

Performance Improvement of Bursty Interference Networks through Opportunistic Transmission and Receive MMSE Beamforming Techniques

Byung-Hyi Gong (CNU), Woong Son (CNU), Bang Chul Jung (CNU)

요약

본 논문은 단일안테나를 장착한 K 개의 송신기들과 대응하는 다중안테나를 장착한 K 개의 수신기들로 이루어진 간섭 네트워크의 전송률을 분석한다. 특히, 각 송신기들은 송신 확률에 따라 데이터를 전송하는 random transmission (RT)과 대응하는 수신기까지의 채널 이득이 특정 임계치 이상일 경우에만 데이터를 전송하는 opportunistic transmission (OT)을 채택하여 사용하는 간헐적 간섭 네트워크 (bursty interference network)를 고려하였다. 또한, 수신기는 maximum ratio combining (MRC)와 minimum mean square error (MMSE)기반의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 수신한다. 컴퓨터 모의 실험을 통해, 간헐적 간섭 네트워크에서 기존 RT와 OT에서의 MRC보다 MMSE 수신 빔포밍을 적용하였을 때, 전송률이 향상됨을 확인했다.

I. 서론

사용자들에게 원활한 서비스를 제공을 위해 높은 전송률을 달성하기 위한 간섭관리 기술들이 활발히 연구되고 있다. 한편, 데이터 트래픽의 간헐적 특성을 반영한 간헐적 간섭 네트워크에서의 다양한 전송 방법들이 제안되었다 [1-3]. 특히, RT를 고려한 간헐적 간섭 네트워크에서 다중안테나를 이용한 zero-forcing (ZF) 및 MRC기반 수신 빔포밍 [1]과 MMSE기반 수신 빔포밍 [3]을 고려한 간헐적 간섭 네트워크에서의 전송률이 모의실험을 통해 분석되었다. 본 논문에서는 채널 이득값을 고려한 OT를 채택하여 사용하는 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE기반 수신 빔포밍을 적용하였을 때, 기존 기법 [1,3] 대비 전송률이 향상되었다.

II. 기회적 전송을 고려한 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE기반 수신 빔포밍 기법 동작 절차

K 개의 송신기들과 대응하는 N_r 개의 안테나를 장착한 K 개의 수신기들로 이루어진 간섭 네트워크를 고려한다. j 번째 송신기와 i 번째 수신기 사이의 무선 채널 벡터는 $\mathbf{h}_{ij} \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 이며 ($i, j \in \{1, \dots, K\}$), 모든 성분들은 $CN(0,1)$ 의 독립적이고 균등한 복소 가우시안 분포를 따르고 전송 중 채널이 변하지 않는다고 가정한다. i 번째 수신기에서의 수신 신호 벡터 $\mathbf{r}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{r}_i = \sum_{j=1}^K b_j \sqrt{P_j} \mathbf{h}_{ij} s_j + \mathbf{n}_i, \quad (1)$$

이때 P_j 는 j 번째 송신기에서의 송신 전력이며 모든 송신기들은 동일한 P 의 전력제한을 갖는다. s_j 는 j 번째 송신기로부터 전송되는 데이터 신호를 의미한다. $\mathbf{n}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 은 $CN(0, N_0 \mathbf{I}_{N_r})$ 의 분포를 따르는 i 번째 수신기의 잡음 벡터이다.

RT를 채택한 j 번째 송신기에서는 송신확률 α_j 에 의해 데이터 송신 여부를 나타내는 파라미터 b_j 를 결정한다 [1,3].

$$b_j = \begin{cases} 1 & w.p \ \alpha_j \\ 0 & w.p \ 1 - \alpha_j, \end{cases} \quad (2)$$

이때 모든 송신기에서의 송신확률은 동일하다고 가정한다.

한편, OT를 채택한 j 번째 송신기에서는 데이터 송신 여부를 나타내는 파라미터 b_j 는 다음과 같이 정의된다.

$$b_j = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j > \zeta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

이때 $x_j \triangleq |\mathbf{h}_{ij}|^2$ 는 j 번째 송신기에서 대응하는 수신기까지의 채널 이득이고, ζ 는 채널 이득 임계치를 의미한다. j 번째 송신기는 데이터 신호 s_j 는 원하는 채널 이득 x_j 가 임계치 ζ 보다 큰 경우에 데이터를 전송하고 ($b_j = 1$), 작을 경우에 전송하지 않는다 ($b_j = 0$). 또한 모든 송신기에서의 채널 이득 임계치는 동일하다고 가정한다. 특히, 기회적 전송 기법에 대한 각 송신기의 채널 이득은 Erlang 분포를 따르고 Erlang 분포의 CCDF를 구함으로 동작확률 $\alpha = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{e^{-\zeta} \zeta^n}{n!}$ 를 계산할 수 있다. 이에 대응하는 임계치 ζ 는 위의 관계로 구할 수 있다. 동작확률 α 에 의해 전송을 결정하는 송신기의 전력제한에 대한 공평성을 고려하기 위해서 $\mathbb{E}[s_j^2] = 1/\alpha$ 를 만족한다고 가정한다.

수신기에서는 송신기들로부터의 간섭 채널을 이용해 다음과 같이 간섭 covariance 행렬 $\mathbf{R}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times N_r}$ 을 계산한다.

$$\mathbf{R}_i = \mathbb{E}[\mathbf{r}_i \mathbf{r}_i^H] - \mathbf{h}_{ii} \mathbf{h}_{ii}^H - N_0 \mathbf{I}_{N_r}. \quad (4)$$

i 번째 수신기에서의 MMSE기반 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 를 생성한다.

$$\mathbf{u}_i = \frac{(N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}}{\|(N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}\|}. \quad (5)$$

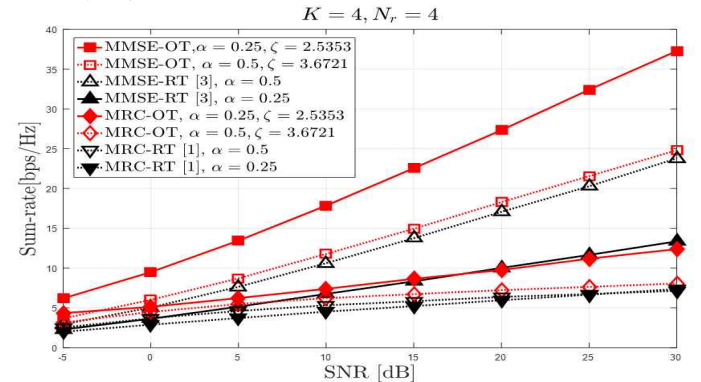
i 번째 수신기에서의 SINR은 다음과 같다.

$$\gamma_i = \frac{|(\mathbf{u}_i)^H \mathbf{h}_{ii}|^2}{(\mathbf{u}_i)^H (N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \mathbf{R}_i) \mathbf{u}_i}, \quad (6)$$

달성할 수 있는 전송률 (achievable sum-rate)은 다음과 같다.

$$R_{SUM} = \sum_{i=1}^K \log_2(1 + \gamma_i). \quad (7)$$

III. 모의실험 및 결론



그림은 송/수신기 쌍이 4개이며, 수신기 안테나가 4개인 간헐적 간섭 네트워크에서 수신 SNR에 따른 전송률을 보여준다. 특히, 송신전력의 공평성을 위해 OT에서 동작확률 0.25와 0.5에 대응하는 채널 임계치는 각각 2.5353과 3.6721이다. 기존 송신확률에 의해 전송하는 RT에서 MRC기반 수신 빔포밍 기법 [1]은 송신확률이 증가할수록 간섭의 영향이 커지므로 전송률이 감소한다. 대응하는 수신기까지의 무선 채널 이득이 임계치보다 높은 경우에만 전송하는 OT에서의 MRC기반 수신 빔포밍 기법에서도 동일한 이유로 송신확률이 증가할수록 전송률이 감소한다. 한편, RT에서 간섭 covariance 행렬을 이용하는 MMSE기반 수신 빔포밍 기법 [3]은 전송률이 보다 높다. 그러나 채널 이득을 고려하는 OT에서 MMSE기반 수신 빔포밍 기법은 [3]보다 현저히 높은 전송률을 달성할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] 남현우, 정방철, "간헐적 재밍 네트워크에서 하이브리드 항재밍 기법을 이용한 성능 향상 기법," 한국통신학회 동계종합학술대회, Jan. 2018.
- [2] 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.
- [3] 공병휘, 손웅, 정방철, "간헐적 간섭이 존재하는 무선 네트워크에서 수신단 다중안테나를 통한 성능 향상," 한국통신학회 하계종합학술대회, Jun. 2019