

# STBC-OFDM과 주파수 다이버시티를 적용한 UWB 시스템이 성능분석

Performance of analysis UWB system using  
MIMO-OFDM and frequency diversity

최정훈\*, 한태영\*\*, 김남\*\*\*

충북대학교\*, 충북대학교\*\*, 충북대학교\*\*\*

Choi Jung-hun\*, Han Tae-young\*\*, Kim Nam\*\*\*

Chungbuk Nat'l Univ.\*,

Chungbuk Nat'l Univ.\*\*,

Chungbuk Nat'l Univ.\*\*\*

## 요약

본 논문에서는 시공간 다이버시티 이득을 갖는 STBC를 UWB 시스템에 적용하고 4차의 다이버시티 이득을 얻기 위해 주파수 반복을 하는 주파수 다이버시티를 적용함으로써 UWB OFDM의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의실험으로 제안 하고자하는 시스템의 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM의 성능을 분석하였다. 분석한 결과 본 논문에서 제안한 UWB 시스템은 송신안테나의 증가에 따라 발생하는 복잡도를 줄일 수 있으며, 2개의 송신 안테나만을 사용하더라도 주파수 반복에 의한 선형적인 계산만으로 4개의 송신 안테나를 사용하는 것과 같은 성능을 얻을 수 있었다. 제안된 시스템은 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 STDB-OFDM system is analyzed by computer simulation. As a result of simulation, proposed UWB system can reduce the complexity that is introduced by increasing number of transmit antenna and show the same performance of 4 antennas with only using 2. Proposed system shows the enhancement of 7.1 dB compared to the general UWB OFDM and 1.9 dB compared to UWB STBC-OFDM.

## I. 서론

무선통신분야가 급속히 발전을 하면서 고속 데이터 전송의 요구가 증가하고 있는데 이러한 요구에 대한 해답으로 UWB(ultra wideband)를 이용한 무선통신 방식이 활발히 연구되고 있다. UWB는 1950년부터 연구가 진행되어 처음에는 군사용 통신 시스템 및 레

이다 시스템등과 같은 응용분야에만 사용되어지다가 2002년 2월 미국의 FCC에 의해 상업적인 이용이 허용되어지면서 많은 관심을 받게 되었다. UWB의 특징은 특정 채널로만 신호를 전송하는 대부분의 이동통신시스템과 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 가지며 200 mW 이내의 저전력을 사용하고 41.25 dBm의 낮은 방사 제한으로 기존의 협대역을 사용하는 통신 시스템에 간섭을 일으키지 않는다.

최근에는 UWB 통신 시스템에 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술을 접목시키는 기술이 제안 되어지고 있다. OFDM 시스템은 다중반송파를 사용하여 데이터를 전송하는 방법으로서 다수의 직교반송파를 사용함으로써 효율적인 전송이 가능하게 하는 기술이다. 무선채널에서 고속의 데이터 전송을 하고자 할 경우 다중경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있는 장점이 있어 다양한 고속 무선 통신시스템의 전송방식으로 채택되어지고 있다. [1]-[3]

본 논문에서는 위와 같이 최근에 제안 되어지고 있는 UWB-OFDM시스템에 Alamouti에 의해 제안된 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 성능분석을 한 후 제 5장에서 결론을 맺을 것이다.

## II. UWB 신호

UWB 통신기술의 기본 기술은 모노사이클 파형 ( $\tau_m$ )을 펄스 반복 간격( $T_p$ )로 전송하는 것이다. 모노사이클 파형은 여러 가지 impulse파형이 발생할 수 있는데 본 논문에서는 다른 impulse에 비해 생성

이 쉬운 Gaussian impulse를 사용하였다. 전송된 Gaussian impulse는 다중경로를 통하여 수신기에 도달하는데 송·수신된 모노사이클 파형은 식 (1)과 같이 수식화 할 수 있다. [4]

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

여기서  $\tau_m$ 은 impulse 폭을 나타내는 매개 변수로서 주파수 범위에 따라 변화한다. UWB-OFDM 신호는 주파수 코드 펄스 열의 특성을 바탕으로 식 (1)과 같은 짧은 펄스폭을 갖는 모노사이클 파형을 전송하는데 이것을 식으로 나타내면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. [5]

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

여기서  $N$ 은 심볼당 펄스의 수를 나타내고  $T$ 는 펄스의 반복주기 즉,  $T = (N+1)T_s$ 를 의미하며  $T_s$ 는 펄스의 지속시간으로  $T_s = NS$ 를 의미한다. 또한  $T_c$ 는  $T/N$ 을 나타내며  $c(n)$ 은 주파수 호핑 코드로서  $(0, 1, \dots, N-1)$ 의 정수의 범위의 갖는 순열이다. 식 (2)를 직교 주파수 변조 하면 직교성을 갖는 신호를 생성 할 수 있으며 직교 주파수 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.[6]-[7]

$$f_k(t) = p(t) e^{j2\pi f_0 t} \quad (3)$$

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.

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} b(k) p(t-nT) e^{j2\pi k f_0 (t-T)} \quad (4)$$

식 (4)에서 나타내고 있는  $b(k)$ 는  $k$  번째 사용자

에 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 N개의 부반송파를 통해 식(4)와 같이 전송된다. 이것을 행렬식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다. [8]

$$X = \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{bmatrix} = F * \begin{bmatrix} s(0) \\ s(1) \\ \vdots \\ s(N-1) \end{bmatrix} = F * S \quad (5)$$

식 (5)에서  $F$ 는 N-point IFFT 행렬을 의미한다.

위와 같이 송신된 신호는 N-point FFT에 의해 대각화가 이루어지고 OFDM 복조를 거쳐 식 (6)과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

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

여기서  $H$ 는  $[h(0) \ h(1) \ \dots \ h(N-1)]$ 의 범위를 갖는 대각 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  $N \times 1$  채널벡터로 정의 할 수 있다. 식 (7)은  $h$ 의 확률밀도함수를 수식화 한 것이다.

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

식 (7)에서  $D$ '는 채널 공분산 행렬식을 나타내고  $h^H$ 는 채널의 허미션을 의미한다.[8]

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

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

$$p_{\Delta k} = E[h(k)h^*(k+k_{\Delta k})] \\ = \sum_{n=0}^{N-1} \sigma_n^2 e^{\frac{j2\pi c(n)k}{T_c}} \quad (8)$$

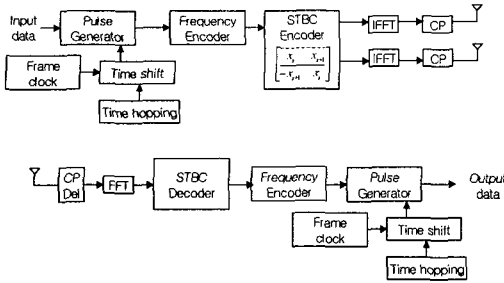
전력이 균일하다고 가정할 경우 식 (8)에서  $n$ 번째 수신안테나의 전력은 다음과 같이 정의 된다.

$$p_{\Delta k} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{\frac{j2\pi c(n)k}{T_c}} \quad (9)$$

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

### IV. 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM

이번 장에서는 주파수 다이버시티 이득을 갖는 UWB STBC-OFDM에 대하여 서술하고 모의실험을 통한 성능분석을 할 것이다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 방식의 블록 다이어그램을 나타낸다. 본 논문에서는 일반적으로 복잡도가 낮은 전송안테나가 2개이고 수신 안테나가 1개인 STBC-OFDM을 사용하였다. [9]



▶▶ 그림 1. 주파수 다이버시티를 적용한 UWB STBC-OFDM의 블록 다이어그램

그림 1은 ISI(Inter Symbol Interference)를 감소시키기 위하여 Time-Hopping Code  $c(n)$ 을 삽입한 데이터를 펄스 발생기를 사용하여 UWB impulse로 변환시키고 변환된 신호를 주파수 다이버시티와 STBC를 거친 후 직교 신호로 변환하기 위하여 IFFT 삽입하고 보호구간에 cyclic prefix 추가하여 ICI(Inter Chanal Interference)를 감소시킴으로서 기존의 UWB-OFDM보다 향상된 성능을 얻을수 있는 시스템이다. 본 논문에서 고려한 UWB STBC-OFDM의 부호화 과정은 연속된 두 OFDM 심볼의 동일 부채널에 해당하는 두 심볼간에 이루어 지는데 이것을 식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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.

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

식 (11)에서  $H_{s,1}$ 은 1번째 안테나를 통해 수신된  $s$  번째 OFDM symbol을 나타낸 것이고  $P$ 는 주파수 반복을 위한 replica 심볼을 의미한다. 식 (11)을 복호화 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

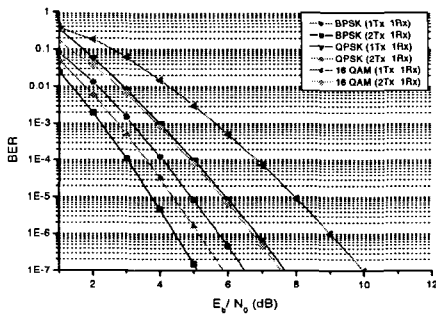
위 식에서 알 수 있듯이 UWB STBC-OFDM에 주파수 다이버시티를 적용할 경우 2차의 STBC 이득 이외에 주파수 다이버시티에 의한 심볼 반복으로 4차의 다이버시티 이득이 발생하는 것을 볼 수 있다. 제안된 시스템의 비트 오류율은 식 (13)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_b(Y_0) &= \int_0^\infty \alpha Q(\sqrt{\beta\gamma}) \frac{G}{(M-1)!} \frac{\gamma^{M-1}}{\gamma_0^M} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}} d\gamma \\ &= \alpha \frac{G(\frac{1}{\gamma_0})}{(M-1)!} \int_0^\infty Q(\sqrt{\beta\gamma}) \gamma^{M-1} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}} d\gamma \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $M$ 은 다중경로를 의미하고  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 BPSK, QPSK, 16 QAM에 따른 symbol의 변화율을 나타내며  $G$ 는 다이버시티 이득으로  $(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)(|H_{s,1}|^2 + |H_{s,2}|^2)$ 이다.  $\gamma_0$ 는 신호 대 잡음비로서  $\gamma_0 = 2\sigma^2 \frac{E_b}{N_0}$ 의 값을 의미한다. 본

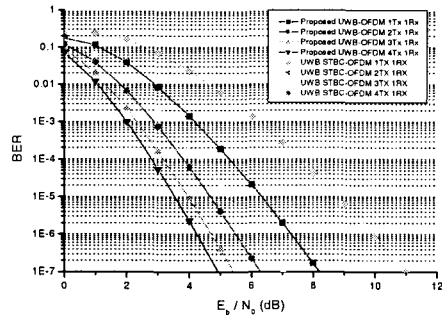
논문에서는 UWB-OFDM 시스템의 성능분석을 위하여 64개의 부반송파를 갖는 64 Point-IFFT를 사용하였고 4ns의 펄스폭을 갖는 Gaussian pulse를 적

용하였으며 ISI를 감소시키기 위해 8ns의 time-hopping 코드를 사용하였다. 그리고 ICI를 감소시키기 위하여 cyclic prefix 보호구간에 삽입하였으며, 다이버시티 이득을 얻기 위하여 주파수 반복을 통해 다이버시티 이득을 얻는 주파수 다이버시티와 2개의 송신안테나를 사용하여 시공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 STBC를 적용하였다. 그림 2는 제안된 시스템에 BPSK(Binary Pulse Shift Keying), QPSK(Quadrature Pulse Shift Keying), 16 QAM(16 Quadrature Amplitude Modulation)의 변조방식을 적용하여 성능의 변화를 실험한 것이다.



▶▶ 그림 2. 제안된 시스템의 변조방식에 따른 성능분석

성능분석 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 BSPK를 사용하는 것보다 각각 QPSK는 0.8 dB, 16 QAM은 1.8 dB의 성능이 변화 되는 것을 알수 있었다. 그림 3은 제안한 UWB 시스템과 UWB STBC-OFDM의 성능을 비교한 것이다.



▶▶ 그림 6. 제안된 UWB 시스템과 UWB STBC-OFDM의 성능분석

모의 실험을 통한 성능 비교 결과 제안된 UWB 시스템은 UWB STBC-OFDM 보다 2배의 다이버시티 이득을 얻을 수 있었으며 이러한 특성에 의해 2개의 송신안테나를 사용하여 복잡도를 증가시키지 않으면서도 4개의 송신안테나를 사용하는 것과 같은 성능 향상을 보였다.

## V. 결론

UWB 시스템은 저 전력으로 고속의 데이터를 전송하는 무선통신 기술이라는 특성상 신호를 전송하는데 많은 에러가 발생 할 수 있다. 이러한 이유 때문에 UWB 시스템의 성능을 향상시키려면 에러확률을 낮추어야 한다. 본 논문에서는 UWB 시스템의 고속전송과 낮은 에러율을 얻기 위하여 OFDM을 적용하여 직교반송파로 효율적인 전송을 하는 동시에 주파수 다이버시티와 STBC를 사용함으로써 에러율을 낮추는 방법을 제안하였다. 모의실험 결과 기존에 제안되었던 UWB OFDM보다 7.1 dB의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었으며, STBC-OFDM을 UWB에 적용했을 때 발생하는 복잡도를 주파수 반복에 의하여 감소시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 제안된 시스템에 의해 기대되는 효과는 에러율의 감소로 인한 안정적인 데이터 전송과 복잡도 감소에 따른 시

스텝 비용이 하락으로 고속의 데이터 전송을 요구하는 홈 네트워크나 디지털 AV시스템에 활용이 가능할 것으로 예상되며, 휴대용 기기에도 사용이 가능할 것으로 예상된다.

1034-1038, Oct. 2002.

### ■ 참고문헌 ■

- [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 vol. 20, no. 2, pp.77-85, 2002. 02
- [3] 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.
- [4] C.M. Canadeo, M.A. Temple, R.O. Baldwin, 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, March 2003.
- [5] E. Saberinia, A.H. Tewfik, "Generating UWB-OFDM signal using sigma-delta modulator," IEEE Vehicular Technology Conference 2003, vol. 2, pp.1425-1429, April 2003.
- [6] E. Saberinia, A.H. Tewfik, "N-tone sigma-delta UWB-OFDM transmitter and receiver," IEEE International Conference 2003, vol. 4, pp.IV-129-32, April 2003.
- [7] E. Saberinia, A.H. Tewfik, "Multi-user UWB-OFDM communications," IEEE Pacific Rim Conference 2003, vol. 1, pp.127-130, Aug. 2003.
- [9] T. Seki, M. Itami, H. Ohta, K. Itoh, "A study of OFDM system applying frequency diversity," IEEE International Symposium 2000, vol. 2, pp. 1385-1389, Sept. 2000.
- [10] Eun-Seok Ko, Pan-Yuh Joo, Chan-Geon Kang, Dae-Sik Hong, "Improved transmit diversity using space-time block coding for OFDM systems," IEEE MILCOM 2002, vol. 2, pp.