

준정지 3x2 X 채널에서의 Alamouti 부호를 사용한 간섭정렬과 빔포머 선택기법

\*문영식 \*진동섭 \*김재홍 \*\*김향란 \*노종선

\*서울대학교 \*\*동국대학교

{myskill, carecano, kilmd55}@ccl.snu.ac.kr, jinx177@gmail.com, jsno@snu.ac.kr

Interference alignment and beamformer selection with Alamouti codes for Quasi-Static 3x2 channel

\*Young-Sik Moon, \*Dong-Sup Jin, \*Jae-Hong Kim, \*\*Xianglan Jin, \*Jong-Seon No

\*Seoul National Univ., Dongguk Univ.,

요약

본 논문에서는 송신단이 3 개이고 수신단이 2 개인 X 채널에서 Alamouti 부호를 사용하는 간섭정렬 (interference alignment) 기법을 고려했다. 본 논문에서는 이러한 시스템에 사용하는 빔포머를 수신신호의 채널 상태에 따라 선택하는 기법을 제안하고 모의실험을 통해 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 보인다.

I. 서론

논문 [1]에서 송신단과 수신단의 안테나가 각각 2 개인 준정지 2x2 X 채널에서 기존 Alamouti 구조에 0 을 패딩하여 만든 Alamouti 부호를 사용하여 간섭정렬을 하는 기법을 제안하였으며, 다이버시티 이득 2 를 얻을 수 있다는 것을 증명하였다. 논문 [1]에서 제안한 방법은 송신단의 수가 증가할 때 새로운 구조의 Alamouti 구조를 만들어야 하므로 송신단의 수가 늘어날 때 적용하기는 어렵다. 본 논문에서는 송신단의 수가 3 이고 수신단이 2 개인 준정지 X 채널에서 Alamouti 부호를 사용하는 간섭 정렬 기법을 제안한다. 모의실험을 통해 다이버시티 이득 2 를 얻을 수 있으며, 빔포머를 채널상태에 따라 선택하는 기법으로 다이버시티 이득을 3 이상 얻을 수 있다는 것을 보인다.

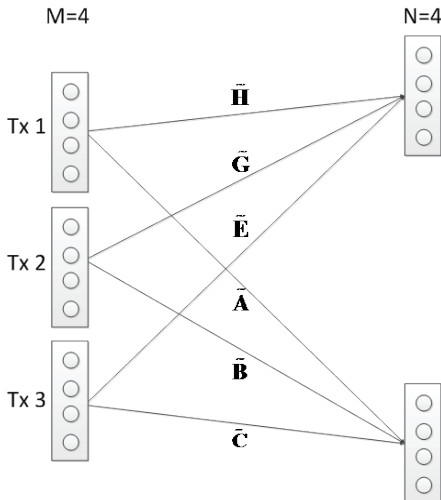


그림 1 준정지 3x2 X 채널 (송신 안테나 M=4, 수신 안테나 N=4)

II. 본론

II.1 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1 과 같이 3 개의 송신단에 각각 4 개의 안테나를 가지고, 2 개의 수신단에 각각 4 개의 안테나를 가지는 준정지 3x2 X 채널을 고려했다. 첫 번째와 두 번째 수신단의 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Y}^{(1)} &= \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{V}_{11}\mathbf{S}_{11} + \tilde{\mathbf{G}}\mathbf{V}_{12}\mathbf{S}_{12} + \tilde{\mathbf{E}}\mathbf{V}_{13}\mathbf{S}_{13} \\
 &+ \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{V}_{21}\mathbf{S}_{21} + \tilde{\mathbf{G}}\mathbf{V}_{22}\mathbf{S}_{22} + \tilde{\mathbf{E}}\mathbf{V}_{23}\mathbf{S}_{23} + \mathbf{N}_1 \\
 \mathbf{Y}^{(2)} &= \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{V}_{11}\mathbf{S}_{11} + \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{V}_{12}\mathbf{S}_{12} + \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{V}_{13}\mathbf{S}_{13} \\
 &+ \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{V}_{21}\mathbf{S}_{21} + \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{V}_{22}\mathbf{S}_{22} + \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{V}_{23}\mathbf{S}_{23} + \mathbf{N}_2
 \end{aligned}$$

$\mathbf{V}_j$  와  $\mathbf{S}_j$  는 각각 j 번째 송신단에서 i 번째 수신단으로 가는 4x2 빔포밍 행렬과 2x2 Alamouti 부호어이다.

$\tilde{\mathbf{H}}, \tilde{\mathbf{G}}, \tilde{\mathbf{E}}, \tilde{\mathbf{A}}, \tilde{\mathbf{B}}, \tilde{\mathbf{C}}$  는 4x4 채널 행렬이고,  $\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2$  는 수신단에서의 잡음을 의미하며 모든 채널 계수 및 잡음은 평균이 0 이고 분산이 1 인 연속 복소 가우시안 확률분포를 따른다고 가정한다.

각 수신신호는 원하는 신호 3 개와 간섭신호 3 개가 들어오게 되므로 다음과 같은 간섭정렬 조건을 만족하는 빔포밍 행렬  $\mathbf{V}_{11}, \mathbf{V}_{21}$  를 임의로 선택하여 수신신호의 간섭정렬을 할 수 있다.[2]

$$\begin{aligned}
 \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{V}_{21} &= \tilde{\mathbf{G}}\mathbf{V}_{22} = \tilde{\mathbf{E}}\mathbf{V}_{23} \\
 \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{V}_{11} &= \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{V}_{12} = \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{V}_{13} \\
 \mathbf{V}_{21} &\neq \mathbf{V}_{11}
 \end{aligned}$$

수신신호는 대칭성을 가지므로 첫 번째 수신단에서의 복호 과정만을 다루겠다. 채널 행렬과 빔포밍 행렬의 곱을 새로운 채널 행렬  $\mathbf{H} = \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{V}_{11}$ ,  $\mathbf{G} = \tilde{\mathbf{G}}\mathbf{V}_{12}$ ,  $\mathbf{E} = \tilde{\mathbf{E}}\mathbf{V}_{13}$ ,

$\mathbf{F} = \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{V}_{21}$ 로 나타내고 각 행렬의 원소들을 다음과 같이 나타낸다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} \\ h_{41} & h_{42} \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \\ g_{31} & g_{32} \\ g_{41} & g_{42} \end{bmatrix}, \mathbf{E} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \\ e_{31} & e_{32} \\ e_{41} & e_{42} \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \\ f_{31} & f_{32} \\ f_{41} & f_{42} \end{bmatrix}$$

위와 같은 표현을 적용한 수신신호  $\mathbf{Y}^{(1)}$ 를 벡터화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{vec}(\mathbf{Y}^{(1)}) = \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12} \\ y_{21} \\ y_{22} \\ y_{31} \\ y_{32} \\ y_{41} \\ y_{42} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & -h_{12}^* & g_{11} & -g_{12}^* & e_{11} & -e_{12}^* & f_{11} & -f_{12}^* \\ h_{12} & h_{11}^* & g_{12} & g_{11}^* & e_{12} & e_{11}^* & f_{12} & f_{11}^* \\ h_{21} & -h_{22}^* & g_{21} & -g_{22}^* & e_{21} & -e_{22}^* & f_{21} & -f_{22}^* \\ h_{22} & h_{21}^* & g_{22} & g_{21}^* & e_{22} & e_{21}^* & f_{22} & f_{21}^* \\ h_{31} & -h_{32}^* & g_{31} & -g_{32}^* & e_{31} & -e_{32}^* & f_{31} & -f_{32}^* \\ h_{32} & h_{31}^* & g_{32} & g_{31}^* & e_{32} & e_{31}^* & f_{32} & f_{31}^* \\ h_{41} & -h_{42}^* & g_{41} & -g_{42}^* & e_{41} & -e_{42}^* & f_{41} & -f_{42}^* \\ h_{42} & h_{41}^* & g_{42} & g_{41}^* & e_{42} & e_{41}^* & f_{42} & f_{41}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{11}^1 \\ s_{11}^2 \\ s_{12}^1 \\ s_{12}^2 \\ s_{13}^1 \\ s_{13}^2 \\ k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} \\ n_{12} \\ n_{21} \\ n_{22} \\ n_{31} \\ n_{32} \\ n_{41} \\ n_{42} \end{bmatrix}$$

여기서  $k_1 = s_{21}^1 + s_{22}^1 + s_{23}^1$ ,  $k_2 = s_{21}^2 + s_{22}^2 + s_{23}^2$ 이다.

위 식은 Alamouti 구조가 중첩되어 만들어져 있는 형태로 논문 [1]에서 이와 같은 형태를 가진  $4 \times 4$  행렬식을 수신 심볼 하나씩으로 복호하는 방법이 제시되어 있다. 논문 [1]에서 사용한 방법을 위 식에 여러 번 적용하여 수신신호  $\mathbf{Y}^{(1)}$ 에서 원하는 심볼  $[S_1 \ S_2 \ S_3]^T$ 을 심볼 하나씩으로 복호 할 수 있다.

### II.2 빔포머 선택기법

앞 절에서 제시한 간섭정렬 조건은 서로 다른 임의의  $\mathbf{V}_{11}, \mathbf{V}_{21}$ 을 고르지만 하면 만족된다. 주어진 채널환경에서 빔포밍 행렬을 임의로 정하는 방법대신 아래에서 제안하는 방법을 통해 구한 빔포밍 행렬을 선택함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

단계 1) 아래 식과 같이 수신단에서 임의의  $4 \times 4$  복소 직교행렬에서 2 개의 열을 선택하여 만들 수 있는 6 가지  $4 \times 2$  행렬  $\mathbf{F}_i$ 를 정해두고 채널 정보를 이용하여 빔포밍 행렬을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{V}_{11} &= \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{V}_{12} = \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{V}_{13} = \mathbf{F}_i \\ \mathbf{V}_{11} &= \tilde{\mathbf{A}}^{-1}\mathbf{F}_i, \mathbf{V}_{12} = \tilde{\mathbf{B}}^{-1}\mathbf{F}_i, \mathbf{V}_{13} = \tilde{\mathbf{C}}^{-1}\mathbf{F}_i \\ (i &= 1, 2, 3, 4, 5, 6) \end{aligned}$$

선택한  $\mathbf{F}_i$ 에 따라 6 가지의 서로 다른 등가채널 (equivalent channel)을 얻을 수 있으며, 등가채널을 통해 3 개의 원하는 신호 각각의 SNR을 구할 수 있다.

단계 2)  $\mathbf{F}_1 \sim \mathbf{F}_6$ 에 따른 등가채널 6 가지와 이에 대한 원하는 신호 3 개의 SNR 중 가장 성능이 나쁜 것을 구한다.

$$\begin{aligned} \alpha_{F_1} &= \min(\text{Det}(\mathbf{H}_{F_1}), \text{Det}(\mathbf{G}_{F_1}), \text{Det}(\mathbf{E}_{F_1})) \\ \alpha_{F_2} &= \min(\text{Det}(\mathbf{H}_{F_2}), \text{Det}(\mathbf{G}_{F_2}), \text{Det}(\mathbf{E}_{F_2})) \\ &\vdots \\ \alpha_{F_6} &= \min(\text{Det}(\mathbf{H}_{F_6}), \text{Det}(\mathbf{G}_{F_6}), \text{Det}(\mathbf{E}_{F_6})) \end{aligned}$$

단계 3)  $\alpha_{F_1} \sim \alpha_{F_6}$ 은 선택한  $\mathbf{F}_i$ 마다 원하는 신호 3 개 중 SNR 성능이 가장 나쁜 것을 나타내므로 이 중 최대를 가지게 해주는  $\mathbf{F}$ 를 선택하여 빔포밍 행렬을 구한다.

$$\mathbf{F} = \arg \max_{F_1, F_2, \dots, F_6} (\alpha_{F_1}, \alpha_{F_2}, \dots, \alpha_{F_6})$$

### II.3 모의실험 결과

본 절에서 제안한 빔포머 선택기법을 사용한 시스템의 성능을 심볼오율 관점에서 모의실험을 통하여 비교한다. 그림 1 과 같은 시스템에서 빔포머 선택기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 시스템 총 전송전력은 같으며 각각의 송신단은 동일한 전송전력을 사용하였고 QPSK 변조방식을 사용하였다.

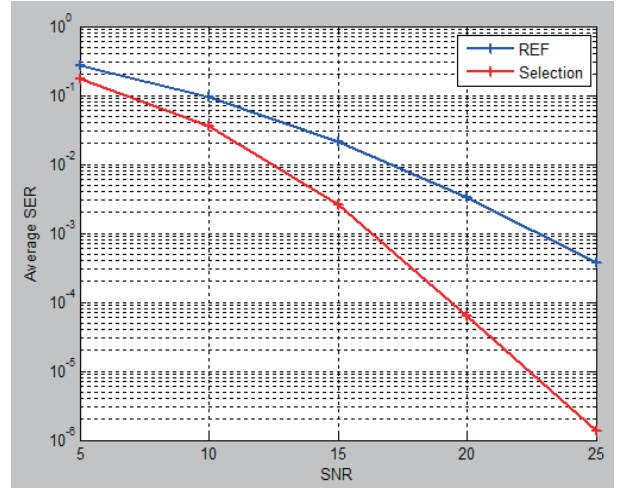


그림 2 빔포머 선택기법과의 성능비교

### III. 결론

본 논문에서는 준정지  $3 \times 2$  X 채널에서 Alamouti 부호를 사용한 간섭정렬 기법을 제시하였고, 간섭 정렬에 사용하는 빔포머를 선택하는 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 제안한 빔포머 선택기법을 통해 다이버시티 이득을 3 이상 얻을 수 있다는 것을 보였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발사업(KCA-2012-08-911-04-003)과 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0000186).

### 참고 문헌

- [1] L. Li, H. Jafarkhani, and S. A. Jafar, "When Alamouti codes meet interference alignment: transmission schemes for two-user X channel," in Proc. IEEE ISIT, St. Petersburg, Russia, Jul. 31-Aug. 05, 2011, pp. 2577-2581.
- [2] 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.