

지연된 CSIT 에서 3-셀 MISO-IBC 의 자유도

문영식 노종선

서울대학교

myskill@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr

Degrees of freedom of the 3-cell MISO-IBC with delayed CSIT

Young-Sik Moon, Jong-Seon No

Seoul National Univ.

요 약

본 논문에서는 3 개의 셀에 각각 유저가 K 명씩 있는 MISO IBC 채널을 고려한다. 간섭을 제거하기 위해 빔포머를 설계해야 하며, 본 논문에서는 지연된 CSIT 를 이용한 빔포머 설계로 셀 간 발생하는 간섭 및 셀 내부의 유저간 발생하는 간섭 또한 처리하게 된다. 제안하는 기법을 통해 3-셀을 가지는 하향 통신에서 간섭을 제거함으로써 얻을 수 있는 자유도를 보인다.

I. 서 론

간섭이 발생하는 채널 환경에서 자유도를 향상시키는 기법으로, 송신기에서 빔포머를 설계하여 간섭의 영향을 줄이는 간섭정렬 기법이 활발하게 연구되고 있다. 일반적으로 위의 기법들에서 빔포머를 설계하기 위해서는 채널정보를 송신기에서 순시적으로 얻을 수 있어야 하나, 이러한 가정은 채널이 매우 느리게 변할 때에만 유효하다. 따라서, 지연된 채널 정보만을 송신기에서 얻을 수 있을 때 MISO BC 에서의 자유도에 관한 연구가 진행 되었으며, 2 셀 MISO IBC 채널에서 지연된 채널 정보만을 이용한 간섭제거 기법도 연구되었다.[1],[2] 본 논문에서는, 논문 [2]의 결과를 3 셀로 확장하여 적용할 수 있는 간섭 제거 기법을 제안하고, 이때 얻을 수 있는 자유도를 구한다.

II. 본 론

II.1 시스템 모델

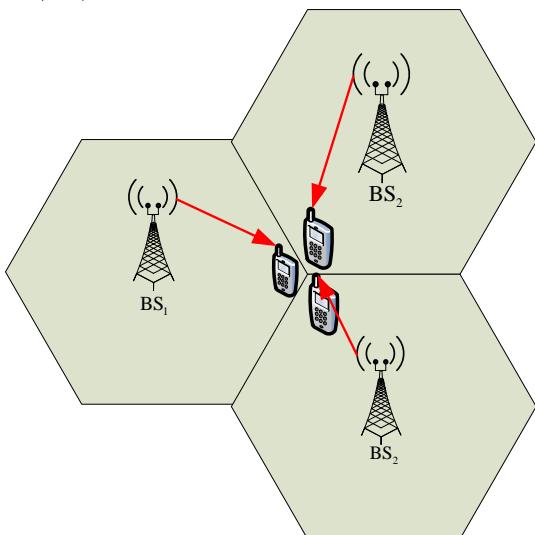


그림 1. 3-cell MISO IBC 채널

본 논문에서는 3 개의 셀로 이루어진 하향링크 셀룰러 네트워크에서 각 셀에 K 명의 유저가 있는 환경을 고려한다. 기지국은 M 개의 안테나를 가지고 있고, 유저는 1 개의 안테나를 장착하고 있다. 또한 기지국 간에는 백홀을 통해 간섭을 주는 채널에 대한 정보를 상호간에 교환할 수 있다고 가정한다. 이러한 환경에서 간섭은 셀 간 발생하는 간섭과 셀 내부의 유저간 발생하는 간섭 두 가지이다. I 번째 셀의 기지국 b 와 유저 k 간의 채널을 $\mathbf{h}_{kb}^{(l)}(t) \in \mathbb{C}^{M \times 1}$, 송신하는 신호를 $\mathbf{s}_k^{(b)}(t) \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 라 하면, 유저 k 가 받는 신호는 다음과 같다.

$$y_k^{(l)}(t) = \mathbf{h}_{kl}^{(l)}(t)^H \mathbf{s}_k^{(l)}(t) + \sum_{m \neq k, m=1}^K \mathbf{h}_{kl}^{(l)}(t)^H \mathbf{s}_m^{(l)}(t) + \sum_{b \neq l}^B \sum_{m=1}^K \mathbf{h}_{kb}^{(l)}(t)^H \mathbf{s}_m^{(b)}(t) + z_k^{(l)}(t)$$

II.2 빔포머 설계

먼저 3 개의 셀에 1 명의 user 가 있고, 기지국 안테나는 2 개씩 있는 가장 간단한 환경을 고려하며, 각 기지국은 자신이 서브하는 유저에게 자신의 안테나 수만큼의 독립적인 메시지를 보내게 된다. 즉, 2×1 메시지 벡터 $\mathbf{s}_u^{(l)}$ 를 보내게 된다. $t=1$ 에서 첫 번째와 두 번째 기지국만 자신의 유저를 위한 신호를 보내게 되며, 세 번째 기지국은 신호를 전송하지 않는다. 각 사용자가 받는 신호는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} y_1^1(\mathbf{1}) &= h_{11}^1(\mathbf{1})^H \mathbf{s}_{11}^{(1)} + h_{12}^1(\mathbf{1})^H \mathbf{s}_{12}^{(2)} + z_1^{(1)}(\mathbf{1}) \\ y_1^2(\mathbf{1}) &= h_{11}^2(\mathbf{1})^H \mathbf{s}_{11}^{(1)} + h_{12}^2(\mathbf{1})^H \mathbf{s}_{12}^{(2)} + z_1^{(2)}(\mathbf{1}) \\ y_1^3(\mathbf{1}) &= - \end{aligned}$$

세 번째 셀의 유저는 첫 번째와 두 번째 기지국으로부터 간섭만 받게 되므로 이 때 받는 신호는 복호과정에 사용하지 않는다. 따라서 편의를 위해 -로 표시한다.

$t=2$ 에서는 두 번째와 세 번째 기지국만 자신의 유저를 위한 신호를 보낸다.

$$\begin{aligned} y_1^1(2) &= - \\ y_1^2(2) &= h_{12}^2(2)^H s_{12}^{(2)} + h_{13}^2(2)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(2)}(2) \\ y_1^3(2) &= h_{12}^3(2)^H s_{12}^{(2)} + h_{13}^3(2)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(3)}(2) \end{aligned}$$

t=3에서는 첫 번째와 세 번째 기지국만 자신의 유저를 위한 신호를 보낸다.

$$\begin{aligned} y_1^1(3) &= h_{11}^1(3)^H s_{11}^{(1)} + h_{13}^1(3)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(1)}(3) \\ y_1^2(3) &= - \\ y_1^3(3) &= h_{11}^3(3)^H s_{11}^{(1)} + h_{13}^3(3)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(3)}(3) \end{aligned}$$

t=4 이후부터, 각 유저는 채널 정보를 피드백하고, 기지국은 다른 셀에게 간섭을 주는 채널에 대한 정보를 백홀을 통해 서로 공유한다. 백홀을 통해 얻은 지연된 채널 정보를 이용해 빔포머를 설계하여 신호를 보낸다.

t=4에서 첫 번째와 두 번째 기지국은 t=1일 때 자신이 받은 간섭에 대한 채널 정보를 상호 교환하여, 자신이 보내고자 하는 신호에 곱하는 방식으로 빔포머를 설계하게 된다. 즉, 두 번째 셀의 유저가 받은 간섭에 대한 채널 정보는 $h_{11}^{(2)}$ 이고, 첫 번째 셀의 유저가 받은 간섭에 대한 채널 정보는 $h_{12}^{(1)}$ 이므로, 이 채널을 상호 교환하여 빔포머를 만들게 된다. 따라서, 기지국은 아래와 같이 전송하게 된다.

$$BS_1 : h_{11}^{(2)}(1)s_{11}^{(1)}, \quad BS_2 : h_{12}^{(1)}(1)s_{12}^{(2)}$$

각 유저가 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_1^1(4) &= h_{11}^1(4)h_{11}^{(2)}(1)^H s_{11}^{(1)} + h_{12}^1(4)h_{12}^{(1)}(1)^H s_{12}^{(2)} + z_1^{(1)}(4) \\ y_1^2(4) &= h_{11}^2(4)h_{11}^{(2)}(1)^H s_{11}^{(1)} + h_{12}^2(4)h_{12}^{(1)}(1)^H s_{12}^{(2)} + z_1^{(2)}(4) \\ y_1^3(4) &= - \end{aligned}$$

t=5에서 전송하는 신호는,

$$BS_2 : h_{12}^{(2)}(2)s_{12}^{(2)}, \quad BS_3 : h_{13}^{(2)}(2)s_{13}^{(3)}$$

각 유저가 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_1^1(5) &= - \\ y_1^2(5) &= h_{12}^2(5)h_{12}^{(2)}(2)^H s_{12}^{(2)} + h_{13}^2(5)h_{13}^{(2)}(2)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(2)}(5) \\ y_1^3(5) &= h_{12}^3(5)h_{12}^{(2)}(2)^H s_{12}^{(2)} + h_{13}^3(5)h_{13}^{(2)}(2)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(3)}(5) \end{aligned}$$

t=6에서 전송하는 신호는,

$$BS_1 : h_{11}^{(3)}(3)s_{11}^{(1)}, \quad BS_3 : h_{13}^{(1)}(3)s_{13}^{(3)}$$

각 유저가 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_1^1(6) &= h_{11}^1(6)h_{11}^{(3)}(3)^H s_{11}^{(1)} + h_{13}^1(6)h_{13}^{(1)}(3)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(1)}(6) \\ y_1^2(6) &= - \\ y_1^3(6) &= h_{11}^3(6)h_{11}^{(3)}(3)^H s_{11}^{(1)} + h_{13}^3(6)h_{13}^{(1)}(3)^H s_{13}^{(3)} + z_1^{(3)}(6) \end{aligned}$$

지면상, 본 논문에서는 첫 번째 셀의 유저가 원하는 신호를 복호하는 과정에 대해서만 다루겠다. 또한, High SNR 영역에서 자유도를 구하므로 식을 풀 때 백색잡음은 무시한다.

t=1, 4를 풀어 $s_{11}^{(1)}$ 에 대한 식을 얻을 수 있다.

$$y_1^1(4) - h_{12}^1(4)y_1^1(1) = (h_{11}^1(4)h_{11}^{(2)}(1)^H - h_{12}^1(4)h_{11}^{(2)}(1)^H)s_{11}^{(1)}$$

t=1, 6를 풀어 $s_{11}^{(1)}$ 에 대한 식을 얻을 수 있다.

$$y_1^1(6) - h_{12}^1(6)y_1^1(1) = (h_{11}^1(6)h_{11}^{(3)}(3)^H - h_{12}^1(6)h_{11}^{(3)}(3)^H)s_{11}^{(1)}$$

따라서, 첫 번째 셀의 유저는 자신이 원하는 2×1 메시지 벡터 $s_{11}^{(1)}$ 를 복호 할 수 있고, 나머지 셀의 유저들도 원하는 메시지 벡터를 같은 방식으로 복호 할 수 있다.

III.3 획득 가능한 자유도

본 절에서는 제안하는 기법이 가질 수 있는 자유도에 대해서 논의한다. 먼저 앞선 예시를 통해 M=2인 경우에 6번의 채널 사용으로 6개의 독립적인 메시지를 보낼 수 있었으므로, 전체 시스템의 자유도는 1이 된다. M=4일

경우, 제안하는 기법은 기지국이 자신이 가지고 있는 안테나 수만큼의 메시지를 유저에게 보내고자 하므로, 각 유저에게 4×1 메시지 벡터를 전송하게 된다. M=2일 때와 같이, 빔포밍을 하지 않고 보내는 방식으로 총 3회의 채널 사용을 하며, 이후 간섭 채널을 이용한 빔포밍으로 3회의 채널 사용을 통해 각각의 유저는 2개의 원하는 신호에 대한 식을 얻을 수 있다. 4×1 메시지 벡터를 복호하기 위해서는 총 4개의 방정식을 풀어야 하므로, 이러한 과정을 2회 반복해야 한다. 따라서, M=4일 때 9회의 채널 사용으로 12개의 독립적인 메시지를 전송할 수 있으며 자유도는 $4/3$ 이 된다. 이와 같은 방식을 적용하여 일반적인 M일 때의 자유도를 구하면, 전체 전송하는 독립적인 메시지는 3M이고, 빔포밍을 하지 않는 채널 사용이 3회, 빔포밍을 하는 채널 사용이 $3M/2$ 회가 되므로 시스템의 전체 자유도는 다음과 같이 구해진다.

$$\text{DoF}_{\text{tot}} = 3M / (3 + 3M/2) = 2M / (M + 2)$$

각 셀의 유저가 늘어나도, 병렬적으로 확장하여 기법을 적용하면 같은 결과를 얻을 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 3개의 셀에 각각 유저가 K명씩 있는 MISO IBC 채널에서의 자유도를 구하였다. 기지국 간 백홀을 통해 간섭을 주는 채널에 대한 정보를 상호간에 교환하고, 이를 이용한 빔포머 설계로 셀 간 발생하는 간섭 및 셀 내부의 유저간 발생하는 간섭 또한 처리하였으며, 기지국의 안테나 수 M과 셀 내부의 유저 수 K에 관해 일반화 된 자유도 식을 구하였다.

ACKNOWLEDGMENT

참 고 문 헌

- [1] Maddah-Ali, Mohammad Ali, and David Tse. "On the degrees of freedom of MISO broadcast channels with delayed feedback." EECS Department, University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/EECS-2010-122 (2010).
- [2] Parajuli, Jhanak, and Giuseppe Abreu. "A space-time Tx scheme for two-cell MISO-BC with delayed CSIT." Information Theory (ISIT), 2014 IEEE International Symposium on. IEEE, 2014.
- [3] C. Suh and D. Tse, "Interference alignment for cellular networks," in Communication, Control, and Computing, 2008 46th Annual Allerton Conference, 2008, pp. 1037-1044.