

# 소스 안테나 스위칭기법을 사용하는 비직교 복호후 전달 프로토콜의 QOSTBC 방식

\*김향란, 김재홍, 노종선, \*\*신동준

\*서울대학교, \*\*한양대학교

{xianglan.jin, kilmd55}@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, \*\*djshin@hanyang.ac.kr

## A QOSTBC Scheme for NDF Protocol With Source Antenna Switching

\*Xianglan Jin, Jaehong Kim, Jong-Seon No, \*\*Dong-Joon Shin

\*Seoul National Univ., \*\*Hanyang Univ.

### 요약

본 논문은 소스 안테나 스위칭 (source antenna switching: SAS) 기법을 사용하는 비직교 복호후 전달 프로토콜의 준직교 시공간부호 (quasi-orthogonal space-time block code: QOSTBC) 방식을 제안하고 오류가 없는 소스-릴레이 채널, 평탄 준정지 레일리 (Rayleigh) 페이딩의 소스-목적, 릴레이-목적 채널상황하의 쌍 오류 확률 (pairwise error probability: PEP)를 유도하고 기존에 제안한 좌표인터리브 시공간부호 (coordinate interleaved space-time block code: CISTBC) 방식과 성능을 비교하였다.

### I. 서론

본 논문에서는 준 정지 (quasi-static) 페이딩 채널조건하에서 협력다이버시티 (cooperative diversity) 이득을 키우는 소스 안테나 스위칭 (source antenna switching: SAS) 기법을 사용하는 비직교 복호후 전달 (non-orthogonal decode-and-forward: NDF) 프로토콜의 준직교 시공간부호 (quasi-orthogonal space-time block code: QOSTBC) [1]를 이용하는 QOSTBC 방식을 제안하고 오류가 없는 소스(source: S)-릴레이(relay: R) 채널상황하의 쌍오류 확률 (pairwise error probability: PEP)를 유도하고 기존에 제안한 좌표인터리브 시공간부호 (coordinate interleaved space-time block code: CISTBC) 방식 [2], [3]과 성능을 비교한다.

### II. 본론

#### II. 1 SAS기법

본 논문에서는 논문 [1]과 같이 각각 하나의 S, R과 목적(destination: D)이 있는 협력통신시스템을 연구하는데 S-R 채널은 오류가 없고 S-D, R-D 채널은 모두 평탄 (flat) 준정지 레일리 (Rayleigh) 페이딩이고 반이중 (half duplex) 통신방식을 사용한다고 가정한다. NDF 프로토콜은 비록 첫 번째와 두 번째 시간슬롯을 통하여 같은 메시지가 담긴 신호를 두 번이나 보내지만 같은 페이딩 채널을 통과하기 때문에 다이버시티 이득을 많이 얻을 수 없다. 더 큰 다이버시티 이득을 얻기 위하

여 [1]에서 제안한 SAS 기법, 즉 S에서 각 RF (radio frequency) 체인에 두 개의 안테나를 연결하고 첫 번째 시간슬롯은 하나의 안테나로부터, 두 번째 시간슬롯은 다른 하나의 안테나로부터 전송하는 기법을 사용한다.

#### II. 2 QOSTBC를 활용하는 구조

첫 번째 시간슬롯과 두 번째 시간슬롯에서 D에서 수신신호는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$Y_{D_1} = \sqrt{\rho p_1} G X_1 + N_{D_1}$$

$$Y_{D_2} = \sqrt{\rho p_2} H X_2 + \sqrt{\rho p_3} F X_3 + N_{D_2}$$

위 식들은 다음과 같은 하나의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Y_D = \sqrt{\rho} H_e X_e + N_D \quad (1)$$

$$\text{수식 (1)에서 } H_e = [G \ H \ F], \ X_e = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} X_1 & 0 \\ 0 & \sqrt{p_2} X_2 \\ 0 & \sqrt{p_3} X_3 \end{bmatrix},$$

$Y_D = [Y_{D_1} \ Y_{D_2}]$ 이고  $N_D = [N_{D_1} \ N_{D_2}]$ 는 원소들이 표준정규 복소 가우시안  $\mathcal{CN}(0,1)$  분포를 가지는 행렬이다. 첫 번째 시간슬롯에서 Alamouti 부호  $X_1 = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix}$ 를, 두 번째 시간슬롯에서 다음과 같은  $X_2$ 와  $X_3$ 을 이용하여 QOSTBC를 구성한다.

$$X_2 = \begin{bmatrix} x_1 - x_2^* & s_3 - s_4^* \\ x_2 & x_1^* & s_4 & s_3^* \end{bmatrix},$$

$$X_3 = \begin{bmatrix} s_3 - s_4^* & x_1 - x_2^* \\ s_4 & s_3 & x_2 & x_1^* \end{bmatrix}.$$

위식에서  $s_i = x_i e^{j\theta}$ ,  $i=1, 2, 3, 4$ ,  $\theta$ 는 회전각을 의미한다. 단일 안테나를 가지는 D를 고려하면,  $H_e = [g_1, g_2, h_1, h_2, f_1, f_2]$  이고  $g_1, g_2, h_1, h_2 \sim CN(0, \sigma_{SD}^2)$ ,  $f_1, f_2 \sim CN(0, \sigma_{RD}^2)$  의 분포를 가진다.

### II. 3 PEP의 계산

논문 [1]의 결과를 이용하면 NDF 프로토콜에 대한 부호어  $X_e$ 와  $\tilde{X}_e$  사이의 PEP를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P(X_e \rightarrow \tilde{X}_e) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left| I + \frac{\rho}{4\sin^2\theta} E\{H_e^\dagger H_e\} [X_e - \tilde{X}_e][X_e - \tilde{X}_e]^\dagger \right|^{-1} d\theta \quad (2)$$

또한  $X_e$ 는  $(x_1, x_3)$ 과  $(x_2, x_4)$ 의 두 심볼 복호가 가능하기에 다음과 같은 각각 두 심볼을 포함한 부호어 사이의 PEP를 유도할 수 있다.

$$P(X \rightarrow \tilde{X}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left| I + \frac{\rho}{4\sin^2\theta} E\{H_e^\dagger H_e\} [X - \tilde{X}][X - \tilde{X}]^\dagger \right|^{-1} d\theta \quad (3)$$

위식에서  $X$ 는  $(x_1, x_3)$  또는  $(x_2, x_4)$ 만 포함하는 부호어이다.

(3)식을 계산한 결과  $(x_1, x_3)$ 만 포함하는 부호어의 PEP는 최종적으로 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P(X \rightarrow \tilde{X}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left( 1 + \frac{p_1 c \sigma_{SD}^2}{8\sigma^2 \sin^2\theta} \right)^{-2} \left( 1 + \frac{p_2 c \sigma_{SD}^2}{8\sigma^2 \sin^2\theta} + \frac{p_3 c \sigma_{RD}^2}{8\sigma^2 \sin^2\theta} + \frac{p_2 p_3 \sigma_{SD}^2 \sigma_{RD}^2}{64\sigma^2 \sin^4\theta} (c^2 - d^2) \right)^{-2} d\theta$$

위식에서  $c = |x_1 - \tilde{x}_1|^2 + |s_3 - \tilde{s}_3|^2$ ,  $d = 2 \operatorname{Re}\{(x_1 - \tilde{x}_1)(s_3 - \tilde{s}_3)^*\}$  이고  $\operatorname{Re}\{a\}$ 는 복소수  $a$ 의 실수부를 의미한다. 그리고  $c^2 - d^2 > 0$  으로부터 SAS를 이용하는 NDF 프로토콜의 QOSTBC 방식은 CISTBC 방식과 같이 최대 다이버시티 6을 얻는다는 것을 알 수 있다.

### II. 4 모의실험 결과

모의실험에서는 [1]처럼 QPSK 변조방식을 사용하고 CISTBC 방식에 대해서는 CISTBC-RP (row permutation: RP) 구조를, 최적 회전각  $\theta = -31.7175^\circ$ 를 사용하며  $p_1 = p_2 = p_3 = 1$ 라고 가정하고 QOSTBC 방식에 대해서는  $\theta = 45^\circ$ 를 사용하며  $p_1 = 1, p_2 = p_3 = 0.5$ 를 가정함으로써 평균 총 송신전력을 같게 하고 두 가지 방식의 평균 비트 오류확률 (bit error probability: BEP)를 비교하였다. 그림 1의 모의실험결과로부터 QOSTBC 방식은 CISTBC 방식과 같은 다이버시티를 얻고 또한 조금 좋은 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 준정지 페이딩 채널조건하에서 협력다이버시티 이득을 키우는 소스 안테나 스위칭기법을 사용하는 NDF 프로토콜의 준직교 시공간부호 방식을 제안하고 오류가 없는 S-R 채널상황하의 PEP를 유도하고 기준에 제한한 CISTBC 방식과 성능을 비교하였다. 수식과 모의실험 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 QOSTBC 방식은 CISTBC 방식과 비교하여 같은 다이버시티 이득을 얻고 조금 더 좋은 BEP 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

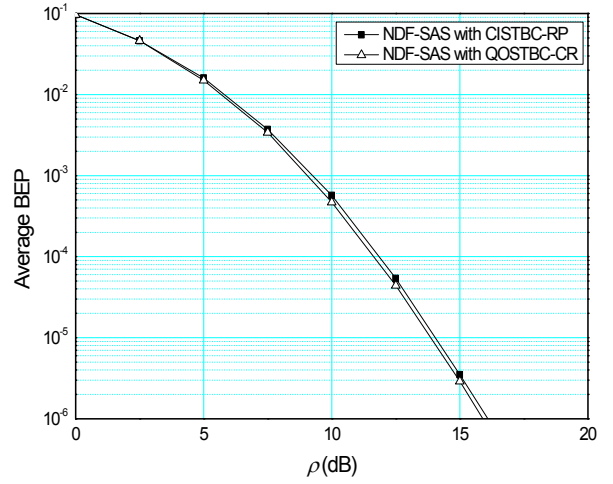


그림 1.  $\sigma_{SD}^2 = \sigma_{RD}^2 = 1$  때의 SAS를 사용하는 NDF 프로토콜의 QOSTBC 방식과 CISTBC 방식의 비트 오류확률의 비교

### 참고 문헌

- [1] W. Su and X. Xia, "Signal constellations for quasi-orthogonal space-time block codes with full diversity," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 50, no. 10, pp. 2331-2347, Oct. 2004.
- [2] M. Z. A. Khan and B. S. Rajan, "Single-symbol maximum-likelihood decodable linear STBCs", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 52, no. 5, pp. 2062-2091, May 2006.
- [3] 김향란, 양재동, 노종선, 신동준, "CISTBC를 활용하는 새로운 비직교 복호 전달 프로토콜," 한국통신학회 부호 및 정보이론 워크숍, 제 13권, 1호, pp. 153-155, 2008년 11월 22일.