

주파수 다이버시티가 적용된 STBC-OFDM의 UWB 시스템 성능 분석

UWB System Performance Analysis of STBC-OFDM Using Frequency Diversity

김 남 · 최 정 훈* · 한 태 영*

Nam Kim · Jung-Hun Choi* · Tae-Young Han*

요 약

본 논문에서는 시공간 다이버시티 이득을 갖는 STBC를 UWB 시스템에 적용하고 4차의 다이버시티 이득을 얻기 위해 주파수 다이버시티를 적용함으로써 UWB OFDM의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의실험으로 제안하고자 하는 시스템의 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM의 성능을 분석하였다. 분석한 결과 본 논문에서 제안한 UWB 시스템은 송신 안테나의 증가에 따라 발생하는 복잡도를 줄일 수 있으며, 2개의 송신 안테나만을 사용하고도 주파수 반복에 의한 선행적인 계산만으로 4개의 송신 안테나를 사용하는 것과 같은 성능을 얻을 수 있었다. 제안된 시스템은 10^{-4} 에서 일반적인 UWB OFDM과 비교하면 7.1 dB, UWB STBC-OFDM과 비교하면 1.9 dB의 성능이 향상되는 것으로 분석되었다.

Abstract

In this paper, STBC(Space Time Block Code) is applied to the UWB system and frequency repeated diversity is used to get the 4-th order space time diversity gain. The performance of UWB STBC-OFDM system is analyzed by computer simulation. As a result of analysis, proposed UWB system can reduce the complexity that is introduced by increasing number of radiator and show the same performance of 4 antennas with that only using 2 radiator. This system at the 10^{-4} also shows the enhancement of 7.1 dB to the general UWB OFDM and 1.9 dB to UWB STBC-OFDM.

Key words : UWB OFDM, Frequency Diversity, STBC-OFDM

I. 서 론

무선 통신 분야가 급속히 발전을 하면서 고속 데이터 전송의 요구가 증가하고 있는데 이러한 요구에 대한 해답으로 UWB(Ultra Wideband)를 이용한 무선 통신 방식이 활발히 연구되고 있다. UWB는 1950년부터 연구가 진행되어 처음에는 군사용 통신 시스템 및 레이더 시스템 등과 같은 응용 분야에만 사용되

어지다가 2002년 2월 미국의 FCC에 의해 상업적인 이용이 허용되어지면서 많은 관심을 받게 되었다. UWB의 특징은 특정 채널로만 신호를 전송하는 대부분의 이동 통신 시스템과 달리 저출력 라디오 에너지의 짧은 펄스를 이용해 통신을 하는 기술로서 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 넓은 범위의 주파수 대역을 이용함으로써 수 백 Mbps의 데이터 전송율을 가진다. 또한 200 mW 이내의 저전력을 사용하고 -41.25

「이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by Chungbuk National University Grant in 2004).」

충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(School of Electrical & Computer Eng., Chungbuk National University)

*충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer and Communication Eng., Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20041108-145

· 수정완료일자 : 2005년 3월 22일

dBm의 낮은 방사 제한으로 기존의 협대역을 사용하는 통신 시스템에 간섭을 일으키지 않는다^{[11]-[14]}.

최근에는 UWB 통신 시스템에 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술을 접목시키는 기술이 제안되어지고 있다. OFDM 시스템은 다중 반송파를 사용하여 데이터를 전송하는 방법으로서 다수의 직교 반송파를 사용함으로써 효율적인 전송이 가능하게 하는 기술이다. 무선 채널에서 고속의 데이터 전송을 하고자 할 경우 다중 경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있는 장점이 있어 다양한 고속 무선 통신 시스템의 전송 방식으로 채택되어지고 있다^[5].

본 논문에서는 위와 같이 최근에 제안되어지고 있는 UWB-OFDM 시스템에 Alamouti에 의해 제안되어진 STBC(Space Time Block Code)를 적용하는 동시에 주파수 다이버시티를 적용하여 다이버시티 이득을 증가시키는 시스템을 제안하고 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM의 성능의 변화를 살펴볼 것이다. 제 2장에서는 UWB-OFDM의 신호에 대하여 살펴보고, 제 3장에서는 주파수 다이버시티를 적용한 UWB-OFDM에 대하여 기술할 것이며, 제 4장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM에 대하여 기술하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의 실험으로 제안된 UWB 시스템의 성능 분석을 한 후 제 5장에서 결론을 맺을 것이다.

II. UWB-OFDM 신호

UWB OFDM은 2003년 6월 가전 제품, 개인용 컴퓨터, 홈 엔터테인먼트, 반도체, 디지털 이미지 분야의 영향력 있는 업체들이 다양한 애플리케이션을 위해 새롭게 부상하고 있는 UWB(IEEE 802.15.3a) PHY 규격에 대한 가장 이상적인 기술 솔루션을 개발하려는 공동의 목표를 갖고 개발되었다. UWB OFDM 방식에서 이용 가능한 7.5 GHz 스펙트럼은 13개의 528 MHz 대역으로 나누어진다. 그 결과 사용하지 않는 스펙트럼 부분은 그대로 남겨 두면서도 특정 주파수 범위의 대역을 선택적으로 구현할 수 있다. UWB OFDM에서 제안하는 대역 계획은 A부터 D까지 4그룹으로 이루어지는데 그 중 B그룹(4.9 GHz~6.0

GHz)과 D그룹(8.1 GHz~10.6 GHz)은 향후 사용을 위해 보류되어져 있다.

UWB OFDM의 장점은 스펙트럼 효율성 및 RF 간섭에 대한 탄력성이 높고 다중경로 왜곡이 적다는 것이다. 다중대역 기술과 함께 OFDM 변조 기술을 사용하면 단일 RF를 사용해 다중경로를 수집하는 것이 보다 쉬워질 뿐만 아니라 수신기가 하위 대역 또는 데이터 속도를 희생하지 않으면서 협대역 간섭에 대처할 수 있다. 이러한 장점은 개별 톤을 차단하는 기능, 그리고 순방향 오류 정정 코드를 사용하여 손상된 톤을 쉽게 복구하는 기능과 관계된다.

UWB 통신 기술의 기본 기술은 모노사이클 파형(τ_m)을 펄스 반복 간격(T)로 전송하는 것이다. 모노 사이클 파형은 여러 가지 임펄스 파형이 발생할 수 있는데 본 논문에서는 다른 임펄스에 비해 생성이 쉬운 가우시안 임펄스를 사용하였다. 전송된 가우시안 임펄스는 다중 경로를 통하여 수신기에 도달하는데 송·수신된 모노 사이클 파형은 식 (1)과 같이 수식화 할 수 있다^[6].

$$w(t) = \left(1 - 4\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right) \exp\left(-2\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right) \quad (1)$$

여기서 τ_m 은 임펄스 폭을 나타내는 매개 변수로서 주파수 범위에 따라 변화한다. 그림 1은 진폭이 1이고 $\tau_m = 0.2333$ ns인 송, 수신되는 UWB의 모노 사이클 파형을 나타낸 것이다.

UWB-OFDM 신호는 주파수 코드 펄스 열의 특성을 바탕으로 식 (1)과 같은 짧은 펄스 폭을 갖는 모

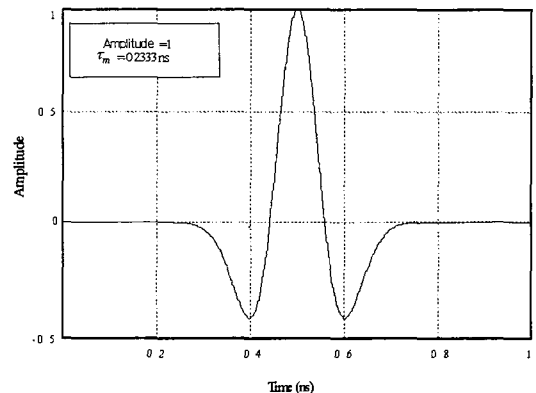


그림 1. UWB 모노펄스 파형
Fig. 1. UWB monocycle waveform.

노 사이클 파형을 전송하는데 이것을 식으로 나타내면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다^[7].

$$p(t) = \sum_{n=0}^{N-1} w(t-nT)e^{-\frac{j2\pi c(n)t}{T}} \quad (2)$$

여기서 N 은 심볼당 펄스의 수를 나타내고 T 는 펄스의 반복주기 즉, $T=(N+1)T_s$ 를 의미하며 T_s 는 펄스의 지속시간을 의미한다. 또한 $c(n)$ 은 $(0, 1, \dots, N-1)$ 의 정수의 범위의 갖는 순열로서 다중접속으로 인한 간섭을 최소화하기 위하여 사용된 것으로 펄스 천이 패턴을 적용한 것이다. $1/T_c$ 는 frequency hopping resolution을 의미한다. 식 (2)를 직교 주파수 변조하면 직교성을 갖는 신호를 생성할 수 있으며 직교 주파수 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다^{[8],[9]}.

$$f_k(t) = p(t)e^{j2\pi f_k t} \quad (3)$$

식 (3)에서 f_0 는 $1/NT$ 로 기본주파수를 의미한다. UWB-OFDM의 송신 신호는 전력이 동일하다고 가정할 경우 다음과 같이 수식화 할 수 있다.

$$s(t) = \beta \sum_r \sum_{k=0}^{N-1} b_k p(t-rT_p)e^{j2\pi k f_k (t-rT_p)} \quad (4)$$

식 (4)에서 나타내고 있는 $T_p=NT$ 이며, b_k 는 k 번째 사용자에게 대한 위상의 변화를 가지는 변조된 데이터의 심볼을 의미한다. 즉 BPSK, QPSK, M-array QAM symbol을 나타내는 것이다.

III. 주파수 다이버시티를 적용한 UWB-OFDM

UWB-OFDM 시스템에서 신호는 N 개의 부반송파를 통해 식 (2)와 같이 전송되고 송신된 신호는 N -point IFFT에 의하여 대각화가 이루어지며 이로 인하여 시간영역에서의 심볼열을 X 와 같이 얻을 수 있다. 이것을 행렬식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다^{[10],[11]}.

$$D = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & \dots & p_{N-1} \\ p_{-1} & p_0 & \dots & p_{N-2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{-N+1} & p_{-N+2} & \dots & p_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 $p(\cdot)$ 은 전송신호를 $s(\cdot)$ 은 수신신호를 의미하며, F 는 N -point IDFT 행렬을 나타내고, F^H 는 F 의 행렬의 허미션을 의미한다. 즉, 전송신호는 N -point IFFT에 의해 대각화가 이루어지는 것을 말한다. 식 (6)은 OFDM 복조를 거친 행렬식을 나타낸 것이다.

$$r(k) = Hs + n(k) \quad (6)$$

여기서 H 는 $[h(0), h(1), \dots, h(N-1)]$ 의 범위를 갖는 행렬을 의미하며 n 은 AWGN을 의미한다. 식 (6)에서 H 의 k 번째 대각 성분은 복소 가우시안 랜덤 변수인 $h(k)$ 로 나타낼 수 있으며 h 는 $[h(0), h(1), \dots, h(N-1)]^T$ 인 $N \times 1$ 채널 벡터로 정의할 수 있다. 식 (7)은 h 의 확률 밀도 함수를 수식화 한 것이다^[12].

$$p_h(h) = \frac{1}{\pi^N \det D'} e^{-h^H D'^{-1} h} \quad (7)$$

식 (7)에서 D' 는 채널 공분산 행렬식을 나타내고 h^H 는 채널의 허미션을 의미한다. D' 는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[13].

$$D' = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & \dots & p_{N-1} \\ p_{-1} & p_0 & \dots & p_{N-2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{-N+1} & p_{-N+2} & \dots & p_0 \end{pmatrix}$$

여기서 $p_{\Delta k}$ 는 $E[h(k)h^*(k+\Delta k)]$ 로 k 번째 부채널과 $k+\Delta k$ 번째 부채널간의 상관성을 나타내는데 Δk 는 부채널의 수를 의미한다. $p_{\Delta k}$ 를 다시 쓰면 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} p_{\Delta k} &= E[h(k)h^*(k+\Delta k)] \\ &= E\left(\left(\sum_{n=0}^1 g(n)e^{-j2\pi kn/N}\right)\left(\sum_{m=0}^1 g^*(m)e^{j2\pi(k+\Delta k)m/N}\right)\right) \\ &= \sum_{n=0}^1 \sigma_n^2 e^{j2\pi \Delta kn/N} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 σ_n^2 은 n 번째 채널탭 계수의 분산이며, $g(n)$ 은 복소 가우시안 랜덤 변수이다. σ_n^2 에서 n 은 n 번째 경로의 전력과 같다. 다시 표현하면 전력이 균일하다고 가정할 경우 식 (8)에서 n 번째 수신 안테나의 전력은 다음과 같이 정의된다.

$$p_{\Delta k} = \frac{1}{L} \sum_{n=0}^1 e^{j2\pi \Delta kn/N}$$

$$= \frac{1}{L} \frac{\sin\left(\frac{\pi \Delta k L}{N}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \Delta k}{N}\right)} e^{j\pi \Delta k L (1-1)/N} \quad (9)$$

그러므로 $p_{\Delta k}$ 는 $p_{-\Delta k} = p_{\Delta k}^*$, $|p_{-\Delta k}| = |p_{\Delta k}|$, $p_{-\Delta k} = p_{T, -\Delta k}$ 의 세 가지 특성을 가지며 이러한 특성에 의하여 블록 순환 허미션 행렬이 될 수 있고, 반복 심볼을 전송함으로써 2차의 다이버시티 이득을 갖는다.

IV. 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM

4장에서는 주파수 다이버시티 이득을 갖는 UWB STBC-OFDM에 대하여 서술하고 모의실험을 통한 성능 분석을 할 것이다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 방식의 블록 다이어그램을 나타낸다. 본 논문에서는 일반적으로 복잡도가 낮은 전송 안테나가 2개이고 수신 안테나가 1개인 STBC-OFDM을 사용하였다^{[13]-[15]}.

그림 2는 심볼이 다중경로를 통하여 전송되면서 발생할 수 있는 심볼간 간섭인 ISI(Inter Symbol Interference)를 감소시키기 위하여 시간 도약 코드 $c(n)$ 을 삽입한 데이터를 펄스 발생기를 사용하여 UWB impulse로 변환시키고 변환된 신호를 주파수 다이버시티와 STBC를 거친 후 직교 신호로 변환하기 위하여 IFFT를 삽입하고 보호 구간에 채널간 간섭인 ICI(Inter Channel Interference)를 방지하기 위하여 연속적인 심볼 사이에 채널의 최대 지연 확산보다 긴 보호구간을 삽입하는데, 유효 심볼 구간의 마지막

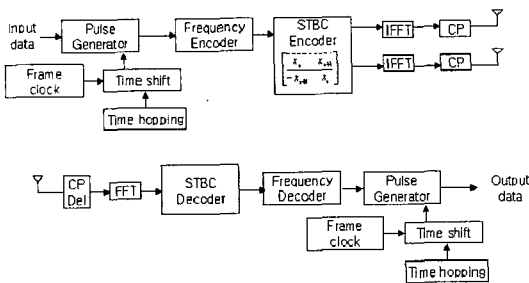


그림 2. 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM의 블록 다이어그램

Fig. 2. Block diagram of UWB STBC-OFDM using frequency diversity.

구간을 복사하여 삽입하는 cyclic prefix를 추가하여 ICI를 감소시킴으로서 기존의 UWB-OFDM보다 향상된 성능을 얻을 수 있는 시스템이다. 본 논문에서 고려한 UWB STBC-OFDM의 부호화 과정은 연속된 두 OFDM 심볼의 동일 부채널에 해당하는 두 심볼 간에 이루어지는데 이것을 식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_s & x_{s+1} \\ -x_{s-1}^* & x_s^* \end{bmatrix} \quad (10)$$

위의 식에서 1열의 성분은 1번째 안테나로 전송이 되고 2열의 성분은 2번째 안테나로 전송이 되는데 식 (10)에 주파수 다이버시티를 적용하면 수신 신호는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_s &= (H_{s,1}x_s + H_{s,2}x_{s+1})(P_s P_{s+1}) + n_s \\ R_{s+1} &= (-H_{s+1,1}x_{s+1}^* + H_{s+1,2}x_s^*) \cdot \\ & (\overline{P_s} \overline{P_{s+1}}) + n_{s+1} \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서 $H_{s,1}$ 은 1번째 안테나를 통해 수신된 s 번째 OFDM symbol을 나타낸 것이고 P 는 주파수 반복을 위한 반복심볼을 의미하며, \overline{P} 는 P 와 충분히 떨어진 주파수의 반복심볼을 의미한다. 식 (11)을 복호화 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_s^D &= H_{s,1}^* R_s + H_{s,2} R_{s+1}^* \\ &= (|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)x_s \\ & \quad + H_{s,1}^* n_s + H_{s,2} n_{s+1} \\ X_{s+1}^D &= H_{s,2}^* R_s - H_{s,1} R_{s+1}^* \\ &= (|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)x_{s+1} \\ & \quad - H_{s,1} n_{s+1}^* + H_{s,2} n_s \end{aligned} \quad (12)$$

위 식에서 알 수 있듯이 UWB STBC-OFDM에 주파수 다이버시티를 적용할 경우 2차의 STBC 이득 이외에 주파수 다이버시티에 의한 심볼 반복으로 4차의 다이버시티 이득이 발생하는 것을 볼 수 있다. 제안된 시스템의 비트 오류율은 식 (13)에 의해 구할 수 있다^[16].

$$p_b(r_0) = \int_0^\infty \alpha Q(\sqrt{\beta\gamma}) \frac{G}{(M-1)!} \frac{\gamma^{M-1}}{\gamma_0^M} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}} d\gamma$$

$$= \alpha \frac{G\left(\frac{1}{\gamma_0}\right)}{(M-1)!} \int_0^\infty Q(\sqrt{\beta\gamma}) \gamma^{M-1} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}} d\gamma \quad (13)$$

여기서 M 은 다중경로를 의미하고 α 와 β 는 BPSK, QPSK, 16 QAM에 따라 다른 값을 갖는 심볼의 변화율을 나타내는 것으로 BPSK(Binary Pulse Shift Keying)에서는 $\alpha=1$, $\beta=2$ 이고, QPSK(Quadrature Pulse Shift Keying)에서는 $\alpha=2$, $\beta=4$ 이며, 16 QAM(16 Quadrature Amplitude Modulation)에서는 $\alpha=3/4$, $\beta=6 \log_2(4/15)$ 의 값을 갖는다. 그리고 G 는 다이버시티 이득으로 $(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)$ 이다. γ_0 는 신호대 잡음비로서 $\gamma_0 = 2\sigma^2 \frac{E_b}{N_0}$ 의 값을 의미한다.

본 논문에서는 UWB-OFDM 시스템의 성능 분석을 위하여 64개의 부반송파를 갖는 64 Point-IFFT를 사용하였고 4 ns의 펄스 폭을 갖는 가우시안 임펄스를 적용하였으며 ISI를 감소시키기 위해 8 ns의 시간도약 코드를 사용하였다. 그리고 ICI를 감소시키기 위하여 cyclic prefix 보호구간에 삽입하였으며, 다이버시티 이득을 얻기 위하여 주파수 반복을 통해 다이버시티 이득을 얻는 주파수 다이버시티와 2개의 송신 안테나를 사용하여 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 STBC를 적용하였다. 그리고 UWB 시스템의 특성상 25 km/hr 이하의 속도로 이동한다고 가정하여 도플러 스프레딩은 적용하지 않았다. 그림 3은 MIMO-OFDM의 성능을 비교하기 위하여 2개의 송신 안테나와 1개의 수신 안테나를 적용하여 Clustered-OFDM과 SFTC(Space Frequency Trellis Code)-

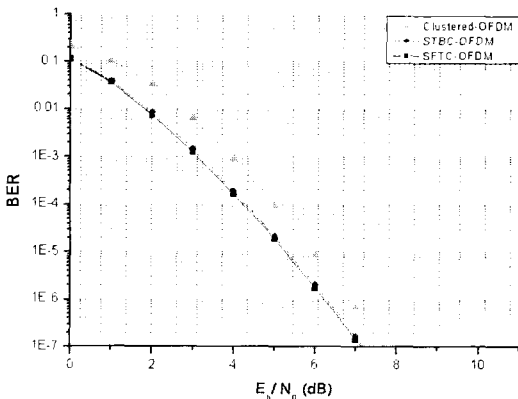


그림 3. 각각의 MIMO-OFDM에 대한 성능 분석
Fig. 3. Performance analysis for different MIMO-OFDM.

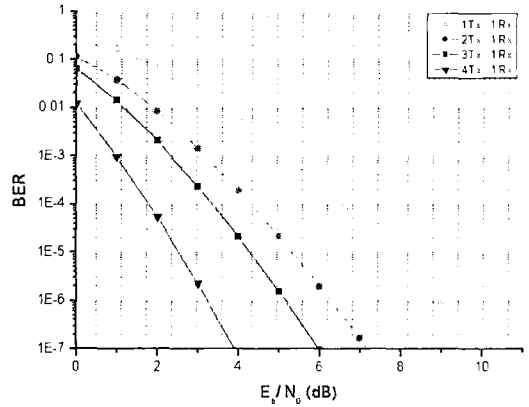


그림 4. 송신 안테나 수에 따른 UWB STBC-OFDM의 성능 분석
Fig. 4. Performance analysis of UWB STBC-OFDM according to the number of transmit antenna.

OFDM, STBC-OFDM의 성능을 분석한 것이다. 그림 3에서 각각의 MIMO-OFDM의 성능을 분석한 결과 에러율이 10^{-4} 인 지점의 성능을 보면 SFTC-OFDM과 STBC-OFDM은 4.3 dB, Clustered-OFDM은 5.1 dB의 신호대 잡음비를 나타내는 것을 알 수 있다. 즉 SFTC-OFDM이나 STBC-OFDM을 사용하면 신호대 잡음비가 향상되어 성능의 향상을 얻을 수 있음을 보여준다. 그림 4는 송신 안테나 수의 변화에 따른 UWB STBC-OFDM의 성능을 분석한 것이다. 에러율이 10^{-4} 인 지점에서 성능의 변화를 살펴보면 송신 안테나 수의 증가함에 따라 2개의 송신 안테나를 사용하면 2.4 dB의 성능 향상을 4개의 송신 안테

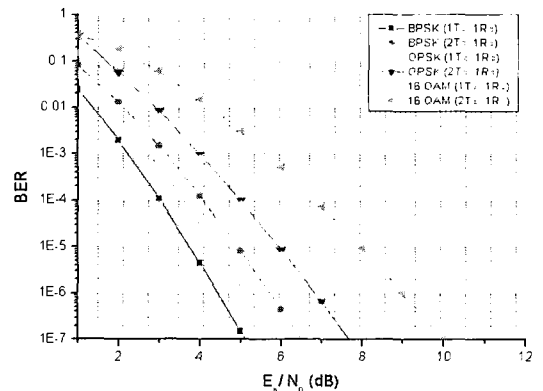


그림 5. 제안된 시스템의 변조방식에 따른 성능 분석
Fig. 5. Performance analysis of proposed system according to the modulation scheme.

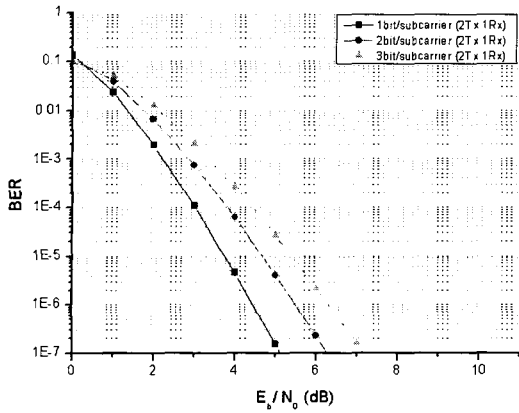


그림 6. 제안된 시스템의 전송률에 따른 성능 분석
 Fig. 6. Performance analysis of proposed system according to the transmission rate.

나를 사용하면 4.8 dB의 성능이 향상되는 것으로 나타났다. 그림 5는 제안된 시스템을 에러율이 10^{-4} 인 지점에서 BPSK, QPSK, 16 QAM의 변조방식을 적용하여 성능의 변화를 실험한 것으로서 변조 방식 변화에 따른 제안된 시스템의 성능 변화를 분석한 것이다.

성능 분석 결과 제안된 시스템은 2개의 안테나를 사용할 경우 에러율이 10^{-4} 인 지점에서 BPSK는 1 dB, QPSK는 1.2 dB, 16 QAM은 2.8 dB의 성능이 향상되었고 변조방식이 변화에 따라 QPSK와 16 QAM을 사용하면 BPSK를 사용하는 것보다 각각 QPSK는 0.8 dB, 16 QAM은 1.8 dB의 성능이 변화되는 것을 알 수 있었다. 그림 6은 부반송파당 전송되는 bit 수의 변화에 따른 제안된 시스템의 성능을 분석한 것이다.

그림 6에서 10^{-4} 에서 성능을 분석한 결과를 보면 부반송파당 1 bit의 전송률을 갖는 시스템이 3 dB의 성능을 갖는 것을 확인하였고, 2 bit와 3 bit의 전송률을 갖는 시스템은 1 bit로 전송하는 시스템에 비하여 각각 0.8 dB, 1.6 dB의 성능이 변하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 7은 제안한 UWB 시스템과 UWB STBC-OFDM의 성능을 비교한 것이다.

모의 실험을 통한 성능 비교 결과 제안된 UWB 시스템은 UWB STBC-OFDM 보다 2배의 다이버시티 이득을 얻을 수 있었으며 이러한 특성에 의해 2개의 송신 안테나를 사용하여 복잡도를 증가시키지 않으면서도 4개의 송신 안테나를 사용하는 것과 같은 성능 향상을 보였다. 그림 8은 본 논문에서 제안

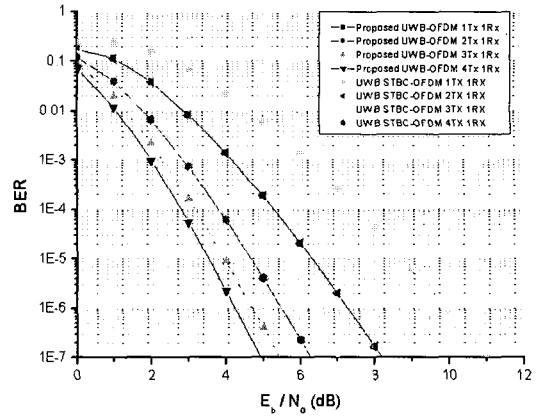


그림 7. 제안된 UWB 시스템과 UWB STBC-OFDM의 성능 분석
 Fig. 7. Performance analysis of proposed UWB system and UWB STBC-OFDM.

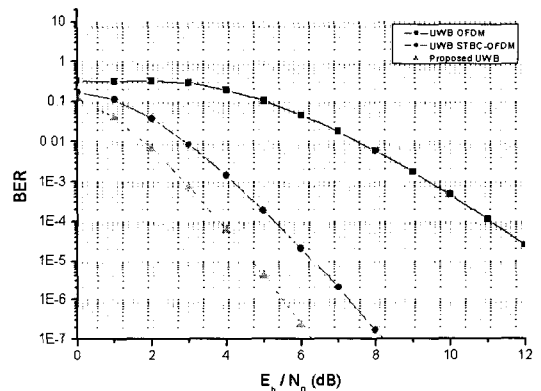


그림 8. 각각의 UWB 시스템에 대한 성능 분석
 Fig. 8. Performance analysis for different UWB system.

된 UWB 시스템과 UWB OFDM, UWB STBC-OFDM의 성능을 비교한 것이다.

각각의 UWB OFDM 시스템에 대한 성능 분석 결과 10^{-4} 에서 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM은 UWB STBC-OFDM보다 1.3 dB의 성능이 향상되었고 UWB OFDM 보다는 7.1 dB의 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

V. 결 론

UWB 시스템은 저 전력으로 고속의 데이터를 전송하는 무선 통신 기술이라는 특성상 신호를 전송하는데 많은 에러가 발생할 수 있다. 이러한 이유 때문에 UWB 시스템의 성능을 향상시키려면 에러 확률

을 낮추어야 한다. 본 논문에서는 UWB 시스템의 고속 전송과 낮은 에러율을 얻기 위하여 OFDM을 적용하여 직교 반송파로 효율적인 전송을 하는 동시에 주파수 다이버시티와 STBC를 사용함으로써 에러율을 낮추는 방법을 제안하였다. 모의 실험 결과 기존에 제안되어진 UWB OFDM보다 에러율이 10⁴인 지점에서 7.1 dB의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었으며, STBC-OFDM을 UWB에 적용했을 때 3개 이상의 전송 안테나를 사용할 경우 직교 설계 이론에 의하여 시공간 블록 부호는 복소 성상도가 감소하는데 이것은 전송율을 감소시킨다. 또한 안테나 수의 증가는 부반송파를 증가시켜 복잡도를 지수적으로 증가시키는 데 이러한 단점의 최소화를 주파수 반복을 통하여 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 제안된 시스템에 의해 기대되는 효과는 에러율의 감소로 인한 안정적인 데이터 전송과 복잡도 감소에 따른 시스템 비용의 하락으로 고속의 데이터 전송을 요구하는 홈 네트워크나 디지털 AV시스템에 활용이 가능할 것으로 예상되며, 휴대용 기기에도 사용이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Siwiak, "Ultra-wide band radio: introducing a new technology", vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.
- [2] 이준용, "UWB와 indoor radio location", 한국통신학회지, 20(2), pp. 77-85, 2002년 2월.
- [3] J. M. Cramer, R. A. Scholtz, and M. Z. Win, "On the analysis of UWB communication channels", *IEEE Military Communications Conference Proceedings*, vol. 2, pp. 1191-1195, 31 Oct.-3 Nov. 1999.
- [4] 김영규, "미국의 UWB 규제동향", 전파진흥, 12(4), pp. 17-31, 2002년 8월.
- [5] Hyun-Jin Park, Mi-Jeong Kim, Yoon-Jae So, Young-Hwan You, and Hyoung-Kyu Song, "UWB communication system for home entertainment network", *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol. 49, pp. 302-311, May 2003.
- [6] C. M. Canadeo, M. A. Temple, R. O. Baldwin, and R. A. Raines, "Code selection for enhancing UWB multiple access communication performance using TH-PPM and DS-BPSK modulations", *IEEE Wireless Communications and Networking*, vol. 1, pp. 678-682, Mar. 2003.
- [7] E. Saberinia, A. H. Tewfik, "Generating UWB-OFDM signal using sigma-delta modulator", *IEEE Vehicular Technology Conference 2003*, vol. 2, pp. 1425-1429, Apr. 2003.
- [8] E. Saberinia, A. H. Tewfik, "N-tone sigma-delta UWB-OFDM transmitter and receiver", *IEEE International Conference 2003*, vol. 4, pp. IV-129-32, Apr. 2003.
- [9] E. Saberinia, A. H. Tewfik, "Multi-user UWB-OFDM communications", *IEEE Pacific Rim Conference 2003*, vol. 1, pp. 127-130, Aug. 2003.
- [10] D. Gerakoulis, P. Salmi, "An interference suppressing OFDM system for ultra wide bandwidth radio channel", *IEEE Ultra Wideband Systems and Technologies 2002*, pp. 259-264, May 2002.
- [11] T. Seki, M. Itami, H. Ohta, and K. Itoh, "A study of OFDM system applying frequency diversity", *IEEE International Symposium 2000*, vol. 2, pp. 1385-1389, Sep. 2000.
- [12] 고은석, 주판유, 강창언, 홍대식, "주파수 선택적 페이딩 채널에서의 OFDM 시스템을 위한 주파수 다이버시티를 이용한 전송 다이버시티 기법", *Telecommunications Review*, 12(4), pp. 501-512, 2002년 8월.
- [13] Eun-Seok Ko, Pan-Yuh Joo, Chan-Geon Kang, and Dae-Sik Hong, "Improved transmit diversity using space-time block coding for OFDM systems", *IEEE MILCOM 2002*, vol. 2, pp. 1034-1038, Oct. 2002.
- [14] Zhihong Hong, B. L. Hughes, "Robust space-time codes for broadband OFDM systems", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2002*, vol. 1, pp. 105-108, Mar. 2002.
- [15] V. G. S. Prasad, K. V. S. Hari, "Space-time block coded interleaved orthogonal frequency division multiplexing system", *IEEE Personal Wireless Communications 2002*, pp. 66-70, Dec. 2002.

[16] Kyung Won Park, Eun Sun Choi, Kyung Hi Chang, and Yong Soo Cho, "An MIMO-OFDM technique for high-speed mobile channels", *The 57th IEEE Semiannual*, vol. 2, pp. 980-983, Apr.

2003.

[17] 조용수, "OFDM 기술동향", *Telecommunications Review*, 12(4), pp. 466-478, 2002년 8월.

김 남



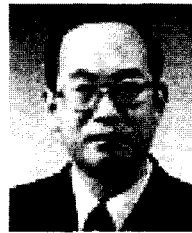
1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년~1993년: 미 Stanford 대학

방문교수

2001년~2002년: 미 California Technology Institute 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] 디지털이동통신, 이동통신, 무선시스템, 전자파해석, EMI/EMC, Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application.

한 태 영



1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] UWB, OFDM

최 정 훈



2000년: 대전대학교 정보시스템공학과 (공학사)
2004년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2005년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] UWB, OFDM, MIMO,

Wibro