

Time Selective Fading 채널 환경에서 STBC를 이용하는 송신 다이버시티에서 간섭제거기법에 의한 성능 개선

°김장욱*, 양희진**, 오창현***, 조성준****

*동양공업전문대학, **한국항공대학교 대학원 정보통신공학과,

한국기술교육대학교 정보기술공학부, *한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부

E-mail : jwkim@dongyang.ac.kr

Performance Enhancement by Interference Cancellation Scheme in Transmit Diversity using STBC over Time Selective Fading Channel

°Jang-Wook Kim*, Yang-Hee Jin*, Chang-Heon Oh***, Sung-Joon Cho****

*Dongyang Technical College,

**Dept. of Inform. & Telecomm. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

***School of Inform. Tech., Korea Univ. of Tech. and Edu.

****School of Electronics, Telecomm. and Computer Eng. of Hankuk Aviation Univ.

Abstract

Transmit diversity using STBC(Space Time Block Code) provides the same diversity gain as MRRRC(Maximal Ratio Receiver Combining), when the fading channel is constant across two consecutive symbols. But, when the channel condition is changed for the two consecutive symbols, the transmit diversity using STBC does not offer good performance due to the large doppler shift. In this paper, we have proposed a interference cancellation scheme for performance enhancement in transmit diversity using STBC over time selective fading channel. Simulation results for various doppler shift rates are presented for the transmit diversity using the proposed scheme.

Key words : Transmit diversity, STBC, Time selective fading channel

I. 서 론

오늘날 이동통신 시장이 급성장하고 무선 환경에서의 다양한 멀티미디어 서비스가 요구됨에 따라 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송의 고속화가 진행되고 있다. 그러므로 차세대 이동통신 시스템의 발전방향은 고속의 데이터를 전송할 수 있는 시스템 구조로 진행 될 것이다^[1]. 일반적으로 고속 데이터 전송을 하기 위해서는 단위 시간당 전송할 수 있는 데이터 수를 증가시켜야 하기 때문에 큰 전송 대역폭을 필요로 한다. 그러나 이와 같은 대역폭의 증가는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사

용하지 못하는 결과를 가져올 뿐만 아니라 기존 이종간의 시스템에 간섭의 영향을 줄 수 있는 문제점이 발생하게 된다. 그러므로 전송 대역폭의 변화 없이 무선채널을 통해 고속으로 데이터를 전송할 수 있는 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 이에 여러 개의 안테나를 이용하여 전송용량을 증가시킬 수 있는 MIMO(Multi Input Multi Output) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[2][3]}. 이러한 MIMO 시스템은 링크 버짓을 향상시키기 위해 여러 가지 코딩기술을 이용하며, STBC(Space Time Block Code)도 이와 같은 종류의 코딩기법이다. STBC는 수신단에서 데이터 복원 시 MRRRC에 해당

하는 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 수신단에서 사용하는 직교특성을 갖는 코딩방식이다^{[4][5]}. 이러한 STBC는 페이딩 채널 환경에서 인접한 두 심볼의 전송시간동안 채널 특성이 변하지 않을 경우에 MRRC에 준하는 다이버시티 이득을 얻는다. 그러나 두 심볼의 전송시간동안 페이딩 채널 특성이 변하게 되면 수신단에서 데이터 복원 시, 두 심볼이 상호간의 직교특성이 상실되어 간섭으로 작용하기 때문에 시스템의 성능 열화가 발생하는 문제점이 있다. 따라서 이동체가 고속으로 이동할 경우, STBC를 이용하는 송신 다이버시티에는 성능 열화를 개선시킬 수 있는 방안이 필요하다. 이에 본 논문에서는 time selective fading 채널 환경에 대해서 STBC를 사용하는 송신 다이버시티의 성능을 개선시키기 위한 간섭제거기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 II장에서 time selective fading 환경에서 STBC를 이용하는 송신 다이버시티의 성능 열화에 대한 원인을 살펴보고, III 장에서는 성능 개선을 위해 제안하는 간섭제거기법에 대해 설명한다. IV 장에서는 간섭제거기법을 적용한 송신 다이버시티의 성능을 분석하였으며 마지막 V 장에서는 성능 분석 결과를 토대로 결론을 맺는다.

II. Time selective fading 채널 환경에서 STBC의 성능 열화

각 송신 안테나로 데이터를 전송할 때 두 심볼을 전송하는 시간 동안에는 채널 변화가 존재하지 않아야 한다는 전제조건이 만족되지 않는 경우에 성능 열화가 발생한다^[6]. 성능 열화는 이동체의 이동속도가 고속으로 증가함에 따라 slow 페이딩에서 fast 페이딩 채널로 변화하는 경우에 발생한다.

이러한 경우, 시스템의 성능 열화를 방지하기 위해서는 데이터의 전송 속도를 증가 시켜야 하므로 결국 전송 대역폭의 증가가 초래된다. 그러나 이러한 전송 대역폭의 증가는 대역폭 효율을 감소시키는 문제점이 있다. 이동통신 환경에서는 이러한 시간의 변화에 따른 coherence time의 변화는 충분히 발생 가능하므로 이에 대한 해결 방안이 필요하다. 아래의 그림 1은 기존 STBC를 사용하는 송신 다이버시티의 구조를 나타내고 채널 특성이 slow에서 fast 페이딩 채널로 변화된 경우를 나타낸다.

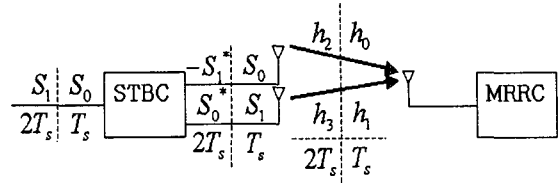


그림 1. Time selective fading 채널에서의 송신 다이버시티

채널 특성(h_0, h_1, h_2, h_3)과 수신되는 신호($r(Ts) = r_0, r(2Ts) = r_1$)는 식 (1), (2), (3)과 같이 정의된다.

$$h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0}, h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1}, h_2 = \alpha_2 e^{j\theta_2}, h_3 = \alpha_3 e^{j\theta_3} \quad (1)$$

$$r_0 = S_0 \cdot h_0 + S_1 \cdot h_1 + n_0 \quad (2)$$

$$r_1 = -S_1^* \cdot h_2 + S_0^* \cdot h_3 + n_1 \quad (3)$$

수신신호에서 MRRC에 대한 선형연산으로 데이터를 추출하면, 식 (4), (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S}_0 &= r_0 \cdot h_0^* + r_1^* \cdot h_3 = (S_0 \cdot h_0 + S_1 \cdot h_1 + n_0) \cdot h_0^* + (-S_1^* \cdot h_2 + S_0^* \cdot h_3 + n_1) \cdot h_3^* \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_3^2) \cdot S_0 + S_1 \cdot (h_1 \cdot h_0^* - h_2^* \cdot h_3) + n_0 \cdot h_0^* + n_1^* \cdot h_3 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{S}_1 &= r_0 \cdot h_1^* - r_1^* \cdot h_2 = (S_0 \cdot h_0 + S_1 \cdot h_1 + n_0) \cdot h_1^* - (-S_1^* \cdot h_2 + S_0^* \cdot h_3 + n_1) \cdot h_2^* \\ &= (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \cdot S_1 + S_0 \cdot (h_0 \cdot h_1^* - h_3^* \cdot h_2) + n_0 \cdot h_1^* + n_1^* \cdot h_2 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (4), (5)와 같이 STBC를 사용한 송신 다이버시티는 채널특성이 달라지면 간섭신호성분(밑줄)이 존재하기 때문에 시스템의 성능을 감소시킨다.

III. 간섭제거기법에 의한 성능 개선

그림 1과 같이 채널 특성이 변하는 time selective fading 환경에서 성능 개선을 위해 그림 2와 같이 수신단에 간섭제거기를 사용한다. 이러한 간섭제거기법은 식 (4), (5)에서 발생한 간섭신호(밑줄)를 제거 해 주기 때문에 시스템의 성능을 개선시킨다. time selective fading 환경에서 STBC를 사용한 송신 다이버시티의 수식을 matrix form으로 나타내면 식 (6)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{S}(t) \\ \hat{S}(t+T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0(t)^* & h_1(t+T) \\ h_1(t)^* & -h_0(t+T) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r(t) \\ r(t+T) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_0(t)^2 + \alpha_1(t+T)^2 & h_0(t)^* h_1(t) - h_1(t+T) h_0(t+T) \\ h_1(t)^* h_0(t) - h_0(t+T) h_1(t+T) & \alpha_1(t)^2 + \alpha_0(t+T)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S(t) \\ S(t+T) \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} h_0(t)^* n(t) + h_1(t+T) n(t+T) \\ h_1(t)^* n(t) - h_0(t+T) n(t+T) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

식 (6)에서와 같이 time selective fading 환경에서는 간섭성분(밑줄)이 존재한다. 그러나 위 수식에서 non-time selective fading 환경일 경우에는 기존 STBC를 사용한 송신 다이버시티와 동일한 수식을 갖는다. 식 (6)과 같이 간섭성분 성분이 존재할 경우 간섭성분을 제거하기 위해서는 그림 2와 같이 간섭 제거기가 포함된 수신기가 필요하다.

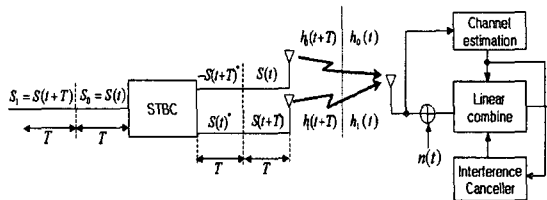


그림 2. 제안하는 간섭제거기가 포함된 송신 다이버시티의 시스템 블록도

간섭제거기법은 임의의 간섭제거 matrix(M)을 이용한다. 간섭 제거 matrix는 수신 신호에서 간섭이 제거된 신호에 대한 최적 계수 값들로 구성된 matrix이다. 그림 2와 같이 간섭신호를 제거하기 위해서는 우선 기존 복조방식으로 데이터를 검파한 후에 채널정보만을 이용하여 간섭제거 matrix를 구성하여 검파된 신호에 곱해준다. 아래의 식 (7)은 이러한 과정을 나타낸 수식이다.

$$\begin{bmatrix} \hat{S}(t) \\ \hat{S}(t+T) \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} h_0(t)^* & h_1(t+T) \\ h_1(t)^* & -h_0(t+T) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r(t) \\ r(t+T) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

식 (7)을 간단하게 표현하면 식 (8)과 같다.

$$S = M \cdot \hat{H} \cdot R. \quad (8)$$

여기서 S는 간섭이 제거된 신호를 나타내며, M은 간섭제거 matrix, \hat{H} 은 MRRC의 다이버시티 이득

을 얻기 위한 채널 정보이고 R은 수신 신호를 나타낸다. 간섭성분 성분을 zero로 만드는 M은 아래의 식 (9)와 같이 정의한다.

$$M = \begin{bmatrix} \alpha_0(t)^2 + \alpha_1(t+T)^2 & 0 \\ 0 & \alpha_1(t)^2 + \alpha_0(t+T)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0(t) & h_1(t) \\ h_1(t+T) & -h_0(t+T) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0(t)^* & h_1(t+T)^* \\ h_1(t)^* & -h_0(t+T)^* \end{bmatrix}. \quad (9)$$

위 식 (9)에는 채널에 대한 정보만 포함되어 있기 때문에 채널 추정에 대해서 아주 민감한 특성이 나타난다.

수식 (9)에서 보듯이 간섭제거 matrix를 이용하여 간섭신호를 제거하였다. 그러나 non-time selective fading 환경인 경우 임의의 간섭 matrix M은 잡음에 영향을 주지 않지만 채널 특성이 변하여 간섭이 생긴 경우에는 간섭제거 matrix가 잡음 성분에 곱해져 잡음을 증폭시키게 된다. 하지만 time selective fading 환경에 대한 시스템의 성능 열화(error flower)는 상당히 개선된다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 time selective fading 환경에서 채널 특성이 변하는 경우에 간섭제거기법을 적용하여 시스템 성능을 분석하였다.

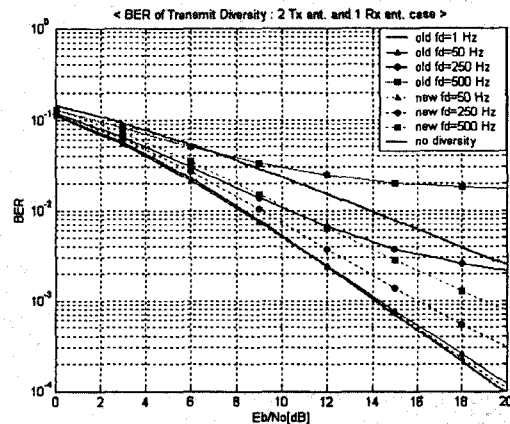


그림 3. 간섭제거기법을 적용했을 때의 BER 성능

Time selective fading의 채널 모델은 Jakes 모델을 이용하여 도플러 시프트의 값을 가변하여 시간에 따른 채널 특성을 나타내었으며 QPSK 변조 방

식을 사용하였다. 그림 3에서 old는 기존 STBC를 사용하는 송신 다이버시티에 대한 것이고 new는 간섭제거기법을 적용한 송신 다이버시티를 나타낸다. old $f_d = 1$ Hz 는 시간에 따른 채널 변화가 매우 적을 때이며, old $f_d = 50$ Hz, 250 Hz 그리고 500 Hz 는 시간에 따라 채널 변화가 점차 심각하게 발생하는 것을 의미한다. 시뮬레이션 결과 target BER 이 10^{-3} 일 경우에는 도플러 주파수가 100 Hz에서 간섭제거기법을 사용하면 6 dB 이상의 성능이 개선된다.

V. 결 론

Time selective fading 채널 환경에서 STBC를 사용하는 송신 다이버시티의 성능은 시간에 따라 채널 특성이 변하지 않을 경우에 MRRC에 해당하는 다이버시티 이득을 얻는다. 그러나 채널 특성이 변할 경우에는 수신단에서 데이터 복원 시 인접한 두 심볼이 서로 간섭으로 작용하므로 성능 열화가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 time selective fading 채널 환경에서의 간섭제거기법을 제안하였으며, 이동체가 고속으로 이동할 때 발생하는 채널 변화에 대한 성능 열화를 개선하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 간섭제거기법을 적용 하였을 때 target BER 10^{-3} 인 경우, 도플러 주파수 100 Hz에 대해 Eb/No가 6 dB 정도 성능이 개선되는 것을 알 수 있었다. 그러나, 도플러 주파수가 낮을 경우에는 거의 성능의 차이가 없으며, 도플러 주파수가 큰 경우에 간섭제거 matrix로 인해 잡음성분이 증폭되어 이상적인 MRRC에 해당하는 다이버시티 이득보다는 약간 성능이 떨어진다. 하지만 시간에 대한 채널변화로 인한 성능 열화(error flower)는 더 이상 발생하지 않는다.

참 고 문 헌

- [1] 황 승구, " 4세대 이동통신 무선 전송 기술 현황," *9th Wireless Communications Workshop*, pp. 71~90, 2003. 2.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*. 2nd edition, Prentice Hall PTR, 2000.
- [3] 조 용수, " MIMO 및 OFDM 기술", *4th Generation Mobile Communications Forum*, pp. 73~103, 2002. 9.
- [4] Z. Liu, X. Ma, and G. B. Giannakis, " Space-time coding and Kalman filtering for time-selective fading channels", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 2, 2002.
- [5] Z. Liu, G. B. Giannakis, and B. L. Hughes, "Double differential space-time block coding for time-varying fading channels", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, pp. 1529~1539, Sept. 2001.
- [6] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communication", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 1451~1458, Oct. 1998.