

STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템의

성능 분석

강철규* · 오창현*

*한국기술교육대학교

Performance Analysis of HDR-WPAN System

with STBC based on STTC Scheme

Chul-Gyu Kang* and Chang-Heon Oh*

*Korea University of Technology and Education

E-mail : swing98@kut.ac.kr

요 약

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템의 신뢰성을 향상시키는 방안으로 STTC 기법과 STTC 기반 STBC 기법을 제안하였고, 그 성능을 슬로우 페이딩 환경에서 분석하였다. 제안한 두 기법은 추가적인 대역폭의 증가 없이 부호화 이득과 다이버시티 이득을 갖는다. 그러나 시스템의 신뢰성 측면에서 STTC 기반 STBC 기법이 STBC의 추가적인 다이버시티 이득 때문에 STTC 기법보다 BER= 10^{-3} 에서 약 4dB정도 우수하였다. 이 결과를 통해 HDR-WPAN 시스템에 더 좋은 통신 신뢰성 확보, 채널용량의 증가를 위해서는 STTC 기반 STBC 기법의 적용이 STTC 기법을 적용하는 것이 보다 바람직함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed two systems, STTC scheme and STBC based on STTC scheme, to enhance the reliability of HDR-WPAN system and analyzed BER(bit error rate) performance of the proposed systems over the slow fading channel. The proposed systems obtained a diversity gain and coding gain without increasing an additional channel bandwidth. However, in terms of reliability, about 4dB improvement at BER= 10^{-3} was obtained by the STBC based on STTC scheme because of the additional diversity gain of STBC. From these results, STBC based on STTC scheme was more appropriate to improve the reliability and channel efficiency of HDR-WPAN system.

키워드

STBC, STTC, Concatenated Code, HDR-WPAN, Home Network

1. 서 론

차세대 홈네트워크 시스템에서는 멀티미디어 통신 서비스를 제공하기 때문에 전송해야 할 정보량이 크게 늘어나게 된다. 특히 동영상 신호나 음성신호는 채널간의 간섭, 전송 손실, 다중경로 페이딩 같은 물리적인 특성에 민감하기 때문에 이를 안정적으로 전송하기 위해서는 무선채널 특성에 강한 무선통신 시스템을 구현하는 것이 필

수적이다. 무선채널 특성을 극복하는 방법으로 특히 다중안테나 방식(MIMO)인 시공간 트렐리스 코드 (STTC; Space-Time Trellis Codes)와 시공간 블록 코드 (STBC; Space-Time Block Codes)가 주목받고 있다.

시공간 트렐리스 코드 STTC는 TCM (Trellis Coded Modulation)과 전송 다이버시티 기술이 결합되어 설계된 MIMO 기술로서 V. Tarokh 등에 의해 제안되었다[1]. STTC는 송수신 다이버시

터 이득과 부호이득을 동시에 가질 수 있으며, 채널의 효율성 면에서도 우수하다. 그러나 Y. Gong 등은 STTC의 성능이 다중경로 페이딩 채널의 시간지연 확산에 의하여 감쇄됨을 보이고, 등화기와 같은 ISI를 제거하는 구조가 필요하며, 시스템의 복잡도를 증가시키는 문제점을 가지고 있음을 제시하였다[2].

시공간 블록 코드 (STBC)는 Alamouti등이 제안한 기술로서 부호이득은 없는 대신 다이버시티 이득을 제공하고 다중 사용자들에 의한 간섭도 제거할 수 있는 장점을 가지며, 수신 단말기 상에서 간단한 선형 처리과정을 통하여 다이버시티 이득을 얻어낼 수 있는 장점을 가진다[3]. 그러나 채널코딩을 하지 않기 때문에 부호화 이득은 없다.

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템에 최대 공간 다이버시티 이득과 부호이득 그리고 채널의 효율성을 동시에 갖는 STTC 기반 STBC 코드를 적용하고 이를 STTC 기술을 적용한 시스템과 슬로우 페이딩 환경에서 시뮬레이션을 통해 신뢰성 측면에서 분석한다.

II. 시스템 모델

2-1 STTC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템

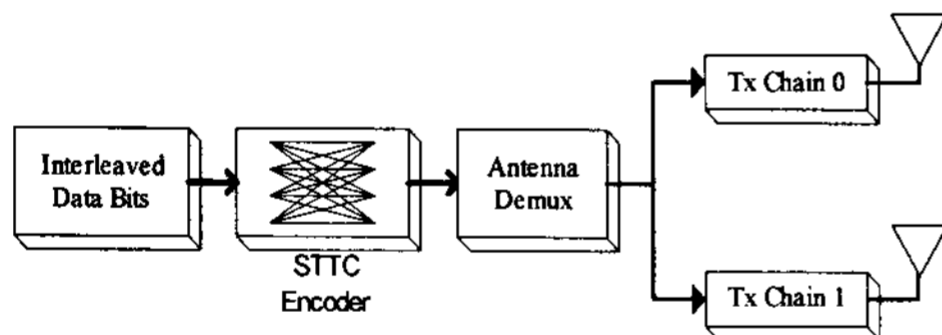


그림 1. STTC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템

그림 1은 STTC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템의 블록 다이어그램이다. 인터리버를 거친 입력 데이터들은 그림 2와 같은 시공간 트렐리스 엔코더로 입력되고 입력된 데이터에 표 2와 같은 생성행렬을 곱한다[5],[6].

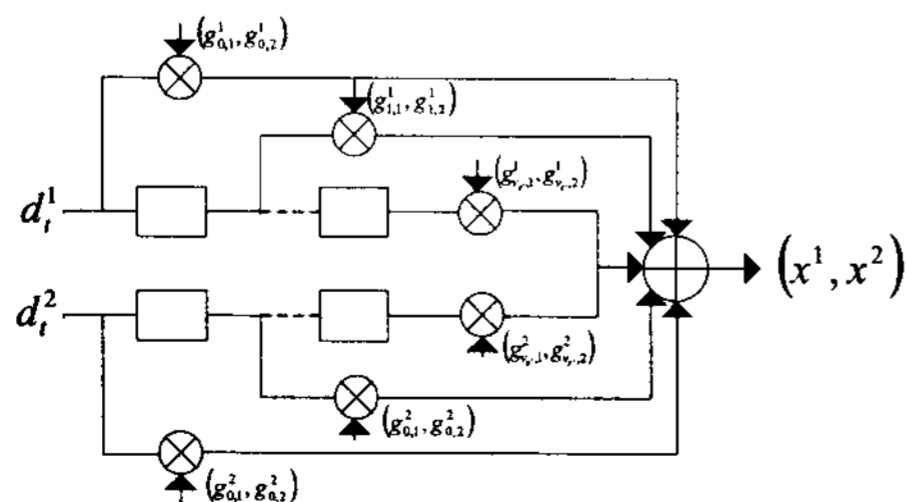


그림 2. STTC 엔코더

엔코더에서 출력된 데이터들은 식 (1)과 같이

각각의 송신 안테나에 맞도록 배열된 후 시간 t 에 M_T 개의 송신 안테나들로부터 동시에 전송된다. T 는 전치행렬을 의미한다.

$$x_t = (x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^{M_T})^T \quad (1)$$

표 2. STTC 엔코더를 위한 생성행렬

4-PSK	4-state		8-state	
	생성행렬	이득	생성행렬	이득
Tarokh	$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	4	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	12
Baro	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$	8	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	16
Grimm	$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	8	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$	16

전송된 신호는 각기 다른 경로와 서로 독립적인 페이딩 환경에 의해 왜곡되어 M_R 개의 수신 안테나로 수신된다. 각각의 시간 t 에서 j 번째 안테나를 통해 수신된 기저대역 등가신호를 r_t^j 라고 표현하면 그 표현식은 식 (2)와 같다.

$$r_t^j = \sum_{i=1}^{M_T} h_{i,j}^t x_t^i + n_t^j \quad (2)$$

여기서, $h_{i,j}$ 는 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 간의 페이딩 경로 이득을 나타내며, 시간 t 에서의 잡음을 나타내는 n_t^j 는 평균이 0이고, 분산이 σ_n^2 인 복소 가우시안 랜덤 변수이다.

채널 상태에 대한 정보를 이상적으로 추정할 수 있다고 가정하면 페이딩에 의해 왜곡된 수신 신호들을 복호하는 방법은 식 (3)과 같이 예상 신호와 실제 수신된 신호 사이의 유클리디언 값을 구함으로서 가능하다.

$$\min \sum_t \sum_{j=1}^{M_R} \left| r_t^j - \sum_{i=1}^{M_T} h_{i,j}^t x_t^i \right|^2 \quad (3)$$

디코더는 이 유클리디언 값을 가지고 비터비 디코더를 구현함으로써 원하는 신호를 찾을 수 있다. 그러나 수신 안테나의 수가 고정된 상태에서 송신 안테나의 수를 증가시키면 시스템 구성의 복잡도가 지수적으로 증가하게 된다.

2-3 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템

그림 3은 HDR-WPAN 시스템에 STTC 기반

STBC 기법을 적용한 시스템의 블록 다이어그램이다. 그림 3에서 보는 것과 같이 인터리버를 거친 데이터 비트들은 우선 STTC 엔코더에 의해 변조된 후 STBC 엔코더로 보내진다. STBC 엔코더에서는 STTC 엔코더로부터 입력된 2개의 심볼 x_0, x_1 를 $x_0, x_1, -x_1^*, x_0^*$ 과 같이 생성하고, 시간 $t=t_0$ 에서 x_0 은 1번째 송신 안테나를 통해 전송되고 동시에 x_1 는 2번째 송신 안테나를 통해 전송된다. 심볼 주기 T_s 만큼 지연된 시간 $t=t_0+T$ 에서 심볼 $-x_1^*, x_0^*$ 이 1, 2번 안테나를 통해 각각 전송된다.

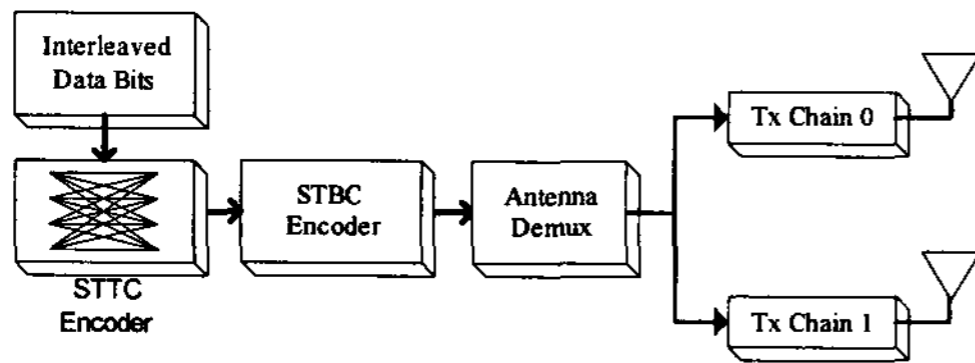


그림 3. STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템

각 안테나를 통해 전송된 신호는 두 심볼 주기 $2T_s$ 동안 변하지 않고(quasi-static), 인접 심볼간 간섭이 없는(flat) 채널 h_0, h_1 을 겪는다고 가정하면 심볼 주기 T_s 간격을 두고 수신된 두 신호 r_0, r_1 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0x_0 + h_1x_1 + n_0, \\ r_1 &= -h_0x_1^* + h_1x_0^* + n_1. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 n_0 와 n_1 은 평균이 0이고 분산이 σ_n^2 인 복소 가우시안 랜덤 변수이다. 식 (4)를 이용하여 다이버시티 이득을 얻기 위해 MRC (maximum ratio combining) 기법을 적용한 결과는 다음과 같다

$$\begin{aligned} \tilde{x}_0 &= h_0^*r_0 + h_1r_1^* \\ &= (|h_0|^2 + |h_1|^2)x_0 + h_0^*n_0 + h_1n_1^*, \\ \tilde{x}_1 &= h_1^*r_0 - h_0r_1^* \\ &= (|h_0|^2 + |h_1|^2)x_1 + h_1^*n_0 - h_0n_1^*. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} m(\tilde{x}_0, x_i) &= (|h_0|^2 + |h_1|^2 - 1)|x_i|^2 + d^2(\tilde{x}_0, x_i), \\ m(\tilde{x}_1, x_i) &= (|h_0|^2 + |h_1|^2 - 1)|x_i|^2 + d^2(\tilde{x}_1, x_i). \end{aligned} \quad (6)$$

이 결과는 소프트 다시전 비터비 디코더로 보

내지고 비터비 디코더에서는 식 (6)과 같은 방법으로 가지 값을 계산한다. $m(\tilde{a}, b)$ 는 신호 a와 b의 유클리디안 거리 값으로 식 (7)과 같다.

$$m(\tilde{a}, b) = (a-b)(a-b)^*. \quad (7)$$

IV. 성능평가

이 장에서는 HDR-WPAN 시스템의 신뢰성 향상 방안으로 STTC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템과 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템을 하나의 패킷이 전송될 동안 채널 환경이 변하지 않는 슬로우 페이딩 환경에서 시뮬레이션 하고 그 결과를 분석한다. 모든 시스템에서는 QPSK 변조 방식을 사용하였으며, 최대 2개의 송수신 안테나를 사용하였다.

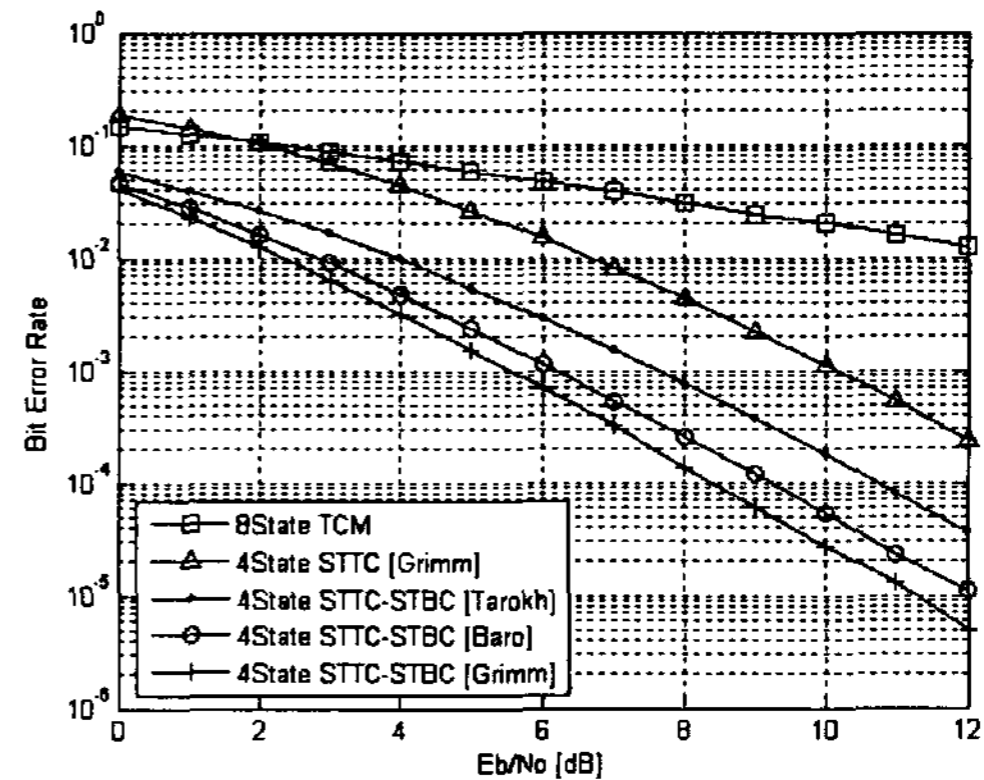


그림 4. 4-State STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템의 비트 오율

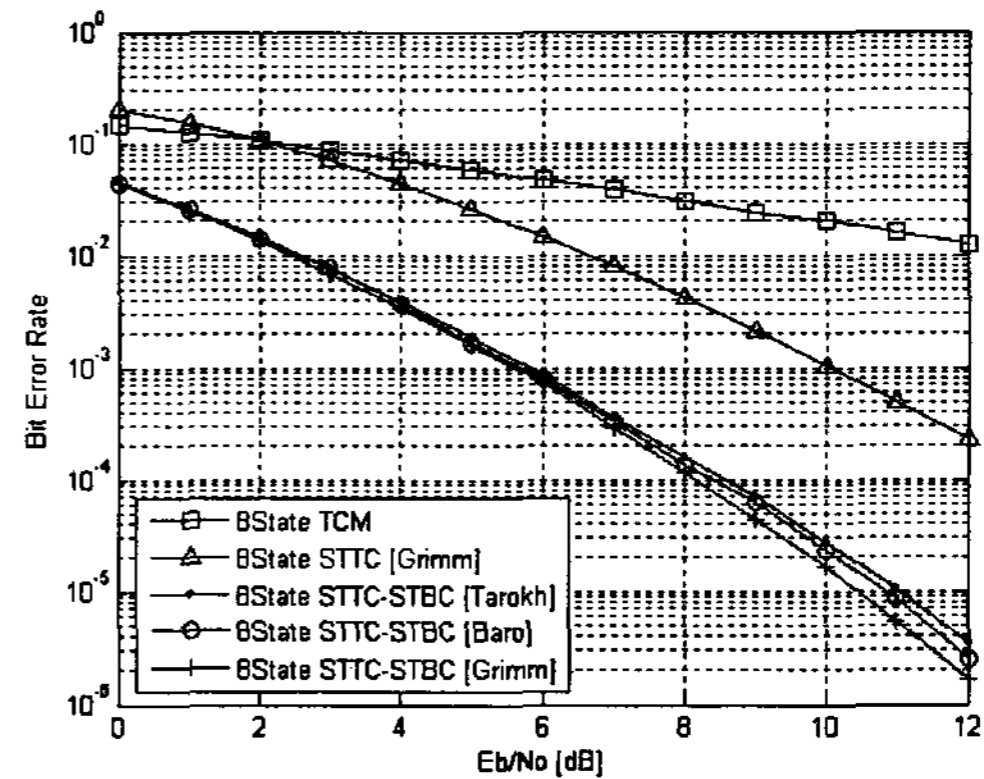


그림 5. 8-State STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템의 비트 오율

그림 4와 5는 2개의 송수신 안테나를 사용하는

4-state와 8-state STTC 기반 STBC 기법 HDR-WPAN 시스템의 생성행렬에 따른 비트오율 성능이다. 4-state STTC 기반 STBC 기법에서는 Grimm이 제안한 생성행렬을 사용한 시스템의 성능이 Tarokh가 제안한 생성행렬을 사용한 시스템보다 비트 오율 10^{-3} 에서 약 2dB의 부호이득을, 8-state의 STTC 기반 STBC 기법에서는 약 0.5dB의 시스템 이득을 보였다. 이것은 Grimm이 제시한 생성행렬의 부호이득이 Tarokh가 제안한 생성행렬의 부호이득보다 크기 때문이다. 또한, 제안한 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 시스템은 STBC 기법의 추가적인 다이버시티 이득 때문에 STTC 기법을 적용한 시스템 보다 10^{-3} 의 BER에서 약 4.5dB (4-state), 약 4dB (8-state) 우수함을 확인할 수 있다.

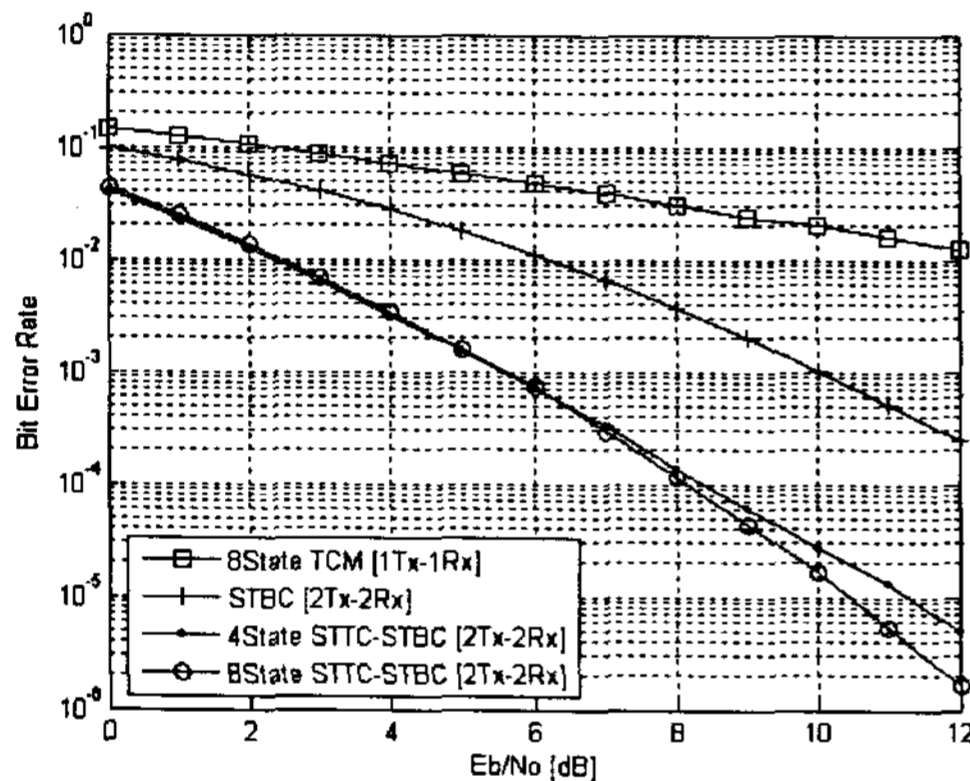


그림 6. STTC 기반 STBC 시스템의 부호화 이득과 다이버시티 이득 비교

그림 6은 제안한 두 시스템들의 부호화 이득과 다이버시티 이득을 비교한다. 제안한 STTC 기반 STBC 시스템은 STBC와 STTC 기법의 큰 다이버시티 이득을 갖는다. 따라서 8-state TCM 기법을 사용하는 기존의 HDR-WPAN 시스템보다 높은 신뢰성을 갖는다. 또한 제안한 STTC 기반 STBC 시스템은 STTC 기법의 부호이득 때문에 두 개의 송수신 안테나를 사용하는 STBC 기법보다 10^{-3} 의 BER에서 약 4dB의 이득을 가짐을 보인다.

이를 통해 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 시스템이 STTC를 적용한 시스템보다 슬로우 페이딩 환경에서 보다 효율적임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템의 신뢰성을 향상시키는 방안으로 STTC 기법과 STTC 기반 STBC 기법을 제안하였고, 그 성능을 슬로우 페이딩 환경에서 분석하였다.

STTC 기법과 STTC 기반 STBC 기법을 적용한

시스템은 부가적인 대역폭의 증가 없이 부호화 이득과 다이버시티 이득을 얻을 수 있기 때문에 채널 용량과 신뢰성에 있어서 효율적인 방법이다. 그러나 시스템의 신뢰성 측면에서 STTC 기반 STBC 기법이 STBC의 추가적인 다이버시티 이득 때문에 STTC 기법보다 BER= 10^{-3} 에서 약 4dB정도 E_b/N_0 가 우수하였다.

이 결과를 통해 HDR-WPAN 시스템에 더 좋은 통신 신뢰성 확보, 채널용량의 증가를 위해서는 STTC 기반 STBC 기법의 적용이 STTC 기법을 적용하는 것이 보다 바람직하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, pp. 744-765, March 1998.
- [2] Y. Gong and K. B. Letaief, "Performance evaluation and analysis of space-time coding in unequalized multipath fading links," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, pp. 1778-1782, November 2000.
- [3] Siavash. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal on Select Area in Communications*, vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [4] IEEE Std 802.15.3, *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, 2003.
- [5] J. Grimm, M. P. Fitz, and J. V. Krogmeier, "Further results on space-time coding for rayleigh fading," in *Allerton Conf.*, September 1998.
- [6] Welly Firmanto, Branka S. Vucetic, and Jinhong Yuan, "Space-time TCM with improved performance on fast fading channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 5, No. 4, pp. 154-156, April 2001.