

차등 준 시공간 블록 코드를 이용한 중계기 전송 시스템에서 수신 성능 향상 기법

*도우정 **한재신 ***서종수

연세대학교

*yttao@yonsei.ac.kr **hjs4015@yonsei.ac.kr ***jsseo@yonsei.ac.kr

Efficient Joint Sub-optimal Differential QOSTBC Decoding for Relay Networks

*Tao, Yu-Ting **Han, Jae-Shin ***Seo, Jong-Soo

Yonsei University

요약

차등 시공간 블록 코드 시스템은 다이버시티 이득을 송신단에서 파일럿 삽입이 필요 없이 얻을 수 있는 기술로 주목되고 있다. 특히, 협력 네트워크 시스템에서 서비스 영역을 확장하기 위하여 중계기를 사용하게 되는데 자연스럽게 채널 추정 기법을 고려하지 않은 방법들이 연구 되었다. 본 논문은 차등 준 시공간 블록 코드를 이용한 협력 전송 네트워크에서 ML (Maximum Likelihood) 기반의 준 최적 신호 결합 기법을 제시한다. 모의실험 결과를 통해 제안된 수신 결합 기법은 높은 신호 대 잡음비 환경에서 기존에 널리 사용되는 MRC (Maximum Ratio Combining) 기법보다 5dB이상의 이득을 얻는 것을 보여준다.

1. 서론

차등 변조 방식은 주파수 효율을 파일럿 삽입 없이 올릴 수 있는 방법으로 송신단과 수신단에서 채널 정보가 필요 없기 때문에 동기부단과 같은 빠른 신호 복구를 요구하는 구조 또는 빠른 채널 변화에 따라 채널 추정이 어려운 환경에서 널리 사용되고 있다. 최근 차등 변조 방식은 시공간 블록 코드와 결합하여 코딩 이득을 얻는 방법이 연구되고 있는데 이를 D-STBC (Differential Space-Time Block Code) 라고 불린다. 하지만 D-STBC는 송신단에서 다수의 안테나를 필요로 하기 때문에 송신단에서 요구되는 안테나를 중계기로 분산시켜 수신단에서 마치 가상적 다중 안테나 효과를 얻을 수 있는 협력 다이버시티에 관한 연구가 진행되었다. 현재 협력통신에서 사용되는 차등 변조 방식은 D-STBC를 기반으로 발전해 왔으나 D-QOSTBC (Differential Quasi Orthogonal Space-Time Block Code) 시스템에 관한 연구는 많이 진행되지 않고 있다. 본 논문은 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 협력 전송 방식에서 D-QOSTBC를 전송하는 방법에 대하여 연구하고 추가적으로 얻는 신호를 효율적으로 결합하는 방법에 대하여 제안한다.

2. 협력 전송 시스템에서 차등 QOSTBC 복호 기법

반이중 중계기를 사용하는 무선 협력 네트워크에 대하여 고려해 보자. 시스템은 송신단, 중계기, 그리고 수신단으로 구성되어 있으며 송신단과 중계기는 2개의 안테나를 가지고 있고 수신단은 1개의 안테나를 가지고 있다. 전송 방식에서는 반이중 중계기 시스템에서 널리 사용되는 프로토콜 1과 3을 이용하였다 [1]. 프로토콜 3 전송 시스템은

송신단은 중계기 쪽으로 타임 슬롯 1에서 송신을 한 후에 송신단과 중계기가 타임 슬롯 2에서 수신단으로 전송을 한다. 프로토콜 1은 프로토콜 3 전송 방식과 다르게 타임 슬롯 1때 송신단이 수신단으로 전송을 하게 된다. 그러므로 프로토콜 1 전송 방식을 사용하게 된다면 여분의 신호가 추가적으로 들어오게 되며 이를 활용할 수 있다. 자세한 신호 모델과 송수신 관계는 논문 [2] 를 참조하면 된다.

프로토콜 3 전송 방식을 사용한다고 가정하면, k 번째 블록 전송에서 중계기에서 수신되는 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{R,1}^k &= \sqrt{E_{sr}} h_{sr,11} s_1^k + \sqrt{E_{sr}} h_{sr,21} s_2^k + n_{R,1}^k \\ y_{R,2}^k &= \sqrt{E_{sr}} h_{sr,12} s_1^k + \sqrt{E_{sr}} h_{sr,22} s_2^k + n_{R,2}^k \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 E_{sr} 은 송신단에서 중계기에 전달되는 평균 에너지를 나타내며 $h_{sr,ij}$ 는 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나의 채널 임펄스 응답을 나타낸다. 여기서 백색잡음은 평균 0이고 분산 N_0 을 가지는 가우시안 분포를 따른다고 가정하였다. 식 (1)과 같이 수신된 신호를 중계기는 AF (Amplify-and-Forward) 방법을 따라 정규화 과정을 거치게 되는데 여기서 사용된 정규화 상수는 $\eta = \sqrt{E_{sr} (2E[\sigma_s^2] + N_0)}$ 을 이용하였다. 여기서 평균 연산자 안의 σ_s^2 는 송신 심벌의 분산 값을 나타낸다. 이러한 반복 과정이 $k+3$ 블록까지 전송된다면 중계기와 송신단에서 전송되는 수신 벡터는 다음과 같이 쉽게 표현할 수 있다.

$$\vec{y}_{PB}^k = \vec{h}_{PB}^k S^k + \vec{n}_{PB}^k \quad (2)$$

여기서 \vec{h}_{P3}^k 과 \vec{n}_{P3}^k 는 단일 벡터로 변환된 채널 값과 잡음 값이며 그 자세한 식은 [2]에 표현되어 있으며 S^k 는 다음과 같이 QOSTBC 형태를 지니고 있다. $\vec{S}^k = \begin{bmatrix} A & B \\ B & A \end{bmatrix}$ 여기서 A는 s_1 과 s_2 로 구성된 Alamouti 코드 셋이고 B는 s_3 과 s_4 로 구성된 Alamouti 코드 셋을 나타낸다. 식 (2)는 차등 변조된 QOSTBC 코드가 중계기와 협력하여 전송한다면 마치 1대1 통신과 같은 효율적인 식으로 나타낼 수 있다는 것을 보인다. 식 (2)을 간단한 수학적 변환을 통해 2개의 서브 시스템으로 구성할 수 있으며 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{Y}_{P3,1}^k &= \vec{H}_{P3,1}^k \vec{S}^k + \vec{N}_{P3,1}^k \\ \vec{Y}_{P3,2}^k &= \vec{H}_{P3,2}^k \vec{S}^k + \vec{N}_{P3,2}^k \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 식 (4)에 제시된 변수들의 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{Y}_{P3,1(2)}^k &= \begin{bmatrix} y_{P3,1}^k + (-)y_{P3,3}^k & y_{P3,2}^k + (-)y_{P3,4}^k \\ -(y_{P3,2}^{k*} + (-)y_{P3,4}^{k*}) & y_{P3,1}^{k*} + (-)y_{P3,3}^{k*} \end{bmatrix} \\ \vec{H}_{P3,1(2)}^k &= \begin{bmatrix} a_1^k + (-)a_3^k & a_2^k + (-)a_4^k \\ -(a_2^{k*} + (-)a_4^{k*}) & a_1^{k*} + (-)a_3^{k*} \end{bmatrix} \\ \vec{N}_{P3,1(2)}^k &= \begin{bmatrix} n_1^k + (-)n_3^k & n_2^k + (-)n_4^k \\ -(n_2^{k*} + (-)n_4^{k*}) & n_1^{k*} + (-)n_3^{k*} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 괄호 (•)는 식 (4)의 2개의 서브 시스템을 독립적으로 표현한 구분자를 나타낸다. 본 논문에서 제안된 수학적 변환의 가장 큰 특징은 수신 신호, 변환된 채널 매트릭스, 그리고 변환된 잡음 값이 모두 Alamouti 형태를 가지고 있는 것이다. 우리는 여기서 이 형태를 매트릭스 단위의 셋이라고 정의한다. 이 셋은 수신 신호 형태가 차등 복조 방식을 적용하였을 때 간단히 할 수 있으며 단일 상수를 곱하여 추가 신호를 결합할 때 효율적으로 수행 가능하다. 비슷한 방법으로 프로토콜 1 전송 시스템은 매 타임 슬롯 1마다 추가적으로 신호가 들어오며 식 (5)와 같은 형태를 만들 수가 있다 ([2] 참조). 수신 신호를 매트릭스 단위의 셋으로 만들게 된다면 차등 QOSTBC 디코딩은 다음과 같이 수행된다.

$$\begin{aligned} \text{argmin} \| V_1 - (1-w)(Y_{P3,1}^{(k-1)'} Y_{P3,1}^k + Y_{P3,2}^{(k-1)'} Y_{P3,2}^k) \\ + (w)(Y_{P1,1}^{(k-1)'} Y_{P1,1}^k + Y_{P1,2}^{(k-1)'} Y_{P1,2}^k) \\ \text{argmin} \| V_2 - (1-w)(Y_{P3,1}^{(k-1)'} Y_{P3,1}^k + Y_{P3,2}^{(k-1)'} Y_{P3,2}^k) \\ + (w)(Y_{P1,1}^{(k-1)'} Y_{P1,1}^k + Y_{P1,2}^{(k-1)'} Y_{P1,2}^k) \end{aligned} \quad (6)$$

수식의 편리성을 위하여 대문자 수식은 매트릭스라고 가정하였으며 V_1 과 V_2 는 식 (4)의 서브 시스템 심벌에 해당하는 회전되지 않은, 회전된 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조 형태 성상도이다. w 는 V_1 과 V_2 에 의해 계산된 에러 크기로 구해진 상대적 가중치 상수이다 (자세한 내용은 [2] 참조).

3. 모의실험 결과

본 논문은 분산된 차등 QOSTBC 시스템을 송신단과 중계기의 E_{sr}/N_0 값에 따라 모의실험 수행하였다. 모든 채널 링크는 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였으며 하나의 블록과 다음 블록의 채널은 일정하다고 가정하였다. 프레임은 QPSK를 사용하였으며 V_2 의 성상도는 $\pi/4$ 로 하였다. 차등 변조방식의 합리성을 위하여 QOSTBC를 전송하여 복구 하였을 때 모의실험도 함께 수행하였다. 제안된 결합 기법과 비교하기 위하여 MRC (Maximum Ratio Combining) 기법을 사용하였다.

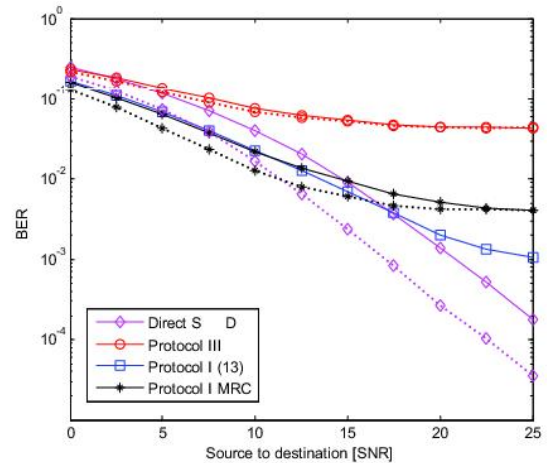


그림 1. 중계기 SNR이 5dB일 때 수신단 SNR에 따른 BER 성능

그림 1에서 수신단은 에러 층 현상을 5dB이상 증가하였을 때 겪는 것을 볼 수 있으며 이러한 환경은 중계기를 적절하지 못한 곳에 배치하였을 때 나타나는 현상이다. 제안된 기법이 15dB이상에서 MRC보다 5dB이상 성능 향상이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 협력 반이중 중계기 시스템에서 효율적인 차등 QOSTBC를 사용하면 중계기 수신 환경이 좋지 않은 환경에서 복잡도가 낮으며 MRC보다 성능이 우수한 기법을 제시하였다. 이는 채널 추정이 필요하지 않은 차등 변조 방식에서 5dB이상 성능 이득을 얻을 수 있는 것을 보였으며 이후 주파수 선택적 채널과 다중 중계기 시스템의 차등 변조 방식에 대하여 연구가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A2A2A01011372).

참조 문헌

[1] R. U. Nabar, et al., "Fading relay channels: performance limits and space-time signal design," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 6, pp. 1099-1109, Aug. 2004.
 [2] J. S. Han, et al., "Efficient differential quasi-orthogonal space-time block coded system for multiple-relay networks," *submitted to IEICE Transactions on Commun.*