

---

# 연접부호를 적용한 시공간 OFDM 시스템의 성능 개선

서완우\* · 정연호\*

## Performance Improvement of Space-Time OFDM System with Concatenated Codes

Wanwoo Seo\* · Yeonho Chung\*

### 요 약

시공간 부호(Space-Time Coding)는 송신부에서 전송신호를 시간영역과 공간영역으로 확장하여 전송하는 기법으로 다이버시티 이득과 부호화 이득을 동시에 얻을 수 있다. 본 논문에서는 SPW(Signal Processing Worksystem) 시뮬레이션 플랫폼을 이용하여 고속 무선랜 관련 표준안인 IEEE 802.11a 시스템을 기초로 한 연접부호 시공간 OFDM 시스템의 성능 개선을 분석하였다. IEEE 802.11a에 포함된 구속장의 길이가 7인 콘볼루션 부호 대신에, 시공간 블록 부호를 이용한 시스템과 콘볼루션 부호와 시공간 블록 부호를 연접한 시스템을 SPW 시뮬레이션 플랫폼에서 각각 구현하여 그 성능을 비교하였다. SPW 시뮬레이션 결과에 의하면 데이터율 6Mbps에서 두 부호를 연접한 시스템의 성능이 콘볼루션 부호기를 적용한 IEEE 802.11a 시스템보다 약 5dB 이상 우수한 성능을 보였고, 데이터율 12Mbps에서는 6dB 이상의 성능 개선을 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

Space-Time Coding(STC) is a technique that utilizes joint correlation of transmitted signals in both time and space domains. Through this approach, diversity and coding gains can be simultaneously obtained. In this paper, we use SPW simulation tool to implement the IEEE 802.11a system. Based on this system, OFDM system with STC and convolutional coder concatenated is implemented. The system performance is analyzed and compared with the performance of the IEEE 802.11a system. The simulation results show that the performance with concatenated codes at a data rate of 6Mbps shows approximately a 5dB gain over the system with the convolutional code only. At a data rate of 12Mbps, the performance with concatenated codes is further improved by approximately 6dB.

### 키워드

Space-Time Coding, Space-Time Block Coding, OFDM, IEEE 802.11a

## 1. 서 론

고속 광대역의 이동통신에서 멀티미디어 서비스

의 요구와 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송의 고속화가 요구됨에 따라 시스템의 신호 품질과 효율을 개선하기 위한 전송기술들의 개발이 활발

---

\* 부경대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2004. 2. 19일

하게 진행되고 있다[1].

고속 전송기술의 하나인 OFDM은 고속 전송률을 갖는 데이터 열을 낮은 전송률을 갖는 많은 수의 데이터 열로 나누어 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다. 낮은 전송률을 갖는 부반송파의 심볼 구간은 증가하므로 다중경로 지연확산에 의해 발생하는 시간상에서의 상대적인 신호 분산은 감소시키는 장점으로 인해 여러 분야에 응용되고 있다[2]. 그러나 다중경로 페이딩 채널에 의해 몇 개의 부반송파가 깊은 페이딩으로 완전히 손실 될 수 있다. 따라서 전방오류정정 부호화나 다이버시티 같은 기법들이 필수적으로 사용되어야 한다[3].

시공간 부호는 다중안테나를 이용하여 시공간 다이버시티 이득에 채널 부호화 기술을 접목시켜 부호화 이득까지 얻는 기술이다. 시공간 부호에는 시공간 격자 부호(Space-Time Trellis Coding)[4]와 시공간 블록 부호(Space-Time Block Coding)[5]가 있다. 시공간 격자 부호는 시공간 다이버시티 이득과 단일 안테나 채널에서의 TCM(Trellis Coded Modulation)처럼 부호화 이득을 동시에 얻을 수 있는 장점이 있는 반면 안테나 수의 대해 복호의 복잡도가 전송률에 따라 지수적으로 증가하는 단점이 있다. 그러나 시공간 블록 부호는 다이버시티 이득은 얻을 수 있으나 부호화 이득은 얻을 수 없는 반면 하나의 선형과정을 통해 최대 근사화 복호(Maximum Likelihood Decoding)가 이루어 질수 있어 시공간 격자 부호에 비해 복호가 비교적 간단한 장점이 있다. 그러므로 시공간 블록 부호는 복호의 낮은 복잡도로 인해 차세대 이동통신 기술에도 쉽게 적용될 수 있다는 장점을 가진다.

본 논문에서는 IEEE 802.11a[6] 시스템의 성능을 향상시키기 위해 시공간 블록 부호 혹은 콘볼루션 부호와 연결한 시공간 블록 부호를 IEEE 802.11a 시스템에 적용하여 성능 개선 효과에 대해 비교 및 분석 하고자 한다. 본 논문에서는 친사용자 환경 시뮬레이션 플랫폼인 SPW[7]를 이용하여 구현 및 분석 작업을 수행 하였다.

2장에서는 서론에 이어서 시공간 블록 부호의 알고리즘을 설명하며 3장에서는 SPW 시뮬레이션 플랫폼을 이용하여 구현한 OFDM 시스템 환경에서의 실험을 통해 각각의 성능을 분석하고 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 시공간 블록 부호

Alamouti[5]는 2개의 안테나를 이용하여 복소수의 직교 설계(Complex Orthogonal Design)를 이용한 송신 다이버시티 구조를 제안하였다. 그림 1은 SPW 시뮬레이션 플랫폼으로 구현한 시공간 블록 부호의 송신 시스템 구성도이다.

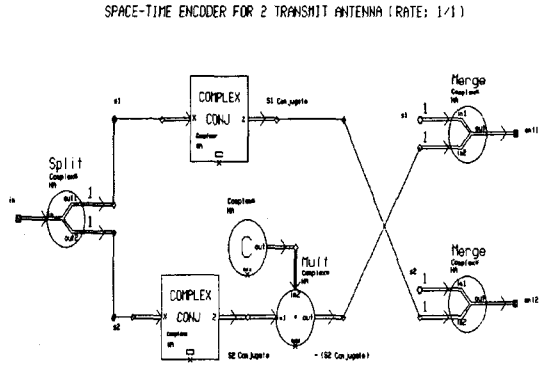


그림 1. 시공간 블록 부호의 송신부

Fig. 1 Transmitter of STBC

그림 1에서 시공간 블록 부호의 입력 심볼은 각각 두개의 심볼 그룹으로 나누어진다.

$$S = \begin{pmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{pmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 첫 번째 심볼 주기 동안에 첫 번째 안테나에는  $s_0$ 가 전송되고 두 번째 안테나에서는  $s_1$ 이 동시에 전송된다. 다음 심볼 주기에 첫 번째 안테나에서  $-s_1^*$ 가 전송되고  $s_0^*$ 는 두 번째 안테나에서 각각 전송된다. 두 심볼의 시간주기 동안 페이딩이 일정하다는 가정이 요구되며 이때 복소수의 페이딩 계수는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0(t+T) = h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 T는 심볼 주기이다.

그림 2는 시공간 블록 부호의 수신 시스템 구성도이다.

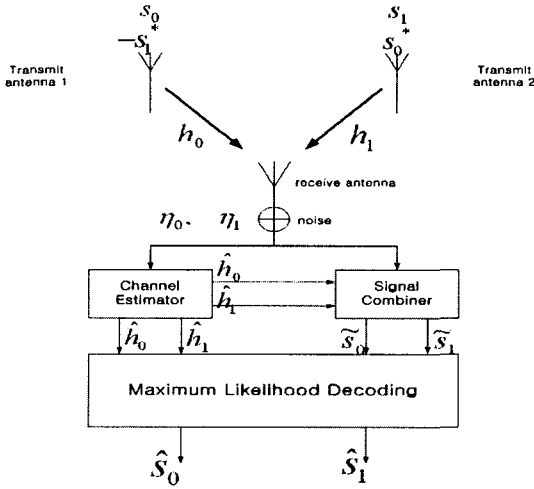


그림 2. 시공간 블록 부호의 수신부  
Fig. 2 Receiver of STBC

그림 2에서 두개의 송신 안테나를 통해 전송된 신호는 하나의 수신 안테나를 통해 수신되며 수신 신호는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + \eta_0 \\ r_1 &= r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + \eta_1 \end{aligned} \quad (3)$$

$r_0, r_1$ 은 시간  $t$ 와  $t+T$ 에서 수신된 신호이며,  $\eta_0, \eta_1$ 은 복소수의 가우시안 잡음이다.  $r_0$ 은 송신신호  $s_0, s_1$ 으로 구성되어 있고  $r_1$ 은 두 신호의 공액 복소수로 이루어져 있다. 각각의 채널은 추정이 가능하며, 수신신호를 식 (4)와 같이 결합하게 되면 수신 다이버시티의 최대 비 결합(Maximum Ratio Combining)방식과 같은 값을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* \eta_0 + h_1 \eta_1^* \\ \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_1 - h_0 \eta_1^* + h_1^* \eta_0 \end{aligned} \quad (4)$$

결합과정을 통해 나온 신호  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$ 을 최대 근사화 복호과정을 거치면 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_0 &= \arg \min_{\hat{s}_0 \in S} (|h_0|^2 + |h_1|^2 - 1) |\hat{s}_0|^2 + d^2(\tilde{s}_0, \hat{s}_0) \\ \hat{s}_1 &= \arg \min_{\hat{s}_1 \in S} (|h_0|^2 + |h_1|^2 - 1) |\hat{s}_1|^2 + d^2(\tilde{s}_1, \hat{s}_1) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $(|h_0|^2 + |h_1|^2 - 1) |\hat{s}_i|^2, i = 1, 2$  는 M-PSK 신호 배열(Signal constellation)을 표시하며 이 값은 모두 일정하므로 식 (5)를 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_0 &= \arg \min_{\hat{s}_0 \in S} d^2(\tilde{s}_0, \hat{s}_0) \\ \hat{s}_1 &= \arg \min_{\hat{s}_1 \in S} d^2(\tilde{s}_1, \hat{s}_1) \end{aligned} \quad (6)$$

그림 3은 시공간 블록 부호의 원리를 바탕으로 SPW 시뮬레이션 플랫폼으로 구현한 시공간 블록 부호 시스템의 최 상위 구성도이다.

SPACE-TIME BLOCK CODE FOR 2 TRANSMIT ANTENNAS (RATE: 1/1)	
Maximum number of samples in simulation 1000000	
Vehicle speed in kmph	100.0
Sampling Frequency (Hz)	1e05
Carrier Frequency (Hz)	195000
Default Doppler Frequency (Hz)	171.2962963
Level of PSK Constellation	2
Signal Power per Antenna	1.0
Signal to Noise Ratio (db)	5.0
Noise Power	0.63245552

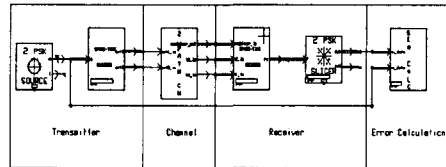


그림 3. 시공간 블록 부호 시스템  
Fig. 3 STBC system

### III. 시뮬레이션 환경 및 결과

본 논문에서는 IEEE 802.11a[7] 무선랜 시스템에서 표준안으로 제시된 구속장의 길이가 7인 콘볼루션 부호와 비터비 복호를 이용한 시스템을 구현하였다. 그리고 IEEE 802.11a의 콘볼루션 부호 대신에 시공간 블록 부호로 구성된 시스템을 구현하였으며 외부부호로 콘볼루션 부호를, 내부부호로 시공간 블록 부호를 연접시킨 시스템을 구현하여 그 성능을 각각 비교 하였다.

그림 4는 SPW 시뮬레이션 플랫폼으로 구현한 IEEE 802.11a 시스템의 최 상위 구성도이다.

IEEE 802.11a ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) SYSTEM IN 5 GHz BAND			
<b>MAIN PARAMETERS</b>	<b>UNEDITABLE PARAMETERS</b>		
Data Rate (Mbps)	24	SERVICE bits	16
PSDU length	64	TAIL bits	6
Eb/N0 (dB)	28.0	PMD bits	42
Decoding	soft	Data bits	676
Channel	Fading	Modulation	16QAM
Delay spread (ns)	200.0	Coding rate	3/4
Number of paths	2	M-BSK (used for BER calc)	1
Path delay spread (ns)	50.0	M-CPFS (used for BER calc)	162
Delay between 1st path	50.0	M-QPSK (used for BER calc)	96
<b>OTHER PARAMETERS (EDITABLE)</b>		NUMBER OF OFDM symbols	8
Tx windowing	no	SNR (dB)	28.751
Esxprts mode	no		

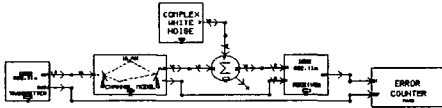


그림 4. IEEE 802.11a 시스템  
Fig. 4 IEEE 802.11a system

데이터는 OFDM에 사용하는 부호율이 1/2이고 고속장의 길이가 7인 콘볼루션 부호에 의해 채널 부호화 된다. 부호화 과정이 끝난 데이터는 군집 에러를 방지하기 위하여 인터리빙 과정을 거치게 된다. 인터리빙(Interleaving)의 블록 크기는 OFDM 심볼의 비트 수에 따라 크기가 결정된다. 인터리빙이 끝난 데이터는 물리계층의 전송 모드에 따라 그레이 코딩방식(Gray Coding)을 이용하여 변조되고, 이들 심볼들은 푸리에 역변환(Inverse Fast Fourier Transform)에 의해 각각 OFDM 심볼을 생성한다.

OFDM 시스템은 고속 무선전송에서 지연 확산에 의해 발생하는 ISI(Intersymbol Interference) 및 ICI(Intercarrier Interference)를 방지하기 위해 심볼간에 보호구간을 삽입된다. 이 보호구간은 순환 전치 방법을 이용하여 한 OFDM 심볼의 마지막에 해당되는 부분을 해당 심볼의 앞부분에 복사하여 사용한다.

OFDM 시스템의 수신부에서는 송신부와 반대로 동작한다. 수신부에서 푸리에 역변환에 대한 복호 과정으로 푸리에 변환(Fast Fourier Transform) 과정을 수행하고 콘볼루션 부호에 대한 복호 과정으로 연판정(Soft decision) 비터비(Viterbi) 복호를 사용한다. 이 방법은 부호기에 의해서 보내진 데이터 열에 대한 최적의 최대 가능성 비를 추정할 수 있다.

그림 5는 시뮬레이션에 사용한 연접 부호를 적용한 시스템의 최 상위 구성도를 나타내었다. 첫 번째 블록에서 데이터가 생성된다. 인터리버와 콘볼루션 부호기를 거친 후 변조 레벨에 따라 BPSK, QPSK로 변조되고, 시공간 부호기에 의해 두개의 심볼로 분리된다. 분리된 심볼은 푸리에 역변환 과정을 거쳐 각각의 OFDM 심볼을 생성한다. 채널을 통과하여 수신된 신호는 OFDM 복조를 한 후 복소 페이

딩 계수와 결합 과정을 거치고, 최대 근사화 복호 과정을 거친다. 그런 후 디인터리버와 비터비 복호 과정을 거친 신호는 원래의 신호로 복호된다.

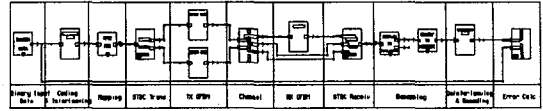


그림 5 연접 부호를 적용한 OFDM 시스템  
Fig. 5 OFDM system with concatenated codes

그림 5의 시스템에 사용된 주요 시뮬레이션 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1. 시스템 파라미터  
Table. 1 System parameters

파라미터	값
데이터 전송률	6Mbps, 12Mbps
변조 레벨	BPSK, QPSK
콘볼루션 부호율	1 / 2
안테나 수	송신단:2, 수신단:1
부반송파 수	64

그림 6은 SPW 시뮬레이션 플랫폼으로 구현한 시스템의 채널 환경이다.

시뮬레이션을 위해 균등 채널 환경을 사용하였으며 데이터 전송률이 6Mbps일 때는 블록 인터리버의 크기는 64개와 BPSK 변조에서 수행하였고, 데이터 전송률이 12Mbps에서는 블록 인터리버의 크기는 96개와 QPSK 변조에서 수행하였다.

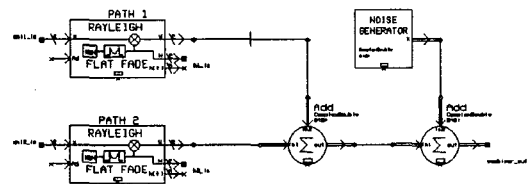


그림 6. 페이딩 채널 환경  
Fig. 6 Fading channel environments

1. 데이터 전송률 6Mbps에서의 성능비교

그림 7에서 보는 바와 같이 콘볼루션 부호기를 적용한 OFDM 시스템에 비하여 시공간 블록 부호를 적용한 시스템 성능이 BER이 10<sup>-3</sup>을 기준으로

약 2dB 정도 더 우수한 성능을 보였다. 이는 부호화 이득보다 다이버시티에 의한 이득이 더 크기 때문임을 알 수 있으며, 두개의 부호를 연접한 시스템의 경우에는 약 5dB 정도 성능이 더 우수하게 나타났다. 이는 다이버시티 이득과 부호화 이득을 모두 얻을 수 있기 때문에 나타나는 결과이다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11a OFDM 시스템, 시공간 블록 부호를 적용한 OFDM 시스템 및 콘볼루션 부호기와 시공간 블록 부호를 연접한 OFDM 시스템을 각각 구현하여 성능을 균등 채널 환경에서 각각 비교 분석하였다. BER이  $10^{-3}$ 을 기준으로 콘볼루션 부호기와 연접한 시공간 블록 부호 OFDM 시스템의 성능이 콘볼루션 부호기를 적용한 OFDM 시스템보다 약 6dB 정도 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 채널 정보를 수신부가 정확히 추정할 수 있다고 가정할 때, 시공간 블록 부호가 균등 채널 환경에서 다이버시티 이득을 얻음과 동시에 콘볼루션 부호기를 연접시킨 경우에는 부호화 이득까지 얻을 수 있기 때문이다. 향후 연구 과제로 기존의 시공간 부호의 다이버시티 이득을 유지하면서 높은 부호화 이득을 얻을 수 있는 새로운 구조와, 다른 채널 부호와 접목시키는 방법도 고려할 수 있다.

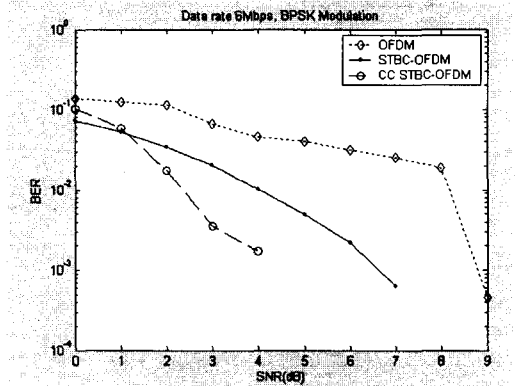


그림 7. 6Mbps에서의 성능 비교

Fig. 7 Performance comparison at the rate of 6Mbps

#### 2. 데이터 전송률 12Mbps에서의 성능비교

전체적인 성능을 볼 때 데이터 전송률이 12Mbps에서의 결과는 데이터 전송률 6Mbps에서와 비슷한 성능결과를 나타내었다. BER이  $10^{-3}$ 을 기준으로 약 5dB 이상의 성능이 개선되었고, 콘볼루션 부호와 시공간 블록 부호를 연접한 시스템에서는 6dB이상의 성능이 더 우수하게 나타났다.

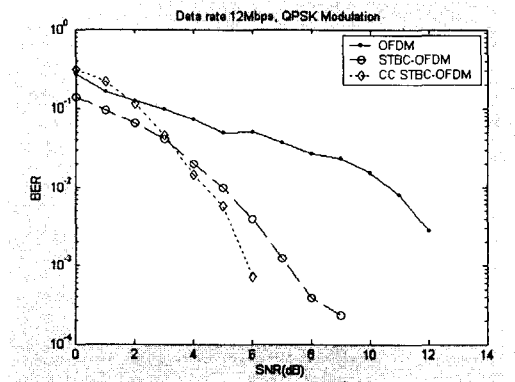


그림 8. 12Mbps에서의 성능비교

Fig. 8 Performance comparison at the rate of 12Mbps

#### 참고문헌

- [1] Naguib, A.F., Seshadri, N. and Calderbank, A.R., "Increasing data rate over wireless channels", IEEE Signal Processing Mag., vol.17, no.3, pp.76-92, May, 2000
- [2] van Nee, R., Awater, G., Morikura, M., Takanashi, H., Webster, M. and Halford, K., "New high-rate wireless LAN standards", IEEE Comm. Mag., vol.37, no.12, pp.82-88, Dec. 1999
- [3] Cimini, L.J.Jr., Daneshrad, B. and Sollenberger, N.R., "Clustered OFDM with transmitter diversity and coding", IEEE CLOBECO M, vol.1, pp. 703-707, Nov. 1996
- [4] Tarokh, V., Seshadri, N. and Calderbank, A.R., "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.44, no.2, pp.744-765, Mar. 1998
- [5] Alamouti, S.M., "A simple transmit diversity technique for wireless communications", IEEE Journal Select. Areas Comm., vol.16, no.8, pp.1451-1458, Oct. 1998
- [6] IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access

Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", P802.11/D10, 14, Jan. 1999

[7] <http://www.cadence.com>

[8] ETSI TS 101 475 V1.3.1, "Broadband Radio Access Networks(BRAN), HIPERLAN Type 2, Physical layer", Dec. 2001



서원우(Wan-Woo Seo)

2001년 2월 : 동명정보대학교 정보통신공학과 졸업

2003년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 정보통신공학과 석사과정

※관심분야 : 시공간부호, 채널부호화



정연호(Yeon-Ho Chung)

1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업

1992년 2월 : The Imperial College, The University of London, U.K(공학석사)

1996년 2월 : Liverpool University, U.K. 전기 및 전자공학과(공학박사)

1994년 ~ 1996년 : Liverpool University 연구/강의 조교

1994년 ~ 1995년 : 영국Freshfield Communications Ltd. 기술 자문역(이동통신 시스템 설계 및 H/W, S/W 개발)

1996년 ~ 2001년 : 경북대학교/동의대학교 전임강사

2001년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 조교수

※관심분야 : 적응 변조 및 부호화 기술, 반송파 간섭신호 부호, OFDM 시스템, 채널부호화