

WiBro STC-MIMO 시스템의 성능 연구

안 성 수*, 조 정 환** 정회원

A Study on the Performance of STC-MIMO System

Sungsoo Ahn*, Junhwan Cho** *Regular Members*

요약

본 논문은 와이브로 시스템 환경에서 MIMO 이동통신을 STC 방법을 이용해 성능분석하였다. 본 논문에서는 3개의 알고리즘, SM, ML 그리고 ZF 방식을 적용하여 성능 분석 하였다. 다양한 성능분석을 수행한 결과 ZF 방식이 다른 두가지 방식인 STC, ML 방식보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

Key Words : STC; MIMO; ML; ZF.

ABSTRACT

This paper shows various performance analysis utilizing STC(Space Time Coding) in MIMO mobile communication by WiBro system environments. In this paper, 3 algorithm which are SM method, ML(Maximum Likelihood) and ZF(Zero Forcing) algorithm use for performance analysis. From the various simulation result, it is confirm that ZF method is superior compare than STC and ML method.

I. 서론

이동통신 시스템은 한정된 무선채널 대역폭에서 고속화 및 대용량화를 통한 통신용량의 증대 및 통신품질 향상을 위해 지속적으로 진화되어왔다. 본 논문에서는 WiBro 이동통신 환경에서 위와 같은 목표를 만족시키기 위한 기술 중 하나인 MIMO(Multiple Input Multiple Output)시스템[1]에 대한 성능을 분석하였다. MIMO 시스템은 송수신단에서 다수의 안테나를 사용하여 추가적인 주파수 할당이나 송신 전력 증가 없이도 데이터 전송률(Throughput)을 높이는 기술이다. 다중 안테나 입출력 시스템을 구현하는 것에는 STC(Space Time Coding)와 SM(Spatial Multiplexing) 방법이 있고, 신호 검출 알고리즘에는 ZF(Zero Forcing)과 ML(Maximum Likelihood) 이 있으므로[2] 본 논문에서는 STC, ZF, ML 방법을 사용하여 MIMO 시스템의 성능을 연구하였다.

간 축에 인코딩하여 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻는 방법이다[3]. 본 논문에서는 2개의 송신 안테나와 각각 1개와 2개의 수신 안테나를 가지고 있는 시스템을 사용하여 성능을 비교 분석한다.

1.1 2x1 STC

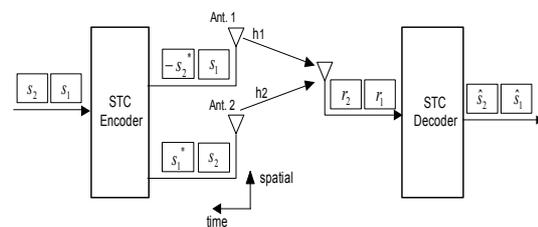


그림 1. 2x1 STC 시스템 블록도

II. MIMO 시스템

1. STC(Space Time Coding)

STC는 송신 신호를 송신 안테나에 해당되는 공간 축과 시

그림 1은 2x1(송신 측 안테나 2개, 수신 측 안테나 1개) STC 시스템의 블록도다. 송신 측에서 두 개의 심벌(symbol)

s_1, s_2 을 보내면 STC 인코더(encoder)는 두 심벌 시간(T : 심벌 주기) 동안 다음과 같이 인코딩(encoding) 한다.

* 명지전문대학 정보통신과 ssan@mail.mjc.ac.kr, 김포대학 항공전기전자과 jhcho@kimpo.ac.kr

접수일자 : 2010년 4월 14일, 수정완료일자 : 2010년 5월 25일, 최종게재확정일자 : 2010년 6월 25일

	안테나 1	안테나 2
시간 0	s_1	s_2
시간 T	$-s_2^*$	s_1^*

두 심벌 시간 동안 두 개의 심벌을 보내므로 전송률은 1이다.

첫번째 심벌 주기동안 수신한 신호 r_1 과 두번째 심벌 주기동안 수신한 신호 r_2 는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \\ r_2 &= -h_1 s_2^* + h_2 s_1^* + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

h_1, h_2 는 각각 두 심벌 시간 동안 변하지 않는 플랫폼 페이딩(flat-fading) 채널이라고 가정한다. n_1, n_2 는 부수적인 백색 가우시안 잡음이다.

식 (1)을 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

STC 디코더(decoder)는 2개의 수신신호 r_1, r_2 로부터 \hat{s}_1, \hat{s}_2 을 검출한다.

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1^* & h_2 \\ h_2^* & -h_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_1|^2 + |h_2|^2) \cdot s_1 + \tilde{n}_1 \\ (|h_1|^2 + |h_2|^2) \cdot s_2 + \tilde{n}_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 볼 수 있듯이, 2x1 STC는 다이버시티 차수 2의 다이버시티 이득을 얻는다.

1.2 2x2 STC

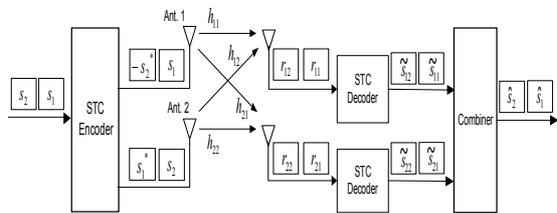


그림 2. 2x2 STC 송수신기 구조

그림 2는 2x2 STC 시스템의 블럭도다. 수신 측의 안테나가 두 개 이므로, 각각의 수신 안테나에서 STC 디코딩(decoding)을 수행한 다음 검출 되는 신호를 결합하면 송신 신호를 추정할 수 있다. 2x2 STC 디코딩 과정을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} \\ r_{12} & r_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} \\ h_{12} & h_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} & n_{21} \\ n_{12} & n_{22} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} s_1 h_{11} + s_2 h_{12} + n_{11} & s_1 h_{21} + s_2 h_{22} + n_{21} \\ -s_2^* h_{11} + s_1^* h_{12} + n_{12} & -s_2^* h_{21} + s_1^* h_{22} + n_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

수신 신호 r_{ij} 와 부수적인 백색 가우시안 잡음 n_{ij} 의 아래첨자 i 는 수신안테나 인덱스(index)이고 j 는 시간 인덱스이다. 채널 h_{ij} 의 아래첨자 i 는 수신 안테나의 인덱스이고 j 는 송신 안테나 인덱스이며, 각각의 h_{ij} 는 플랫폼 페이딩 채널[4]이라고 가정한다.

각 안테나 별로 STC 디코딩 후의 신호는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_{11} \\ \tilde{s}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11}^* & h_{12} \\ h_{12}^* & -h_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2) \cdot s_1 + \tilde{n}_{11} \\ (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2) \cdot s_2 + \tilde{n}_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_{21} \\ \tilde{s}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{21}^* & h_{22} \\ h_{22}^* & -h_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{21} \\ r_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{21}|^2 + |h_{22}|^2) \cdot s_1 + \tilde{n}_{21} \\ (|h_{21}|^2 + |h_{22}|^2) \cdot s_2 + \tilde{n}_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 \tilde{s}_{ij} 는 각 안테나에서의 디코딩 후 신호이고, \tilde{n}_{ij} 는 부수적인 백색 가우시안 잡음이며, 아래첨자 i 는 수신 안테나의 인덱스이고 j 는 송신 안테나 인덱스이다.

각 안테나에서 같은 심벌 주기 내의 신호를 결합하여 수신 신호를 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{s}_{11} \\ \tilde{s}_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{s}_{21} \\ \tilde{s}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2) \cdot s_1 + \tilde{n}_{11} + \tilde{n}_{21} \\ (|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2) \cdot s_2 + \tilde{n}_{12} + \tilde{n}_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)로부터 2x2 STC는 다이버시티 차수 4의 다이버시티 이득을 얻는다[5]. 또한 두 개의 수신 안테나로 수신하므로 3dB의 신호 대 잡음 이득을 추가적으로 얻게 된다.

2x1, 2x2 STC 시스템은 안테나 수에 따라 다이버시티 이득을 얻으므로 무선 통신 환경에서 우수한 성능을 보여준다[6]. 그러나 안테나 수가 증가하여도 데이터 전송률은 단일안테나 시스템의 전송률과 같다는 단점이 있다.

2. ML(Maximum Likelihood) 검출

ML 검출 알고리즘의 criterion은 다음과 같다.

$$\hat{s} = \underset{s \in \mathcal{S}}{\operatorname{argmin}} \|r - Hs\|^2 \quad (8)$$

\hat{s} 는 추정된 신호 벡터를 나타내고, \mathcal{S} 는 모든 송신 가능

한 신호들의 집합, \underline{r} 은 수신 신호이고, \underline{H} 는 채널 행렬이다. ML 알고리즘은 수신 신호와 송신 가능한 신호의 상관값이 가장 큰 신호를 추정하는 것으로서, 최적의 성능을 가지는 알고리즘이다. 그러나 상관값이 가장 큰 신호를 추정하기 위한 연산량이 많아진다. 변조 차수가 M 이라면 M^{N_r} (N_r 는 송신안테나 수)번의 연산을 수행해야 한다. 예를 들어, 송신안테나 수가 2개인 경우, QPSK ($M = 4$) 는 16번, 16QAM ($M = 16$) 은 256번 연산을 수행하게 된다. 이처럼 변조 차수가 커지면 연산량이 지수함수적으로 증가한다.

3. ZF(Zero Forcing) 검출

ZF은 채널 행렬의 역행렬을 곱하여 송신 신호를 검출하는 알고리즘이다. ZF 검출 알고리즘의 검출과정은 다음과 같다.

$$\underline{r} = \underline{H}\underline{s} + \underline{n} \tag{9}$$

$$\hat{\underline{s}} = \underline{H}^+ \underline{r} \tag{10}$$

$$\underline{H}^+ = (\underline{H}^H \underline{H})^{-1} \underline{H}^H \tag{11}$$

여기서 \underline{H}^H 는 채널 행렬의 켈레 복소수 전치 행렬

(complex conjugate transpose)이고, \underline{H}^+ 는 pseudo-inverser이다. 그러므로 추정된 신호는

$$\hat{\underline{s}} = (\underline{H}^H \underline{H})^{-1} \underline{H}^H (\underline{H}\underline{s} + \underline{n}) = \underline{s} + \underline{H}^+ \underline{n} \tag{12}$$

이다. ZF 알고리즘은 연산량이 적지만 노이즈가 \underline{H}^+ 에 의해 증폭되어 시스템의 성능이 저하된다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능분석

WiBro 환경에서 빔형성 알고리즘을 사용하여 성능분석을 수행하고자 한다. 웨이트 벡터 계산을 수행한 다운링크 환경에서 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다.

표 1. 다운링크 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
반송파 주파수	2.3 GHz
채널 대역폭	8.75 MHz
반송파 순열 모드	PUSC
FFT 사이즈	1024
데이터 부반송파 개수	720
파일럿 부반송파 개수	120
프레임 구간	5ms
다운링크 프레임 심벌 수	26
CP ratio	1/8

채널 환경	레이리 페이딩
도플러 주파수	128Hz (1path)
채널 추정 방법	Ideal 채널 추정 또는 LI 채널 추정
변조 방식	QPSK
채널 코딩	CTC
코딩 rate	1/2
송신 안테나 개수	1 또는 2
수신 안테나 개수	1 또는 2

상기 파라미터를 토대로 한 WiBro 환경에서 단일안테나, STC, ML, ZF 방법에 대해 coded/uncoed 성능을 알아보면 다음과 같다.

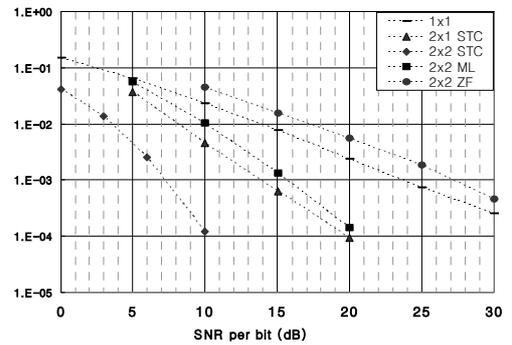


그림 3. WiBro 시스템의 성능(Uncoded BER)

그림 3은 ideal 채널 추정 방법을 사용했을 때 Uncoded BER로 본 WiBro 시스템의 성능 그래프 이다. 그림에서 보는 바와 같이 STC 방법이 ML, ZF 방법보다 성능이 우수하며, 2x2 STC 구조가 2x1 구조보다 STC 구조 3.5dB 정도 성능이 우수한 것으로 판명되었다.

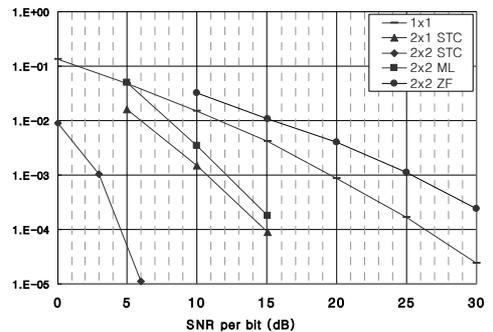


그림 4. WiBro 시스템의 성능(Coded BER)

그림 4는 ideal 채널 추정 방법을 사용했을 때 Coded BER로 본 WiBro 시스템의 성능 그래프 이다. 그림 3과 유사한 성능차이를 나타내고 있으며, WiBro SISO, WiBro MIMO에 CTC를 적용함으로써 10^{-3} (BER) 에서 3.5~4dB의 코딩 이득을 갖게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 WiBro 시스템 통신환경에서 STC 방법, ML 방법, ZF 방법의 성능을 비교하였다. 성능 분석에는 페이딩, FFT 사이즈, 송수신 안테나수를 고려하였다.

성능 분석의 결과에 의하면 시공간 코딩을 이용하여 MIMO 시스템을 적용하는 것이 ML이나 ZF 방법을 사용하여 MIMO 시스템을 적용하는 것보다 우수하다는 것이 판명되었다.

결론적으로, MIMO 시스템에 STC 방법을 WiBro 환경에서 사용하는 것이 수용 가능한 통신용량이 증대되고, 시스템의 전송률이 향상되는 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] A. Goldsmith et al., "Capacity Limits of MIMO Channels," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, pp. 684-702, June 2003.
- [2] A. J. Weiss and B. Friedlander, "Array shape calibration using sources in unknown locations – A maximum likelihood approach", IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc., vol. ASSP-37, no. 12, Dec. 1989.
- [3] T. Yoo, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Multi-Antenna Downlink Channels with Limited Feedback and User Selection," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 7, pp. 1478-1491, Sep. 2007.
- [4] D.H. Jonson and S. Degraaf, "Improving the resolution of bearing in passive sonar arrays by eigenvalue analysis", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-30, pp.638-647, Aug. 1982.
- [5] R.B. Ertel, P. Cardieri, K.W. Sowerby, T.S. Rappaport, and J.H. Reed, "Overview of spatial channel models for antenna array communication systems ", IEEE Personal Comm., pp. 10-22, February 1998.
- [6] A. F. Naguib, "Adaptive Antennas for CDMA Wireless Networks", Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Stanford Univ., Aug. 1996.

저자

안 성 수(Sung-Soo Ahn)

정회원



1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업

1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사

2001년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 박사

2002년 3월~현재 : 명지전문대학 정보통신과 부교수

<관심분야> 통신신호처리, 스마트안테나, 이동통신

조 정 환(Jung-Hwan Cho)

정회원



1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업

1991년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사

2003년 2월 : 한양대학교 전자공학과 박사

2002년 3월~현재 : 김포대학 항공전기전자과 교수

<관심분야> 모터제어, 통신 신호처리, 이동통신