

준정지 $K \times 2 \times X$ 채널에서의 간섭정렬과 빔포머 설계

문영식 김재홍 노종선

서울대학교

{myskill, kilmd55}@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr

Interference alignment and beamformer design for Quasi-Static $K \times 2 \times X$ channel

Young-Sik Moon, JaeHong Kim, Jong-Seon No

Seoul National Univ.

요약

본 논문에서는 송신단이 K 개이고 수신단이 2 개인 X 채널에서 간섭정렬 (interference alignment) 기법을 고려한다. 간섭정렬을 위해 빔포머를 설계해야 하며, 본 논문에서는 빔포머를 원하는 수신신호들의 영공간에 간섭신호들이 들어 갈 수 있도록 설계하는 기법을 제안한다. X 채널의 특성상 모든 송신기에서 이러한 설계 기법을 적용 할 수 없으므로, 빔포머 설계기법을 적용할 송신기를 수신 측 채널특성을 고려하여 선택한다. 마지막으로 제안하는 기법이 다이버시티 이득을 얻을 수 있다는 것을 모의실험을 통해 보인다.

I. 서론

본 논문에서는 송신단의 수가 K 이고 수신단이 2 개인 준정지 X 채널에서 간섭신호들이 원하는 수신신호들의 영공간에 들어 갈 수 있도록 하는 간섭정렬 기법을 제안한다. X 채널의 구조적인 이유로 제안하는 기법이 양쪽 수신기 동시에 간섭신호들을 원하는 신호들의 영공간으로 정렬 할 수는 없으므로 빔포머 설계기법을 적용할 수신기를 선택하게 된다. 제안하는 빔포머 설계 및 수신기 선택기법이 X 채널에서의 기존 연구결과인 논문 [1]과 같은 DoF 를 가지면서 더 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있다는 것을 모의실험을 통해 보인다.

본 논문에서는 그림 1 과 같이 K 개의 송신단에 각각 $K+1$ 개의 안테나를 가지고, 2 개의 수신단에 각각 $K+1$ 개의 안테나를 가지는 준정지 $K \times 2 \times X$ 채널을 고려한다. 첫 번째와 두 번째 수신단의 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_1 &= \sum_{j=1}^K \mathbf{H}_{1j} \mathbf{v}_{1j} x_{1j} + \sum_{j=1}^K \mathbf{H}_{1j} \mathbf{v}_{2j} x_{2j} + \mathbf{N}_1 \\ \mathbf{Y}_2 &= \sum_{j=1}^K \mathbf{H}_{2j} \mathbf{v}_{2j} x_{2j} + \sum_{j=1}^K \mathbf{H}_{2j} \mathbf{v}_{1j} x_{1j} + \mathbf{N}_2 \end{aligned}$$

\mathbf{H}_{ij} 와 \mathbf{v}_{ij} 는 j 번째 송신단과 i 번째 수신단의 $(K+1) \times (K+1)$ 채널 행렬과 $(K+1) \times 1$ 빔포밍 벡터이며, $\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2$ 는 수신단에서의 잡음을 의미한다. 모든 채널 계수 및 잡음은 평균이 0 이고 분산이 1 인 연속 복소 가우시안 확률분포를 따른다고 가정한다. 각 수신신호는 원하는 신호 K 개와 간섭신호 K 개가 들어오게 되므로 수신측 안테나 $K+1$ 개에서 원하는 신호를 복호하기 위해서는 간섭신호 K 개가 하나의 공간에 정렬 되어야 한다. 따라서 다음과 같은 간섭정렬 조건을 만족하는 빔포밍 행렬 $\mathbf{v}_{11}, \mathbf{v}_{21}$ 를 임의로 선택하여 수신신호의 간섭정렬을 할 수 있다.[1]

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{11} \mathbf{v}_{21} &= \mathbf{H}_{12} \mathbf{v}_{22} = \dots = \mathbf{H}_{1K} \mathbf{v}_{2K} \\ \mathbf{H}_{21} \mathbf{v}_{11} &= \mathbf{H}_{22} \mathbf{v}_{12} = \dots = \mathbf{H}_{2K} \mathbf{v}_{1K} \\ \mathbf{v}_{21} &\neq \mathbf{v}_{11} \end{aligned}$$

위 식을 만족하면, 각 수신에서 간섭들이 한 공간으로 정렬하게 되므로 zero-forcing 을 통해 원하는 신호와 간섭신호를 분리하여 복호 할 수 있다.

II. 본론

II.1 시스템 모델

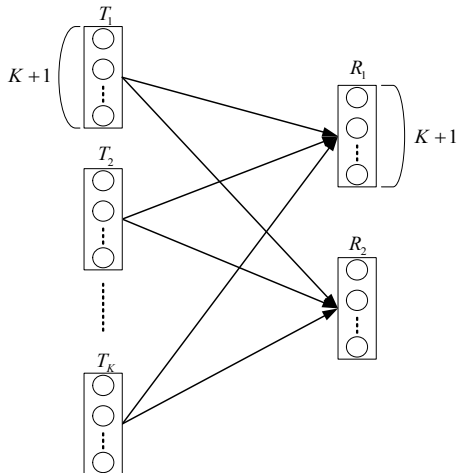


그림 1. 준정지 $K \times 2 \times X$ 채널 (송신 안테나 $M=K+1$, 수신 안테나 $N=K+1$)

II.2 빔포머 설계 및 수신기 선택기법

간섭정렬을 위해 송신기는 전체 채널환경을 알고 있으

므로, 채널특성을 고려하는 빔포머를 설계하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 간섭정렬 조건에 의해 \mathbf{v}_{11} 을 결정하면 $\mathbf{v}_{12}, \dots, \mathbf{v}_{1K}$ 이 고정되고 \mathbf{v}_{21} 를 결정하면 $\mathbf{v}_{22}, \dots, \mathbf{v}_{2K}$ 가 고정된다. 또한 X 채널의 구조적인 특성으로 $\mathbf{v}_{11}, \dots, \mathbf{v}_{1K}$ 는 수신기 1 에서는 원하는 신호에 곱해지는 빔포머이지만, 수신기 2 에서는 간섭신호들에 곱해지는 빔포머가 되며, $\mathbf{v}_{21}, \dots, \mathbf{v}_{2K}$ 은 그 반대의 관계를 가지게 된다. 수신기 1 관점에서 간섭신호를 잘 제거하기 위해 $\mathbf{v}_{21}, \dots, \mathbf{v}_{2K}$ 를 설정했을 때 수신기 2 의 원하는 신호에 영향을 미치게 되므로 동시에 두 수신기의 간섭을 원하는 신호의 영공간에 정렬 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 두 수신기 중 심볼오율 관점에서 성능에 나쁜 수신기를 선택 한 후, 여기에 빔포머 설계기법을 적용하여 심볼오율 측면에서의 성능을 향상시킨다. 제안하는 기법은 다음과 같은 단계를 가진다.

단계 1) 임의의 $(K+1) \times 1$ 벡터 \mathbf{v}_{11} 을 설정하여 간섭조건을 만족하는 $\mathbf{v}_{11}, \dots, \mathbf{v}_{1K}$ 을 구하고, 각 송신기에서 수신기 1 에 대해 보내는 신호의 영공간에 간섭신호들이 들어가도록 \mathbf{v}_{21} 을 구한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{I} &= \text{null}([\mathbf{H}_{11}\mathbf{v}_{21} \quad \mathbf{H}_{12}\mathbf{v}_{22} \quad \dots \quad \mathbf{H}_{1K}\mathbf{v}_{2K}]^T) \\ \mathbf{H}_{11}\mathbf{v}_{21} &= \mathbf{H}_{12}\mathbf{v}_{22} = \dots = \mathbf{H}_{1K}\mathbf{v}_{2K} = \mathbf{I} \\ \mathbf{v}_{21} &= \mathbf{H}_{11}^{-1}\mathbf{I}, \quad \mathbf{v}_{22} = \mathbf{H}_{12}^{-1}\mathbf{I}, \quad \dots, \quad \mathbf{v}_{2K} = \mathbf{H}_{1K}^{-1}\mathbf{I} \end{aligned}$$

단계 2) 송신기에서 빔포머 행렬과 수신기에서 복호를 위해 zero-forcing 행렬을 곱한 후의 채널인 $\mathbf{R}^{\dagger}\mathbf{H}\mathbf{v}$ 를 구하여 원하는 신호 K 개의 SNR $\alpha_1, \dots, \alpha_K$ 을 구한다.

단계 3) 임의로 설정하는 벡터를 \mathbf{v}_{21} 으로 하여 수신기 2 에 대해서 간섭신호들이 영공간에 들어가도록 한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{I} &= \text{null}([\mathbf{H}_{21}\mathbf{v}_{21} \quad \mathbf{H}_{22}\mathbf{v}_{22} \quad \dots \quad \mathbf{H}_{2K}\mathbf{v}_{2K}]^T) \\ \mathbf{H}_{21}\mathbf{v}_{21} &= \mathbf{H}_{22}\mathbf{v}_{22} = \dots = \mathbf{H}_{2K}\mathbf{v}_{2K} = \mathbf{I} \\ \mathbf{v}_{11} &= \mathbf{H}_{21}^{-1}\mathbf{I}, \quad \mathbf{v}_{12} = \mathbf{H}_{22}^{-1}\mathbf{I}, \quad \dots, \quad \mathbf{v}_{1K} = \mathbf{H}_{2K}^{-1}\mathbf{I} \end{aligned}$$

이와 같이 빔포머를 설계했을 때 원하는 신호 K 개의 SNR β_1, \dots, β_K 를 구한다.

단계 4) 수신기 1 에 대해 빔포머를 설계했을 때 얻은 각 신호의 SNR 값의 최소값과 수신기 2 에 대해 빔포머를 설계했을 때 얻은 각 신호의 SNR 값의 최소값을 비교하여 그 중 더 큰 SNR 을 가질 때의 빔포머를 선택한다.

$$\mathbf{v} = \arg \max_{\mathbf{v}_{11}, \dots, \mathbf{v}_{2K}} (\min(\alpha_1, \dots, \alpha_K), \min(\beta_1, \dots, \beta_K))$$

II.3 모의실험 결과

본 절에서 제안한 빔포머 설계 및 수신기 선택기법을 사용한 시스템의 성능을 심볼오율 관점에서 모의실험을 통하여 비교한다. K=3 일 때, 빔포머를 설계하지 않고 임의의 빔포머 벡터를 사용한 간섭정렬 기법과 제안하는 기법을 비교하였으며, 비교하는 두 시스템의 총 전송전력은 같고 각각의 송신단은 동일한 전송전력을 사용하였다. 변조방식의 경우 QPSK 를 사용하였다.

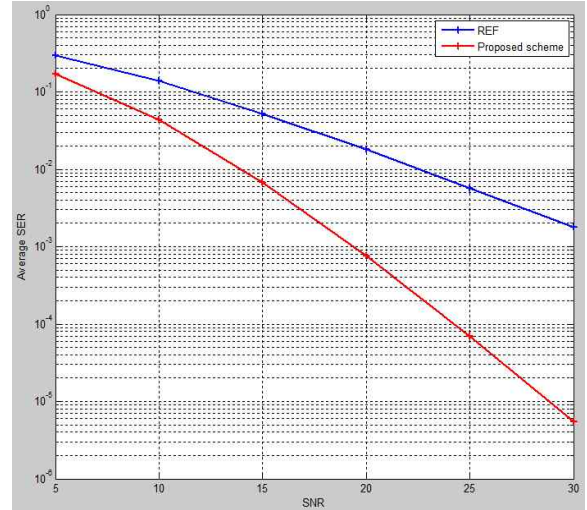


그림 2. 제안하는 기법(K=3)과의 SER 성능비교

III. 결론

본 논문에서는 준정지 $K \times 2$ X 채널에서 간섭정렬을 위한 빔포머 설계 기법을 제시하였고, 빔포머 설계 기법을 적용할 수신기를 선택하는 방법을 제안하였다. 또한 K=3 일때의 모의실험을 통해 제안하는 기법이 다이버시티 이득을 2 이상 얻을 수 있다는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

참고 문헌

- [1] S. Jafar and S. Shamai, "Degrees of freedom region for the mimo x channel," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 54, no. 1, pp.151-170, Jan. 2008.
- [2] M.A. Maddah-Ali, A.S. Motahari, and A.K. Khandani, "Communication Over MIMO X Channel: Interference Alignment, Decomposition, and Performance Analysis," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp. 3457-3470, Aug. 2008.
- [3] V.R. Cadambe, and S.A. Jafar, "Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp. 3425-3441, Aug. 2008.