

# 채널 상관된 슬로우 페이딩 채널에서 STTC 기반 STBC 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of STBC System Based on STTC in the Correlated Slow Fading Channel

강철규\*, 이현재\*, 오창현\*

Chul-Gyu Kang\*, Hyun-Jae Lee\* and Chang-Heon Oh\*

### 요 약

일반적으로 무선통신 시스템은 채널 상에서 발생하는 페이딩, 음영효과, 전파감쇠, 잡음 및 간섭 등에 의해 신호의 신뢰성이 크게 저하된다. 따라서 멀티미디어 데이터들을 열악한 무선통신 채널에서 안정적으로 전송하기 위해서는 보다 신뢰성 있는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 무선통신 환경에서 보다 신뢰성 있는 정보 전송을 위해 STBC의 다이버시티 이득과 STTC의 채널 효율성, 코딩 이득 및 다이버시티 이득을 동시에 갖는 STTC 기반 STBC 시스템을 고려하고 송수신기 사이의 채널 간 상관 값을 갖는 슬로우 페이딩 채널환경에서 성능을 분석하였다.

### Abstract

The reliability of conventional wireless communication systems are diminished by multi-path fading, shadowing, propagation delay, pathloss, AWGN and an interference of the symbols. Therefore, we need more reliable system which can stably transmit multimedia datas over the poor communication environments, so, in this paper, we used STBC system based on STTC that allows a maximum space diversity gain of STBC scheme and channel efficiency, coding gain and diversity gain of STTC scheme at the same time. We did then analyzed the performance over the correlated slow fading channel between transmitter and receiver channels.

Key words : STBC based on STTC, MIMO, Correlated channel

### I. 서 론

기존의 무선통신 시스템은 음성위주의 서비스이며, 채널의 열악성을 극복하기 위해 주로 채널 코딩에 의존하였다. 그러나 언제, 어디서나, 누구와도 항상 통화 가능한 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 요구의 증대로 인해 데이터 서비스 위주로 중심축이

이동하고 더 많은 데이터를 더 빨리 더 낮은 오류 확률로 전송하기 위한 차세대 무선전송 기술이 요구된다. 특히, 차세대 무선통신 시스템에서는 멀티미디어 통신 서비스를 제공해야하기 때문에 이러한 요구가 더욱 증대된다. 그러나 무선통신 환경은 페이딩, 음영효과, 전파감쇠, 잡음 및 간섭 등에 의해 신호의 신뢰성이 크게 저하된다. 따라서 이러한 멀티미디어 데

\* 한국기술교육대학교 (School of Electrical and Electronic Engineering, Korea University of Technology and Education)

· 교신저자 : 오창현

· 접수일자 : 2008년 1월 11일

이터를 안정적으로 전송하기 위해서 많은 연구가 수행되어 오고 있다. 이에 다수의 송수신 안테나를 이용한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술인 시공간 트렐리스 코드 (STTC)와 시공간 블록 코드 (STBC)가 주목받고 있다[1],[2].

그러나 시공간 트렐리스 코드의 성능은 다중경로 페이딩 채널의 시간지연 확산에 의해 감소되고, 등화기와 같은 ISI를 제거하는 구조가 필요하며, 시스템의 복잡도를 증가시키는 문제점을 가지고 있고 시공간 블록 코드는 채널코딩을 하지 않기 때문에 부호화 이득이 없다[3]. 또한, 지금까지의 MIMO 시스템에 대한 연구를 보면 대부분 송수신기 사이의 채널이 완전 독립하다고 가정한다. 하지만 실제 환경에서는 다중경로 성분 때문에 각 각의 채널은 매우 심한 산란 채널을 형성한다. 따라서 상호 연관된 신호에 의하여 신호 경로 사이가 상관을 이루면서 채널 용량은 상당히 감소하게 된다[4],[5].

따라서 본 논문에서는 무선 통신 환경에서 보다 신뢰성 있는 정보 전송을 위해 STBC와 STTC의 장점인 다이버시티 이득, 채널 효율성, 코딩 이득을 동시에 갖는 STTC 기반 STBC 시스템을 사용하였고 이 시스템을 MIMO 시스템의 채널 용량 감소 원인이 되는 상관 값을 갖는 채널 환경에서 시뮬레이션 하여 성능을 분석하였다.

## II. MIMO 채널 용량

MIMO 시스템에서 채널용량은 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받는다. 이러한 요인들 중의 하나가 MIMO 채널들 간의 상관이다. 실제 통신환경에서 송수신기 사이의 각 채널은 상관되어있고 이러한 상관된 채널들은 MIMO 채널 용량에 영향을 미친다. 이 장에서는 상관된 채널이 시스템의 용량에 미치는 영향에 대해서 설명한다. 송수신단에서 채널에 대한 지식이 없을 경우 상관된 페이딩 공간에서 MIMO 채널의 용량은 식 (1)과 같다[6].

$$C = \log_2 \det \left( I_{M_R} + \frac{\rho}{M_T} R_r^{-2} H_w R_t H_w^\dagger R_r^{-2} \right). \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 공액 전치이고,  $H_w$ 는  $M_R \times M_T$  크기의 완전 독립 MIMO 채널,  $R_t$ 는  $M_T \times M_T$  송신 공분산 행렬,  $R_r$ 은  $M_R \times M_R$  수신 공분산 행렬을 나타낸다. 송신과 수신 상관 행렬이  $M_R = M_T = M$ , 즉, 풀랭크라고 가정한다면, 충분히 큰 SNR에서의 채널 용량은 식 (2)와 같다.

$$C \approx \log_2 \det \left( \frac{\rho}{M} H_w H_w^\dagger \right) + \log_2 \det(R_r) + \log_2 \det(R_t). \quad (2)$$

위 수식에서 알 수 있듯이 송신과 수신 상관 행렬들은 채널 용량에 동일한 영향을 준다.  $M_T = M_R = 2$ 인 직교채널과 오직 수신 상관만을 고려한다면, 최대 용량  $R_r$ 에 대한 조건은 다음과 같다.

$$\det(R_r) = \prod_{i=1}^M \lambda_i(R_r) \leq 1. \quad (3)$$

여기서 수신 파워는  $\sum_{i=1}^M \lambda_i(R_r) = M$ , 즉  $\log_2 \det(R_r) \leq 0$ 이다. 이것은  $R_r$ 의 모든 고유 값들이 같을 경우( $R_r = I_M$ ),  $\log_2 \det(R_r)$ 은 0과 같음을 의미한다. 따라서 상관된 페이딩의 영향으로 MIMO 채널의 용량이 감소됨을 알 수 있다.

## III. 시스템 모델

### 3-1 Space-Time Trellis Code

그림 1은 STTC 송신기의 블록 다이어그램이다.

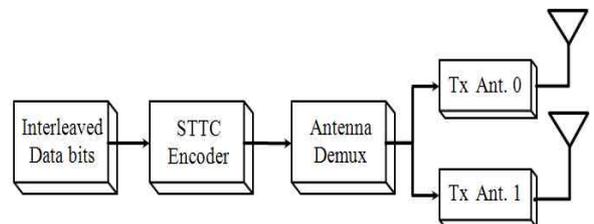


그림 1. STTC 기법을 적용한 시스템  
Fig. 1. The system with STTC scheme.

인터리버를 거친 입력 데이터들은 그림 2와 같은 시공간 트렐리스 엔코더로 입력되고, 입력된 데이터들은 각각의 생성행렬과 곱해 진다[7],[8]. 출력된 상태 트렐리스도는 그림 3과 같다. 엔코더에서 각각의 생성 행렬과 곱해져 출력된 데이터들은  $x_t = (x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^{M_T})^\dagger$  와 같이 각각의 송신 안테나에 맞도록 배열된 후 시간  $t$ 에  $M_T$ 개의 송신 안테나들로부터 동시에 전송된다. †는 전치행렬을 의미한다.

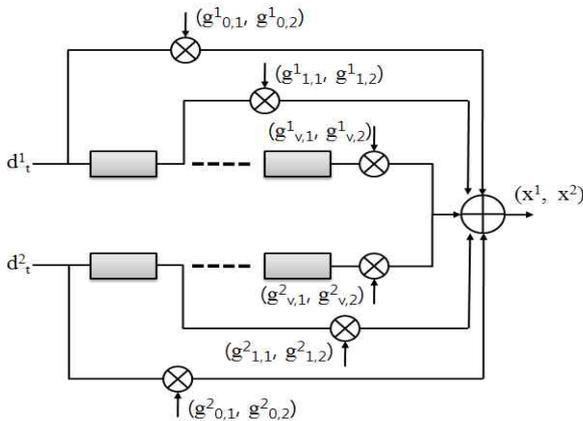


그림 2. STTC 엔코더  
Fig. 2. STTC encoder.

전송된 신호는 각기 다른 경로와 서로 독립적인 페이딩 환경에 의해 왜곡되어  $M_R$ 개의 수신 안테나로 수신된다.

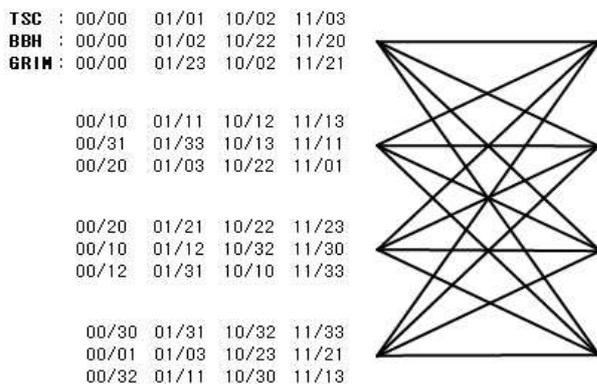


그림 3. 4-state 트렐리스도  
Fig. 3. 4-state Trellis diagram.

각각의 시간  $t$ 에서  $j$ 번째 안테나를 통해 수신된 기저대역 등가신호를  $r_t^j$ 라고 표현한다면 그 표현식

은 식 (4)와 같다.

$$r_t^j = \sum_{i=1}^{M_T} h_{ij}^t x_t^i + n_t^j. \quad (4)$$

여기서  $h_{i,j}$ 는  $i$ 번째 송신 안테나와  $j$ 번째 수신 안테나 간의 페이딩 경로 이득을 나타내며, 시간  $t$ 에서의 잡음을 나타내는  $n_t^j$ 는 평균이 0이고, 분산이  $\sigma_n^2$ 인 복소 가우시안 랜덤 변수이다. 채널 상태에 대한 정보를 이상적으로 추정할 수 있다고 가정하면 페이딩에 의해 왜곡된 수신 신호들을 복호하는 방법은 식 (5)와 같이 예상 신호와 실제 수신 신호 사이의 유클리디언 값을 구함으로써 가능하다.

$$\min \sum_t \sum_{j=1}^{M_R} \left| r_t^j - \sum_{i=1}^{M_T} h_{ij}^t x_t^i \right|^2 \quad (5)$$

디코더는 이 유클리디언 값을 가지고 비터비 디코더를 구현함으로써 원하는 신호를 찾을 수 있다. 그러나 수신 안테나의 수가 고정된 상태에서 송신 안테나의 수를 증가시키면 시스템 구성의 복잡도가 지수적으로 증가하게 된다.

### 3-2 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 시스템

그림 4는 STTC 기반 STBC 기법을 적용한 시스템의 블록 다이어그램이다[9].

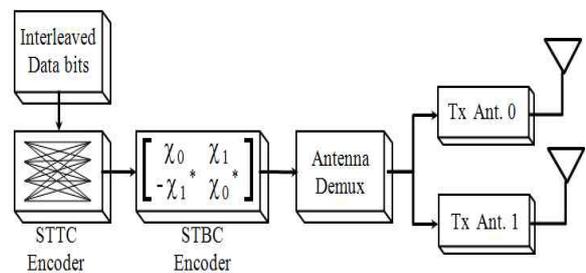


그림 4. STTC 기반 STBC 시스템  
Fig. 4. The system with STBC based on STTC Scheme.

그림 4에서 보는 것과 같이 인터리버를 거친 데이터 비트들은 우선 STTC 엔코더에 의해 변조된 후 시

공간 블록 엔코더로 보내진다. 시공간 블록 엔코더에서는 STTC 엔코더로부터 입력된 2개의 심볼  $x_0, x_1$ 를  $x_0, x_1, -x_1^*, x_0^*$ 과 같이 생성하고, 시간  $t=t_0$ 에서  $x_0$ 은 1번째 송신 안테나를 통해 전송되고 동시에  $x_1$ 는 2번째 송신 안테나를 통해 전송된다. 심볼 주기  $T_s$ 만큼 지연된 시간  $t=t_0+T$ 에서 심볼  $-x_1^*, x_0^*$ 이 1, 2번 안테나를 통해 각각 전송된다. 각 안테나를 통해 전송된 신호는 두 심볼 주기  $2T_s$  동안 변하지 않고(quasi-static), 인접 심볼간 간섭이 없는(flat) 채널  $h_{i,j}$ 을 거친다고 가정하면 심볼 주기  $T_s$  간격을 두고 수신된 두 신호  $r_0, r_1, r_2, r_3$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_{11}x_0 + h_{21}x_1 + n_0, \\ r_1 &= -h_{11}x_1^* + h_{21}x_0^* + n_1, \\ r_2 &= h_{12}x_0 + h_{22}x_1 + n_2, \\ r_3 &= -h_{12}x_1^* + h_{22}x_0^* + n_3. \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $n_0$ 와  $n_1$ 은 평균이 0이고 분산이  $\sigma_n^2$ 인 복소 가우시안 랜덤 변수이다. 식 (6)을 이용하여 다이버시티 이득을 얻기 위해 MRC (maximum ratio combining) 기법을 적용한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_0 &= h_{11}^*r_0 + h_{12}^*r_1 + h_{21}^*r_2 + h_{22}^*r_3, \\ \tilde{x}_1 &= h_{12}^*r_0 - h_{11}^*r_1 + h_{22}^*r_2 - h_{21}^*r_3. \end{aligned} \quad (7)$$

이 결과는 소프트 디시전 비터비 디코더로 보내지고, 비터비 디코더에서는 식 (8)과 같은 방법으로 가지 값을 계산한다.

$$\begin{aligned} m(\tilde{x}_0, x_i) & \\ &= \left( \sum_{i=1}^{M_T} \sum_{j=1}^{M_R} |h_{ij}|^2 - 1 \right) |x_i|^2 + d^2(\tilde{x}_0, x_i) \\ &+ \left( \sum_{i=1}^{M_T} \sum_{j=1}^{M_R} |h_{ij}|^2 - 1 \right) |x_i|^2 + d^2(\tilde{x}_1, x_i). \end{aligned} \quad (8)$$

$m(\tilde{x}_a, x_b)$ 는 신호  $\tilde{x}_a$ 와  $x_b$ 의 유클리디안 거리 값으로 식 (9)와 같다.

$$m(\tilde{x}_1, x_i) = (\tilde{x}_1 - x_i)(\tilde{x}_1 - x_i)^*. \quad (9)$$

#### IV. STTC 기반 STBC 시스템의 성능

이 장에서는 STTC 기반 STBC 시스템을 두 심볼 주기  $2T_s$  동안 변하지 않는(quasi-static) 채널 환경 하에서 성능을 분석한다. 2개의 송수신 안테나를 갖는 시스템에서 부호어  $C$ 를 전송하여 수신단의 최대 우도(ML) 복호기에서 복조한 데이터를  $E$ 라 가정한다.

$$\begin{aligned} C &= c_0, c_1, -c_1^*, c_0^*, c_2, c_3, -c_3^*, c_2^*, \\ &\quad \dots, c_{2L-2}, c_{2L-1}, -c_{2L-1}^*, c_{2L-2}^*, \\ E &= e_0, e_1, -e_1^*, e_0^*, e_2, e_3, -e_3^*, e_2^*, \\ &\quad \dots, e_{2L-2}, e_{2L-1}, -e_{2L-1}^*, e_{2L-2}^* \end{aligned}$$

$h_{i,j}$ 를  $i$ 번째 송신 안테나로부터  $j$ 번째 수신 안테나로의 채널이득이라고 가정한다면, 페이딩 채널 계수  $h_0, h_1$ 에서 발생할 에러 확률은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(C \rightarrow E | h_0, h_1) & \quad (10) \\ &\leq \exp \left\{ \sum_{i=0,2+}^{2L-2} [|(c_i - e_i)h_{0i} + (c_{i+1} - e_{i+1})h_{1i}|^2 \right. \\ &\quad \left. + |(e_{i+1}^* - c_{i+1}^*)h_{0i} + (e_i^* - c_i^*)h_{1i}|^2] \frac{-E_s}{4N_0} \right\}, \\ &\leq \exp \left\{ \frac{-E_s}{4N_0} \sum_{i=0,2+}^{2L-2} \{ |c_i - e_i|^2 + |c_{i+1} - e_{i+1}|^2 \} \right. \\ &\quad \left. \cdot [ |h_{0i}|^2 + |h_{1i}|^2 ] \right\}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(C \rightarrow E) & \quad (11) \\ &\leq E \{ P(C \rightarrow E | h_0, h_1) \} \\ &\leq E \prod_{i=0,2+}^{2L-2} \exp \left\{ -\frac{E_s}{4N_0} \{ [r_i + r_{i+1}] \right. \\ &\quad \left. \cdot [ |h_{0i}|^2 + |h_{1i}|^2 ] \} \right\} \\ &= \prod_{j=0}^{M_R} \prod_{i=0}^{M_T} E \left( \exp \{ -\varphi(r_i + r_{i+1}) \cdot |h_{ij}|^2 \} \right). \end{aligned}$$

식 (11)에서  $E(\exp\{-\varphi(r_i + r_{i+1}) \cdot |h_{ij}|^2\})$ 는 식 (12)와 같이 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} E(\exp\{-\varphi(r_i + r_{i+1})|h_{ij}|^2\}) & \quad (12) \\ &= 2 \int_0^\infty \exp\{-\varphi(r_i + r_{i+1})\omega^2\} \exp\{-\omega^2\} d\omega \\ &= 1 / \{1 + \varphi(r_i + r_{i+1})\}. \end{aligned}$$

따라서 부호어  $C$ 를 전송하여 오류  $E$ 로 판단될 확률은 식 (13)과 같다.

$$P(C \rightarrow E) \leq \left\{ \prod_{i=1}^{M_T} \left( 1 + \frac{E_s}{4N_0} (r_i + r_{i+1}) \right) \right\}^{-M_R} \quad (13)$$

전송된 신호와 오류 신호와의 거리행렬  $A$ 에서  $A$ 의 Rank가  $r$ 이므로,  $r$ 개의 0이 아닌 고유 값과  $M_T - r$ 개의 0인 고유 값이 존재한다. 충분히 큰 SNR에서는 아래와 같이 고려될 수 있다.

$$\left( 1 + \frac{E_s}{4N_0} (r_i + r_{i+1}) \right) \approx \left( \frac{E_s}{4N_0} (r_i + r_{i+1}) \right).$$

그러므로 식 (13)은 식 (14)와 같이 유도된다.

$$P(C \rightarrow E) \leq \left\{ \prod_{i=1}^{M_T} \left( \frac{E_s}{4N_0} (r_i + r_{i+1}) \right) \right\}^{-M_R} \quad (14)$$

따라서,

$$P(C \rightarrow E) \leq \left\{ \prod_{i=1}^{M_T} (|c_i - e_i|^2 + |c_{i+1} - e_{i+1}|^2) \right\}^{-M_R} \cdot \left( \frac{E_s}{4N_0} \right)^{-rM_R} \quad (15)$$

$$\leq \left\{ \prod_{i=1}^{M_T} (|c_i - e_i|^2 + |c_{i+1} - e_{i+1}|^2)^{\frac{1}{r}} \right\}^{-rM_R} \cdot \left( \frac{E_s}{4N_0} \right)^{-rM_R}.$$

여기서  $\prod_{i=1}^{M_T} (|c_i - e_i|^2 + |c_{i+1} - e_{i+1}|^2)^{\frac{1}{r}}$ 은 코딩 이득이고,  $rM_R$ 은 다이버시티 이득이다.

## V. 시뮬레이션 결과 및 검토

이 장에서는 4-state STTC 기반 STBC 시스템을 송수신기 사이의 각 채널 간 임의의 상관 값을 갖는 슬로우 페이딩 환경에서 시뮬레이션 하고 그 결과를 분

석한다. 모든 시스템에서는 QPSK 변조 방식을 사용하였으며, 최대 2개의 송수신 안테나를 사용하였다.

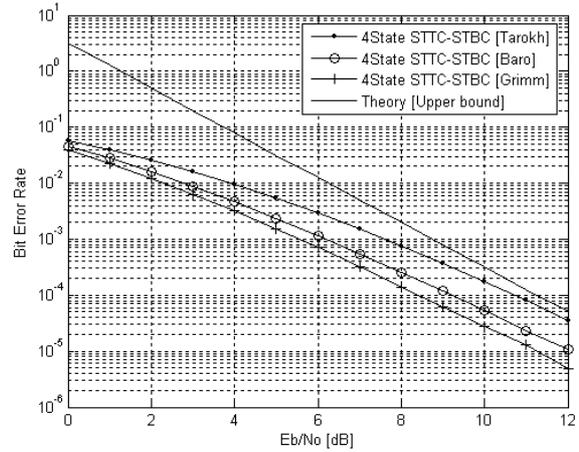


그림 5. 채널 상관 값  $\alpha = 0$ 인 경우의 비트오율 성능  
Fig. 5. The bit error rate performance in case of the correlation value  $\alpha = 0$ .

그림 5는 채널 간 상관 값  $\alpha = 0$ 인 경우, 즉 채널 상호간에 완전히 독립한 경우에 4-state STTC 기반 STBC 시스템의 비트 오율이다. 우선 STTC 기반 STBC 시스템의 오율 성능이 Chernoff의 오율 상한을 만족함을 볼 수 있고, 트렐리스 엔코더에서 Grimm의 생성행렬을 사용한 경우가 Tarokh의 생성행렬을 사용한 경우보다 BER  $10^{-4}$ 에서 약 2dB의 부호이득을 가짐을 볼 수 있다. 이것은 Grimm이 제시한 생성행렬의 부호이득이 Tarokh가 제안한 생성행렬의 부호이득보다 크기 때문이다.

그림 6과 7은 채널 상관 값  $\alpha = 0.5, 0.75$ 인 경우에 4-state STTC 기반 STBC 시스템의 비트 오율 성능이다. 두 그림에서 각각의 생성행렬을 사용하는 시스템은 생성행렬의 부호이득뿐만 아니라 채널의 상관 값에 따라 시스템의 성능이 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 특히 채널 상관 값이 0.75일 경우에 상관 값이 0인 경우보다 BER  $10^{-4}$ 에서 약 1.5dB의 성능이 열악해짐을 보인다.

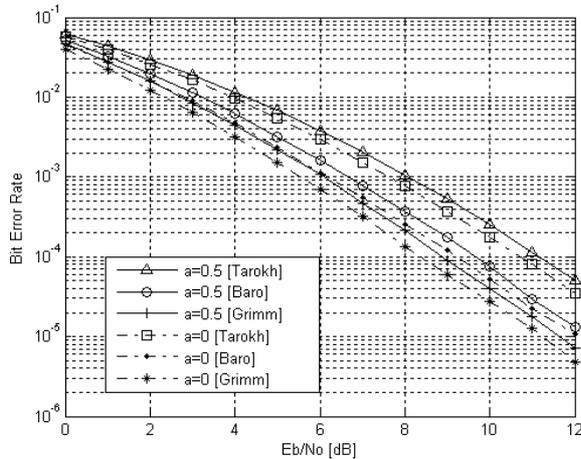


그림 6. 채널 상관 값  $\alpha = 0.5$ 인 경우의 비트오율 성능  
 Fig. 6. The bit error rate performance in case of the correlation value  $\alpha = 0.5$ .

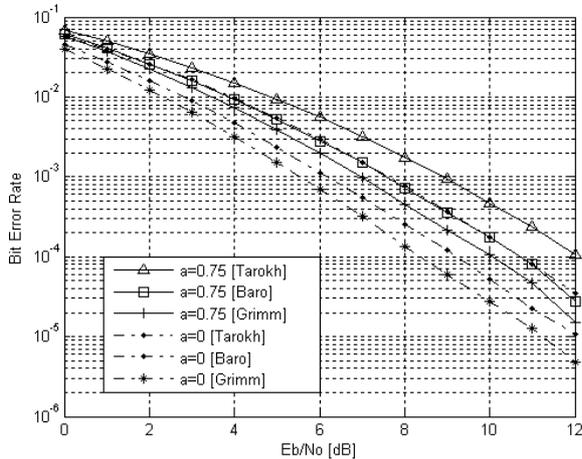


그림 7. 채널 상관 값  $\alpha = 0.75$ 인 경우의 비트오율 성능  
 Fig. 7. The bit error rate performance in case of the correlation value  $\alpha = 0.75$ .

그림 8은 채널의 상관 값 변화에 따른 Grimm의 생성 행렬을 사용한 STTC 기반 STBC 시스템의 성능 오율 곡선이다. 사용된 시스템의 성능은 각 채널간의 상관 값이 0.5, 0.75로 증가함에 따라 BER  $10^{-4}$ 에서 약 0.5dB, 1.5dB 성능이 열화 됨을 보인다.

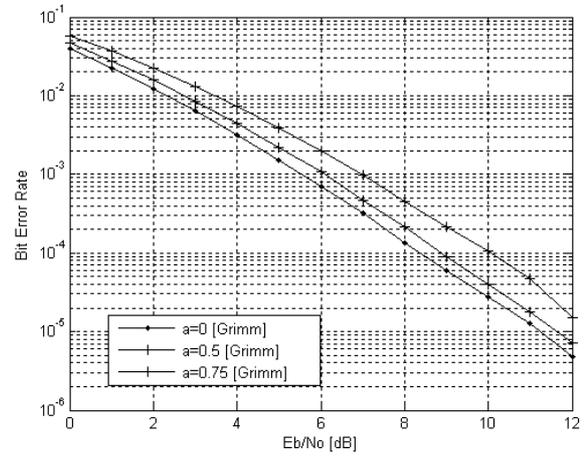


그림 8. 채널 상관 값에 따른 Grimm 생성 행렬을 사용한 시스템의 비트오율 성능  
 Fig. 8. The bit error rate performance with Grimm's matrix according to the channel correlation value

이 결과들을 통해 STTC 기반 STBC 시스템의 채널 용량을 극대화하기 위해서는 각 채널 간에 상관 값을 갖지 않도록 충분히 이격된 안테나 거리를 유지하여야 한다.

## VI. 결 론

본 논문은 STTC 기반 STBC 시스템을 송수신기 사이의 채널 간 임의의 상관 값을 갖는 슬로우 페이딩 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다.

각 채널 간 상관 값  $\alpha = 0$ , 즉 채널 간 완전 독립인 환경에서 STTC 기반 STBC 시스템은 충분히 큰  $E_b/N_0$ 에서 Chernoff 오율상한을 만족함을 볼 수 있었다. 그러나 각 송수신기 사이의 각 채널 간에 상관 값을 갖는 경우 채널 간 상관 값이 커짐에 따라 시스템의 오율 성능이 열화 됨을 확인하였다. 따라서 STTC 기반 STBC 시스템의 채널 용량을 극대화하기 위해서는 송수신 안테나들 사이에 충분한 거리가 이격되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

이 결과들을 통해 향후 STTC 기반 STBC 시스템이 상관 페이딩 채널에서 보다 신뢰성 있는 통신을 보장하기 위해 채널 상관 극복에 대한 방법이 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, pp. 744-765, March 1998.
- [2] Y. Gong and K. B. Letaief, "Performance evaluation and analysis of space-time coding in unequalized multipath fading links," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, pp. 1778-1782, November 2000.
- [3] Siavash. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal on Select Area in Communications*, vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [4] W. C. Y. Lee, "Estimate of channel capacity in Rayleigh fading environment," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 39, no. 3, August 1990.
- [5] Paulraj, Arogyaswami, Rohit Nabar, and Dhananjay Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.
- [6] S. Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall PTR, 1997.
- [7] J. Grimm, M. P. Fitz, and J. V. Krogmeier, "Further results on space-time coding for rayleigh fading," in *Allerton Conf.*, September 1998.
- [8] Welly Firmanto, Branka S. Vucetic, and Jinhong Yuan, "Space-time TCM with improved performance on fast fading channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 5, No. 4, pp. 154-156, April 2001.
- [9] 강철규, 오창현, "STTC 기반 STBC 기법을 적용한 HDR-WPAN 시스템의 성능 분석," *한국해양정보통신학회 추계종합학술대회*, vol. 11, No. 2, pp. 826-829, August 2007.

## 강 철 규 (姜澈圭)



2004년 2월 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부(공학사)

2006년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)

2007년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(박사과정)

관심분야 : MIMO, Wireless Sensor N/W

## 이 현 재 (李현재)



1998년 2월: 수원대학교 정보통신학과 (공학사)

2001년 2월: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2004년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정

2001년 1월~2003년 4월: 텔슨전자(주) 연구소 근무

2003년 5월~2004년 12월: 시그널스펙트럼(주) 단말 연구소 근무

관심분야 : USN/RFID, Wireless Sensor N/W, CR

## 오 창 현 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

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

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

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

1999년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수

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