

# 다중 안테나 방식을 적용한 HDR-WPAN 시스템의 성능분석

강철규\* · 오창현\*

\*한국기술교육대학교

Performance Analysis of HDR-WPAN System Using Multiple Antenna Scheme

Chul-gyu Kang\* · Chang-heon Oh\*\*

\*Korea University of Technology and Education

E-mail : swing98@kut.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 다중 안테나 방식인 시공간 블록코드를 HDR-WPAN 시스템에 적용하여 페이딩 채널 환경에서 그 성능을 분석하였다. 다중 안테나 방식은 안테나마다 다른 페이딩을 겪은 신호를 다수의 송/수신 안테나에 의해 결합함으로써 경로 간의 채널 곱을 서로 보완시켜 수신 성능을 향상시키는 기술이다. 시공간 블록코드는 최대 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있고 간단한 선형 처리만으로도 최대 근사화(ML) 수신기 구현이 가능한 시공간 다이버시티 기법이다. HDR-WPAN 시스템에 시공간 블록코드를 적용하였을 경우 페이딩 채널 환경에서 기존 시스템보다  $10^4$ 의 BER(bit error rate) 기준에서 최대 14dB의 다이버시티 이득을 가졌다. 시뮬레이션 결과를 통해 HDR-WPAN 시스템에 시공간 블록코드를 적용하였을 경우 적은 전력으로도 신뢰성 있는 통신을 할 수 있음을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of high data rate wireless personal area network (HDR-WPAN) system using multiple antenna scheme, space-time block code in fading channel. Multiple antenna technique is used to improve the error performance by combining the receive signal through multiple receive antenna. Space-time block code is a space-time diversity scheme which can obtain the maximum space diversity gain and easily implements a ML receiver via a simple process. HDR-WPAN system using space-time block code obtain about 14dB diversity gain at BER  $10^{-5}$  in multipath fading channel. From the simulation result, We confirm that HDR-WPAN system adopting space-time block code has reliable communication even low power.

## 키워드

STBC, HDR-WPAN, Home Network

### 1. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서는 본격적인 멀티미디어 통신 서비스를 제공하기 때문에 전송해야 할 정보량이 크게 늘어나게 된다. 특히 동영상 신호나 음성신호는 전송오류에 민감하기 때문에 이를 안정적으로 전송하기 위해서는 전송오류에 강한 무선 통신 시스템을 구현하는 것이 필수적이다. 최근 다중 안테나 방식은 이러한 전송오류를 극복하는 방법으로 크게 주목받고 있다.

다중 안테나 방식에 적용되는 기술들은 크게

다이버시티 계열과 멀티플렉싱 두 개의 기술 군으로 분류된다. 멀티플렉싱 방식은 송/수신 안테나간의 가상의 부채널들을 만들어서 각각의 송신 안테나를 통해 서로 다른 데이터를 전송함으로써 전송 속도를 높이는 방식이다. 멀티플렉싱 방식을 다이버시티 방식과는 달리 송신 단 혹은 수신 단 한쪽에서만 다중의 안테나를 사용하는 경우 그 이득을 충분히 얻을 수 없다.

다이버시티 방식은 안테나마다 다른 레일리 페이딩을 겪은 신호를 다수의 송/수신 안테나에 의해 결합함으로써 경로 간의 채널 곱을 서로 보완

시켜서 수신 성능을 높이는 기술이다. 송신 안테나의 개수가 N이고 수신 안테나가 M일 경우 최대 MN개의 독립된 페이딩 채널을 결합시킬 수 있으므로 최대 다이버시티 이득은 MN이다[1],[2].

본 논문에서는 최대 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있고 간단한 선형 처리만으로도 최대 근사화(ML) 수신기의 구현이 가능한 시공간 다이버시티 기법을 HDR-WPAN 시스템에 적용하여 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 I장 서론에 이어 II장에서는 HDR-WPAN 시스템에 대해 설명한다. III장에서는 실험에 적용한 다이버시티 기법인 시공간 블록 부호화(space time block code)에 대해서 설명하고 IV장에서는 HDR-WPAN 시스템에 시공간 블록 부호화 기법을 적용한 시스템을 시뮬레이션을 통해 살펴보고, 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

## II. HDR-WPAN 시스템

HDR-WPAN 시스템은 IEEE 802.15.3 tasking 그룹에서 표준으로 제정한 기술로 10m의 거리에서 데이터 전송을 요구하는 기기들 간의 무선 네트워크 기술이다. HDR-WPAN 시스템은 11, 22, 33, 44, 55Mbps의 전송속도를 지원한다[3].

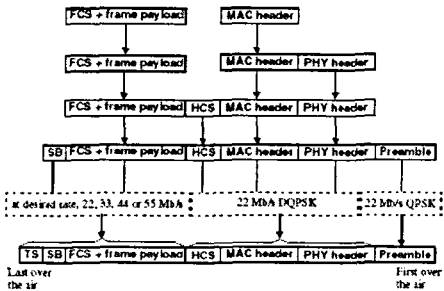


그림 1. 22, 33, 44, 55Mbps를 위한 PHY 프레임 포맷

HDR-WPAN 시스템의 PHY 프레임은 4가지 세그먼트(프리앰블, 헤더, 데이터, 테일 심볼)를 포함한다. 프리앰블은 수신기에서 동기화, carrier-offset 복구, 그리고 신호 등화 용도로 사용하고, 프리앰블의 마지막 심볼은 difference-QPSK 변조 시 기준신호가 된다. 헤더에는 스크램블러를 초기화하기 위한 seed id, PHY의 변조방식, 프레임 페이로드의 길이가 포함되며, 헤더는 CCITT CRC-16 header check sequence (HCS)로 보호된다. 테일 심볼은 프레임의 끝에 위치하며, 트랜시스 코드의 가장 좋은 거리특성을 갖도록 해준다. 페이로드는 최소 64 octets, 최대 2048 octets을 지원하며, 보안을 목적으로 하는 4 octets을 제외하면, 최대 2044 octets 까지 가능하다.

그림 1은 22, 33, 44, 55Mbps의 전송속도를 위

한 PHY프레임 포맷을 나타낸다. 11Mbps의 경우는 그림 2에서의 같이 PHY 헤더, MAC 헤더, HCS를 TCM-QPSK로 한 번 더 변조한다.

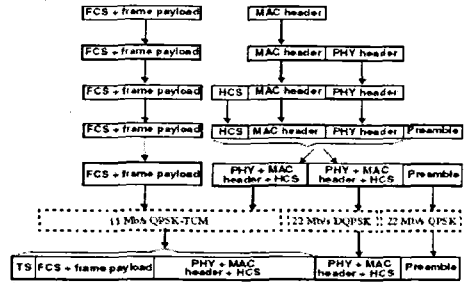


그림 2. 11Mbps를 위한 PHY 프레임 포맷

## III. 다중 안테나 기법

시공간 부호화 기술의 기본 원리는 그림 3과 같으며, 정보 비트열이 입력되면 이들로부터 안테나의 수에 맞게 벡터열을 발생시켜 동시에 전송함으로써 수신기에서 다이버시티 이득 및 부호화 이득을 얻을 수 있는 기술이다.

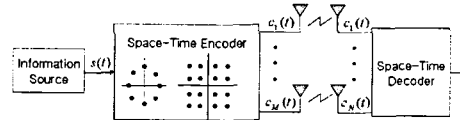


그림 3. 시공간 블록 다이버시티 구조

### 3.1 Space-Time Block Codes (STBC)

시공간 블록 부호는 1998년 Alamouti에 의해 2개의 송신 안테나를 이용한 전송 다이버시티 기법에서 제안되었으며, Tarohk 등에 의해 3개 이상의 송신 안테나를 갖는 시스템에 적용하기 위한 부호들이 제안되었다.

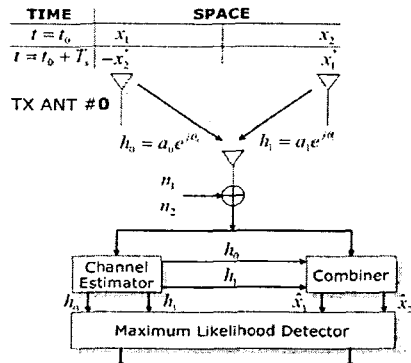


그림 4. 2-branch 송신 다이버시티 구조

그림 4와 같이 간단한 구조를 가진 Alamouti의 2-branch 송신 다이버시티 시스템은 시간  $t = t_0$  에서  $x_1$ 과  $x_2$ , 심볼주기  $T_s$ 만큼 지연된 시간  $t = t_0 + T$ 에서  $-x_2^*$ ,  $x_1^*$  심볼을 2개의 송신 안테나를 통해 전송하며, 이는 아래와 같은 행렬  $G_2$  로 표현할 수 있다.

$$G_2 = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \text{SPACE} \\ \downarrow \text{TIME} \end{matrix} \quad (1)$$

각 안테나를 통해 전송된 신호가 두 심볼주기  $2T_s$ 동안 변화하지 않으며(quasi-static), 인접 심볼간 간섭이 없는(flat) 채널  $h_0, h_1$ 을 겪는다고 가정하면 심볼주기  $T_s$ 간격을 두고 수신된 두 신호  $r_1, r_2$ 는 다음과 같다.

$$r_1 = h_0x_1 + h_1x_2 + n_1. \quad (2)$$

$$r_2 = -h_0x_2^* + h_1x_1^* + n_2. \quad (3)$$

이를 다시 정리하면

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_0x_1 + h_1x_2 \\ -h_0x_2^* + h_1x_1^* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$= \begin{pmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix}.$$

와 같이 표현된다. 여기서,  $n_1, n_2$ 은 평균이 영이고, 분산이  $\sigma_n^2$  인 복소 가우시안 잡음이다.

식 (4)에서 보는 바와 같이 채널 행렬  $\begin{pmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix}$ 은 직교 특성을 갖는 직교 행렬(orthogonal matrix) 형태로 표시된다. 직교 성질을 이용하여 다음과 같이 송신 신호를 검출할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$= \begin{pmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_0 & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix}$$

$$= (|h_1|^2 + |h_2|^2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* - h_0^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix}.$$

여기서,  $\tilde{x}_1$ 와  $\tilde{x}_2$ 는 송신된 심볼을 추정하기 위한 ML 복호기의 입력신호이다. 식 (5)에서 수신 신호에 곱해진 행렬은 단위행렬(unitary) 행렬이므로 잡음성분의 분포에는 아무런 영향을 미치지 않고, 신호 성분의 독립된 두 개의 채널이득이 제

곱하여 더해진 형태로 나타나므로 송신 다이버시티 이득 2를 얻을 수 있음을 알 수 있다[4].

결론적으로 식 (5)를 통해 2-branch 송신 다이버시티 시스템의 성능이 2-branch 수신 다이버시티 시스템과 일치함을 알 수 있다.

### 3.2 Maximum Ratio Combining (MRC)

최대 비율 결합 방식은 다중 수신 안테나를 사용하여 수신 다이버시티 이득을 얻는 기법이다. 이 방식은 현재에도 널리 사용되고 있는 방식으로 동일 비율 결합이나 안테나 선택 방식의 수신 다이버시티 기법들에 비해 우수한 성능을 나타낸다[5].

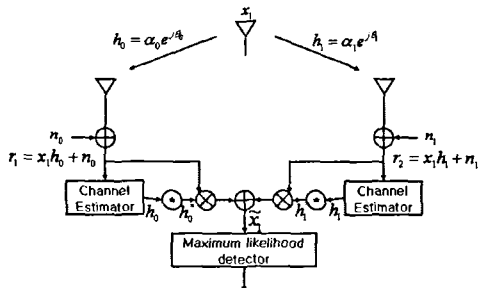


그림 5. 2-branch MRC

그림 5와 같이 송신 신호  $x$ 가 전송되었을 경우, 수신안테나를 통해 수신되는 수신 신호는  $r_1, r_2$ 은 식 (6), (7)과 같으며, 결합된 신호는 식 (8)과 같이 복조가 가능하다.

$$r_1 = h_0x_1 + n_1. \quad (6)$$

$$r_2 = -h_1x_1 + n_2. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tilde{x}_1 &= h_0^*r_1 + h_1^*r_2 \\ &= (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)x_1 + n_1^*r_1 + n_2^*r_2. \end{aligned} \quad (8)$$

## IV. 성능평가

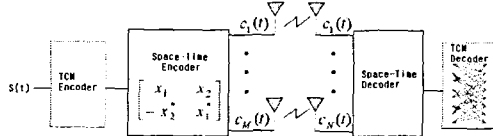


그림 6. STBC를 적용한 HDR-WPAN 시스템

본 장에서는 그림 6과 같이 다이버시티 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템을 레일레이 페이딩 채널과 AWGN 채널에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한다. 이 시뮬레이션에서 수신측에서는 채널의 상태정보를 완벽히 알고, 송수신

안테나 사이의 페이딩은 상호 독립적이라고 가정한다. 시뮬레이션 파라메타는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라메타

Parameters	Value
Channel	Rayleigh, AWGN
Frame length	1000 Packet, 125 octets
Modulation	Trellis-coded 128QAM(110 Mbps)
Rate	Variable, 8-state convolutional code
STBC Encoding	R=6/7
Decoder Algorithm	1X1, 1X4, 2X2, 4X4
	Viterbi, ML

그림 7은 AWGN 환경에서 시공간 블록코드를 적용한 HDR-WPAN 시스템의 시뮬레이션 결과이다. BER  $10^{-5}$ 에서 안테나수를 4개로 증가할 경우 약 6dB의 이득을 가짐을 볼 수 있다. 송신 안테나를 2개로 하고, 수신 안테나를 2개로 할 경우 약 3.5dB의 이득을 갖고 송신 안테나와 수신 안테나 수를 4로 증가 시킬 경우 약 8.5dB의 부호화 이득을 가짐을 확인할 수 있다.

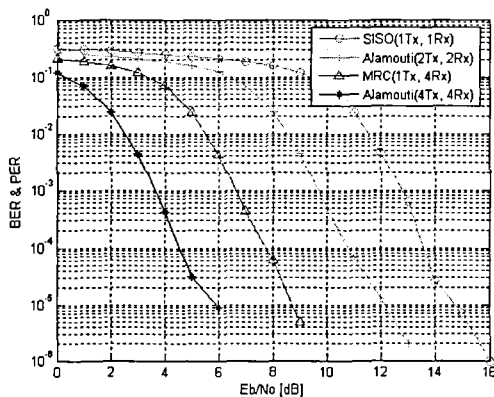


그림 7. AWGN 채널 환경에서의 BER 성능곡선

그림 8은 페이딩 환경에서 제안한 시스템의 시뮬레이션 결과이다.

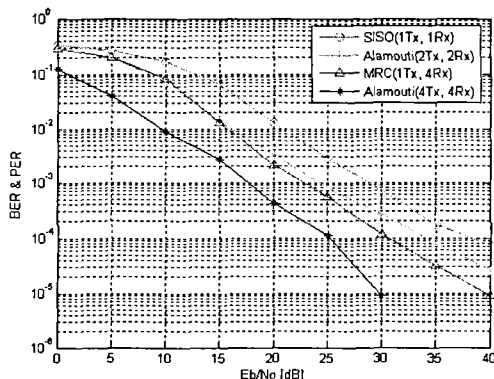


그림 8. 페이딩 채널 환경에서의 BER 성능곡선

BER  $10^{-4}$ 에서 송수신 안테나수를 4개로 증가할 경우 SISO(single input single output)보다 약 14dB의 다이버시티 이득을 가짐을 볼 수 있다. 송수신 안테나수를 2개로 할 경우 약 8dB의 이득을 갖고 수신 안테나 수만 4개로 증가 시킬 경우 약 8dB의 다이버시티 이득을 가짐을 확인할 수 있다. 다이버시티 차수가 같은 4이더라도 Alamouti(2Tx,2Rx)방식이 MRC(1Tx,4Rx)방식보다 적은 이득을 갖는 이유는 송신 파워를 송신 안테나 수에 맞추어 정규화 시키기 때문이다.

### V. 결론

본 논문에서는 시공간 블록코드를 적용한 HDR-WPAN 시스템의 성능을 페이딩 환경에서 분석하였다.

시공간 블록코드는 최대 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있고 간단한 선형 처리만으로도 최대 근사화(ML) 수신기 구현이 가능하다. HDR-WPAN 시스템에 시공간 블록코드를 적용하여 시뮬레이션한 결과 페이딩 채널 환경에서 4개의 송신 안테나와 4개의 수신 안테나를 사용하면 기존 시스템보다  $10^{-4}$ 의 BER(bit error rate)기준에서 최대 14dB의 다이버시티 이득을 가짐을 확인하였다.

이 결과를 통해 HDR-WPAN 시스템에 시공간 블록코드를 적용한다면 안테나 수의 증가에 따라 복잡도의 복잡도는 선형적으로 증가하지만 기존 시스템보다 적은 전력으로 신뢰성 있는 통신을 할 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol, 45, pp. 1456-1467, July 1999.
- [2] 고은석, 홍대식, "시변 레일리 페이딩 채널에서 채널불일치 오차를 고려한 복소직교 시공간 블록부호의 M-QAM 심볼에러율 성능," *Telecommunication Review*, Vol, 14, pp. 399-408, No. 3, June 2004.
- [3] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2003.
- [4] Alamouti, S.M. "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal Select. Areas Commun.*, Vol. 16, pp. 1451-1458, No. 8, October 1998.
- [5] M. Jankiraman, *Space-time Codes and MIMO Systems*. Artech House, 2004.