미치는 요소는 최소 가지 다이버시티의 개수가 될 것이라고 예측할 수 있다. 이는 표 3의 경우가 SOSTTC의 경우 보다 더 크고, 표 4의 경우가 SOSTTC 보다 더 작다. 따라서 Jafrahan의 SOSTBC를 사용하는 BICM의 성능은 SOSTTC 보다 좋아지기 어려운 반면, 개선된 SOSTBC를 사용하는 BICM은 SOSTBC 보다 우월한 성능을 보일 것이라고 예측할 수 있다.

## V. BICM-SOSTBC

부호화 변조방식에는 Ungerboeck이 제안한 격자 부호화 방식(TCM)과 페이딩 환경에 적합하도록 개선된 비트 인터리브 된 부호화 변조방식(BICM)이 있다. 페이딩 채널에서 부호화 변조 방식의 성능은 부호다이버시티에 의해서 결정된다. 이러한 부호다이버시티를 증가시키기 위해서 비트 단위의 인터리빙과 비트 단위의 연관성 메트릭을 이용해 수신된 후보신호를 추정한다면 더 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

반복복호(iterative decoding)가 없는 ML복호(Viterbi algorithm)를 고려한다면 부호열(code sequence)  $\underline{c}$ 는 인터리버에 의해서 인터리브 된 후 변조기에서 신호열(signal sequence)  $\underline{x}$ 로 매핑되어 채널을 통해 전송된다. 여기서 부호열  $\underline{c}$ 는 이진 비트  $c_k \in \{0,1\}$ 의 시퀀스이고, 신호열  $\underline{x}$ 는 신호  $x_k \in \chi$ 의 시퀀스이다. 비트 단

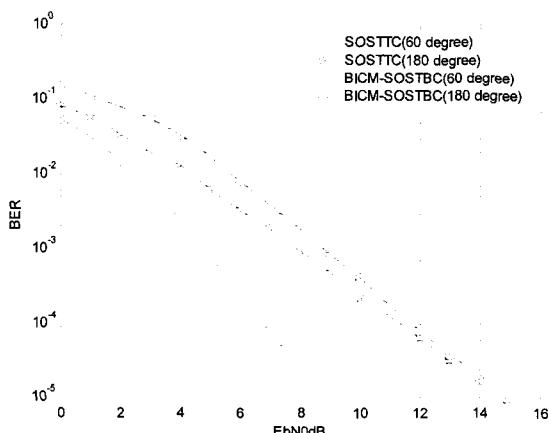


그림 2. SOSTTC, BICM-SOSTBC의 BER  
(회전각: 60도, 180도 / 변조방법: BPSK)  
Fig. 2. BER graphs of SOSTTC and BICM-SOSTBC.  
(phase rotating angle: 60°, 180° / modulation:BPSK)

위 인터리버는 일 대 일 대응  $\pi: k \rightarrow (k', i)$ 으로 나타낼 수 있으며,  $k$ 는 부호화된 비트  $c_k$ 가 전송되는 시간 순서를 나타내고,  $k'$ 는 채널로 전송되는 신호  $x_{k'}$ 의 시간 순서를 나타내며,  $i$ 는  $c_k$ 라는 비트가  $x_{k'}$ 의 라벨에서 차지하는 위치를 나타낸다. 또한 비트 단위 인터리버는 이상적인 인터리버라고 가정한다. 편의상  $x$ 의 라벨의  $i$  번째 비트의 값이  $b \in \{0,1\}$ 인 라벨을 가지는 신호의 집합을  $\chi_b^i$ 라고 하자. 또한,  $y$ 는  $x$ 를 전송했을 때의 채널의 출력을 나타낸다고 하자. 이 때, 채널 복조기가 채널 상태(CSI)를 알고 있다고 가정하면, SISO 채널에서의 ML 비트 메트릭은 아래와 같이 구해진다<sup>[3]</sup>.

$$\lambda^i(y_k, c_k) = \min_{x \in \chi_b^i} \|y_k - hx\|^2 \quad (3)$$

여기서  $y_k$ 는  $k$ 번째 시간에 전송된 심볼을 나타내고  $h$ 는 채널 계수를 나타낸다. 전송된 이진 부호열을  $\underline{c}$ , 수신기에서 추정한 부호열을  $\hat{\underline{c}}$ 라고 채널의 정보가 주어져 있다고 가정하면 ML 비트 메트릭은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\underline{c}} = \arg \min_{\underline{c} \in C} \sum_k \lambda^i(y_k, c_k) \quad (4)$$

이러한 SISO 채널의 결과를 확장하여 MIMO 채널을 사용하는 BICM-SOSTBC에 적용하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\lambda^i(Y_k, c_k) = \min_{X \in \chi_b^i} \|Y_k - HX\|_F^2 \quad (5)$$

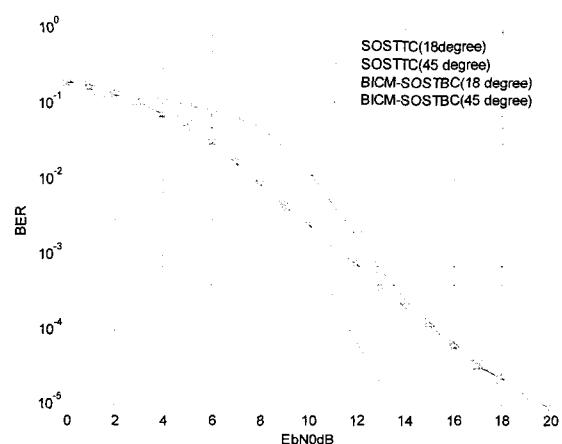


그림 3. SOSTTC, BICM-SOSTBC의 BER  
(회전각: 18도, 45도 / 변조방법: 8-PSK)  
Fig. 3. BER graphs of SOSTTC and BICM-SOSTBC.  
(phase rotating angle: 18°, 45° / modulation:8-PSK)

여기서  $X$ 는 SOSTBC의 부호 행렬을 나타내고,  $\|(\cdot)\|_F^2$ 는  $Tr\{(\cdot)^H(\cdot)\}$ 으로 표현된다. 위 식에서 알 수 있듯이 각  $c_k$ 의 비트 메트릭은  $\|Y_k - HX\|_F^2$  을 최소화하는 하는 값을 선택한다.

$$\hat{c} = \arg \min_{c \in C} \sum_k \lambda^k (Y_k, c_k) \quad (6)$$

BICM-SOSTBC 수신단에서의 ML 복호기는 위 식을 통해 후보 신호를 결정하기 된다.

## VI. 모의실험 결과 및 분석

본 절에서는 모의실험을 통하여 개선된 SOSTBC에 적용된 BICM의 성능을 Jafarkhani의 SOSTBC에 적용된 BICM 및 SOSTTC와 비교한다. 신호 성좌의 매핑 방식은 모두 자연적 매핑(natural mapping)을 사용한다. 또한 변조 방식으로는 BPSK를 적용한 경우와 8-PSK를 적용한 경우를 다룬다.

BPSK가 적용된 SOSTTC의 경우에는  $h=[4 \ 2 \ 7]$  부호기를 사용했고, BICM-SOSTBC의 경우에는  $h=[3 \ 5 \ 7]$  부호기를 사용했다. 각각의 부호기는 조직적 귀환 부호기의 8진 표기법으로 표현된 것이다. 또한 SOSTTC를 위한 부호기는 고속 레일리 페이딩에 적합한 SOSTTC를 위한 부호기로 참고문헌 [4]에서 설계된 부호기이며, BICM-SOSTBC를 위한 부호기는 같은 부호율과 구속장을 가지는 최적의 이진 길쌈 부호기이다. 그림 2는 BPSK를 사용하는 경우 기존의 SOSTTC, 참고문헌 [4]의 개선된 SOSTTC, Jafarkhani의 SOSTBC를 사용하는 BICM, 참고문헌 [4]의 개선된 SOSTBC를 사용하는 BICM의 성능을 비교한 것이다. 비교 결과 예상했던 바와 같이 개선된 SOSTBC를 사용하는 BICM의 성능이 가장 우수한 것을 확인할 수 있으며, Jafarkhani의 SOSTBC를 사용한 BICM의 성능이 가장 열악한 것을 알 수 있다.

한편 8-PSK가 적용된 SOSTTC의 경우에는  $h=[1 \ 2 \ 4 \ 0 \ 2 \ 10 \ 0]$ 를 사용하였고, BICM-SOSTBC의 경우에는  $h=[35 \ 37 \ 17 \ 33 \ 31 \ 33 \ 25]$ 를 사용하였다. 이 시스템들의 모의실험 결과는 그림 3에 제시되어 있다. 그림 3의 그래프들도 전체적으로 그림 2와 비슷한 경향을 보인다. 즉 개선된 SOSTBC를 사용하는 BICM의 성능이 가장 우수하며, Jafarkhani의 SOSTBC를 사용한 BICM의 성능이 가장 열악하다. BICM-SOSTBC의 모

의실험이 차후 적절한 매핑방법과 최적 부호기 검색이 이루어진다면 더 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 있을 것이다.

## VII. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 개선된 SOSTBC에 BICM을 적용하여 SOSTTC 보다 더 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 개선된 부호행렬은 Jafarkhani가 제안 하였던 부호행렬과는 달리 적절한 회전각을 사용하여 가지 다이버시티를 증대시킨 것이다. 일반적으로 고속 레일리 페이딩 채널에서는 그레이 매핑이 좋은 성능을 나타낸다고 알려져 있다. 그러므로 BICM-SOSTBC에 적합한 그레이 매핑을 적용하면 더 큰 성능의 향상을 기대할 수 있다. 하지만 M-PSK변조방식에서 M의 차수가 증가함에 따라(M=2 4 8) 8!, 32!, 128! 만큼의 매핑 방법이 존재하기 때문에 전역 검색을 사용해서 최적의 매핑 방식을 찾아내기에는 어려움이 있다. 따라서 새로운 매핑방법을 설계하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 논문에서 사용된 BICM-SOSTBC의 부호기는 송신 다이버시티가 존재하는 SOSTBC에 적합하게 설계된 최적 부호기가 아니다. 송신 다이버시티가 존재하지 않는 환경에서는 기존의 최적 이진 길쌈 부호기를 사용하는 것만으로 충분하지만, SOSTBC와 같이 송신 다이버시티가 존재하여 비트 단위 다이버시티가 일정하지 않은 경우에는 이를 반영한 새로운 최적 부호기의 설계가 가능하다. 따라서 이러한 주제에 대한 연구도 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Jafarkhani and N. Seshadri, "Super-orthogonal space-time trellis codes" IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 49, pp. 937-950, Apr, 2003.
- [2] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communications: Performance analysis and codeconstruction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.44, pp. 744-765, Mar 1998.
- [3] G. Caire, G. Taricco, E. Biglieri, "Bit-interleaved coded modulation" IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, no. 3, pp. 927-946, May 1998.
- [4] 김창중, 허서원, 이호경 "고속 레일리 페이딩 채널에 적합한 개선된 초직교 시공간 격자 부호", 한국

통신학회, 한국통신학회논문지 제32권 제9호(통신  
이론 및 시스템), 2007. 9, pp. 820~825

---

### 저 자 소 개

---



**박 종 철(학생회원)**  
 2007년 홍익대학교 전자전기  
 공학부 졸업 (공학사)  
 2007년 ~ 현재 홍익대학교 대학원  
 전자전기통신공학과  
 석사과정  
 <주관심분야 : 채널코딩, BICM,  
 이동통신, Space-Time Coding>



**김 창 종(정회원)**  
 2000년 2월 홍익대학교 전자전기  
 공학부 졸업 (공학사)  
 2002년 2월 홍익대학교 대학원  
 전파공학과 (공학석사)  
 2002년 3월 ~ 현재 홍익대학교  
 대학원 전파통신공학과  
 박사과정

<주관심분야 : 채널 코딩, TCM, 이동통신,  
 Space-Time Coding>



**이 호 경(정회원)**  
 1981년 서울대학교 전자공학과  
 졸업 (공학사)  
 1987년 Northrop Univ. 전자  
 공학과 졸업 (공학석사)  
 1994년 U.S.C. 전기공학과 졸업  
 (공학박사)  
 1994년 ~ 현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수  
 <주관심분야 : 채널 코딩, TCM, Turbo TCM,  
 이동통신, 위성통신>