

Outage Performance Improvement Through Opportunistic Transmission in SIMO Bursty Interference Networks with MMSE Receive Beamforming Techniques

Byung-Hyi Gong (CNU), Jeong Seon Yeom (CNU), Bang Chul Jung (CNU)

요약

본 논문은 단일 안테나를 장착한 두 개의 송신기와 다중 안테나를 장착한 두 개의 수신기 쌍으로 구성된 간섭 네트워크에서 단일 간섭자가 존재할 때의 아웃티지 확률 (outage probability)의 성능을 분석한다. 특히, 각 송신기는 자신의 채널 이득이 일정 임계치 이상인 경우에만 전송하는 기회적 전송 (opportunistic transmission)을 고려하여 간헐적 간섭 네트워크 (bursty interference network)를 형성하며 이때 수신기는 minimum mean square error (MMSE)기반의 수신 빔포밍 기법을 사용한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 간헐적 간섭 네트워크에서 기회적 전송은 무작위 전송과 비교하여 아웃티지 성능이 월등히 좋음을 확인한다.

I. 서론

최근 셀룰러 네트워크에서 데이터 트래픽의 간헐적 전송 특성을 고려한 네트워크 성능 분석 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 이러한 간헐적 전송 네트워크에서 다중 송수신 쌍으로 인해 간섭이 존재하는 상황에서 높은 전송률을 달성하기 위한 간섭관리 기술들이 활발히 연구되고 있다 [1-3]. [1]에서는 다중 간섭자가 존재하는 시스템에서 채널 이득에 따라 기회적으로 전송하는 간헐적 네트워크에서의 평균 달성 가능한 전송률 (average achievable rate)을 분석되었으며 [2]에서는 동일한 시스템에서 MMSE 기반 수신 빔포밍 기술에 대한 sum-rate이 분석되었다. 또한, 무작위 전송을 하는 두 개의 송수신 쌍이 존재하는 간헐적 간섭 네트워크에서 MMSE 수신 빔포밍 기술의 아웃티지 확률이 분석되었다 [3]. 본 논문에서는 지금까지 고려되지 않은 채널 이득에 따른 기회적 전송 기반 간헐적 전송 네트워크에서 단일 간섭자가 존재하는 시스템에 대한 MMSE 수신 빔포밍 기술의 성능에 대해서 분석한다.

II. 기회적 전송의 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE빔포밍 기법의 아웃티지 확률 분석

본 논문에서는 단일안테나를 장착한 두 개의 송신기와 각 송신기에 대응되는 N 개의 안테나를 장착한 두 개의 수신기로 구성된 시스템을 고려한다. 모든 송신기는 동일한 시간 주파수 자원을 사용하므로 수신기는 간섭 신호를 수신하게 된다. 그러므로 $i(\in \{1,2\})$ 번째 수신기의 수신 신호 벡터 $\mathbf{y}_i \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_i &= \sum_{k=1}^2 \beta_k \mathbf{h}_{ki} x_k + \mathbf{n}_i \\ &= \beta_i \mathbf{h}_{ii} x_i + \sum_{j \in \{1,2\}, j \neq i} \beta_j \mathbf{h}_{ji} x_j + \mathbf{n}_i, \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $\beta_k (\in \{0,1\})$ 는 $k(\in \{1,2\})$ 번째 송신기의 동작 파라미터이며 x_k 는 k 번째 송신기의 송신 신호를 의미한다. k 번째 송신기와 i 번째 수신기 사이의 무선 채널 벡터는 $\mathbf{h}_{ki} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 이며, 모든 성분은 독립적이고 균등한 $\mathcal{CN}(0,1)$ 의 복소 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. $\mathbf{n}_i \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 는 $\mathcal{CN}(0, \sigma^2 \mathbf{I}_N)$ 의 분포를 따르는 i 번째 수신기의 복소 가우시안 열잡음 벡터이다. 본 논문에서 송신기는 대응되는 수신기까지의 채널 정보를 기반한 기회적 전송을 고려하였기 때문에 k 번째 송신기의 동작 파라미터 β_k 는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta_k = \begin{cases} 1 & \text{if } g_k > \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

이때 $g_k \triangleq |\mathbf{h}_{kk}|^2$ 는 k 번째 송신기에 대응하는 수신기까지의 채널 이득을 의미하며, τ 는 채널 이득 임계치이다. k 번째 송신기는 신호 x_k 를 원하는 채널 이득 g_k 가 τ 보다 클 때에 전송한다. 그러므로 τ 에 의해 결정되는 전송 확률은 카이 제곱 분포를 따르는 채널 이득의 CCDF (complementary cumulative distribution function)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\Pr\{\beta_k = 1 | \tau\} = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{e^{-\tau} \tau^n}{n!}. \quad (3)$$

본 논문에서 모든 송신기의 송신확률은 α 로 동일하다고 가정한다. 동작 확률 α 를 고려하여 총 전송 전력을 정규화하기 위해 전송 전력은 $\mathbb{E}[x_k^2] = P/\alpha$ 로 가정한다. 여기서 P 는 비간헐적 (non-bursty) 네트워크에서의 송신전력이다.

각 수신기에서는 간섭 환경에서 전송률을 향상 시키기 위해 MMSE 수신 빔포밍 기술을 사용하며 i 번째 수신기에 대해 다음과 같이 간섭 공분산 행렬 $\mathbf{R}_i \in \mathbb{C}^{N \times N}$ 로부터 MMSE 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{w}_i \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 와 SINR을 구할 수 있다.

공분산 행렬	$\mathbf{R}_i = \mathbb{E}[\mathbf{y}_i \mathbf{y}_i^H] - \mathbf{h}_{ii} \mathbf{h}_{ii}^H - \sigma^2 \mathbf{I}_N$ (4)
MMSE 수신 빔포밍 벡터	$\mathbf{w}_i = \frac{(\sigma^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}}{\ (\sigma^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}\ }$ (5)
SINR	$\gamma_i = \frac{\frac{P}{\alpha} \mathbf{w}_i^H \mathbf{h}_{ii} \mathbf{h}_{ii}^H \mathbf{w}_i}{\mathbf{w}_i^H (\sigma^2 \mathbf{I}_N + \frac{P}{\alpha} \mathbf{R}_i) \mathbf{w}_i}$ (6)

그러므로 요구 전송률 R 에 대한 i 번째 수신기의 아웃티지 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{out}(R) = \Pr\{\log_2(1 + \gamma_i) < R\}. \quad (7)$$

IV. 모의실험 및 결론

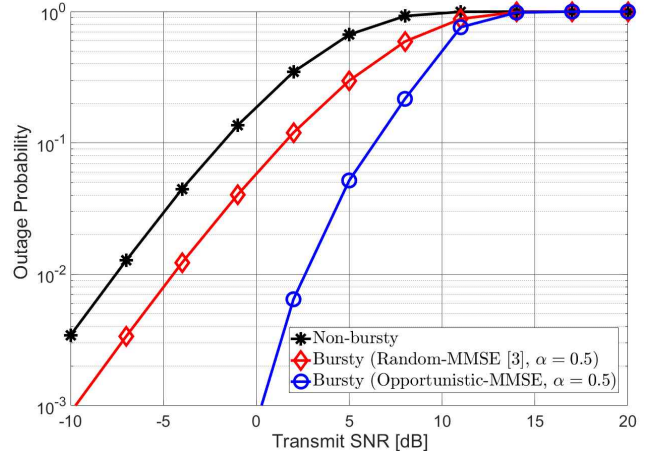


그림 1 무작위 전송/기회적 전송의 간헐적 간섭 네트워크에서 MMSE 기반 수신 빔포밍의 아웃티지 확률

그림 1은 두 개의 송수신 쌍이 있으며 수신기의 안테나가 두 개일 때, 기회적 전송 기반 간헐적 간섭 네트워크에서 MMSE 수신 빔포밍 기술의 아웃티지 확률 결과를 보인다. 이때, 전송확률 α 는 0.5로 설정하여 기회적 전송인 경우 τ 는 3.67이다. 간헐적 간섭 네트워크는 비간헐적 간섭 네트워크와 비교하여 높은 SINR로 인하여 아웃티지 확률의 성능이 좋다. 또한, 기회적 전송은 채널 이득이 큰 경우에만 전송하기 때문에 무작위 전송과 비교하여 월등한 성능향상을 보이는 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2019R1F1A1061023).

참고 문헌

- [1] H. Nam, K. S. Ko, I. Bang and B. C. Jung, "Achievable rate analysis of opportunistic transmission in bursty interference networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 3, pp. 654-657, Mar. 2018.
- [2] 공병휘, 손웅, 정방철, "간헐적 간섭 네트워크에서 수신단 MMSE 빔포밍과 기회적 전송을 통한 성능향상", *한국통신학회 추계종합 학술발표회*, Nov. 2019.
- [3] 공병휘, 염정선, 정방철, "간헐적 간섭 네트워크에서 단일 간섭자에 대한 수신단 MMSE 빔포밍의 아웃티지 성능분석", *대한전자공학회 학술심포지엄*, Dec. 2019.