

STBC-OFDM 기반의 WiBro 시스템 소프트웨어 플랫폼 구현

Implementation of Software Platform for STBC-OFDM based WiBro Systems

배정남*, 오영철**, 유상훈*, 위현호*, 김진영*
 (Jung Nam Bae*, Young Chul Oh**, Sang Hoon Yoo**, Hynn Ho Wi***, and Jin Young Kim*)

Abstract: There are a few core technologies to enable high-performance 4th generation (4G) broadband wireless communication system. A multiple input multiple output (MIMO) provides high-rate transmission through expended channels by multiple array antennas in both sender and receiver side. Also orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is well-known as the most appropriate technique for high data rate transmission such as Mobile WiMAX and WLAN. Efficient decrease of inter-carrier interference (ISI) and inter-carrier interference (ICI) are the reasons for why OFDM is suitable for high-performance transmission, 4G mobile communication. In this paper, we mainly focus on two of objects, combination between MIMO and OFDM, and OFDM channel simulator using Ray-tracing algorithm. The results of this paper can be used implementation of a Wireless Software Platform for 4G Mobile Communication Systems.

Keywords: Multiple Input Multiple Output(MIMO), Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Space Time Block Codes(STBC), Maximum-Likelihood detector(ML)

I. 서론

디지털 시대의 이동 통신 시스템은 대용량 멀티미디어 데이터 전송 서비스가 증가하면서 고속 데이터 전송과 증가된 전송 용량을 처리 할 수 있는 기술들이 필요하게 되었으며, 또한 multi path fading, wave propagation loss, interference 등에 강한 기술들이 필요하게 되었다[1].

송, 수신단에 다중 안테나를 사용하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)시스템은 안테나 개수가 증가함에 따라 단일 안테나를 사용하는 SISO(Single Input Single Output)에 비해 채널 용량이 증가하므로 데이터 전송률을 높일 수 있다.

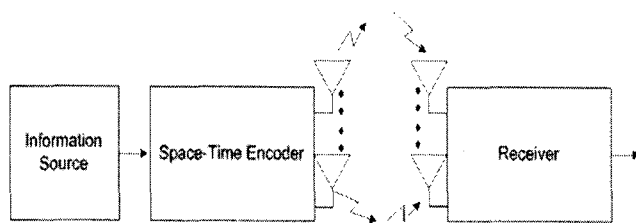


그림 1. MIMO 시스템 모델
 Fig. 1 MIMO system block diagram

그림 1은 MIMO 시스템의 블록도를 나타낸다. 현재 이 MIMO 시스템은 3가지 계열로 나누어지고 있다.[2] 첫째로 Spatial diversity를 최대화하여 파워 효율을 증가

시키는 것을 목적으로 하는 것으로 delay diversity, STBC(Space-Time Block Code)와 STTC(Space-Time Trellis Code)를 포함하는 계열이 있다. 둘째로, 송신기에서 채널의 정보를 가지고 있는 경우로 채널 계수 행렬을 SVD(Singular Value Decomposition)을 사용하여 분해한 후 송신기와 수신기에 각각 필터를 사용하여 채널의 전송속도를 극대화 시키는 방법이다. 마지막으로 전송속도를 증가시키기 위해 계층별 접근을 시도하는 경우로 BLAST(Bell Laboratories Layered Space-Time) 계열이 있다.

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 IEEE 802.11a LAN standard에서 채택되어 사용되고 있는 기술로 신호 전달 시 발생하는 ISI(Inter Symbol Interference)를 감소시키는 역할을 수행한다.[3]

MIMO 시스템에 OFDM 시스템을 적용하기 위해서는 시간과 공간을 이용하여 부호화하는 기존의 STBC를 각 부반송파에 대하여 시간과 공간으로 부호화하는 형태로 수정한 STBC-OFDM과 각 시간에 대하여 주파수와 공간으로 부호화하는 STBC(Space-Time Block Code)-OFDM로 나눌 수 있다. 이 경우 STBC-OFDM은 부호화되는 연속된 OFDM 심볼간에 채널의 변화가 적어야 하므로 FFT 크기가 작고 유효심볼의 길이가 짧은 무선 LAN과 같은 응용에서 적합하며 STBC-OFDM은 인접 부 채널간 주파수 응답의 변화가 적어야 하기 때문에 FFT가 큰 응용분야에 적합하다. 또한, 시간과 공간에 대하여 부호화하는 기존 STTC를 OFDM 시스템에 적용하기 위해서는 공간과 부반송파에 대하여 부호화하는 STTC(Space-Time Trellis Code)-OFDM이 되며, 이 경우 비터비 복호를 위하여 state 수의 반에 해당하는 0의 잉여 비트를 주파수영역에서 마지막에 추가하여야 한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.

배정남 : 광운대학교 전자공학과

(jn1112@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-02, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

다이버시티 효과를 최대화하기 위하여 MIMO 기법이 사용되는 반면, 안테나의 간격이 $\lambda/2$ 보다 작거나 채널 계수간의 상관관계가 큰 환경에서는 스마트 안테나라고 불리는 빔 형성 기법이 유리하다. 즉, 안테나로 수신된 신호의 AOA(Angle of Arrival)이 적은 경우에는 공간적으로 안테나간의 상관관계가 커지기 때문에 빔형성을 통하여 다중사용자 간섭제거와 페이딩현상을 완화하는 것이 효과적이다.[4]

본 논문에서는 visual C++ 프로그램을 사용하여 STBC-OFDM 기법의 성능검증을 위한 STBC-OFDM Simulator를 구현하고 성능 분석을 하였다.

이 Simulator는 1X1에서 2X4에 이르는 다중 안테나 시스템의 SER이 그래프로 도시되며 SNR에 따른 SER 수치를 나타낸다. 그리고 간단한 Channel condition 만 주어지면 Channel estimation을 해볼 수 있다. 따라서 기본적인 Channel information만 가지고 있으면 위 simulator로 제작하기에 앞서 System performance를 예측해 볼 수 있고, 또한 앞으로 나올 신기술들을 쉽게 접목할 수 있어, 이 Simulator를 기반으로 하는 개선된 Simulator를 구현할 수 있다.

II. 시스템 모델

II.1. OFDM

OFDM 방식은 여러 개의 반송파를 사용하는 다수반송파 전송의 일종으로 반송파의 수만큼 각 채널에서의 전송 주기가 증가하게 된다.

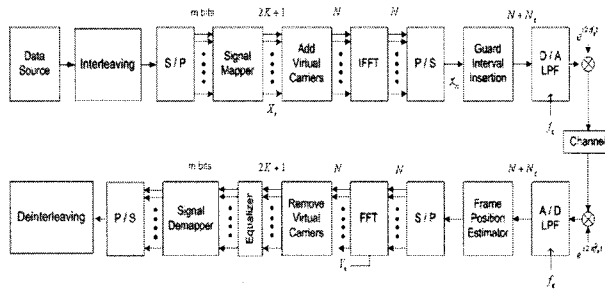


그림 2. OFDM 시스템 모델
Fig. 2 OFDM system block diagram

그림 2는 OFDM의 블록도를 나타낸다. OFDM을 사용하는 가장 중요한 요인중의 하나는 multi-path delay spread를 효과적으로 다룰 수 있다는 점이다. 즉, input datastream을 N 개의 subcarrier로 나눔으로써, symbol duration이 N 배 더 작게 된다. 이는 symbol time에 비하여 상대적으로 multi path delay spread의 감소를 의미하게 된다. Intersymbol Interference를 거의 완벽히 제거하기 위하여, guard time이 OFDM에 도입된다.

OFDM의 주요 특징은 다음과 같다.[5] 첫째, 전송 대역폭과 비트 rate가 일정한 single carrier 방식과 비교하면, 송신 데이터를 N 개의 subcarrier에 분산하여 전송하는 경우, 전송 심볼 1개의 계속 시간은

single carrier 방식의 약 N 배가된다. 이와 같이 전송 심볼 1개의 계속 시간이 single carrier 방식보다 크게 길어지고 시간 축에서 guard interval을 추가하면 multi path가 증가해도 전송특성의 열화가 적다. 둘째, 데이터를 전송대역 전체에 분산하여 전송하기 때문에 특정 주파수 대역에 방해 신호가 존재하는 경우에도 그 영향을 받는 것은 일부 데이터 비트에 한정되며, interleaver와 에러정정 부호를 통해 효과적으로 특성을 개선할 수 있다. 셋째, 변조파는 랜덤 잡음에 가깝기 때문에 다른 서비스에 미치는 방해의 성질은 랜덤 잡음과 같다. 넷째, FFT(Fast Fourier Transform)에 의한 변복조 처리가 가능하다. 다섯째, multi path에 강한 특성이 있으므로 비교적 적은 전력의 다수 송신 국을 이용하여 단일 주파수로 서비스 영역을 커버하는 SFN을 구성할 수 있다. 마지막으로, subcarrier가 같은 주파수 간격으로 정렬된 multi carrier 방식이므로 전송로에 비선형 특성이 존재하고, 상호변조에 의한 특성 열화가 발생하기 쉽다. 따라서 충분한 선형영역에서 사용할 필요가 있다.

II.2. STBC(Alamouti Code)

STBC 코딩은 MIMO 기술에서 독창적인 송신 다이버시티 기술로 매우 간단하다. Alamouti는 간단한 최대 우호 복호 알고리즘(maximum likelihood decoding)으로 최대 다이버시티 이득을 얻는 2X2 시스템을 제안하였다. 그림 3은 STBC 블록도를 나타낸다.[6]

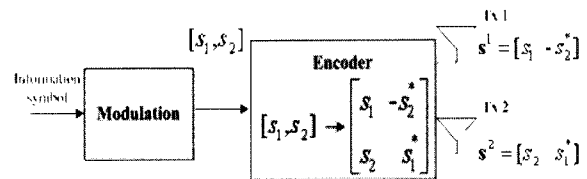


그림 3. STBC 시스템 모델
Fig. 3 STBC system block diagram

정보 비트들은 M-ary 변조 방법으로 변조된다. 2개의 변조된 신호와 는 부호화를 해주는데 다음과 같은 행렬식 (1)에 따라 송신기는 부호화 동작을 한다.

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 첫 번째 열은 첫 번째 전송 주기를 나타내고 두 번째 열은 두 번째 전송 주기를 나타낸다. 첫 번째 행은 첫 번째 안테나에서 전송되는 심볼을 나타내고 두 번째 행은 두 번째 안테나에서 전송되는 심볼을 나타낸다. 간단히 말해서, 첫 심볼 주기 동안 첫 번째 안테나에서는 S_1 을 전송하고 두 번째 안테나에서 S_2 을 전송한다.

두 번째 심볼 주기 동안에는 첫 번째 안테나에서는 $-S_2^*$ 을 전송하고 두 번째 안테나에서는 S_1^* 을 전송한다. 이것은 공간(두 개의 안테나)과 시간(두 전송 주기) 모두를 사용하므로 시공간 코드라 불린다.

$$\begin{aligned} s_1 &= \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \end{bmatrix} \\ s_2 &= \begin{bmatrix} s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 S_1 은 첫 번째 안테나에서 나오는 정보 시퀀스이고 S_2 는 두 번째 안테나에서 나오는 정보 시퀀스이다.

식 (2)은 S_1 과 S_2 의 내적이 0이 되므로 직교한 시퀀스이며, 내적은 식 (3)과 같다.

$$s_1 s_2 = (s_1 * s_2^*) - (s_2^* * s_1) \quad (3)$$

정보 데이터가 변조된 신호는 STBC 부호화기에 입력되어 space-time 코드에 의해 부호화 된다. 부호화된 신호들은 송신 안테나를 통해 송신되며 각각의 독립 채널을 통과하여 수신단에 들어가게 된다. 수신 데이터는 최대비 결합기와 ML 검출기를 통하여 데이터를 복호하게 된다. 그림 4는 2개의 송신 안테나와 1개의 수신안테나를 갖는 STBC 모델을 나타낸다. 시간 t 일 때 안테나 0에서는 S_0 를 안테나 1에서는 S_1 를 전송하며, 한 주기 $t+T$ 시간일 때 안테나 0에서는 $-S_1^*$, 안테나1에서는 S_0^* 를 전송하게 된다. 표 1은 각각의 안테나에서 송신되는 신호들을 나타낸다.

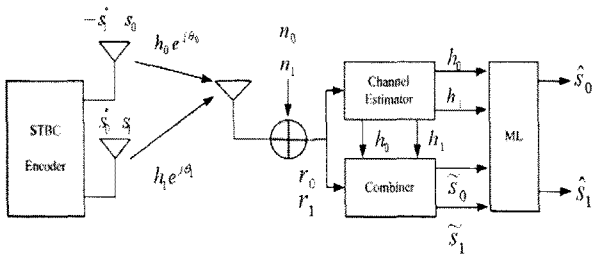


그림 4. 2X1 STBC 시스템 모델
Fig. 4 2X1 STBC system block diagram

표 1. 2X1 STBC 전송 신호
TABLE I. 2X1 STBC encoded signals

	Antenna 0	Antenna 1
time t	S_0	S_1
time t+T	$-S_1^*$	S_0^*

안테나 0, 1 에서의 fading 계수는 시간 t 에서 $h_0(t)$ 와 $h_1(t)$ 로 정의된다. 만약 이 계수들이 2개의 연속되는 심볼 전송 주기로 오는 상수라면, 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0(t+T) = h_0 = |h_0|e^{j\theta_0} \\ h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = |h_1|e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $|h_i(t)|$ 와 $\theta_i (i=1,2)$ 는 송신 안테나 i 로부터 수신 안테나까지 심볼 주기 동안의 각각 크기 이득과 위상 변화를 나타낸다. 수신기에서 채널을 통과한 신호를 표현하면 식 (5)와 같고, n_1 과 n_2 는 서로 독립적인 AWGN이다.

$$\begin{aligned} r(t) &= r_0 = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r(t+T) &= r_1 = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (5)$$

두 신호는 최대비 결합을 사용하여 2개의 결합 신호를 만들어 지며, 만들어진 \tilde{s}_0 와 \tilde{s}_1 은 ML 검출기를 통해 \hat{s}_0 , \hat{s}_1 을 검출한다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* \end{aligned} \quad (6)$$

그림 5는 2X2 STBC 시스템 모델을 나타내고 있다. 2X1과 같은 부호화 과정을 통해 신호가 전송되며, 이 전송된 신호들은 독립적인 4개의 채널 h_0, h_1, h_2, h_3 을 통과하게 된다.

$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0(t+T) = h_0 = |h_0|e^{j\theta_0} \\ h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = |h_1|e^{j\theta_1} \\ h_2(t) &= h_2(t+T) = h_2 = |h_2|e^{j\theta_2} \\ h_3(t) &= h_3(t+T) = h_3 = |h_3|e^{j\theta_3} \end{aligned} \quad (7)$$

이 때 수신된 4개의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad (8)$$

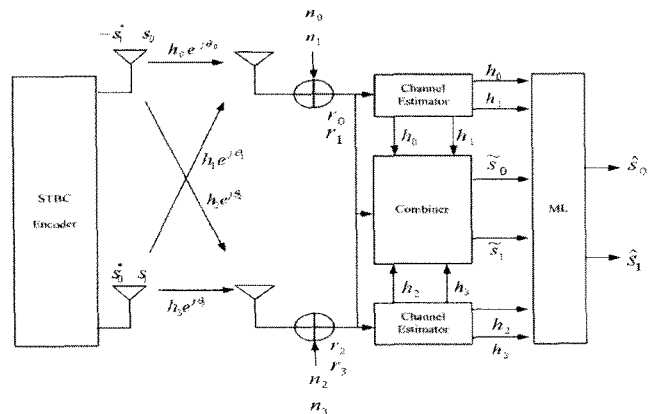


그림 5. 2X2 STBC 시스템 모델
Fig. 5 2X2 STBC system block diagram

이 신호들은 앞에서와 같이 최대비 결합을 사용하여 2개의 결합 신호를 만들어 지며, 만들어진 \tilde{s}_0 와 \tilde{s}_1 은 ML 검출기를 통해 \hat{s}_0 , \hat{s}_1 을 검출한다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3 \end{aligned} \quad (9)$$

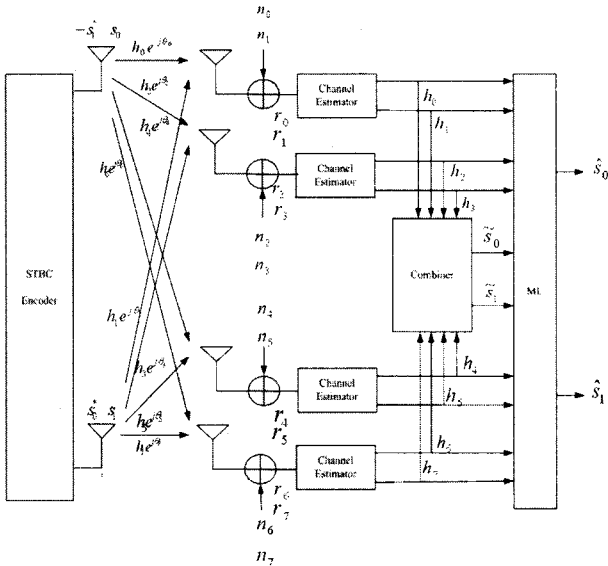


그림 6. 2X4 STBC 시스템 모델
Fig. 6 2X4 STBC system block diagram

그림 6은 2X4의 STBC 시스템 모델로 송, 수신 모델은 앞서 설명한 모델들과 같지만, 송신 신호가 8개의 독립적인 채널을 통해 다음과 같이 수신 안테나에 들어온다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0^* s_1 + h_1^* s_0 + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2^* s_1 + h_3^* s_0 + n_3 \\ r_4 &= h_4 s_0 + h_5 s_1 + n_4 \\ r_5 &= -h_4^* s_1 + h_5^* s_0 + n_5 \\ r_6 &= h_6 s_0 + h_7 s_1 + n_6 \\ r_7 &= -h_6^* s_1 + h_7^* s_0 + n_7 \end{aligned} \quad (10)$$

이 수신된 신호들 역시 최대비 결합을 사용하여 2개의 결합 신호를 만들어 지며, 만들어진 \tilde{s}_0 와 \tilde{s}_1 은 ML 검출기를 통해 \hat{s}_0 , \hat{s}_1 을 검출한다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 + h_4^* r_4 + h_5^* r_5 + h_6^* r_6 + h_7^* r_7 \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3 + h_5^* r_4 - h_4^* r_5 + h_7^* r_6 - h_6^* r_7 \end{aligned} \quad (11)$$

II.3. 최대비 결합(Maximum Ratio Combining)

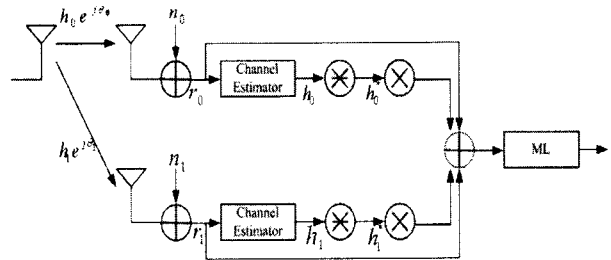


그림 7. 최대비 결합 시스템 모델
Fig. 7 MRC system block diagram

그림 7에서 보여지는 최대비 결합의 경우, 수신된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + n_0 \\ r_1 &= h_1 s_0 + n_1 \end{aligned} \quad (12)$$

그리고 합성된 신호는 다음과 같다.

$$\tilde{s}_0 = (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 \quad (13)$$

\tilde{s}_0 는 ML 검출기에 입력되어 최종 결과 값 \hat{s}_0 을 검출한다.

II.5. STBC-OFDM

그림 8은 STBC-OFDM의 시스템 블록도를 나타낸다. STBC 시스템은 다중 안테나 시스템에서 간단한 부호화와 단순한 선형 계산을 통한 복호를 통해 부가적인 대역폭의 증가 없이 시·공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시간적으로 연속된 OFDM 심볼 간에 channel의 변화가 없다고 가정하면 STBC를 OFDM 방식에 적용할 수 있다.[7]

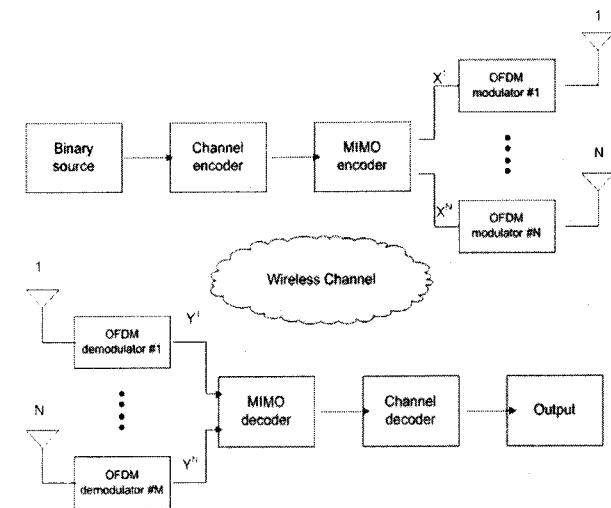


그림 8. STBC-OFDM 시스템 모델
Fig. 8 STBC-OFDM system block diagram

III. 실험 결과

Visual C++ 프로그램을 이용하여 구현된 simulator 는 처음으로 전송될 심볼의 개수를 결정하고 변조방식 (BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM)을 선택하게 된다. 다음으로 simulation 할 심볼의 개수를 결정하고, 초기 및 종단 SNR 값과 시뮬레이션 SNR 간격을 결정한다. 마지막으로 시작 버튼을 누르면 1X1 부터 2X4 까지의 윈도우 창에 SER 그래프가 보이며 SNR 에 따른 SER 값을 수치적으로 각각 보여주게 된다. 그림 9 는 simulator 의 초기 모습을 그림 10 은 BPSK modulation 한 STBC-OFDM 시스템의 SER curve 를 나타낸다.

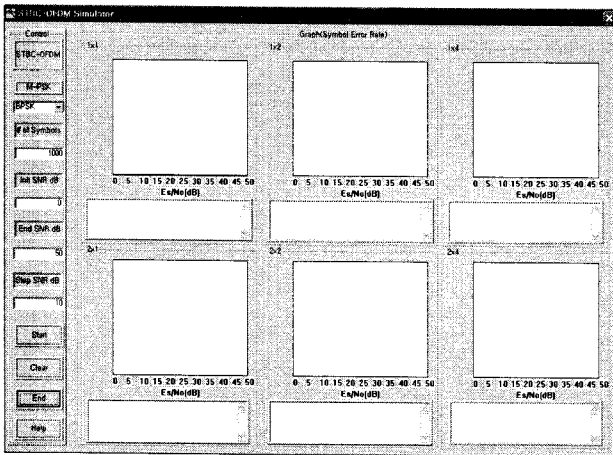


그림 9. Simulator 의 초기 모습
Fig. 9 Initial state of simulator

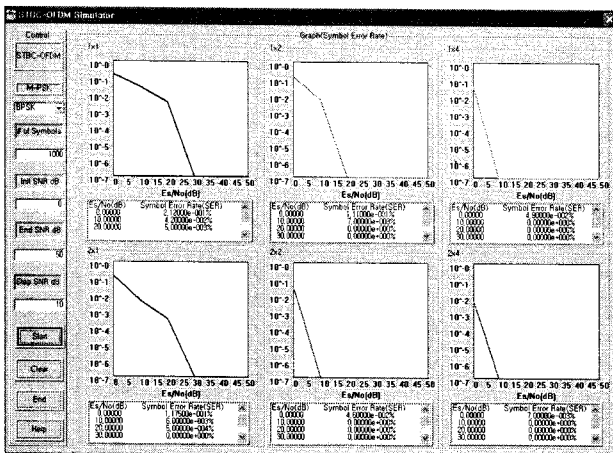


그림 10. Simulator 의 결과 모습(BPSK)
Fig. 10 Result of simulator(BPSK)

그림 10 에 나와 있는 결과는 BPSK 변조 방식으로 1000 개의 심볼을 전송하여 SNR 0dB 에서 50dB 까지 측정 한 결과로 1X1 부터 2X4 까지의 SER curve 를 나타낸다. Alamouti 는 출력 파워가 같다면, 송 · 수신 안테나 개수의 곱에 따라 채널 capacity 가 선형적으로 증가하는 특성으로 안테나 개수 곱이 클수록 성능이 좋아진다는 것을 제안하였다. 이 Simulator 는 신호 전송 시 동일한 파워로 출력되는 것을 가정한 것으로, Alamouti 의 제안과 동일한 결과를 나타낸다. 1X4 와 2X2 에서의 결과가 비슷하게 나타났으며, 2X4 의 경우 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

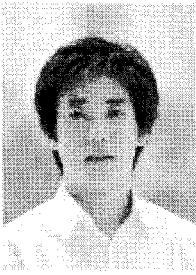
IV. 결론

이 논문에서는 visual C++ 프로그램을 이용하여 구현된 Simulator 로 STBC-OFDM 시스템의 성능 검증 하였다. 시뮬레이션 결과로부터 각각 송신 안테나의 전송 파워가 동일 할 경우, 송, 수신 안테나 개수의 곱이 커질수록 성능이 좋아짐을 알 수 있었다. 곱이 같다면 비슷한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

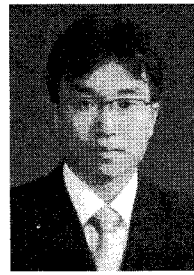
또한 송신 다이버시티에서 송신 파워를 송신 안테나 1 개를 사용할 때의 파워를 각각의 송신 안테나에 나눠 전송한다면 Alamouti 가 제안한 것처럼 3dB 가 차이가 나는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

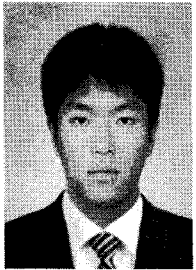
- [1] S. M. Alamouti, "A Simple transmit diversity technique for wireless communications" *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, Oct. 1998
- [2] M. Jankiraman, *Space - Time Codes and MIMO Systems* : ARTECH HOUSE, 2004.
- [3] Tse and Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*: Cambridge University Press, 2005
- [4] W. Hashim, F. Said, B. Allen, A. H. Aghvami, and A. F. Ismail, "Performance comparison of differential space-time signaling scheme for OFDM systems", in *Proc. of IEEE Int. Conf. Communications*, Malaysia, vol. 2, Nov. 2005.
- [5] H. Yang, "A Road to Future Broadband Wireless Access: MIMO-OFDM-Based Air Interface", *IEEE Commun. Mag.*, Jan. 2005.



배정남
2008년 광운대학교 전자공학과
(재학중). 관심분야는 디지털 통신,
MIMO, OFDM.



오영철
2007년 한국과학기술원 전자공학과 (공학
석사). 2007년 ~ 현재 KT 인프라연구소.
관심분야 Femtocell system



유상훈
2008년 광운대학교 전자공학과
(재학중). 관심분야는 디지털 통신,
MIMO, OFDM.



위현호
2008년 광운대학교 전자공학과
(재학중). 관심분야는 디지털 통신,
MIMO, OFDM.



김진영
1998년 서울대 전자공학과 (공학박사).
1998년 ~ 2000년 미국 Princeton Uni-
versity, Research Associate. 2000년
~ 2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원
책임연구원. 2001년 ~ 현재 광운대학교
전자공학과 교수. 관심분야는 디지털
통신, 신호처리, 채널 부호화.