STBC의 전송 신뢰성 향상을 위한 컨볼루션 코드 연계 시스템 성능 분석

신현준* · 오창헌*

*한국기술교육대학교

Performance Analysis of STBC Concatenated Convolutional Code for Improvement of Transmission Reliability

Hyun-jun Shin* · Chang-Heon Oh*

*Korea University of Technology and Education

E-mail : champ5866@koreatech.ac.kr

요 약

본 논문에서는 무선 데이터 전송에서 데이터 전송의 신뢰성을 얻기 위해 STBC와 컨볼루션 코드를 연계하며 높은 시스템 이득을 취하기 위해 수정된 비터비 알고리즘을 사용한 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 STBC의 다이버시티 이득과 컨볼루션 코드의 부호화 이득을 동시에 얻을 수 있다. 수정된 비터비 알고리즘은 기존의 비터비 알고리즘과 달리 브랜치 매트릭스를 구하기 위해 해밍디스턴스를 사용하지 않고 수신 심볼과 레퍼런스 심볼 사이의 유클리디안 디스턴스를 사용한다. 제안한 시스템을 분석하기 위해 STBC의 송수신 안테나의 개수와 컨볼루션 코드의 구속장을 변경하며 시뮬레이션하였다.

ABSTRACT

In this paper, the proposed scheme is STBC system combined with convolutional code to ensure the reliability of data transmission for a high rate wireless communication. 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 comvolutional code, the proposed scheme can get a diversity gain of STBC and coding gain of convolutional code at the same time. Unlike existing viterbi docoding algorithm using Hamming distance in order to calculate branch matrix, the modified viterbi algorithm uses Euclidean distance value between received symbol and reference symbol. To analyze the system proposed, it was simulated by changing the constraint length of the convolutional code and the number of transmit and receive antennas of STBC.

키워드

STBC, Convolutional code, Euclidean distant, MIMO

Ⅰ. 서 론

무선 통신은 이동성이 뛰어나 이동 중에도 사용 가능한 장점이 있는 반면 통화 품질이나 데이터 전송 속도 및 전송 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 무선 통신의 데이터 전송 신뢰성을 높이는 방안으로 다수의 안테나를 사용하여 고속의 통신을 이루는 MIMO(multi input multi output)가 사용되고 있다. MIMO 기술 중 공간 다이버시티 기법인 STBC는 다이버시티 이득에 의한 데이터 전송 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 데이터 전송 신뢰성을 높이는 방안으로 데이터 전송 중에 발생하는 오류를 막는 기술인 채널 코딩이 사용되고 있다. 채널 코딩 기술 중 컨볼루션 코드 기법은 높은 에러 정정 효율로 코딩 이득에 의한 데이터 전송 신뢰성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 이러한 기술들을 통해 STBC와 컨볼루션 코드를 연계하여 다이버시티 이득과 코딩 이득을 모두 획득하고 수정된 비터비 알고리

즘을 적용한 시스템을 제안한다. 또한 시스템의 성능을 분석하기 위해 STBC의 송수신 안테나 개수와 컨볼루션 코드의 구속장 길이를 변경하며 그에 따른 성능을 분석한다.

본 논문의 구성으로 Ⅱ장에서는 시공간 블록 코드와 채널 코드를 설명한다. Ⅲ장에서는 시스템 모델로 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 채널 코드

2-1 시공간 블록 코드

MIMO 기술 중 하나인 STBC는 하나 이상의 송수신 안테나를 이용하여 다이버시티 이득을 얻는 부호화 방법이다. STBC는 alamouti에 의해 제안되었으며 직교 코드를 이용함으로써 수신단에서 선형적인 계산만으로 신호의 복구가 가능하다는 장점이 있다. STBC는 송신 안테나가 2개인 경우에 적용할 수 있는 방법으로 심볼 s_0과 s_1에 대한 STBC 부호화 방식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[1],[2].

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

여기서 $*$는 공액 복소수 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 i번째 시간 슬롯에 j번째 수신 안테나로 전송된 신호이고, h_{ij}는 i번째 송신 안테나에서 j번째 수신 안테나의 채널 계수이다. n_{ij}는 i번째 시간 슬롯에 j번째 수신 안테나의 복소수 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 코드

채널 코딩 이득은 주어진 비트 오류확률에서 에러 정정 목적의 채널 부호를 사용함으로서 얻을 수 있는 Eb/No [dB]의 감소량으로 정의하며 채널 코드를 사용해 에러를 정정하면 주어진 비트 오류 확률에서 Eb/No를 줄일 수 있게 된다. 적은 에너지를 사용해서 큰 에너지를 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있으므로 이것을 채널 코드의 코딩 이득이라 한다. 본 논문에서 사용한 컨볼루션 코드의 구속장(constraint) 길이는 $K=3,4,5$, 부호화율 $R=1/2$이며, 각 구속장에 대해 격자도(trellis diagram)를 표현하기 위한 state의 개수는 2^{K-1}로 각각 4, 8, 16개가 필요하다. 또한 각 구속장에 대해 사용된 생성 다항식의 계수는 표 1과 같다[4].

표 1. 구속장 길이에 따른 생성 다항식

Rate	Constraint Length	State	Code Vector
1/2	3	4	111 101
1/2	4	8	1111 1011
1/2	5	16	10111 11001

Ⅲ. 시스템 모델

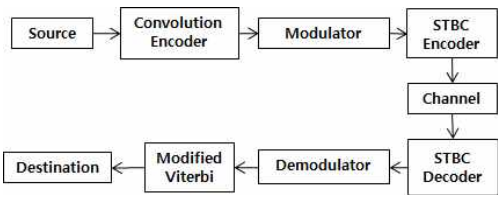

그림 1 시스템 모델 블록 다이어그램

그림 1은 본 논문에서 제안하는 블록 다이어그램이다. STBC와 컨볼루션 코드를 사용하며 복호기는 수정된 비터비 복호화를 사용한다. 기존의 비터비 알고리즘은 현재 레지스터 상태와 다음 레지스터 상태에 의해 출력되는 값과 수신되는 신호의 해밍디스턴스를 구해 이를 브랜치 매트릭스로 사용한다. 본 논문에서 제안하는 수정된 비터비 알고리즘은 기존의 비터비 알고리즘과 달리 채널을 지난 후 STBC복호기에서 ML검출기를 제

거하여 ML검출기를 거치기전 신호인 $\widetilde{s_0}$, $\widetilde{s_1}$와 레퍼런스 심볼 s_i와의 유클리디안 디스턴스를 구해 이를 브랜치 매트릭스로 사용한다. STBC 1Tx-2Rx, 2Tx-1Rx, 2Tx-2Rx에서 유클리디안 디스턴스를 구하는 방식은 모두 유사하기 때문에 2Tx-2Rx의 유클리디안 디스턴스를 구하는 방식만 나타낸다. STBC 2Tx-2Rx 수신단에서 수신된 신호 r_0, r_1, r_2, r_3은 다음 수식(4)로 표현된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 n_0 , n_1 , n_2 , n_3은 잡음을 나타낸다. n_0 , n_1 , n_2 , n_3은 가우시안 분포한다고 가정하고, 수신부에서 복호화하는 방식은 다음과 같다. 단, $(\alpha_i^2 = h_i h_i^*)$

$$\begin{aligned} \widetilde{s_0} &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2 r_2 + h_3 r_3^* \\ &= h_0^*(h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0) + h_1(-h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1)^* \\ &+ h_2^*(h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2) + h_3(-h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3)^* \\ &= h_0^* h_0 s_0 + h_0^* h_1 s_1 + h_0^* n_0 - h_1 h_0^* s_1 + h_1 h_1^* s_0 + h_1 n_1^* \\ &+ h_2^* h_2 s_0 + h_2^* s_3 s_1 + h_2^* n_2 - h_3 h_2^* s_1 + h_3 h_3^* s_0 + h_3 n_3^* \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^*. \\ \widetilde{s_1} &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \\ &= h_0^*(h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0) - h_0(-h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1)^* \\ &+ h_3^*(h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2) + h_2(-h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3)^* \\ &= h_1^* h_0 s_0 + h_1^* h_1 s_1 + h_1^* n_0 + h_0 h_0^* s_1 - h_0 h_1 s_0 + h_0 n_1^* \\ &+ h_2 h_2^* s_0 + h_3^* h_3 s_1 + h_3^* n_2 + h_2 h_2^* s_1 - h_2 h_3^* s_0 - h_2 n_3^* \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^*. \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 $\widetilde{s_0}$, $\widetilde{s_1}$와 레퍼런스 심볼 s_i의 거리를 구한다.

$$\begin{aligned} &(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^{2)} |s_i^2| + d^2(\widetilde{s_0}, s_i) \\ &(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^{2)} |s_i^2| + d^2(\widetilde{s_1}, s_i). \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $d^2(x,y)$ 는 신호 x와 y의 유클리디안 디스턴스의 제곱을 계산한 것이며 풀이 방식은 다음과 같다.

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

식 (7)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 서바이버 경로로 선택한다.

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

Ⅳ. 시뮬레이션 및 평가

본 논문에서는 STBC와 컨볼루션 코드를 연계한 후 수정된 비터비 알고리즘의 복호화한 시스템의 성능을 분석하기 위해 STBC 1Tx-2Rx, 2Tx-1Rx, 2Tx-2RX와 구속장 $K=3,4,5$, 부호화율 $R=1/2$인 컨볼루션 코드를 각각 연계하여 그 성능을 분석하였다.

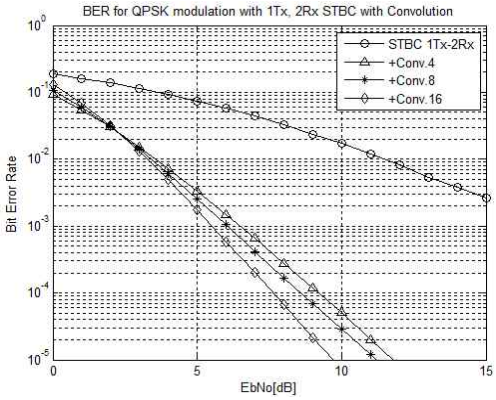

그림 2. STBC 1Tx-2Rx와 콘볼루션 코드 연계 시스템 BER 성능 곡선

그림 2는 STBC 1Tx-2Rx와 컨볼루션 코드 구속장 $K=3,4,5$ 를 각각 연계한 BER 성능 곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로 수정된 비터비 알고리즘을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 $BER=10^{-2}$에서 약 7dB의 우수함을 보인다. 또한 구속장에 늘어남에 따라 더 큰 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

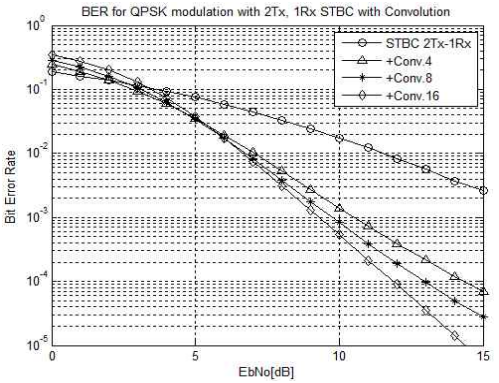

그림 3. STBC 2Tx-1Rx와 콘볼루션 코드 연계 시스템 BER 성능 곡선

그림 3은 STBC 2Tx-1Rx와 컨볼루션 코드 구속장 $K=3,4,5$ 를 각각 연계한 BER 성능 곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로 수정된 비터비 알고리즘을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 $BER=10^{-2}$에서 약 5dB의 우수함을 보인다. 또한 구속장에 늘어남에 따라 더 큰 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

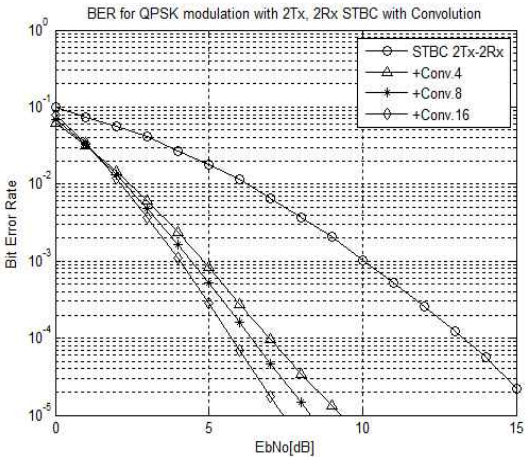

그림 4. STBC 2Tx-2Rx와 콘볼루션 코드 연계 시스템 BER 성능 곡선

그림 4는 STBC 2Tx-2Rx와 컨볼루션 코드 구속장 $K=3,4,5$ 를 각각 연계한 BER 성능 곡선이다. 평탄 페이딩 환경에서 실험하였으며 복호화 알고리즘으로 수정된 비터비 알고리즘을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 $BER=10^{-3}$에서 약 5dB의 우수함을 보인다. 또한 구속장에 늘어남에 따라 더 큰 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 무선 통신에서 데이터의 전송 신뢰성을 높이기 위해 STBC와 컨볼루션 코드를 연계 후 수정된 비터비로 복호화하는 시스템을 제안하고 STBC의 송수신 안테나 수와 컨볼루션 코드의 구속장 길이를 변경하며 그에 따른 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 STBC 1Tx-2Rx, 2Tx-1Rx, 2Tx-2Rx 보다 약 7dB ($BER=10^{-2}$), 5dB($BER=10^{-2}$), 5dB ($BER=10^{-3}$)의 성능이 향상됨을 확인하였다.

참고문헌

[1] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications, selected areas in communications," *IEEE J. of Selected Areas in Commun.*, vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458. Oct. 1998

[2] J. H. Winters, "The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with Rayleigh fading," *in Proc. 1994 ICC/SUPERCOMM,* New Oreleans, *LA,* vol. 2, pp. 1121-1125. May 1994,

[3] Forney, G. D., Jr., "Convolutional Codes: 1. Algebraic Structure," *IIEEE Trans. Inf. Theroy*, vol. IT16, no. 6, pp. 720-738, Nov. 1970.

[4] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, 2th ed. Prentice-Hall International, 2001.