

MB-OFDM UWB 신호 간섭하에서 SFBC/SFTC-OFDM 시스템들의 성능 비교

정회원 김 경 석*, 준회원 송 창 근*

Performance Comparison of SFBC/SFTC-OFDM Systems Under MB-OFDM UWB Interference

Kyung-seok Kim* *Regular Member*, Chang-kun Song* *Associate Member*

요 약

고속 데이터 전송을 위하여, 송수신단에 다중 안테나를 사용함으로써 독립적인 페이딩 채널을 다수개 형성하여 다이버시티 이득과 코딩 이득을 동시에 얻는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 아직 UWB(Ultra Wide Band) 시스템과의 간섭에 대한 분석은 이루어지고 있지 않다. 이에 본 논문에서는 공간 다이버시티 특성을 가진 블록 코드를 OFDM 시스템에 적용하여, MIMO-OFDM 수신기에 인접한 UWB 기기로부터 SFBC(Space Frequency Block Code)-OFDM 시스템과 SFTC(Space Frequency Trellis Code)-OFDM 시스템에 미치는 간섭 영향을 MIMO 채널 환경에서 성능을 분석 하였다. 시뮬레이션 결과 SFTC-OFDM 시스템이 MB(Multi Band)-OFDM UWB 간섭에 대해 SFBC-OFDM 시스템보다 더 강한 성능을 보여주었다.

Key words : MIMO, OFDM, STBC, SFBC, SFTC, UWB

ABSTRACT

Research about the mode of MIMO that can get a coding benefit at the same time with a diversity benefit using a multiple antenna at the fading channel for a high-speed data transmission have been processed actively. But the analysis about the interference of UWB system comes not to consist yet. So this paper analyzed the performance of the interference of UWB system to SFBC-OFDM and SFTC-OFDM system that applied a space block code which has a space diversity characteristic to OFDM system at MIMO channel. We showed the performance that SFTC-OFDM system is robuster than SFBC-OFDM system under MB-OFDM UWB Interference.

I. 서 론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 무선 채널에서 고속으로 데이터 전송을 하고자 할 경우 다중경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있는

장점이 있어 다양한 고속 무선 통신시스템의 전송 방식으로 채택되었다^{[1][2]}. 또한 고속 데이터 전송시 요구되는 높은 link budget를 해결하기 위하여, 송수신단에 다중 안테나를 사용함으로써 독립적인 페이딩 채널을 다수 개 형성하여 다이버시티 이득과 코딩 이득을 동시에 얻는 MIMO방식에 대한 연구

※ 이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 충북대학교 전자공학과 차세대전파시스템 연구실 ({kseokkim, sck7620}@cbnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-08-334, 접수일자 : 2006년 8월 2일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 10일

가 활발히 진행되고 있다^{[3]-[7]}.

UWB 기술은 2002년 2월 미국 FCC (Federal Communications Commission)에 의해 UWB시스템을 중심주파수의 20% 이상 Fractional Bandwidth 또는 500MHz 이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의되었다. UWB는 무선 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 수 GHz 이상의 매우 넓은 주파수 대역을 사용하여 통신이나 레이더 등에 응용되고 있는 새로운 무선 기술이다. 그러나 UWB는 넓은 대역에 걸쳐 신호가 분포되기 때문에 인접대역을 비롯하여 이미 서비스가 되고 있는 타 통신시스템에 장애를 일으킬 가능성이 있는 문제점을 가지고 있다^{[8][9]}.

이에 UWB 시스템과 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System), WCDMA(Wide Code Division Multiple Access) and WLAN(Wireless Local Area Network) 등 다양한 시스템과의 공존 및 간섭에 대한 분석이 이루어졌지만^{[8]-[12]}, 아직까지 UWB 신호와 MIMO-OFDM 시스템과의 간섭에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 공간 다이버시티 특성을 가진 블록 코드를 MIMO-OFDM 시스템에 적용하여, MIMO-OFDM 수신기에 인접한 UWB 기기로부터 간섭에 대해 알아 보았다.

MIMO-OFDM 방식으로는 채널의 시변 정도가 커서 연속된 OFDM 심볼 사이에 채널이 변화할 경우에는 STBC-OFDM 방식을 적용하기 어렵다. 따라서 채널의 주파수 선택적 특성이 크지 않고, FFT 크기가 매우 커서 인접 부채널간의 채널 주파수 응답이 거의 바뀌지 않을 경우에는 인접 부채널의 심볼 사이에 부호화를 적용할 수 있는 SFBC와 SFTC 방식을 사용하였다.

II장에서는 시공간 블록 코드가 적용된 MIMO-OFDM 시스템에 대해서 살펴보고, III장에서는 MB-OFDM UWB Interferer에 대해 알아본다. 그리고 IV장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 분석한 후 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. MIMO-OFDM SYSTEM

2.1 SFBC-OFDM

STBC는 Alamouti에 의해 최초로 제안되었다^[5]. 2개의 송신 안테나를 사용한 Alamouti의 처음 제안은 이후 Tarokh의 직교 설계 조건에 따라 임의의 송신 안테나 개수로 확장 가능한 여러 가지 부호화

표 1. SFBC 심볼 부호화 (Tx : 2개)

Frequency Tx antenna	f_k	f_{k+1}
Tx1	X_k	$-X_{k+1}^*$
Tx2	X_{k+1}	X_k^*

율의 STBC로 발전하였다^[6].

SFBC-OFDM의 부호화는 한 OFDM 심볼의 인접 부채널에 해당하는 두 심볼 사이에 이루어진다. OFDM 심볼의 k번째 부채널 신호 X_k 와 k+1번째 부채널 신호 X_{k+1} 은 다음과 같이 부호화 된다.

각 송신 안테나에서 s번째 OFDM 심볼의 k번째 부채널 신호는 첫 열 성분이 전송되고, k+1번째 부채널 신호는 두 번째 열 성분이 전송된다. 이러한 부호화 과정을 거쳐 각각의 송신 안테나로 전송된 신호는 수신 안테나에서 다음 식과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 Y_k &= H_{1,k}X_k + H_{2,k}X_{k+1} + W_k \\
 Y_{k+1} &= -H_{1,k+1}X_{k+1}^* + H_{2,k+1}X_k^* + W_{k+1}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)과 같이 j 번째 수신 안테나를 통해 수신된 OFDM 심볼의 k번째 부채널 신호 Y_k 는 각 송신 안테나에서 전송된 신호의 합으로 나타난다. 식 (1)에서 $H_{1,k}$ 는 k번째 부채널 신호에 대한 1번째 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 채널 주파수 응답이며, $H_{1,k+1}$ 는 k+1번째 부채널 신호에 대한 1번째 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 채널 주파수 응답이다. 해당 부채널에 대한 잡음 성분은 W_k 와 W_{k+1} 로 나타난다. SFBC-OFDM 방식의 복호화 과정으로 추정된 \hat{X}_k 와 \hat{X}_{k+1} 은 다음 식과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 \hat{X}_k &= H_{1,k}^*Y_k + H_{2,k}Y_{k+1}^* \\
 \hat{X}_{k+1} &= H_{2,k}^*Y_k - H_{1,k}Y_{k+1}^*.
 \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에 식 (1)을 대입하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \hat{X}_k &= \left(|H_{1,k}|^2 + |H_{2,k}|^2 \right) X_k + H_{1,k}^*W_k + H_{2,k}W_{k+1}^* \\
 \hat{X}_{k+1} &= \left(|H_{1,k}|^2 + |H_{2,k}|^2 \right) X_{k+1} - H_{1,k}W_{k+1}^* + H_{2,k}^*W_k.
 \end{aligned}$$

따라서 SFBC-OFDM 시스템 방식은 $(|H_{1,k}|^2 + |H_{2,k}|^2)$ 의 다이버시티 이득을 갖는다.

2.2 SFTC-OFDM

STTC(Space Time Trellis code)는 98년 Tarokh, Seshadri, Calderbank에 의해 제안된 페이딩 채널하의 다중안테나 시스템을 위한 다이버시티 및 부호화 방식이다^[6]. 송신단의 부호화 과정은 다음과 같이 이루어진다. 정보비트가 입력되면 주어진 트렐리스도에 따라 다이버시티 이득과 부호화 이득이 최대가 되도록 성상도에 따라 각각의 다중안테나에 심볼이 할당되며, 할당된 심볼은 각각의 안테나를 통해 동시에 전송된다.

그림 1은 4state/QPSK의 STC의 한 예를 보여준다. 그림에서 두 자리 숫자는 2개의 송신안테나를 위한 각각의 QPSK 심볼의 값을 의미한다. 수신단에서의 복호화 과정은 비터비 복호기를 통해 이루어지며 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation)을 수행하여 본래의 정보 비트를 추정해 낸다.

STTC를 OFDM 방식에 적용할 경우에 주파수 영역에서 부호화 과정을 수행하게 되므로 SFTC-OFDM이 된다^[7]. 그림 2는 SFTC-OFDM 방식의 블록도를 보여준다. 부호화된 일련의 심볼들은 OFDM 부반송파에 차례로 실리고 각 송신기의 IFFT단을 거쳐 OFDM 변조된 후 최종적으로 RF단으로 출력된다. SFTC-OFDM 시스템의 복호화 역시 비터비 복호기를 사용하여 이루어진다. 수신단에서 채널 정보를 알고 있다고 가정했을 경우 비터비 복호를 위한 Branch Metric 값은 수신된 심볼과 임

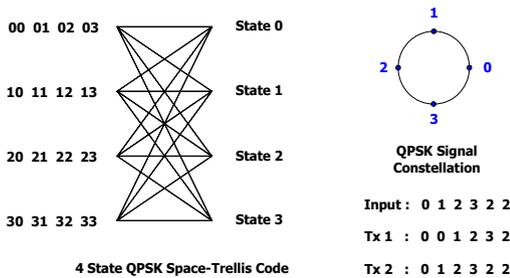


그림 1. 4 state/QPSK의 STC

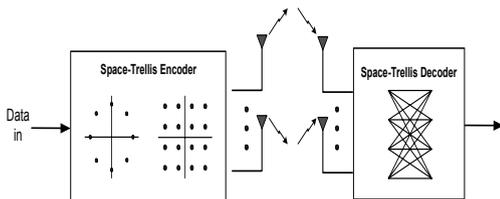


그림 2. SFTC-OFDM 방식의 블록도

의의 전송신호 사이의 거리를 이용하여 구한다. L 개의 송신 안테나와 M개의 수신 안테나를 갖는 경우에 비터비 복호를 위한 Branch Metric 값은 다음 식과 같이 주어진다.

$$\sum_{i=1}^M \left| Y_{s,i}(k) - \sum_{l=1}^L \hat{H}_{s,l,i}(k) X_{s,l}(k) \right|^2$$

여기서 $X_{s,l}(k)$ 와 $Y_{s,i}(k)$ 는 s번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파로서 l번째 송신 안테나에서 전송된 심볼과 i번째 수신안테나로 수신된 신호를 각각 나타내며, $\hat{H}_{s,l,i}(k)$ 는 l번째 송신 안테나로부터 i번째 수신 안테나에 이르는 채널의 주파수 응답의 추정치를 나타낸다.

III. MB-OFDM UWB INTERFERER

IEEE 802.15 TG3a에서 검토되고 있는 MB-OFDM UWB 시스템^[13]에서는 기본적으로 OFDM 방식을 적용하면서 다수의 전송 채널의 제공을 목적으로 3개 또는 2개 서브밴드를 가진 총 5개 주파수 그룹으로 구성된 멀티밴드를 운용한다.

MB-OFDM UWB 시스템의 송신기는 입력 데이터를 N개의 병렬 데이터 열로 변환한 후 IFFT를 이용해 변조한 후 다시 직렬 데이터로 변환한다. 다중경로 간섭으로 인한 심벌들 간의 ISI를 줄이기 위해 보호구간 Δ 동안 제로 패딩 데이터를 붙여준다. OFDM 신호의 복소 기저 대역 신호는 다음과 같다^[14].

표 2. MB-OFDM UWB 파라미터

Parameters	Value
System bandwidth, BW	528MHz
Number of data subcarriers, NSD	100
Number of defined pilot carriers, NSDP	12
Number of guard carriers, NSG	10
Number of virtual carriers, NSVC	6
Size of FFT/IFFT, NFFT	128
Subcarrier frequency spacing	4.125MHz
Sampling period, $T_s(=1/BW)$	1.89ns
IFFT/FFT period, $T_{FFT}(=1/F)$	242.42ns
Zero pad duration, $T_{ZP}(=32 \cdot T_s)$	60.61ns
Guard interval duration, $T_{GI}(=5 \cdot T_s)$	9.47ns
Symbol interval, $T_{SYM}(=T_{ZP}+T_{FFT}+T_{GI})$	312.5ns
Modulation	QPSK

$$r_{RF}(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} r_k(t - kT_{SYM}) \exp(j2\pi f_k t) \right\}$$

Re()는 복소 신호의 실수 부분을 나타내고, $r_k(t)$ 는 t번째 OFDM 심볼의 복소 기저대역 신호를 나타낸다. N은 OFDM 심볼 길이이고, T_{SYM} 은 심볼 주기이며, f_k 는 k번째 대역의 주파수이다. 모든 OFDM 심볼 $r_k(t)$ 는 IFFT를 이용해 데이터, 파일럿, 훈련 심볼들로 이루어진 상수 $C_n(i)$ 의 특정한 조합으로 만들어진다.

OFDM의 송신 신호는 다음과 같다^[14].

$$S_{OFDM}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-N_u/2}^{N_u/2} C_n(i) p_c(t - iT_{CP}) e^{j2\pi n \Delta_f (t - iT_{CP})}$$

파라미터 Δ_f 와 N_{ST} 는 각각 부반송파 주파수 간격과 이용된 총 부반송파의 수를 나타낸다. 결과적인 파형은 $T_{FFT} = 1/\Delta_f$ 의 구간을 갖는다. T_{CP} 에 의해 시간을 옮기는 것은 다중 경로의 효과를 완화하기 위해 OFDM에서 이용되는 cyclic prefix를 갖게 된다. $p_c(t)$ 는 구형 펄스를 나타내고 T_{GI} 는 보호구간이다.

IEEE UWB 채널 모델은 Saleh-Valenzuela (S-V) 모델^[15]을 약간 수정한 인텔에서 제안한 모델^[16]을 사용했다. 채널을 통과한 후 수신 신호는 다음과 같다.

$$r_{OFDM}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{OFDM}(t - \tau) \otimes h^l(\tau; t) d\tau + n(t) \\ = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-N_u/2}^{N_u/2} z_n(t) C_n(i) p_c(t - iT_{CP}) e^{j2\pi n \Delta_f t} + n(t)$$

여기서 z_n 는 수신된 n번째 부반송파이다.

IV. 모의 실험

이 장에서는 선형 공간 블록 코드를 적용한 MIMO-OFDM 시스템에 UWB 간섭이 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 모든 모의 실험에서는 하나의 OFDM 심볼 구간에서는 채널이 일정하다고 가정하였다. 그리고 심볼간 보호 구간은 ISI의 영향을 받지 않을 만큼 충분히 길다고 가정하였다. 또한 MIMO 방식에 따른 성능을 자세히 비교하기 위하여 채널 코딩은 사용하지 않았다.

표 3. OFDM System 파라미터

Parameters	Value
System bandwidth, BW	100MHz
Number of data subcarriers, NSD	1536
Number of guard carriers, NSG	452
Number of virtual carriers, NSVC	512
Size of FFT/IFFT, NFFT	2048
Subcarrier frequency spacing	0.0488MHz
Sampling period, T(=1/BW)	10ns
IFFT/FFT period, TFFT(=1/F)	20.48us
Cyclic Prefix duration(TCP)	4.52us
Symbol interval, TSYM(=TCP+TFFT)	25us
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

본 논문에서 모의 실험을 위해서 사용한 OFDM 시스템 파라미터는 다음과 같다.

본 모의 실험에 적용한 채널은 I-METRA Channel이다. I-METRA 채널은 3GPP에 제안된 MIMO 채널 모델을 따라 Nokia를 포함한 5개의 회사 및 대학교가 컨소시엄을 이루어 진행한 프로젝트의 결과로 단일 혹은 다중 클러스터(cluster)로 입력되는 진파의 Uniform, Gaussian, Laplacia 등 다양한 PAS(Power Azimuth Spectrum)에 따라 ULA(uniform linear array)의 공간상관 특성을 유도한 채널 모델이다^[17].

본 논문에서 고려한 OFDM 시스템의 구조는 그림 3 과 같다.

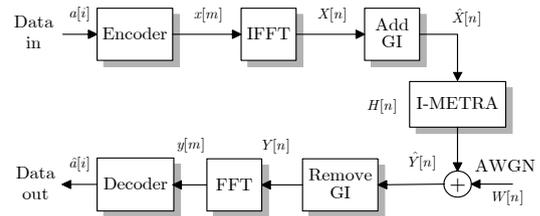
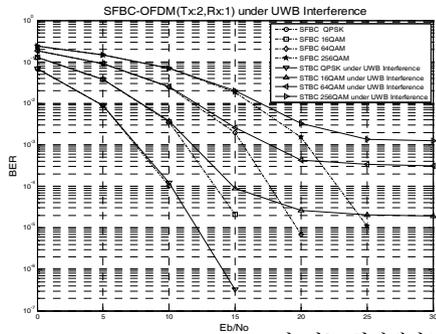


그림 3. OFDM 시스템 구조

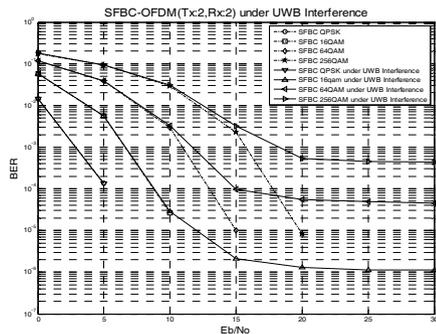
4.1 MB-OFDM UWB 간섭 환경에서의 SFBC-OFDM 성능 분석

그림 4는 MB-OFDM UWB Interferer에 의한 2개의 송신 안테나를 갖는 SFIC-OFDM 시스템의 BER 성능을 보여준다.

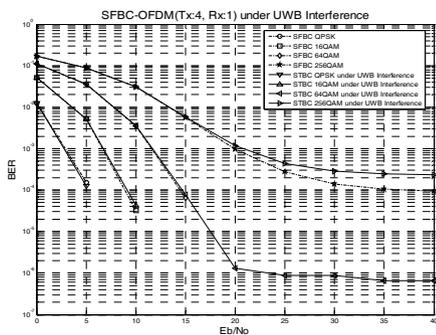
그림 (a)를 보면 2×1 의 SFBC-OFDM 시스템이 UWB 신호에 의해 심하게 간섭을 받았음을 알 수 있다. BER이 10^{-3} 인 경우를 기준으로 2×1 SFBC-



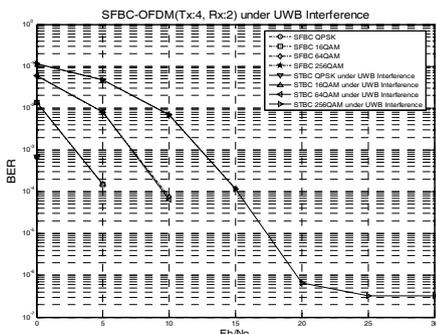
(a) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:2, Rx:1) 성능



(b) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:2, Rx:2) 성능



(c) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:4, Rx:1) 성능



(d) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:4, Rx:2) 성능

그림 4. MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM 성능

OFDM 시스템이 QPSK 변조를 사용할 때는 E_b/N_0 가 약 7.5dB로 UWB 간섭에 있는 경우와 성능은 같으나, 16QAM일 때는 E_b/N_0 가 약 0.5dB 정도가, 64QAM일 때는 E_b/N_0 가 약 2dB 정도로 UWB 간섭에 의해 성능이 나쁘게 나왔다. 또한 256QAM 변조 방식에서는 BER이 10^{-3} 이상에서 Error Flow(SNR이 높아짐과 상관없이 BER이 변화지 않는 현상)가 발생하였다. 또한 16QAM과 64QAM 변조 방식에서도 Error Flow가 발생하였다.

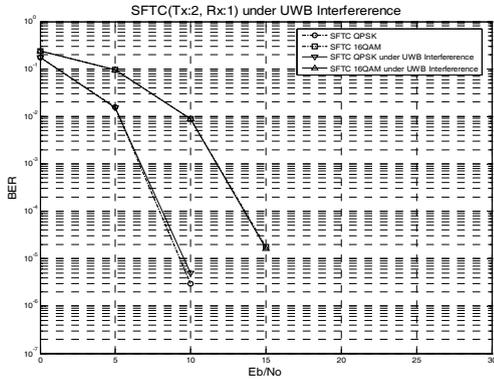
그림 4의 (b)는 2×2 SFBC-OFDM 시스템이 UWB 신호에 의해 생긴 간섭에 의한 BER 성능을 보여준다. BER이 10^{-3} 인 경우를 기준으로 2×2 SFBC-OFDM 시스템이 QPSK 변조를 사용할 때는 E_b/N_0 가 약 2.5dB로 UWB 간섭에 의한 성능과 같으나, 16QAM일 때는 E_b/N_0 가 약 0.1dB 정도가, 64QAM 일 때는 E_b/N_0 가 약 1dB 정도가, 256QAM일 때는 E_b/N_0 가 약 2.5dB 정도 UWB 간섭에 의해 성능이 열화 되었음을 보였다. 또한 2×1 과 마찬가지로 QPSK를 제외한 변조 방식에서 Error Flow가 발생을 통해 UWB 간섭의 영향을 심하게 받았음을 알 수 있다.

그림 (c)는 UWB Interferer에 의한 4×1 SFBC-OFDM 시스템이 BER 성능을 보여준다. 4개의 전송 안테나를 사용한 Block Code의 영향으로 2의 전송 안테나를 사용했을 때보다 모든 변조 방식에서 좋은 성능을 보였다. 또한 UWB 간섭에 의한 영향에도 강인함을 보였다. QPSK와 16QAM 변조 방식을 사용할 때 UWB 간섭에 의한 성능의 변화가 거의 없었으며, 64QAM 변조 방식일 때도 UWB 간섭으로 생긴 Error Flow가 BER이 10^{-6} 이하에서 발생하여 비교적 좋은 성능을 보여주었다.

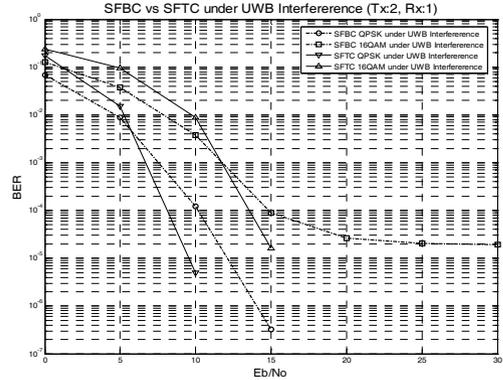
그림 (d)는 UWB Interferer에 의한 4×2 SFBC-OFDM 시스템의 BER 성능을 보여준다. 전체적으로 모든 변조 방식에서 좋은 성능을 보였다. 간섭의 유무에 따른 성능이 256QAM을 제외하고 거의 일치 하였다. 또한 256QAM에서도 Error Flow가 BER이 3×10^{-7} 인 지점에서 발생하였다. 따라서 전체적으로 UWB 간섭에 대해 강인함을 보여 주었다.

4.2 MB-OFDM UWB 간섭 환경하에서 SFBC-OFDM 성능

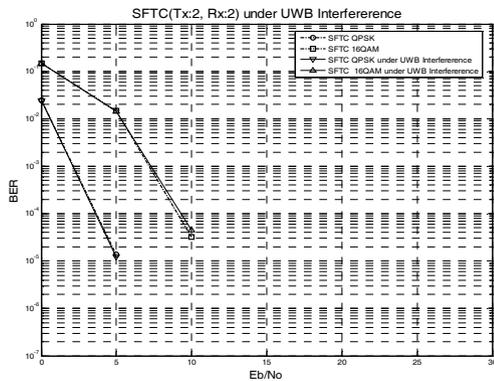
MB-OFDM UWB Interferer 에 따른 2개의 송신 안테나를 갖는 SFBC-OFDM 시스템의 성능은 그림 5과 같다.



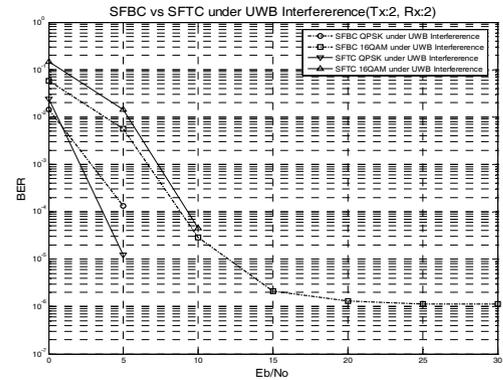
(a) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFTC-OFDM(Tx:2, Rx:1) 성능 비교



(a) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:2, Rx:1)와 SFTC-OFDM(Tx:2, Rx:1) 성능 비교



(b) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFTC-OFDM(Tx:2, Rx:2) 성능 비교



(b) MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFBC-OFDM(Tx:2, Rx:2)와 SFTC-OFDM(Tx:2, Rx:2) 성능 비교

그림 5. MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 SFTC-OFDM 성능

그림 (a)는 MB-OFDM UWB Interferer가 있는 환경에서의 송신 안테나가 2개, 수신 안테나가 1개 일 때의 SFTC-OFDM 시스템의 성능을 보여준다. 두 변조 방식에서 모두 UWB의 영향을 거의 받지 않았음을 알 수 있다. 수신 안테나가 2개 일 때의 성능은 그림 (b)와 같다. 이를 통해 SFTC-OFDM 시스템이 UWB Interferer에 대해 매우 강인함을 알 수 있다.

4.3 MB-OFDM UWB 간섭 환경하에서 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM 성능 비교

그림 6은 MB-OFDM UWB 간섭 환경에서 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM System과의 성능을 비교하여 보여준다.

그림 6의 (a)는 UWB Interferer의 간섭하에서 2×1 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM의 성능을 보여준다.

그림 6. MB-OFDM UWB Interferer에 따른 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM의 성능 비교

SFBC-OFDM 시스템의 경우 좀 더 UWB 간섭에 의해 영향을 많이 받았음을 알 수 있다. 더욱이 16QAM 변조 방식의 SFTC-OFDM 시스템의 경우 Eb/No가 20dB 이상일 때부터 Error flow 현상이 발생 하였다. 이에 반해 SFTC-OFDM의 경우 간섭에 매우 강인한 성능을 보였다.

그림 6의 (b)는 UWB Interferer의 간섭이 있는 환경에서 2×2인 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM의 성능을 보여준다.

그림 6의 (a)와 마찬가지로 Eb/No가 0dB 일 때는 SFBC-OFDM 시스템의 성능이 좋으나 Eb/No가 증가할수록 두 시스템의 성능의 차가 줄어들거나 역전됨을 볼 수 있다.

또한 그림 6의 (a)와 비교해 볼 때 2개의 수신안테나의 사용으로 인해 전송 다이버시티를 Gain으로 인해 모든 변조 방식에서 성능이 향상 되었음을 알 수 있다.

4.4 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM 시스템의 Complexity 비교

이번 장에서는 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM 시스템의 Complexity를 비교해 보았다. 비교 방식은 각 시스템에서 OFDM의 한 symbol을 처리하는데 걸린 시뮬레이션 시간의 측정치를 통해 이루어졌으며 결과는 표 4와 같다.

SFBC-OFDM 시스템은 모든 변조 방식에서 같은 수치가 나왔다. 따라서 변조 방식보다는 송신·수신 안테나 수가 처리 속도를 결정하는 데 큰 비중을 차지했다. 그러나 SFTC-OFDM 시스템의 경우는 송·수신 안테나 수 뿐만 아니라 고유의 코딩 기술에 사용된 State 수에 따라서도 영향을 받았다. 전체적으로 SFBC-OFDM 시스템이 SFTC-OFDM 시스템보다 우수한 처리 속도를 보였다.

표 4. SFBC와 SFTC의 Complexity 비교(sec)

	SFBC-OFDM	SFTC-OFDM
Tx:2, Rx:1	0.738568	QPSK:0.7555(4state) 16QAM:1.1569(16state)
Tx:2, Rx:2	1.37024	QPSK:1.40725(4state) 16QAM:2.1605(16state)
Tx:4, Rx:1	1.36881	X
Tx:4, Rx:2	2.58835	X

V. 결론

본 논문에서는 MB-OFDM UWB의 간섭에 의한 공간 블록 코드를 적용한 MIMO-OFDM 시스템에 대한 성능을 알아 보았다. 주파수 공간 블록 코드를 적용한 SFBC-OFDM과 SFTC-OFDM 시스템 모두 전송 다이버시티 이득을 보였다. 송신 안테나가 두 개인 경우의 SFBC-OFDM 시스템과 SFTC-OFDM 시스템의 성능을 비교하였다. 모든 시뮬레이션에서 Eb/No가 0dB 일 때 SFBC-OFDM 시스템의 성능이 SFTC-OFDM 시스템 보다 우수하게 나왔다. 그러나 Eb/No가 증가할수록 그 성능의 차이는 줄거나 역전이 되어 SFTC-OFDM 시스템의 성능이 좀 더 우수함을 보였다. 또한 UWB Interferer의 간섭에 대해서도 SFTC-OFDM 시스템이 SFBC-OFDM 시스템보다 간섭의 영향에 대해 좀 더 강한 함을 보였다.

따라서 UWB Interferer가 없는 환경에서나 Eb/No가 낮은 경우에는 연산량이 좀 더 적고 우수한 성능을 갖는 SFBC-OFDM 시스템을, UWB Interferer가 있는 환경에서는 간섭에 좀 더 강한 시스템을

SFTC-OFDM 시스템의 사용을 제안한다.

참고 문헌

- [1] H.Sari, G.Karam, and I.Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Commun. Magazine, Vol. 33, pp.100-109, Feb. 1995.
- [2] IEEE 802.11a/D7.0, High Speed Physical Layer in the 5GHz band, July 1999.
- [3] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criteria and code construction," IEEE trans.Inform.Theory
- [4] R.S. Blum, Y.G. Li, J.H. Winters and Q. Yan, "Improved Space-Time coding for MIMO-OFDM Wireless Communications," IEEE Tran. On Communications, Vol. 49, pp.1873~1878, Nov. 2001.
- [5] S. M. Alamouti, "A simple transmitter Diversity Scheme for Wireless Communications," IEEE J. Select. Areas Commun, Oct. 1998.
- [6] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "space-time block codes form orthogonal designs," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.45, pp.1456-1467, Jul. 1999.
- [7] K.F.Lee and D.B.Williams, "A Space-Frequency Transmitter Diversity Technique for OFDM Systems," IEEE Global Telecomm. Conf., 2000, Vol. 3, pp.1473-1477.
- [8] J. R. Hoffman, et al., "Measurements to Determine Potential Interference to GPS Receivers from Ultra-Wideband Transmission Systems," NTIA Report 01-384, Feb. 2001.
- [9] R.Giuliano, F.Mazzenga and F.Vatalaro, "On the interference between UMTS and UWB systems," 2003 IEEE Conferences on Ultra Wideband System and Technologies, pp. 339-343, Nov. 2003.
- [10] ITU-R 1-8/20-E, Compatibility Test Between UWB and Other Radio communication Services (PCS and GPS)
- [11] ITU-R 8F/864-E, UWB Compatibility/ Interference With WCDMA Uplink and Downlink With Single Source UWB Interference.

- [12] J. Bellorado, S. S.Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T .Sveinsson, V .Tarokh, "Coexistence of Ultra-Wideband Systems with IEEE-802.11a Wireless LANs," Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM '03 .IEEE, pp410-414 Vol.1
- [13] <http://www.multibandofdm.org/presentations>.
- [14] Anj Batra and Jaiganesh Balakrishnan, "Design of a Multiband OFDM System for Realistic UWB Channel Environments," IEEE transactions on microwave theory and techniques, SEP 2004.
- [15] A.A. Saleh and R.A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [16] Jeffrey R. Foerster and Andreas F. Molisch, "A Channel Model for Ultrawideband Indoor Communication," Channel Modeling Subcommittee Report Final, Nov. 2002.
- [17] ETSI Tech. Report, "Multiple-Input Multiple Output Antenna Processing for HSDPA", TR 25.876 v1.0.1, 2002.

김 경 석 (Kyung-seok Kim)

정회원



1987년 2월 한국항공대학교 전자공학과 졸업
 1989년 2월 한국항공대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
 1989년 1월~1998년 12월 한국전자통신연구원 무선통신연구

단 선임연구원

1999년 1월~2002년 3월 University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업 (공학박사)
 2002년 2월~2004년 8월 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
 2004년 9월~2005년 2월 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 2006년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 조교수
 <관심분야> 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB

송 창 근 (Chang-kun Song)

정회원



2006년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업
 2006년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> MIMO, CR