

# 간헐적 간섭네트워크에서 단일 간섭자에 대한 수신단 MMSE 빔포밍의 아웃티지 성능분석

공병휘, 엄정선, 정방철  
충남대학교 전자공학과

e-mail : [bhgong@o.cnu.ac.kr](mailto:bhgong@o.cnu.ac.kr), [jsyeom@cnu.ac.kr](mailto:jsyeom@cnu.ac.kr), [bcjung@cnu.ac.kr](mailto:bcjung@cnu.ac.kr)

## Outage Performance Analysis of Receive MMSE Beamforming with a Single Interferer in Bursty Interference Networks

Byung-Hyi Gong, Jeong Seon Yeom, and Bang Chul Jung  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS ENGINEERING  
Chungnam National University

### Abstract

In this paper, we mathematically analyze the performance of outage probability of multi-antenna equipped receivers in bursty networks with a single interferer. In bursty networks, a transmitter sends a signal to a receiver depending on the certain transmission probability. We consider receive MMSE (Minimum Mean Square Error) based beamforming techniques for improving performance. Through the simulation results, we verify that the derived expression of outage probability is exactly matched with its computer simulation results.

### I. 서론

현대 무선 통신에서는 중요한 통신 자원 중 하나인 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 셀룰러 네트워크의 주파수 재사용 기술, 동일 주파수 대역 이중 네트워크 등을 통신 네트워크에 적용하고 있다. 하지만 동일 주파수 대역을 사용함으로써 간섭은 불가피하며 이러한 간섭을 관리하기 위한 많은 연구가 진행되어왔다 [1-3].

기존 다중 사용자가 있는 간섭네트워크에서의 단일 간섭자가 있을 때, 수신단 MMSE 빔포밍을 사용하여 데이터 전송에 대한 정확한 수식 분석이 연구되었다 [1]. 기회적 하향링크 다중셀 네트워크에서 다중입력 다중출력 (Multiple-Input and Multiple-Output, MIMO) 시스템을 이용한 인접셀의 간섭을 줄이기 위한 간섭 정렬 기법을 제안하였다[2]. 또한 네트워크의 간헐적 전송 특성을 고려하여 간헐적 간섭 네트워크에서 단일안테나가 장착된 수신단의 무작위 전송 기법을 사용하였을 때에 대한 달성 가능한 데이터 총 전송률 (Achievable sum rate) 성능분석을 하였고[3], 동일한 간헐적 간섭네트워

크에서 다중안테나가 장착된 수신단에서의 수신단 MMSE기반 빔포밍을 고려하여 시뮬레이션을 통해 달성 가능한 데이터 총 전송률의 성능을 분석하였다[4].

본 논문에서는 간헐적 간섭 네트워크에서 다중안테나를 장착한 수신기가 단일 간섭자에 대해 수신단 MMSE 빔포밍 기술을 사용하는 시스템에 대한 아웃티지 확률 (Outage Probability)를 수학적으로 정확하게 유도한다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 유도한 아웃티지 확률 수식이 정확함을 검증한다.

### II. 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE 기반 수신 빔포밍 기법

본 논문에서는  $K$  개의 송수신기 쌍이 존재하며, 한 수신기는  $K-1$  개의 간섭자로부터 간헐적으로 간섭을 받는다고 가정한다. 모든 송신기는 단일안테나를 가지며 모든 수신기는  $N_r$ 개의 다중안테나를 가지는 시스템을 고려한다. 그리고  $j$  ( $\in 1, 2, \dots, K$ ) 번째 송신기와  $i$  ( $\in 1, 2, \dots, K$ ) 번째 수신기 사이의 무선 채널 벡터는  $\mathbf{h}_{ij} \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 이며, 모든 성분들은  $\mathcal{CN}(0, 1)$ 의 독립적이고 균등한 복소 가우시안 분포를 따르고 전송 중에 채널은 준정적 상태를 가정한다. 이때  $i$  번째 수신기에서의 수신 신호 벡터  $\mathbf{r}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{r}_i = b_i \sqrt{P_i} \mathbf{h}_{ii} s_i + \sum_{j \in \{1, 2, \dots, K\} \setminus i} b_j \sqrt{P_j} \mathbf{h}_{ij} s_j + \mathbf{n}_i, \quad (1)$$

이때  $P_k$  ( $k \in 1, 2, \dots, K$ )는  $k$  번째 송신기에서의 송신 전력이며 모두 동일한 전력으로 신호를 송신한다고 가정한다.  $s_j$ 는  $j$  번째 송신기가 전송하는 송신 신호를 의미한다.  $\mathbf{n}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 은  $i$  번째 수신기의 가우시안 열잡음 벡터로  $\mathcal{CN}(0, N_0 \mathbf{I}_{N_r})$ 의 분포를 따른다.

간헐적 간섭네트워크를 형성하기 위해서  $k$  번째 송신기에서는 송신확률  $0 < \alpha_k < 1$ 에 대해 송신 여부를 나

타내는 파라미터  $b_k$ 가 있고  $b_k$ 에 따라 송신기의 동작 여부를 결정한다.

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

이때 모든 송신기에서의 송신확률은 동일하다고 가정한다. 그리고 송신확률  $\alpha_k$ 에 의해  $k$ 번째 송신기의 송신 여부가 결정되므로 이에 따른 송신기의 전력제한의 공평성을 고려하기 위해  $\mathbb{E}[s_k^2] = P/\alpha = P_k$ 을 만족한다고 가정한다.

각 수신기에서는 모든 송신기들로부터 받는 간섭 신호를 고려해 간섭 공분산 행렬  $\mathbf{R}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times N_r}$ 을 계산할 수 있다.

$$\mathbf{R}_i = \mathbb{E}[\mathbf{r}_i \mathbf{r}_i^H] - \mathbf{h}_i \mathbf{h}_i^H - N_0 \mathbf{I}_{N_r}. \quad (3)$$

식 (3)에서 계산한 간섭 공분산 행렬을 이용해  $i$ 번째 수신 MMSE 빔포밍 벡터  $\mathbf{u}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 를 다음과 같이 설계한다.

$$\mathbf{u}_i = \frac{(N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}}{\|(N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \mathbf{R}_i)^{-1} \mathbf{h}_{ii}\|}. \quad (4)$$

그러므로  $i$ 번째 수신기에서의 SINR (Signal-to-Interference plus Noise Ratio)은 다음과 같다.

$$\gamma_i = \frac{\frac{1}{\alpha} |(\mathbf{u}_i)^H \mathbf{h}_{ii}|^2}{\mathbf{u}_i^H (N_0 \mathbf{I}_{N_r} + \frac{1}{\alpha} \mathbf{R}_i) \mathbf{u}_i}. \quad (5)$$

### III. 아웃티지 확률의 성능 분석

본 논문의 성능 분석은 송수신 쌍이 두 개인 경우를 고려하며 일반성을 해치지 않고 첫 번째 송수신 쌍에 대한 아웃티지 확률을 분석한다. 주어진 전송률  $R$ 에 대한 첫 번째 수신기의 아웃티지 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{out}(R) = \Pr\{\log_2(1 + \gamma_1) < R\} \\ = \Pr\{\gamma_1 < 2^R - 1\} = P_{out}(\gamma_1 \leq \gamma_0),$$

여기서  $\gamma_0 = 2^R - 1$ 은 전송률  $R$ 에 대한 SINR 임계치이다. 전체 확률의 법칙 (Total Probability Theorem)을 이용하여 아웃티지 확률을 다음과 같이 분석한다.

$$P_{out}(\gamma_1 \leq \gamma_0) = \Pr(\gamma_1 \leq \gamma_0 | b_2 = 1) \Pr(b_2 = 1) \\ + \Pr(\gamma_1 \leq \gamma_0 | b_2 = 0) \Pr(b_2 = 0) \quad (6) \\ = 1 - \frac{e^{-\alpha \gamma_0}}{1 + \gamma_0} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\alpha + k)}{k!} \alpha^{k-N+1} \gamma_0^k$$

### IV. 시뮬레이션 분석 및 결론

그림 1은 송수신기 쌍이 두 개이며, 수신기 다중안테나가 두 개인 시스템에서 평균 SINR  $\Gamma = \mathbb{E}[P_1/(P_2 + \mathbf{I}_{N_r})]$ 에 대해 SINR 임계치가  $\gamma_0$ 일 때, 비간헐적 (Non-bursty) 간섭 네트워크를 고려한 수신단 MMSE 빔포밍의 아웃티지 확률 결과[1]와 본 논문

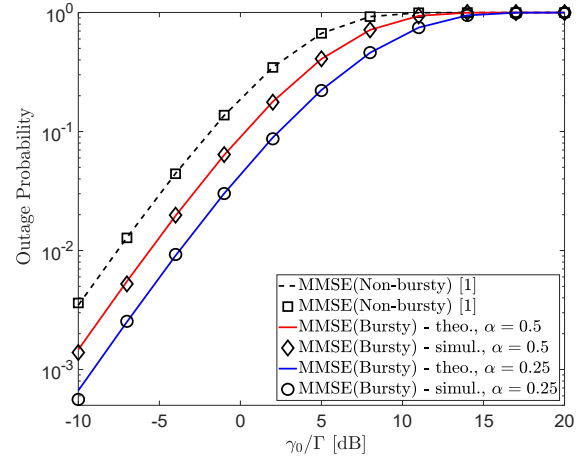


그림 1 두 개의 송수신 쌍이 있는 경우 다중안테나 수신기의 MMSE 빔포밍의 아웃티지 확률

에서 분석한 간헐적 간섭 네트워크를 고려한 아웃티지 확률의 수학적 분석 결과 (6)를 보여준다. 실험 결과는 본 논문에서 분석한 간헐적 간섭 네트워크에서의 MMSE 빔포밍의 아웃티지 확률이 시뮬레이션 결과와 정확하게 일치함을 확인하였다. 비간헐적 간섭 네트워크와 간헐적 간섭 네트워크의 아웃티지 확률을 비교하였을 때 간헐적 간섭 네트워크의 성능이 더 좋음을 확인할 수 있었다. 또한 송신 확률  $\alpha_k$ 에 대해  $\alpha_k$ 가 낮을수록 간섭을 미치는 송신기가 간섭을 미칠 확률이 낮아지기 때문에 아웃티지 확률 측면에서 성능이 더 좋아짐을 알 수 있다.

### Acknowledgement

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

### 참고문헌

- [1] E. Villier, "Performance Analysis of Optimum Combining with Multiple Interferers in Flat Rayleigh Fading," *IEEE Trans. Commun.* Vol. 47, pp. 1503-1510, Oct 1999.
- [2] H. J. Yang, W.-Y. Shin, B. C. Jung, C. Suh, and A. Paulraj, "Opportunistic downlink interference alignment for multi-cell MIMO networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1533 - 1548, Mar. 2017.
- [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.
- [4] 공병휘, 손웅, 정방철, "간헐적 간섭이 존재하는 무선 네트워크에서 수신단 다중안테나를 통한 성능 향상," *한국통신학회 하계종합학술대회*, Jun. 2019.