

연관정 후 전달 방식 기반 다중 릴레이 협동통신망에 대한 전력 분배 전략

*김재홍, **송경영, *진동섭, *노종선, ***정하봉

*서울대학교, **LG전자, ***홍익대학교

{kilmd55, sky6174, carecano}@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, habchung@hongik.ac.kr

Power Allocation for Multiple-Relay Cooperative Communication Network under Soft-Decision-and-Forward Protocol

*Jaehong Kim, **Kyoung-Young Song, *Dong-Sup Jin, *Jong-Seon No,
and ***Habong Chung

*Seoul National Univ., **LG Electronic, ***Hongik Univ.

요약

모든 노드에서 다중 안테나를 갖고 다중 릴레이가 존재하는, 연관정 후 전달(soft-decision-and-forward: SDF) 방식 기반 협동 통신망을 고려한다. 본 논문은 이러한 시스템에 순시적인 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio: SNR)를 최대화하는 전력 분배 전략을 적용하고, 시뮬레이션을 통해 성능의 우수함을 보인다.

I. 서론

논문 [1]에서는 다중 안테나 기반의 SDF 방식과 최대 우도(maximum-likelihood: ML) 복호기를 제안하였고, [2]에서는 이를 다중 릴레이 협동 통신망으로 확장하여 쌍 오류 확률(pairwise error probability: PEP)을 유도하였다. 본 논문에서는 SDF 방식을 채택한 다중 안테나 다중 릴레이 협동통신망에서 순시적인 SNR을 최대화하는 전력 분배 전략을 적용하고, 시뮬레이션을 통해 성능의 우수함을 보인다.

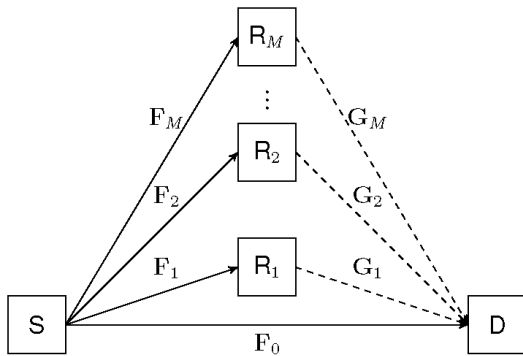


그림 1 다중 안테나 다중 릴레이 협력 통신망

II. 본론

II. 1 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 하나의 소스(source: S), 하나의 목적

(destination: D)과 M 개의 릴레이(relay: $R_m, m = 1, \dots, M$)가 있고, 각 노드가 2개의 송수신 안테나를 갖는 SDF 전송 방식 기반 협력통신망[2]을 고려한다. 각 릴레이는 전송시 직교 채널을 이용한다고 가정한다. Phase 1에서 R_m 과 D에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{Y}_{R_m} = \sqrt{\frac{P_0}{2}} \mathbf{X} \mathbf{F}_m + \mathbf{N}_{R_m}, \quad m = 1, \dots, M \quad (1)$$

$$\mathbf{Y}_{D1} = \sqrt{\frac{P_0}{2}} \mathbf{X} \mathbf{F}_0 + \mathbf{N}_{D1} \quad (2)$$

여기서 P_0 은 S에서 전송되는 신호의 전력을 나타내고, \mathbf{X} 는 S에서 전송되는 Alamouti 부호어를 나타낸다. $\mathbf{F}_0, \mathbf{F}_m, \mathbf{G}_m$ 은 각각 $S \rightarrow D, S \rightarrow R_m, R_m \rightarrow D$ 의 채널 행렬이고, 각 채널은 평균이 0이고 분산이 $\sigma_{SD}^2, \sigma_{SR_m}^2, \sigma_{R_mD}^2$ 인 Rayleigh 페이딩을 겪는다고 가정한다. $\mathbf{N}_{R_m}, \mathbf{N}_{D1}$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 가산성 백색 잡음이다.

Phase 2에서 D가 M 개의 릴레이로부터 받은 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{Y}_{D2}^{(m)} = \sqrt{\frac{P_m}{2}} \mathbf{X}_{R_m} \mathbf{G}_m + \mathbf{N}_{D2}^{(m)}, \quad m = 1, \dots, M \quad (3)$$

여기서 P_m 은 R_m 에서 전송되는 신호의 전력을 나타내고, \mathbf{X}_{R_m} 은 phase 1에서 R_m 이 수신한 신호를 연관정한 후 다시 Alamouti 부호화한 부호어를 나타낸다. $\mathbf{N}_{D2}^{(m)}$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 가산성 백색 잡음이다.

II. 2 전력 분배 전략

[1]에서 제안된 ML 복호기를 바탕으로 위 시스템의 순시적인 SNR과

조건부 PEP는 다음과 같이 쓸 수 있다[2].

$$\gamma_{\text{eq}} = P_0 a_0 + \sum_{m=1}^M \frac{P_0 a_m P_m b_m}{P_0 a_m + P_m b_m + 1} \quad (3)$$

$$\Pr(x \rightarrow \hat{x} | \mathbf{H}) = Q\left(\sqrt{\frac{1}{2} \gamma_{\text{eq}} \delta_x^2}\right) \quad (4)$$

여기서 $a_0 = \|\mathbf{F}_0\|^2/2$, $a_m = \|\mathbf{F}_m\|^2/2$, $b_m = \|\mathbf{G}_m\|^2/2$ 이다.

결국 순시적인 SNR이 최대가 되도록 P_m , $m = 0, 1, \dots, M$ 을 정하는 전력 분배 방법을 적용함으로써 PEP 또한 최소화할 수 있다.

위의 전력 분배 방법을 위한 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} && P_0 \left(\sum_{m=0}^M a_m \right) - \sum_{m=1}^M \frac{P_0^2 a_m^2 + P_0 a_m}{P_0 a_m + P_m b_m + 1} \\ & \text{subject to} && \sum_{m=0}^M P_m = P_T \\ & && P_m \leq P_m^{\max}, m = 0, \dots, M \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 P_T 는 시스템의 총 전송 전력, P_m^{\max} 는 각 노드가 쓸 수 있는 최대 전력을 나타낸다. 편의를 위해 S의 전송 전력, P_0 를 고정시키면 최적화 문제 (5)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && \sum_{m=1}^M \frac{P_0^2 a_m^2 + P_0 a_m}{P_0 a_m + P_m b_m + 1} \\ & \text{subject to} && \sum_{m=1}^M P_m = P_T - P_0 \\ & && P_m \leq P_m^{\max}, m = 1, \dots, M \end{aligned} \quad (6)$$

최적화 문제 (6)은 목적 함수가 convex 함수이고, 등호 제한 조건과 부등호 제한 조건이 모두 1차 함수이므로 convex 최적화 문제[3]이다.

II. 3 모의실험 결과

본 절에서는 제안된 전력 분배 방법을 적용한 시스템의 성능을 비트 오율 관점에서 모의실험을 통하여 비교한다. 채널은 주파수 평탄 준정지 Rayleigh 페이딩을 가정한다. 즉, 채널 상태는 한 phase 내에서는 변하지 않고, 다음 phase로 넘어갈 때 독립적으로 변한다. QPSK 변조 방식을 사용하며, 시스템의 총 전송 전력을 P_T 라고 한다. 비교의 공정성을 위해 전력을 각 노드들에 균등하게 배분한 시스템 ($P_m = P_T/(M+1)$, $m = 0, 1, \dots, M$)과 P_0 를 $P_T/(M+1)$ 로 고정시키고 전력 분배 방법을 적용한 시스템 사이의 성능을 비교한다. 본 시뮬레이션에서는 릴레이의 개수를 $M=4$ 로 가정한다. Convex 최적화 문제 (6)을 풀기 위해서 cvx tool[4]을 사용하였다.

본 모의실험에서는 대칭 채널과 비대칭 채널, 두 가지 경우를 고려한다. 대칭 채널의 경우엔 $\sigma_{\text{SD}}^2 = \sigma_{\text{SR}_m}^2 = \sigma_{\text{R}_m\text{D}}^2 = 1$, $m = 1, \dots, M$ 이고, 비대칭 채널은 $\sigma_{\text{SD}}^2 = 1$ 이고,

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{SD}}^2 : \sigma_{\text{SR}_1}^2 : \sigma_{\text{SR}_2}^2 : \sigma_{\text{SR}_3}^2 : \sigma_{\text{SR}_4}^2 &= \sigma_{\text{SD}}^2 : \sigma_{\text{SR}_1}^2 : \sigma_{\text{SR}_2}^2 : \sigma_{\text{SR}_3}^2 : \sigma_{\text{SR}_4}^2 \\ &= 1 : 1 : 0.5 : 1 : 2 \end{aligned}$$

임을 가정하였다. 그림 2는 대칭, 비대칭 채널에서 순시적인 신호 대 잡

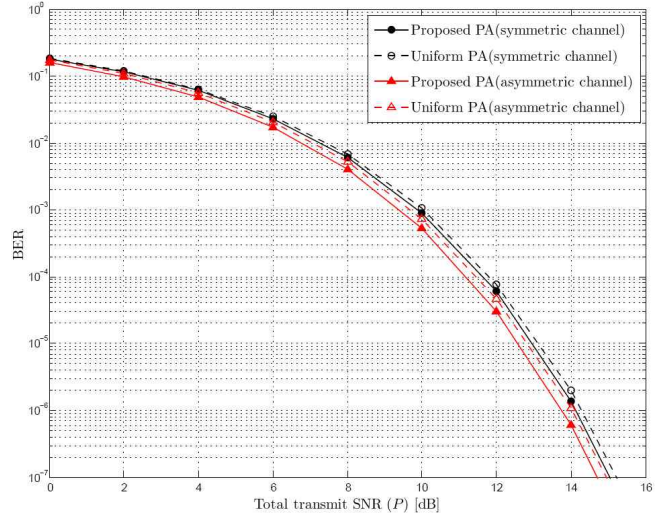


그림 2. 대칭, 비대칭 레일리 페이딩 채널에서 전력 균등 분배와 제안된 전력 분배에 대한 SDF 방식의 비트오율 비교

음을 최대화하는 전력 분배 방식이 균등하게 전력을 분배했을 때에 비해 성능 이득을 얻음을 보여 준다. 특히 비대칭 채널에서 전력 분배 방법의 성능 이득이 더욱 뚜렷해짐을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 연관성 후 전달 방식 기반 다중 릴레이 협력통신망에서 순시적인 신호 대 잡음을 최대화하는 전력 분배 방법을 적용하였고, 이를 위한 convex 최적화 문제를 정의하였다. 시뮬레이션을 통해, 적용한 전력 분배 방법이 BER 성능을 향상시킴을 확인하였다.

IV. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술 개발사업(KI001809, 3차원 환경에서의 지능형 무선 통신 시스템)과 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000867).

참고 문헌

- [1] 양재동, 송경영, 노중선, 신동준, "Alamouti 부호에 기반한 협력 통신을 위한 연관성 후 전송 프로토콜," 제 19회 통신 정보 합동 학술대회 논문집, 제 19권, p. 134, 2009년 4월 15일-4월 17일.
- [2] 송경영, 노중선, 김태근, 성준현, 임민중, 임대은, "연관성 후 전송 방식을 적용한 다중 안테나 다중 릴레이 협동통신망의 성능 분석," 한국통신학회논문지, 제 35권, 5호, pp. 431-439, 2010년 5월.
- [3] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. New York, NY: Cambridge University Press, 2004.
- [4] M. Grant and S. Boyd, *cvx User's Guide*, June 2009, (<http://cvxr.com/cvx>).