간헐적 간섭이 존재하는 무선통신 네트워크에서 수신기 다중안테나를 통한 성능 향상

공병휘 (충남대학교), 손 웅 (충남대학교), 정방철 (충남대학교)
bhgong@o.cnu.ac.kr, woongson@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Performance Improvement of Wireless Network with Bursty Interference Through Multiple Antennas at Receiver

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

요 약

본 논문은 K개의 송/수신기 쌍으로 이루어지고 단일안테나를 장착한 송신기들이 동작확률 α로 데이터를 전송하고, 이에 대응하여 N_r개의 다중안테나를 장착한 수신기로 이루어진 간헐적 간섭 네트워크의 전송률을 분석한다. 수신기에서는 minimum mean square error (MMSE) 기반의 수신 빔포밍 기법과 maximum ratio combining (MRC) 기반의 수신 빔포밍 기법을 함께 고려한다. 컴퓨터 모의실험을 통해, 간헐적 간섭 네트워크에서의 다양한 네트워크 파라미터를 고려하여 송/수신기 쌍의 수와 수신기의 안테나 수에 따른 sum-rate에 미치는 영향을 분석하였고, MRC보다 MMSE기반 수신 빔포밍 기술을 적용할때, 성능이 더욱 향상됨을 확인하였다.

Ⅰ. 서론

간섭이 존재하는 무선통신 네트워크에서 높은 전송률 제공을 위한 간섭관리 기술들이 활발히 연구되고 있다. 최근 간헐적으로 발생하는 재밍 신호를 고려한 네트워크에서 다양한 전송기법에 따른 통신오류 성능이 모의실험을 통해 검증되었다 [1][2]. 또한, 간헐적 간섭채널에서 기회적 전송기법에 대한 성능이 수학적으로 분석되었다 [3]. 본 논문은 단일안테나를 갖는 송신기와 다중안테나를 갖는 수신기로 구성된 single-input multiple-output (SIMO) 간헐적 간섭 네트워크에서 MMSE기반 수신 빔포밍 기술을 적용하는 기법을 제안하고 그 성능을 기존 기법들과 비교 분석한다.

Ⅱ. 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE기반 수신 빔포밍 기법

K개의 송신기와 수신기로 이루어지고 송신기는 단일안테나, 수신기는 N_r개의 다중안테나를 장착한 간섭 네트워크를 고려한다. $j\in\{1,...,K\}$번째 송신기와 $i\in\{1,...,K\}$번째 수신기 사이의 무선 채널 벡터는 $\boldsymbol{h}_{ij}\in\mathbb{C}^{N_r\times 1}$이며, 각 성분은 $CN(0,1)$의 독립적이고 균등한 분포를 따르며, 전송 중에는 채널이 변하지 않는 준정적 상태를 가정한다. 이때, i번째 수신기에서의 수신 신호 벡터 $\boldsymbol{y}_i\in\mathbb{C}^{N_r\times 1}$는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{y}_i=\sum_{j=1}^{K} b_j\boldsymbol{h}_{ij}x_j+\boldsymbol{z}_i\ , \tag{1}$$

여기서 $\boldsymbol{z}_i\in\mathbb{C}^{N_r\times 1}$은 i번째 수신기의 잡음벡터로 $CN(0,N_0\boldsymbol{I}_{N_r})$의 분포를 따른다. 또한, j번째 송신기의 데이터 전송여부를 결정하는 파라미터 b_j는 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 j번째 송신기는 동작확률 α_j에 의해 데이터를 전송하거나 ($b_j=1$), 전송하지 않으며 ($b_j=0$), 모든 송신기에서의 동작확률은 모두 동일하다고 가정한다 ($\alpha_1=\alpha_2=...=\alpha_K=\alpha$). 또한 j번째 송신기는 데이터신호 $x_j\in\mathbb{C}$를 전송하며, 특히, 동작확률 α에 의해 전송을 결정하는 송신기의 전력제한에 대한 공평성을 고려하기 위해서 $\mathbb{E}[|x_j|^2]=P/\alpha$을 만족한다고 가정한다. 예를 들면, 항상 전송하는 $\alpha=1$의 경우에는 전력제한이 P이고, $\alpha=0.5$의 확률로 전송하는 경우에는 전력제한이 $2P$가 된다.

한편, N_r개의 다중안테나를 장착한 각 수신기에서는 모든 송신기들로부터의 간섭신호를 고려한 간섭 covariance 행렬을 계산할 수 있으며, 이때 i번째 수신기에서의 간섭 covariance 행렬 $\boldsymbol{R}_i\in\mathbb{C}^{N_r\times N_r}$는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{R}_i=\mathbb{E}\left[\boldsymbol{y}_i\boldsymbol{y}_i^H\right]-\boldsymbol{h}_{ii}\boldsymbol{h}_{ii}^H-N_0\boldsymbol{I}_{N_r}. \tag{4}$$

식 (4)에서 계산한 간섭 covariance 행렬을 이용하여, i번째 수신기에서의 signal to interference plus noise ratio (SINR)을 극대화하는 MMSE기반 수신 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{u}_i\in\mathbb{C}^{N_r\times 1}$를 다음과 같이 생성한다.

$$\boldsymbol{u}_i=\frac{(\boldsymbol{N}_0\boldsymbol{I}_{N_r}+\boldsymbol{R}_i)^{-1}\boldsymbol{h}_{ii}}{\|(\boldsymbol{N}_0\boldsymbol{I}_{N_r}+\boldsymbol{R}_i)^{-1}\boldsymbol{h}_{ii}\|}\ . \tag{5}$$

i번째 수신기가 수신 빔포밍 벡터 $\boldsymbol{u}_i$를 이용해 각 송신기로부터의 신호들을 수신할 때, SINR을 다음과 같이 계산할 수 있다.

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

최종적으로 K개의 송/수신기 쌍 사이 채널을 통해 달성할 수 있는 전체 전송률 (achievable sum-rate)은 다음과 같다.

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

Ⅲ. 컴퓨터 모의실험 및 결론

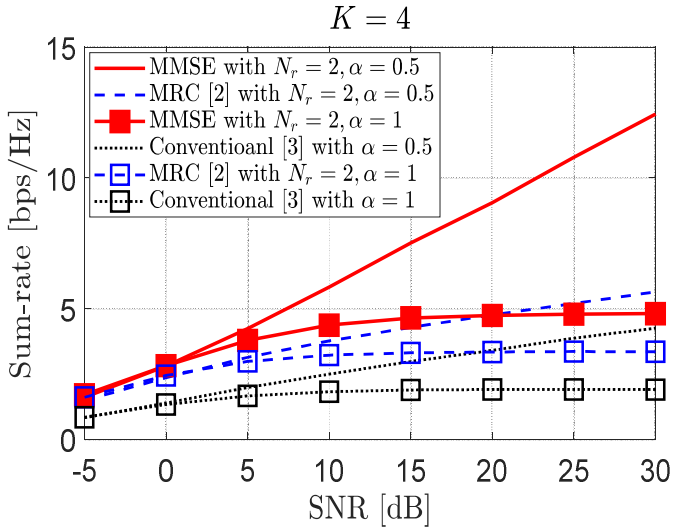

그림 1은 송/수신기 쌍이 4개인 경우, 단일안테나 수신기를 고려하였을 때 [3]와 다중안테나를 이용한 MRC [2]와 MMSE기반의 수신 빔포밍 기술을 적용하였을 때, 전체 네트워크에서 달성 가능한 전송률 (achievable sum-rate)을 보여준다. [3]은 단일안테나 수신기를 고려했기 때문에 수신 빔포밍을 적용한 경우보다 전송률이 낮다. 또한, MRC기반 수신 빔포밍 기술 [2]은 원하는 채널 이득을 극대화하므로 간섭채널 이득은 고려되지 않기 때문에, 간섭채널 이득까지 고려하는 MMSE기반 수신 빔포밍 기술의 전송률이 월등히 높은 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2019-2017-0-01635)

참 고 문 헌

[1] 남현우, 정방철, "간헐적 재밍 네트워크에서 기회적 전송기법을 이용한 항재밍 성능 향상 기법," *대한전자공학회* 학술심포지움, Dec. 2017.

[2] 남현우, 정방철, "간헐적 재밍 네트워크에서 하이브리드 항재밍 기법을 이용한 성능 향상 기법," *한국통신학회* 동계종합학술대회, Jan. 2018.

[3] 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.