

무선 통신 환경에서 OFDM 시스템을 위한 트렐리스 부호화 방식의 성능분석

황 병 대, 임 수 환, 오 성 근
아주대학교 전자공학과, 통신시스템
전화 : 031-219-1950 / 핸드폰 : 011-734-9915

A performance analysis of Trellis Coded Modulation for OFDM systems in the Wireless Communications Environments

Byung Dae Hwang, Su Hwan Lim, Seong Keun Oh
School of Electronics Engineering, Ajou University
E-mail : hbd@comm.ajou.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a robust trellis coded OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) system for wireless communications over frequency selective fading channels. Computer simulations show that the proposed system achieves the better frame error rate(FER) performance as compared with the conventional Space time coded OFDM system in the correlated channel with multiple transmitter antennas.

I. 서론

현재의 무선 통신 분야에서는 고속의 광대역 멀티미디어 서비스 지원에 대한 관심이 매우 높다. 다양한 무선 환경에서 높은 통화 품질, 높은 전력 효율 및 주파수 효율을 유지하며 고속의 데이터 전송을 하기 위해서는 페이딩의 영향에 강인한 전송 방식의 연구는 필수적이다[1-4].

최근에 활발히 연구되고 있는 ST (space-time) 트렐리스 부호는 채널 부호화된 심벌을 안테나에 따라 공간적으로 다시 부호화하여, 송신 안테나 배열에 따라서 동시에 전송하는 형태로 균일 페이딩 채널에서 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있으며[2-3],

주파수 선택적 페이딩 채널에서는 ST 트렐리스 부호에 OFDM 기술을 결합하여 주파수 선택적 페이딩 채널을 다중의 균일 페이딩 부채널들로 변환하여 부호화의 이득의 한계를 극복 할 수 있다[5-6]. 하지만, ST 부호화 방법은 부호율 및 복잡도에 대한 다이버시티 이득의 최대화 여부가 증명되지 않았으며, 안테나 개수의 증가에 따른 신호들의 동기화 문제, 공간적 다이버시티 확보의 모호성 그리고, 송수신부 하드웨어의 복잡도 증가와 같은 큰 문제들이 존재한다.

본 논문에서는 안테나 상관성이 존재하는 경우에 기존의 ST 트렐리스 부호화 방식의 성능보다 뛰어난 트렐리스 부호화 방식을 제안한다. 또한 제안된 트렐리스 부호와 OFDM 시스템과의 효율적인 결합을 통하여 주파수 선택적 페이딩 채널에서의 시스템 성능이 극대화 되도록 한다.

또한 컴퓨터 모의 실험을 통하여, OFDM 시스템에서 송신 안테나가 하나인 경우와 두 개인 경우에 대한 성능을 AWGN 채널과 주파수 선택적 페이딩 채널에서 기존의 STC (space-time coded) OFDM 시스템과 비교 분석함으로써 제안된 방식이 상관성이 존재하는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 효과적인 성능을 나타내는 것을 확인한다.

II. 제안된 시스템 모델

2.1 제안된 트렐리스 부호화 방식

본 절에서는 페이딩 환경에 강한 제안된 트렐리스 부호화 방식을 제시한다. 이는 기존의 ST 트렐리스 부호화 방식[2]에서 사용했던 것과는 다르게 그림 1과 같이 제안된 4-PSK 트렐리스 부호(4 state)를 사용한다. 또한, 사용되는 송신안테나의 개수에 따라 그림 1의 (a), (b)로 각각 나타낼 수 있다.

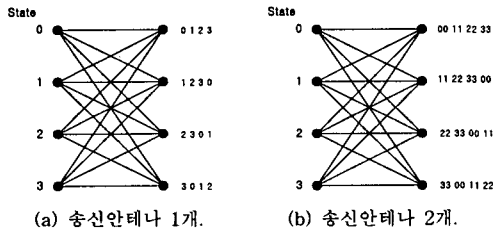


그림 1. 제안된 4 state, 4-PSK 트렐리스 부호(4 state).

제안된 부호화 방식에 의하여 생성된 정보는 그림 2-(b)와 같은 성상도를 형성한다. 그림 2-(a)와 같이 기존의 ST 트렐리스 부호화 방법의 성상도는 신호들 간의 유클리드 거리가 가까워서 부호들간의 상대적인 오류확률이 크게 되어 SNR이 낮을수록 에러가 많이 생성되며, 제안된 부호화 방식은 신호들간의 유클리드 거리가 상대적으로 멀어서 오류 확률을 크게 줄일 수 있다. 따라서, SNR이 낮으며 상관성이 높은 페이딩 환경에서 제안된 부호화 방식의 성능이 더 좋게 된다.

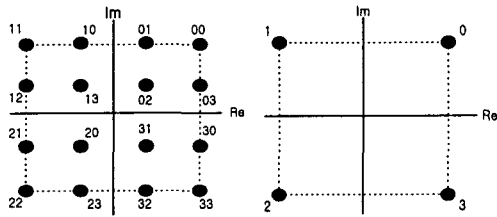


그림 2. 기존의 ST 부호와 제안된 부호에서의 성상도 비교.

기존의 ST 트렐리스 부호화 방식과 제안된 방식은 트렐리스상에서 모든 경로로 분리되어 갈 수 있고, 또한 임의의 상태로 결합하는 가지들은 모든 상태에서 나올 수 있다. 또 수신부에서도 복호부에서의 채널 상태 정보를 완벽하게 알고 있다고 가정할 때, 트렐리스 부호의 성능은 트렐리스 가지들마다 할당되는 부호들간의 유클리드 거리 즉, 경로 가중치 값의 차이에 의해

서만 성능이 결정된다고 할 수 있으므로, 다음 식과 같이 수신된 데이터 신호와 가능한 신호 조합에 의한 자승 오차의 누적치를 계산하여 비터비 알고리즘을 통하여 원신호를 복원한다.

$$\hat{C} = \arg \min_c \left(\sum_j |d_j - \sum_i a^{i,j} x^i|^2 \right), x \in \{0, 1, 2, 3\} \quad (1)$$

여기서 d_j 는 $j (1 \leq j \leq M)$ 번째 수신안테나에 수신된 신호이고, $a^{i,j}$ 는 $i (1 \leq i \leq N)$ 번째 송신 안테나와 j 번째 수신안테나 사이의 경로이득을 나타낸다.

2.2 제안된 부호화가 결합된 OFDM 시스템

본 절에서는 제안된 트렐리스 부호를 결합한 OFDM 시스템을 설명한다. 단일 송수신 안테나를 사용한 경우 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며, 그림 3과 같이 두 개 이상의 송신안테나를 사용할 경우에는 동일한 신호가 송신안테나에서 동시에 전송이 되어 각각의 송신안테나에서 전송되는 신호들은 서로 다른 경로를 거쳐 독립적인 페이딩을 받은 후 수신안테나에 도달하게 되며, 수신기에서는 잡음이 부과된다.

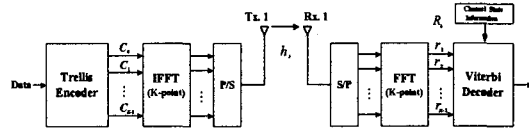


그림 3. 제안된 트렐리스 부호를 결합한 OFDM 시스템 (단일 송수신 안테나의 사용).

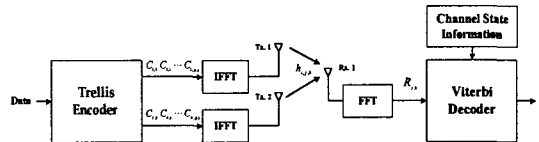


그림 4. 제안된 트렐리스 부호를 결합한 OFDM 시스템 (두 개의 송신, 한 개의 수신안테나의 사용).

그림 4에 나타난 제안된 시스템의 송신부에서 입력되는 데이터는 제안된 트렐리스 부호화기에서 K 개의 부호 길이를 갖는 N 개의 스트림 정보로 분리되고, 각각의 스트림 정보는 IFFT(inverse fast Fourier transform)단의 부반송파에 입력된다. 즉, 부호화된 심볼들은 $C_{i,k}$ 가 되며 IFFT단을 거쳐, $i (1 \leq i \leq N)$ 번째 송신안테나를 통하여 전송된다. 여기서, 신호들은 서로 다른 N 개의 송신안테나를 통하여 동일시간에 전송되어진다. 또한, 각각의 송신신호들은 서로 다른 페이딩 채널을 통과하게 된다.

제안된 시스템의 수신부에서 $j (1 \leq j \leq M)$ 번째 수신

무선 통신 환경에서 OFDM 시스템을 위한 트렐리스 부호화 방식의 성능분석

안테나에서 FFT 프로세싱을 거친 후, 수신된 k 번째 신호 $R_{j,k}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{j,k} = \sum_{i=1}^N H_{i,j,k} \cdot C_{i,k} + N_{j,k}, \quad k=0, 1, \dots, K-1 \quad (2)$$

여기서, H_k 는 k 번째 부반송파 채널에서의 채널 주파수 응답이다.

또한, 일반적인 다중 경로 페이딩 채널은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_{i,j}(\tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_{i,j}(l) \delta(\tau - \frac{n_l}{\Delta f}) \quad (3)$$

여기서, $\delta(\cdot)$ 는 단위 충격 함수; L 는 다중 경로 개수; $\alpha_{i,j}(\cdot)$ 는 i 번째 송신안테나와 j 번째 수신안테나 사이의 경로 이득; $n_l/\Delta f$ 는 시간지연으로 n_l 은 정수이며, Δf 는 부반송파 간격을 나타낸다.

한편, OFDM 시스템의 수신부에서는 FFT 단을 거치게 되어

식(3)의 나타난 채널의 주파수 응답으로 다음과 같이 나타낸다.

$$H_{i,j,k} = \sum_{l=1}^L h_{i,j}(l) e^{-j2\pi k n_l / K} \quad (4)$$

여기서, $h_{i,j}(l) = [\alpha_{i,j}(1), \dots, \alpha_{i,j}(L)]$ 이다.

수신부의 복호부에서는 송신안테나와 수신 안테나 사이의 채널 상태 정보 $H_{i,j,k}$ 를 완벽하게 알고 있다고 가정할 때, 다음 식 (5)와 같이 수신된 데이터 신호와 가능한 신호 조합에 의한 자승 오차의 누적치를 계산하여 비터비 알고리즘을 통하여 원신호를 복원할 수 있다.

$$\hat{C} = \arg \min_c \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=1}^M \left| R_{j,k} - \sum_{i=1}^N H_{i,j,k} \cdot C_{i,k} \right|^2 \quad (5)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 제안된 4 state 트렐리스 부호화를 결합시킨 OFDM 시스템과 기존의 STC OFDM 시스템[5]의 FER 성능을 비교·분석하기 위하여 AWGN과 주파수 선택적 페이딩 채널에서 표 1에 나타난 파라미터를 기준으로 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 또한, 페이딩 채널에서 각각의 시스템에 대한 FER 성능은 2개의 송신안테나와 1개의 수신안테나가 적용된 시스템에서, 송신안테나 사이의 상관성 유무, 다중 경로에 의한 지연 확산정도의 파라미터들을 기준으로 하여 SNR에 따라 측정하였다.

수신부에서는 채널의 정보를 정확히 알고 있다고 가정하였고, 비터비 알고리즘이 적용된 최대 우도 복호기

(maximum likelihood decoder)를 사용하였다.

표 1. 모의 실험 파라미터.

사용 대역폭	1 MHz
OFDM 부반송파 개수	256
부반송파 채널 간격	3.9 KHz
OFDM 심볼 주기	256 μ sec
CS (cyclic prefix) 길이	40 μ sec

그림 5는 AWGN 채널에서 2개의 송신안테나와 1개의 수신안테나를 사용하는 제안된 시스템과 기존의 ST 부호화된 OFDM 시스템의 FER 성능을 나타낸다. 그림 5로부터 제안된 방식은 AWGN 채널에서 기존의 방식보다 약 5.5dB 정도의 부호화 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 6부터 9에서는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 지연 확산이 각각 5 μ sec와 40 μ sec 이고, 수신안테나가 1개인 경우에 송신안테나들 사이의 상관성의 유무에 따른 각각의 시스템들의 성능을 나타내었다. 그림들부터 송신안테나 사이의 상관성이 없는 채널에서는 기존의 시스템이 우수하지만, 상관성이 존재하는 경우에는 제안된 시스템이 보다 향상된 성능을 제공할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 수신기에서 신호들간의 유클리드 거리가 최대가 되도록 설계된 트렐리스 부호화 방식을 제안하고 OFDM 시스템에 결합하여 AWGN 채널과 주파수 선택적 페이딩 채널에서의 성능을 분석하였다. 모의 실험 결과에서 제안된 트렐리스 부호화를 결합한

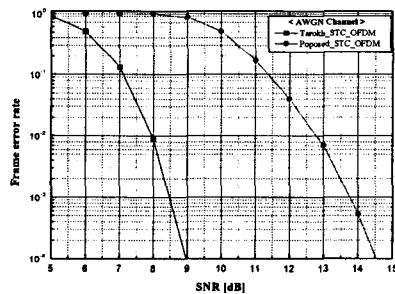


그림 5. 송신안테나 2개, 수신안테나 1개 일 때, 각 시스템 부호의 FER 성능(AWGN 채널).

OFDM 시스템이 AWGN 채널과 상관성이 존재하는 페이딩 환경에서 기존의 ST 부호화된 OFDM 시스템에 비하여 향상된 FER 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

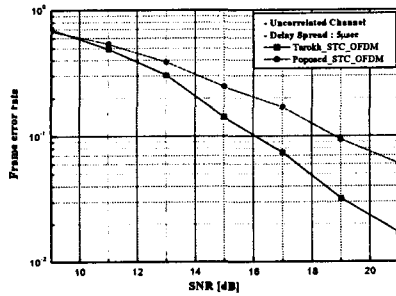


그림 6. 송신안테나 2개, 수신안테나 1개 일 때, 각 시스템 부호의 FER 성능 (상관성이 없는 채널, 지연 확산: 5 μ sec).

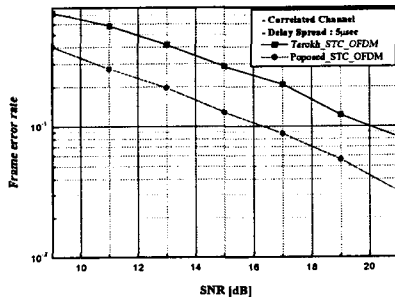


그림 7. 송신안테나 2개, 수신안테나 1개 일 때, 각 시스템 부호의 FER 성능 (상관성이 존재하는 채널, 지연 확산: 5 μ sec).

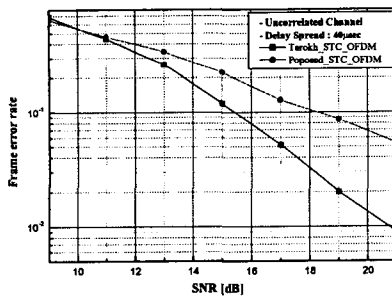


그림 8. 송신안테나 2개, 수신안테나 1개 일 때, 각 시스템 부호의 FER 성능 (상관성이 없는 채널, 지연 확산: 40 μ sec).

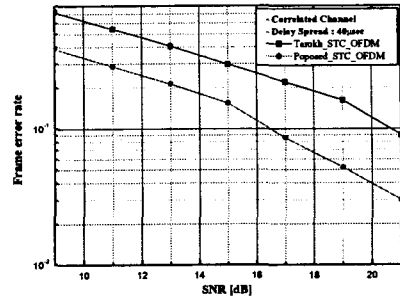


그림 9. 송신안테나 2개, 수신안테나 1개 일 때, 각 시스템 부호의 FER 성능 (상관성이 존재하는 채널, 지연 확산: 40 μ sec).

참고문헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless communications*, New York, IEEE Press, 1996.
- [2] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication : Performance criterion and code construction," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 44, no. 2, pp. 199-207, Mar. 1998.
- [3] N. Seshadri, V. Tarokh, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for wireless communication : Code construction," in *Proc. IEEE VTC'97*, pp. 637-641, May 1997.
- [4] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas. Comm.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [5] D. Agrawal, V. Tarokh, A. Naguib and N. Seshadri. "Space-time coded OFDM for high data rate wireless communication over wideband channels," in *Proc. IEEE VTC'98*, pp. 2232-2236, May 1998.
- [6] Y. Li, J. C. Cuang and N. R. Sollenberger "Tranmitter diversity for OFDM systems and its impact on high-rate data wireless networks," *IEEE J. Slect. Areas. Comm.*, vol. 17, no. 7, pp. 1233-1243, July 1999.