

복호 후 전달 프로토콜의 소스안테나선택기법에 대한 연구

김향란, 노종선*, 신동준**

동국대학교-서울, *서울대학교, **한양대학교

jinxl77@gmail.com, *jsno@snu.ac.kr, **djshin@hanyang.ac.kr

A Study on the Source Antenna Selection for Decode-and-Forward Protocol

Xianglan Jin, Jong-Seon No*, Dong-Joon Shin*

Dongguk Univ.-Seoul, *Seoul National Univ., **Hangyang Univ.

요약

본 논문은 복호 후 전달 협력통신 시스템의 소스 안테나 선택 기법에 대하여 연구한다. 전송 안테나 선택 기법에 있어서 일반적인 점대점 (point-to-point) 통신의 경우 채널 이득이 높은 안테나를 선택할 수 있지만 협력통신 시스템에서는 소스 (source) 노드로부터 목적 (destination) 노드로 신호가 전송되는 경로가 여러 개가 있어서 그 경로들을 모두 고려해야 한다. 본 논문은 복호 후 전달 (decode-and-forward) 프로토콜의 쌍 오류 확률 (pairwise error probability)의 상한 값을 이용하여 소스-목적 노드 채널뿐 아니라 소스-릴레이(relay)-목적 노드 채널과도 관계되는 새로운 소스 안테나 선택기법을 제안한다. 평균 비트 오류 확률 (bit error probability)에 대한 모의실험 결과는 제한한 소스 안테나 선택기법이 좋은 성능을 가진다는 것을 보여준다.

I. 서론

본 논문에서는 소스 (source), 릴레이 (relay)와 목적(destination) 노드가 각각 하나씩 존재하는 협력통신 시스템을 고려한다. 이런 협력통신 시스템의 소스 노드에서 다중 안테나를 사용하면 시스템 성능을 높이는 다이버시티 (diversity)를 얻을 수 있다. 다이버시티를 얻는 다중 안테나 전송 기법에는 시 공간 부호(space-time code) [1]-[3] 와 안테나 선택 기법 [4]-[6] 이 있다. 시 공간 부호는 좋은 다이버시티 성능을 얻지만 소스 노드에서 안테나 뿐 아니라 상대적으로 비싼 RF 체인도 안테나 개수만큼 필요하다. 그래서 본 논문에서는 RF 체인을 하나만 사용하고 간단한 안테나 선택 기법을 사용한다.

안테나 선택에 있어서 일반적인 점대점 (point-to-point) 통신의 경우 채널 이득이 높은 안테나를 선택할 수 있지만 협력통신 시스템에서는 소스 노드로부터 목적 노드로 신호가 전송되는 경로가 여러 개가 있어서 그 경로들을 모두 고려해야 한다. 예를 들어 본 논문에서 고려하는 시스템의 경우 소스-릴레이-목적 노드 채널과 소스-목적 노드 채널 두 경로가 존재하게 되고 오류 성능 또한 두 경로의 영향을 모두 받기 때문에 안테나 선택 기법도 점대점 통신처럼 단순히 하나의 경로만 고려하는 것이 좋은 방식은 아니다. 그럼 구체적으로 소스-릴레이-목적 노드 채널과 소스-목적 노드 채널에 대하여 어떻게 연합해서 고려해야 좋은 성능을 얻을 수 있는가? 본 논문은 논문 [7]에서 유도한 복호 후 전달 (decode-and-forward) 방식의 협력통신 시스템의 쌍 오류 확률 (pairwise error probability)의 상한 값으로부터 새로운 소스 안테나 선택 기법을 제안하고 모의실험으로 그 성능을 검증한다.

II. 본론

II. 1 시스템 모델

본 논문에서는 소스, 릴레이와 목적 노드가 각각 하나씩 존재하는 복호 후 전달 프로토콜을 고려한다. 첫 번째 시간슬롯에서 소스 노드는 심볼 x 를 릴레이와 목적 노드로 전송하고 두 번째 시간슬롯에서 릴레이 노드는 복호한 신호를 목적 노드로 보낸다. 즉 첫 번째 시간슬롯에서 릴레이와 목적 노드가 받은 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{SR} &= kx + n_{SR} \\ y_{SD} &= gx + n_{SD} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $k \sim CN(0, \sigma_{SR}^2)$ 와 $g \sim CN(0, \sigma_{SD}^2)$ 는 각각 소스-릴레이 노드 채널 계수와 소스-목적 노드 채널 계수를 의미하고 $n_{SR} \sim CN(0, \sigma^2)$ 와 $n_{SD} \sim CN(0, \sigma^2)$ 는 각각 릴레이와 목적 노드에서의 잡음이다. 두 번째 시간 슬롯에서 목적 노드가 릴레이 노드로부터 받은 신호는 다음과 같다.

$$y_{RD} = fx + n_{RD} \quad (2)$$

여기서 $f \sim CN(0, \sigma_{RD}^2)$, $n_{RD} \sim CN(0, \sigma^2)$ 이다.

II. 2 소스 안테나 선택 기법

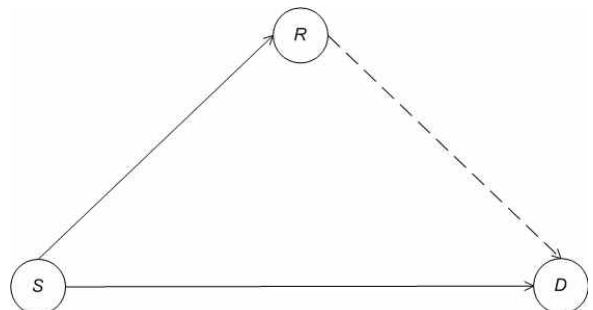


그림 1: 시스템 모델

논문 [7]의 쌍 오류 확률 결과를 이용하면 본 논문에서 고려하는 시스템의 쌍 오류 확률의 상한은 다음과 같다.

$$P(x \rightarrow \tilde{x}) \leq (2M+1) \exp \left[-\frac{|x-x_n|^2}{4\sigma^2} \left(|g|^2 + \min \left(\frac{1}{2} |k|^2, |f|^2 \right) \right) \right] \quad (3)$$

위 식에서 M 은 심볼 성좌의 포인트 개수이고 x_n 은 심볼 x 와 거리가 제일 가까운 성좌의 포인트이다. (3)식의 쌍 오류 확률의 상한 값을 최소화하기 위하여 $|g|^2 + \min \left(\frac{1}{2} |k|^2, |f|^2 \right)$ 를 최대화 하는 소스 노드의 안테나를 선택한다. g 와 k 는 각각 소스-목적 노드 채널과 소스-릴레이 노드 채널 계수로서 소스 노드에서의 안테나에 따라 쌍으로 변화한다. 그러므로 소스 안테나 선택의 메트릭 (metric)을 다음과 같이 정의한다.

$$\Gamma_j = |g_j|^2 + \min \left(\frac{1}{2} |k_j|^2, |f_j|^2 \right) \quad (4)$$

그리고 Γ_j 을 최대화하는 \hat{j} 번째 안테나를 선택하면 수식 (3)의 시스템의 쌍 오류 확률의 상한을 최소화할 수 있고 따라서 평균 비트 오류 확률을 감소한다. 수식 (4)는 오류 확률을 감소하는 데 있어서 좋은 방식은 소스-목적 노드 채널이 제일 좋은 안테나를 선택하는 것도, 소스-릴레이 노드 채널이 제일 좋은 안테나를 선택하는 것도 아닌 Γ_j 가 최대화 된 안테나를 선택하는 것임을 알려 준다. 다음 절에서는 위와 같은 안테나 선택 기법들에 대하여 모의실험으로 평균 비트 오류 확률을 보여 준다.

II. 3 모의실험 결과

복호 후 전달 프로토콜에서 소스 안테나 선택 기법으로 고려하는 기법은 대체로 소스-릴레이 노드 채널 이득을 최대화하는 기법과 소스-목적 노드 채널의 이득을 최대화하는 두 가지 기법이 있다[8]. 본 논문에서는 제안한 새로운 소스 안테나 선택 기법과 위의 두 가지 기법을 QPSK 변조 하에서 비교한다. 세 가지 기법 모두 소스에서 두 개의 안테나 중에서 하나를 선택하여 릴레이와 목적 노드로 전송한다. 소스 안테나 선택 기법의 성능 비교 그림 2로부터 알 수 있는 바와 같이 새로 제안한 소스 안테나 선택 기법은 기존의 소스-릴레이 채널의 이득을 최대화하는 기법과 소스-목적 노드 채널의 이득을 최대화하는 기법보다 평균 오류 확률이 10^{-5} 일 때 각각 7dB와 1dB의 신호 잡음비의 이득을 본다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 소스, 릴레이와 목적 노드가 각각 하나씩 존재하는 복호 후 전달 프로토콜의 쌍 오류 확률의 상한 값을 이용하여 소스-목적 노드 채널뿐 아니라 소스-릴레이-목적 노드 채널과도 관계되는 새로운 소스 안테나 선택기법을 제안하였다. 평균 비트 오류 확률에 대한 모의실험 결과로부터 제안한 소스 안테나 선택기법이 매우 좋은 성능을 가진다는 것을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0002610)

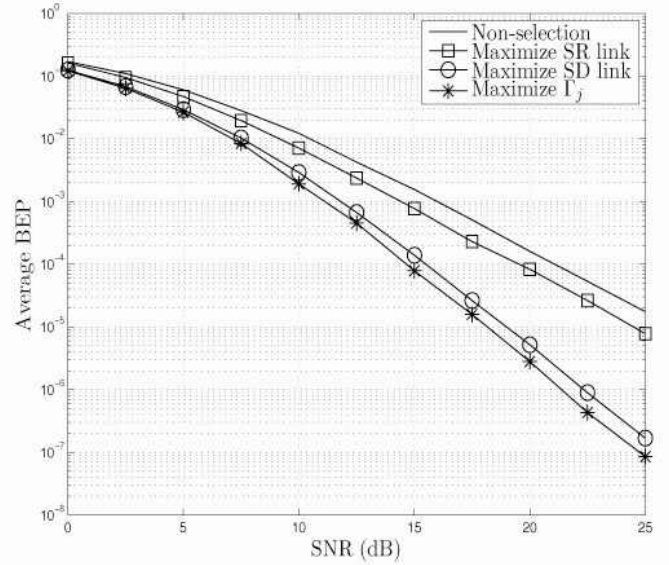


그림 2 : 소스 안테나 선택 기법의 비교

참고 문헌

- [1] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Spacetime codes for high data rate wireless communication: Performance analysis and code construction," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 44, no. 3, pp. 744 - 65, Mar. 1998.
- [2] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451 - 458, Oct. 1998.
- [3] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 45, no. 5, pp. 1456 - 467, Jul. 1999.
- [4] A. F. Molisch and M. Z. Win, "MIMO systems with antenna selection," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 46 - 56, 2004.
- [5] Z. Chen, J. Yuan, B. Vucetic and Z. Zhou, "Performance of Alamouti scheme with transmit antenna selection," *Electronics Letters*, vol. 39, No. 23, pp. 1666 - 668, Nov. 2003.
- [6] D. J. Love, "On the probability of error of antenna-subset selection with space-time block codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, No. 11, pp. 1799 - 803, Nov. 2005.
- [7] 김향란, 진동섭, 노종선, 신동준. "복호 후 전달 방식 기반 다중 릴레이 협동통신망의 릴레이 선택 기법," 제 20회 통신 정보 합동 학술대회 논문집, 제 20권, 2009년 4월 28일-4월 30일.
- [8] L. Cao, H. Yang, X. Zhang, D. Yang, "Diversity order of decode-and-forward MIMO relaying with transmit antenna selection," *The J. China University of Posts and Telecommun.*, vol. 16, no. 4, Oct. 2009.