

# 전송신뢰성의 향상을 위해 STBC에 컨볼루션 코드를 연계한 시스템의 성능분석

## Performance Analysis of STBC System Combined with Convolution Code for Improvement of Transmission Reliability

신현준\*, 강철규\*\*, 오창현\*

Hyun-Jun Shin\*, Chul-Gyu Kang\*\* and Chang-Heon Oh\*

### 요 약

본 논문에서는 고속 무선 데이터 전송에서 높은 데이터 전송의 신뢰성을 얻기 위해 MIMO(multi-input multi-output) 기술 중 하나인 시공간 블록 코드(STBC: space-time block codes)와 채널코딩 중 하나인 컨볼루션 코드(convolution code)를 연계한 시스템을 제안한다. 또한 이 시스템은 전송한 데이터를 복원하며 높은 시스템 이득을 가지기 위해 수정된 비터비 알고리즘을 사용한다. 제안한 시스템은 시공간 블록 코드와 컨볼루션 코드를 연계하였기 때문에 시스템의 복잡도는 다소 높지만 STBC의 최대 다이버시티 이득과 컨볼루션 코드의 높은 부호화 이득을 동시에 얻을 수 있는 큰 장점이 있다. 수정된 비터비 알고리즘은 기존의 비터비 알고리즘과 달리 브랜치 매트릭스를 구하기 위해 해밍 거리를 사용하지 않고 수신 심볼과 레퍼런스 심볼 사이의 유클리디안 거리를 사용한다. 제안한 시스템을 시뮬레이션 한 결과 기존의 시스템보다 7.5 dB(STBC 2Tx-2Rx BER=10<sup>-3</sup>)의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해 STBC와 컨볼루션 코드를 연계할 때 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하면 향상된 전송 신뢰성과 전송 효율로 데이터를 전송 할 수 있다.

### Abstract

In this paper, the proposed scheme is STBC(space-time block codes) system combined with convolution code which is the most popular channel coding to ensure the reliability of data transmission for a high data rate wireless communication. The STBC is one of MIMO(multi-input multi-output) techniques. In addition, this scheme uses a modified viterbi algorithm in order to get a high system gain when data is transmitted. Because we combine STBC and convolution code, the proposed scheme has a little high quantity of computation but it can get a maximal diversity gain of STBC and a high coding gain of convolution code at the same time. Unlike existing viterbi decoding algorithm using Hamming distance in order to calculate branch matrix, the modified viterbi algorithm uses Euclidean distance value between received symbol and reference symbol. Simulation results show that the modified viterbi algorithm improved gain 7.5 dB on STBC 2Tx-2Rx at BER=10<sup>-2</sup>. Therefore the proposed scheme using STBC combined with convolution code can improve the transmission reliability and transmission efficiency.

Key words : MIMO, STBC, Convolution code, Channel Coding, Viterbi Algorithm, Euclidean Distance

---

\* 한국기술교육대학교(korea of University of Technology and Education)

\*\* 전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

· 제1저자 (First Author) : 신현준

· 투고일자 : 2011년 11월 25일

· 심사(수정)일자 : 2011년 11월 25일 (수정일자 : 2011년 12월 23일)

· 게재일자 : 2011년 12월 30일

I. 서 론

무선통신은 장소나 시간에 구애 받지 않고 수시로 이동하면서 통신이 가능하다는 장점이 있는 반면, 전송 신뢰성이 낮으며, 통신 주파수의 혼선이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 무선통신에서 데이터의 전송 신뢰성을 중요하게 다루며 중요한 부분으로 이루어지고 있으며 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 많은 관심과 연구가 진행 중이다. 전송 신뢰성을 높이는 방안으로는 채널코딩, STC(space-time coding) 등의 시스템이 있다. 채널 코딩은 코딩 이득을 얻을 수 있는 반면 다이버시티 이득은 얻을 수 없다. 이와 반대로 STC는 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만 코딩이득은 얻을 수 없다. 따라서 다이버시티 이득과 코딩 이득을 동시에 얻어 전송 신뢰성을 높이려면 STC에 채널코딩을 추가해야 한다.

STC방식 중 하나인 STBC와 채널코딩 중 하나인 컨볼루션 코드를 연계하여 다이버시티 이득과 코딩 이득을 동시에 얻으며, 복호화는 기존의 비터비 알고리즘을 수정한 방식으로 차이점은 브랜치 매트릭스를 구하기 위해 수신된 심볼과 레퍼런스 심볼 사이의 유클리디언 거리를 사용한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 시공간 블록 코드와 채널 코드를 설명한다. III장에서는 시스템모델로 STBC, 컨볼루션 코드, 수정된 비터비 알고리즘의 동작원리를 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘으로 시뮬레이션을 통해 기존의 성능들과 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시공간 블록 코드와 채널코드

2-1 Space Time Code

다이버시티 이득을 요구하는 이유는 fading channel에 의한 성능 저하를 줄이기 위함이다. 여러가지 방법이 있으나, 그 중 주요한 방법 중 하나가 다이버시티이기 때문이다. STC는 여러 개의 송신 안테나를 이용하여 송신 다이버시티 이득을 얻는 부호화 방법이다. STC는 크게 STBC와 STTC(space-time trellis

code)로 분류할 수 있다. STTC는 대체적으로 더 좋은 성능을 보이지만, 최대 다이버시티 차수를 얻기 위해서 ML(maximum likelihood) 복호기의 복잡도가 송신 안테나의 개수와 전송률에 대하여 지수적으로 증가하기 때문에 높은 차수의 변조 기법을 사용하는데 제약이 있다[1]-[5].

STBC는 상대적으로 부호화 이득은 작지만, 최대 다이버시티 차수를 가지면서 수신기에서 선형 처리만으로 ML 복호를 가능하게 하기 때문에 낮은 복잡도의 수신기를 갖는 장점이 있다. 두 개의 송신 안테나를 통한 STBC기법은 두 심볼  $s_0$ 와  $s_1$ 을 다음 식 (1)과 같이 부호화 할 수 있다.

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

여기서 \*는 공액 복소 연산을 나타내고, 행은 시간 슬롯 인덱스, 열은 송신 안테나 인덱스를 의미한다. 수신기에 수신된 신호  $r_{ij}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r_{11} &= h_{11}s_0 + h_{01}s_1 + n_{11} \\ r_{21} &= h_{11}s_1^* + h_{21}s_0^* + n_{21} \\ r_{12} &= h_{12}s_0 + h_{22}s_1 + n_{12} \\ r_{22} &= h_{12}s_1^* + h_{22}s_0^* + n_{22}. \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $r_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에  $j$ 번째 수신 안테나로 전송된 신호이고,  $h_{ij}$ 는  $i$ 번째 송신 안테나에서  $j$ 번째 수신 안테나의 채널 계수이다.  $n_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에  $j$ 번째 수신 안테나의 복소 가우시안 잡음 신호이다.

수신 신호  $r_{ij}$ 로부터 ML 검출기를 사용하여 다음과 같이 원 신호  $\tilde{s}_0$ 와  $\tilde{s}_1$ 을 검출 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_{11}^*r_{11} + h_{21}^*r_{21} + h_{12}^*r_{12} + h_{22}^*r_{22} \\ \tilde{s}_1 &= h_{21}^*r_{11} - h_{11}^*r_{21} + h_{22}^*r_{12} - h_{12}^*r_{22}. \end{aligned} \quad (3)$$

이처럼 두 개의 송신 안테나와 두 개의 수신 안테나를 이용한 STBC 기술은 간단한 선형적인 계산을 통해 다이버시티 이득을 얻는다.

2-2 채널 코딩

코딩 이득이란 채널 코딩 이득을 의미한다. 채널

코딩 이득은 주어진 비트 오류확률에서 에러 정정 목적의 채널부호를 사용함으로써 얻을 수 있는  $E_b/N_0$ 의 감소량으로 정의한다. 따라서 채널 코드를 사용해 에러를 정정하면 주어진 비트 오류 확률에서  $E_b/N_0$ 를 줄일 수 있게 된다. 적은 에너지를 사용해서 큰 에너지를 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있으므로 이것을 채널 코드의 코딩 이득이라 한다. 채널 코드를 사용하면 에러정정과 코딩 이득을 얻을 수 있으나 추가적인 비트 사용으로 대역폭은 증가하게 된다. 채널 코딩의 대표적인 예는 컨볼루션 코드이다.

제안한 시스템은 여러 채널 코드 중 오류 정정능력 및 시스템의 복잡도를 고려하여 컨볼루션 코드를 사용한다. 컨볼루션 코드는 부호화율  $R=1/2$ , 구속장  $K=3$ , 생성 다항식의 계수  $g_1=(111)$ ,  $g_2=(101)$ 인 부호기이다[6].

### III. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템 모델 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

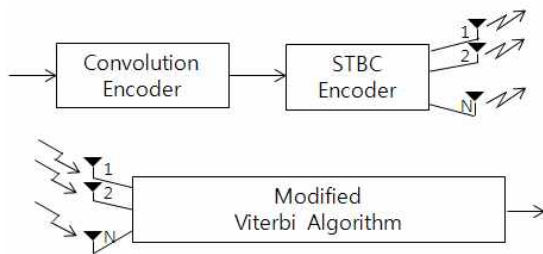


그림 1. 시스템 모델 블록 다이어그램  
Fig. 1. System model block diagram

그림에서 보이는 것과 같이 내부 코드로는 STBC를 사용하며 외부 코드로는 컨볼루션 코드를 사용한다. 복호기로는 수정된 비터비 복호화를 사용한다. 기존의 비터비 알고리즘은 현재 레지스터 상태와 다음 레지스터 상태에 의해 출력되는 값과 수신되는 신호의 해밍 거리를 구해 이를 브랜치 매트릭스로 사용한다. 제안하는 수정된 비터비 알고리즘은 기존의 비터비 알고리즘과 달리 채널을 지난 후 STBC복호기에서 ML검출기를 제거하여 ML검출기를 거치기전 신호인  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$ 와 레퍼런스 심볼  $s_i$ 와의 유클리디안

거리를 구해 이를 브랜치 매트릭스로 사용한다 [7]-[9].

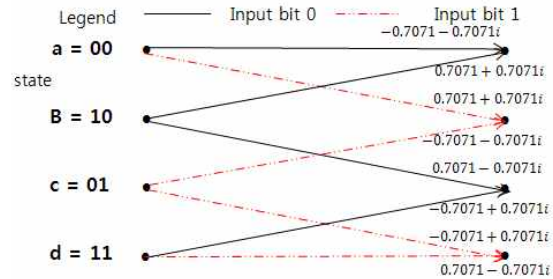


그림 2. 수정된 디코더의 트렐리스도  
Fig. 2. Trellis diagram of modified decoder

그림 2는 수정된 비터비 알고리즘에 따른 트렐리스도이다. 레퍼런스 심볼  $s_i$ 는 상태천이의 현재 상태에서 다음 상태에 따라 출력되는 분기 단어를 평균 에너지가 1인 정상도로 만들어 수신되는 심볼과 유클리디안 거리를 구하는데 사용한다.

#### 3.1 STBC 1Tx-2Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 시스템

STBC 1Tx-2Rx 수신단에서 수신된 신호  $r_0, r_1$ 은 다음 식 (4)로 표현된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + n_0 \\ r_1 &= h_1 s_0 + n_1. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $n_0, n_1$ 은 잡음을 나타낸다.  $n_0, n_1$ 은 가우시안 분포한다고 가정하고, 수신부에서 복호화하는 방식은 다음과 같다. 단,  $(\alpha_i^2 = h_i h_i^*)$

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 \\ &= h_0^* (h_0 s_0 + n_0) + h_1^* (h_1 s_0 + n_1) \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1. \end{aligned} \quad (5)$$

식 (6)을 이용하여  $\tilde{s}_0$ 와 레퍼런스 심볼  $s_i$ 의 거리를 구한다.

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i). \quad (6)$$

여기서  $d^2(x, y)$ 는 신호  $x$ 와  $y$ 의 유클리디안 거리의 제곱을 계산한 것이며 풀이 방식은 다음과 같다.

$$d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*). \quad (7)$$

식 (6)을 이 시스템의 브랜치 매트릭스로 사용한다. 브랜치 매트릭스를 구하면 하나의 상태로 입력되는 두 개의 브랜치 매트릭스와 이전의 두 패스 매트릭스의 합을 비교하여 둘 중에 더 작은 값을 갖는 경로를 생존경로로 선택한다.

$$pm_k = \min(bm_i + pm_{i-1}, bm_j + pm_{j-1}). \quad (8)$$

### 3.2 STBC 2Tx-1Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 시스템

STBC 2Tx-1Rx의 브랜치 매트릭스를 구하는 방식은 다음과 같다. 수신단에서 수신된 신호  $r_0, r_1$ 은 다음 식 (9)로 표현된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0s_0 + h_1s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1. \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $n_0, n_1$ 은 잡음을 나타낸다.  $n_0, n_1$ 은 가우시안 분포한다고 가정하고, 수신부에서 복호화하는 방식은 다음과 같다. 단,  $(\alpha_i^2 = h_i h_i^*)$

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^*r_0 + h_1^*r_1 \\ &= h_0^*(h_0s_0 + h_1s_1 + n_0) + h_1^*(-h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1) \\ &= s_0h_0h_0^* + s_1h_1h_1^* + n_0h_0^* + s_1h_1h_0^* + s_0h_1h_1^* + n_1h_1^* \\ &= s_0(\alpha_0^2 + \alpha_1^2) + n_0h_0^* + n_1h_1^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^*r_0 - h_0^*r_1 \\ &= h_1^*(h_0s_0 + h_1s_1 + n_0) - h_0^*(-h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1) \\ &= s_0h_0h_1^* + s_1h_1h_1^* + n_0h_1^* + s_1h_0h_0^* - s_0h_0h_1^* - n_1h_0^* \\ &= s_1(\alpha_0^2 + \alpha_1^2) + n_0h_1^* - n_1h_0^*. \end{aligned} \quad (10)$$

이전과 같은 방식으로 식 (7)을 이용하여  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$ 과 레퍼런스 심볼  $s_i$ 의 거리를 구한다.

$$\begin{aligned} (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \\ (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_i). \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)을 이 시스템의 브랜치 매트릭스로 사용한다. 브랜치 매트릭스를 구하면 하나의 상태로 입력되는 두 개의 브랜치 매트릭스와 이전의 두 패스 매트릭스의 합을 비교하여 둘 중에 더 작은 값을 갖는 경

로를 생존경로로 선택한다.

$$pm_k = \min(bm_i + pm_{i-1}, bm_j + pm_{j-1}). \quad (12)$$

### 3.3 STBC 2Tx-2Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 시스템

STBC 2Tx-2Rx 수신단에서 수신된 신호  $r_0, r_1, r_2, r_3$ 은 다음 수식 (13)으로 표현된다

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0s_0 + h_1s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2s_0 + h_3s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2s_1^* + h_3s_0^* + n_3. \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $n_0, n_1, n_2, n_3$ 은 잡음을 나타낸다.  $n_0, n_1, n_2, n_3$ 은 가우시안 분포한다고 가정하고, 수신부에서 복호화하는 방식은 다음과 같다. 단,  $(\alpha_i^2 = h_i h_i^*)$

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^*r_0 + h_1^*r_1 + h_2^*r_2 + h_3^*r_3 \\ &= h_0^*(h_0s_0 + h_1s_1 + n_0) + h_1^*(-h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1) \\ &\quad + h_2^*(h_2s_0 + h_3s_1 + n_2) + h_3^*(-h_2s_1^* + h_3s_0^* + n_3) \\ &= h_0^*h_0s_0 + h_0^*h_1s_1 + h_0^*n_0 - h_1^*h_0s_1^* + h_1^*h_1s_0^* + h_1^*n_1 \\ &\quad + h_2^*h_2s_0 + h_2^*h_3s_1 + h_2^*n_2 - h_3^*h_2s_1^* + h_3^*h_3s_0^* + h_3^*n_3 \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)s_0 + h_0^*n_0 + h_1^*n_1 + h_2^*n_2 + h_3^*n_3 \\ \tilde{s}_1 &= h_1^*r_0 - h_0^*r_1 + h_3^*r_2 - h_2^*r_3 \\ &= h_1^*(h_0s_0 + h_1s_1 + n_0) - h_0^*(-h_0s_1^* + h_1s_0^* + n_1) \\ &\quad + h_3^*(h_2s_0 + h_3s_1 + n_2) + h_2^*(-h_2s_1^* + h_3s_0^* + n_3) \\ &= h_1^*h_0s_0 + h_1^*h_1s_1 + h_1^*n_0 + h_0^*h_0s_1^* - h_0^*h_1s_0^* + h_0^*n_1 \\ &\quad + h_2^*h_2s_0 + h_3^*h_3s_1 + h_3^*n_2 + h_2^*h_2s_1^* - h_2^*h_3s_0^* - h_2^*n_3 \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)s_0 - h_0^*n_1 + h_1^*n_0 - h_2^*n_3 + h_3^*n_2. \end{aligned} \quad (14)$$

식 (7)을 이용하여  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$ 와 레퍼런스 심볼  $s_i$ 의 거리를 구한다.

$$\begin{aligned} (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \\ (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_i). \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)를 이 시스템의 브랜치 매트릭스로 사용한

다. 브랜치 매트릭스를 구하면 하나의 상태로 입력되는 두 개의 브랜치 매트릭스와 이전의 두 패스 매트릭스의 합을 비교하여 둘 중에 더 작은 값을 갖는 경로를 생존경로로 선택한다.

$$pm_k = \min(bm_i + pm_{i-1}, bm_j + pm_{j-1}). \quad (16)$$

#### IV. 시뮬레이션 및 평가

본 장에서는 하나의 시공간 블록 동안 채널이 일정하게 유지되는 평탄 페이딩(flat fading) 환경에서 STBC 1Tx-2Rx, STBC 2Tx-1Rx, STBC 2Tx-2Rx에 구속장  $K=3$ , 부호화율  $R=1/2$ 인 컨볼루션 코드를 각각 연계한 후, 제안하는 수정된 비터비 알고리즘으로 복호화하여 비교, 분석하였다. 시뮬레이션을 위해서 페이딩 채널 계수는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안 랜덤 분포로 발생시켰다. 심벌 변조 방식은 한정된 주파수 대역을 더 효율적으로 사용하기 위하여 비교적 스펙트럼 효율이 우수한 PSK 변조 방식의 일종인 QPSK(quadrature phase shift keying)를 사용하였다[10],[11].

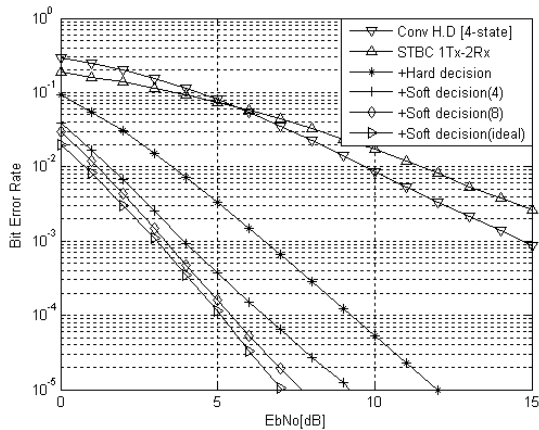


그림 3. STBC 1Tx-2Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선  
Fig. 3. BER performance of STBC 1Tx-2Rx combined with convolution code

그림 3은 STBC 1Tx-2Rx기법에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로는 제안한 비터비 알고리즘을 사용하였다. 제안한 알고리즘은  $BER$

$= 10^{-2}$ 에서 STBC 1Tx- 2Rx 보다 약 10 dB의 코딩 이득을 얻었다. 이는 제안한 시스템을 사용할 경우 수신된 신호  $\tilde{s}_0$ 과 레퍼런스 신호  $s_i$ 와의 거리를 알아내어 연관정 보다 정확한 판단을 하기 때문이다.

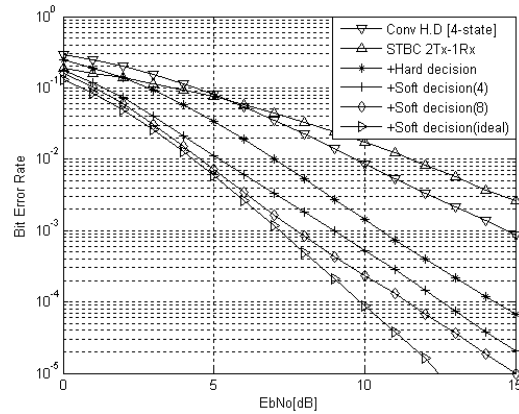


그림 4. STBC 2Tx-1Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선  
Fig. 4. BER performance of STBC 2Tx-1Rx combined with convolution code

그림 4는 STBC 2Tx-1Rx기법에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로 제안한 비터비 알고리즘을 사용하였다. 제안한 알고리즘은  $BER = 10^{-2}$ 에서 STBC 2Tx- 1Rx 보다 약 6 dB의 코딩 이득을 얻었다. 이는 제안한 시스템을 사용할 경우 수신된 신호  $\tilde{s}_0, \tilde{s}_1$ 과 레퍼런스 신호  $s_i$ 와의 거리를 알아내어 연관정 보다 정확한 판단을 하기 때문이다.

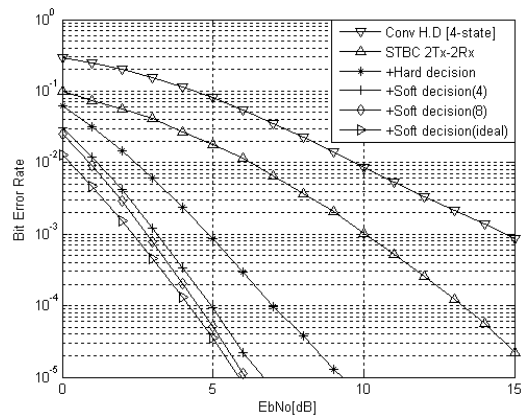


그림 5. STBC 1Tx-2Rx에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선  
Fig. 5. BER performance of STBC 2Tx-2Rx combined with convolution code

그림 5는 STBC 2Tx-2Rx 기법에 컨볼루션 코드를 연계한 BER 성능곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로 제안한 비터비 알고리즘을 사용하였다. 제안한 알고리즘은  $BER = 10^{-3}$ 에서 STBC 2Tx-2Rx 보다 약 7.5 dB의 코딩 이득을 얻었다. 이는 제안한 시스템을 사용할 경우 수신된 신호  $\tilde{s}_0$ 과 레퍼런스 신호  $s_i$ 와의 거리를 알아내어 연관정보보다 정확한 판단을 하기 때문이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선통신에서 데이터의 전송 신뢰성과 전송 효율을 높이는 방안으로 STBC와 컨볼루션 코드를 연계 후 수정된 비터비 알고리즘으로 복호화하는 시스템을 제안하였고 이 시스템을 하나의 시공간 블록 동안 채널이 일정하게 유지되는 평탄 페이딩 환경에서 시뮬레이션하여 비교, 분석하였다. 수정된 비터비 알고리즘은 브랜치 매트릭스를 구하기 위해 유클리디언 거리를 사용한다. 제안한 알고리즘으로 시뮬레이션 한 결과 STBC 1Tx-2Rx, STBC 2Tx-1Rx, STBC 2Tx-2Rx 보다 약 10 dB ( $BER = 10^{-2}$ ), 6 dB ( $BER = 10^{-2}$ ), 7.5 dB ( $BER = 10^{-3}$ )의 성능이 향상됨을 확인하였다. 이는 제안한 시스템을 사용할 경우 수신된 심볼  $\tilde{s}_0$ 과 레퍼런스 심볼  $s_i$ 와의 거리를 알아내어 연관정보보다 정확한 판단을 하기 때문이다. 이 결과를 통해 STBC와 컨볼루션 코드를 연계할 때 제안한 알고리즘을 사용하면 향상된 전송 신뢰성과 전송 효율로 데이터를 전송할 수 있다.

향후 연구과제로 수정된 비터비 알고리즘은 제안한 STBC와 컨볼루션 코드를 연계한 시스템뿐만 아니라 트렐리스도를 이용하는 시스템에 적용이 가능할 것으로 예상된다. 정확한 적용을 위해 제안한 알고리즘을 조금 더 세부적으로 연구할 필요가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리

원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10039988].

### 참 고 문 헌

- [1] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. of Selected Areas in Commun.*, vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [2] Tarokh, V. Seshadri, N. Calderbank, A.R, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criteria and code construction," *IEEE Trans. Infor. Theory*, vol. 44, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [3] J. H. Winters, "The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with rayleigh fading," in *Proc. 1994 ICC/SUPERCOMM*, vol. 2, pp. 1121-1125, May. 1994.
- [4] Kotecha, J.H., Hong, Z., Sayeed, A.M., "Coding and diversity gain tradeoff in space-time codes for correlated MIMO channels," *IEEE Trans. Global Telecommunications Conference*, vol. 2, pp. 646-650, Dec. 2003.
- [5] 진익수, "느린 페이딩 채널에서 개선된 4-Psk 시공간 격자부호의 성능평가," *한국정보기술학회, 한국정보기술학회논문지*, 제 8권, 제 5호, pp. 61-68, may, 2010
- [6] Forney, G. D., Jr., "Convolutional codes: 1. algebraic structure," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT16, no. 6, pp. 720-738, Nov. 1970.
- [7] Chu, J.P.K., McLane, P.J. "Serial concatenation of STBC or dSTBC with convolutional codes or turbo codes for space-time correlated channels," *IEEE Trans. Wireless. Commun.*, vol. 3, pp. 1764-1769, Mar. 2004.
- [8] Viterbi, A. "Convolutional codes and their performance in communication systems," *IEEE Trans. Commun. Tech.*, vol. COM19, no. 5, pp. 751-772, Oct. 1971.
- [9] 진익수, "고속 데이터 전송을 위해 유클리드 거리에 비례하는 정보비트 매핑을 응용한 STTC 부호의 성능평가," *한국정보기술학회, 2010년도 IT기반 콘텐츠 융합기술 워크숍 및 워크숍 및 하계종합학술대회 논문집*, pp. 97-100, may, 2010
- [10] *Digital Communications*, Bernard Sklar. 2003.8.25.
- [11] Gucluoglu, T., Duman, T., "Performance analysis of

transmit and receive antenna selection over flat fading channels,” *IEEE Trans. Wireless. Commun.*, vol. 7, no. 8, pp. 3056-3065, Aug. 2008.

신 현 준 (愼炫俊)



2011년 2월 : 남서울대학교(공학사)  
 2011년 3월 ~현재 : 한국기술교육대학교  
 전기전자통신공학부 (석사과정)  
 관심분야 : LTE, MIMO, Channel Coding

강 철 규 (姜澈圭)



2004년 2월 : 한국기술교육대학교  
 정보기술공학부 (공학사)  
 2006년 2월 : 한국기술교육대학교  
 전기전자공학과 (공학석사)  
 2007년 9월~현재 : 한국기술교육대학교  
 전기전자통신공학부 (박사과정)

2011년 10월~현재 : 한국전자부품연구원 RFID/USN  
 융합센터 연구원  
 관심분야 : MIMO, Wireless Sensor N/W

오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교  
 항공통신공학과 (공학사)  
 1990년 2월 : 한국항공대학교  
 대학원항공통신정보공학과 (공학석사)  
 1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원  
 항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월~1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소  
 전임연구원

1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀  
 선임연구원

1999년 2월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부  
 교수

2006년 8월~2007년 7월: 방문교수(University of  
 Wisconsin-Madison)

관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR