

다른 셀로부터의 간섭을 고려한 다중안테나 제로 포싱 빔 형성 시스템의 성능 최대화

구미현, 김동우

한양대학교 전자전기제어계측공학부

e-mail : mihyeon@wnl.hanyang.co.kr, dkim@hanyang.ac.kr

Sum-rate Maximization of Zero-forcing Beamforming MIMO Systems with Intercell Interference

Mihyeon Ku, Dongwoo Kim

Department of Electrical and Computer Engineering

Hanyang University

Abstract

The sum-rate capacity of multi-antenna broadcast channels recently has attracted much research interests. However, those effort mainly has focused on a single-cell system. In this paper, we consider a multi-cell system where a transmitter uses zero-forcing beamforming with multiple antennas. We select a linear zero-forcing weight that maximizes the sum-rate when intercell interference exists. With numerical investigation, we will show the sum-rate gain achieved by the proposed method gets larger when the number of interfering cells increases.

I. 서론

최근에는 Multiple-input Multiple-output(MIMO) 시스템의 용량 증대(capacity) 연구가 활발히 전개되고 있다. 대부분 연구들은 단일 셀들의 성능을 최대화하기 위한 MIMO기법들을 대상으로 하는데, 그 중 제로 포싱 빔 포밍은 다수 사용자에게 데이터를 전송하는 최적의 기술인 DPC (Dirty paper codin)보다 낮은 복잡도를 갖으면서도 그에 근접하는 높은 성능을 내는 기술이다 [1].

본 논문에서는 제로 포싱 빔 포밍을 단일 셀이 아닌 다수의 사용자가 있는 다수 셀에서 높은 성능을 얻는 방법을 제안한다. 셀의 수가 증가하면, 동일 셀 내의 다른 사용자로부터 얻는 간섭 뿐만 아니라, 다른 셀로부터 신호의 간섭이 증대된다. 따라서 셀 수가 증

가할 때, 단일 셀만의 전송 유효 합(sum-rate)이 최대화 되도록 빔 형성 벡터를 선택하면 다른 셀 간섭으로 인한 예기치 않은 성능 저하가 발생할 수 있다. 우리는 동일 셀 내의 사용자 간 간섭을 제거하는 제로 포싱 빔 포밍의 제약 식으로부터 채널 상관 매트릭스 분해를 통해 발생 가능한 빔 포밍 형성 벡터들의 집합을 얻은 다음, 이들 가운데서 다른 셀로부터의 간섭을 고려할 때 sum-rate이 최대화 되도록 사용자들에게 할당되는 빔 포밍 형성 벡터를 선택하는 방법을 제안한다. 결국, 기지국은 다른 셀로부터의 간섭을 고려하여 원하는 사용자를 향하는 빔을 형성하도록 송신 빔 형성 벡터를 구하고, 사용자는 데이터 sum-rate이 최대가 되도록 수신 빔 형성 벡터를 구하게 된다.

II. 시스템 모델과 성능 최대화

기지국이 N_T 개 송신 안테나를 갖고, 사용자들의 모바일이 N_R 개의 수신 안테나를 갖는 하향링크 시스템을 고려하자. 또한 하나의 셀 주변에는 N_I 개의 co-channel을 사용하는 셀들이 있다고 가정한다. 셀 (i) 에 스케줄된 K 명의 사용자들 가운데 임의의 사용자 k 에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_{(i),k} = \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),k} s_{(i),k} + \sum_{l \neq k} \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),l} s_{(i),l} + \sum_{j \neq i} \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{F}_{(j),k} \mathbf{t}_{(j),k} s_{(j),k} + \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{n}_{(i),k} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{H}_{(i),k}$ 는 i.i.d. flat Rayleigh fading 채널 매트릭스이며, $\mathbf{t}_{(i),k}$ 과 $\mathbf{r}_{(i),k}$ 은 각각 셀 (i) , 사용자 k 의 송신과 수신 빔 형성 벡터를 의미한다. $s_{(i),k}$ 은 셀 (i) 의 사용

이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음

자 k 에게 전송되는 신호이다. l 은 사용자 인덱스를 나타내며, i, j 는 셀의 인덱스를 의미한다. 기호 \dagger 는 conjugate transpose이다.

2.1 Sum-rate 최대화

각 셀의 성능을 최대화하기 위해서 우리는 다음처럼 송, 수신 빔 형성 벡터에 대한 sum-rate을 최대화 하는 문제로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{r}_{(i)}, \mathbf{r}_{(j)}, \mathbf{t}_{(i),k}} \sum_{k \in K} \log_2(1 + \text{SINR}_{(i),k}) \\ \text{s.t. } \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),k} > 0, \\ \mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),l} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\{i | i \in N_l, i \neq j\} \text{ 이고 } \{k | k \in K, k \neq l\}$$

여기서 SINR은 다음과 같다.

$$\text{SINR}_{(i),k} = \frac{|\mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),k}|^2}{\left(\sum_{l \neq k} |\mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),l}| + \sum_{j \neq i} |\mathbf{r}_{(i),k}^\dagger \mathbf{F}_{(j),k} \mathbf{r}_{(j),k}|^2 + \|\mathbf{r}_{(i),k}^{(i)H}\|^2 N_0 \right)}, \quad (3)$$

2.2 수신 빔 형성 가중치 벡터

셀 (i)의 사용자 k 에 대한 송신 빔 형성 벡터 $\mathbf{t}_{(i),k}$ 가 주어졌다고 가정하고, Maximum Ratio Combining을 하는 수신기는 Minimum Mean Square Error에 기반하여 최적의 수신 빔 형성 벡터 $\mathbf{r}_{(i),k}$ 를 구한다. 또한 $\mathbf{r}_{(i),k}$ 은 다음의 제로 포싱의 제약 식을 만족해야 한다.

$$\mathbf{r}_{(i),k}^\dagger (\mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),l}) = 0, \quad k \neq l. \quad (4)$$

이것은 다른 사용자를 향하는 빔 형성 벡터로부터 수신되는 신호를 0으로 만드는 것을 의미한다. 따라서 구한 수신 빔 형성 벡터는 아래의 식처럼 단순화 된다.

$$\mathbf{r}_{(i),k} = \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),k}. \quad (6)$$

2.3 송신 빔 형성 가중치 벡터

구한 수신 빔 형성 벡터를 (4)식에 적용하여 송신 빔 형성 벡터 $\mathbf{t}_{(i),k}$ 을 구하는 식을 전개할 수 있다.

$$\mathbf{t}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} \mathbf{t}_{(i),l} = 0, \quad (7)$$

여기서 $\mathbf{H}_{(i),k}^\dagger \mathbf{H}_{(i),k} = \mathbf{U}_{(i),k} \Lambda_{(i),k} \mathbf{U}_{(i),k}^\dagger$ 과 같이 eigenvalue decomposition을 이용하여 다음을 가정하면,

$$\mathbf{v}_{(i),k} = \mathbf{U}_{(i),k}^\dagger \mathbf{t}_{(i),k} = \begin{bmatrix} v_{(i),k,1} \\ \vdots \\ v_{(i),k,N_T} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v}_{(i),l \neq k} = \mathbf{U}_{(i),l \neq k}^\dagger \mathbf{t}_{(i),l \neq k} = \begin{bmatrix} v_{(i),l \neq k,1} \\ \vdots \\ v_{(i),l \neq k,N_T} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

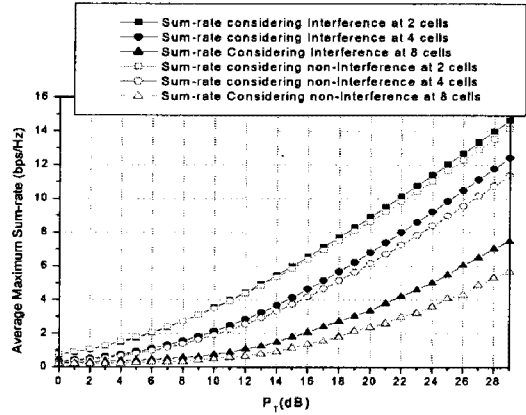


그림 1. 다른 셀로부터의 간섭을 고려하여 성능을 최대화 시킨 경우와 이를 고려하지 않은 경우, 인접한 셀 수 증가에 따른 성능 차이.

본 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{t}_{(i),k}^\dagger \mathbf{U}_{(i),k} (\Lambda_{(i),k} \mathbf{U}_{(i),k}^\dagger \mathbf{U}_{(i),l \neq k}) \mathbf{U}_{(i),l \neq k}^\dagger \mathbf{t}_{(i),l \neq k} \\ = \mathbf{v}_{(i),k}^\dagger \mathbf{P}_{(i)} \mathbf{v}_{(i),l \neq k} \\ = \begin{bmatrix} v_{(i),k,1} \\ \vdots \\ v_{(i),k,N_T} \end{bmatrix}^\dagger \begin{bmatrix} p_{1,1} & \cdots & p_{1,N_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N_R,1} & \cdots & p_{N_T,N_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{(i),l \neq k,1} \\ \vdots \\ v_{(i),l \neq k,N_T} \end{bmatrix} = 0, \text{ for all } k, \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9) 들을 전개하면 $\mathbf{v}_{(i),k,n}, \mathbf{v}_{(i),l \neq k,n}, n = 1, \dots, N_R$ 들에 대한 연립방정식을 얻을 수 있고, 방정식의 해는 $\mathbf{t}_{(i),k}, \mathbf{t}_{(i),l \neq k}$ 들을 의미한다. 이 해들의 집합을 (3)식에 대입하여 최대 sum-rate값을 갖을 때의 송신 빔 형성 벡터 $\mathbf{t}_{(i),k}, \mathbf{t}_{(i),l \neq k}$ 들이다.

III. 수치 결과 분석

분석을 쉽게 하기 위해 각 셀에 사용자 별 2개의 수신 안테나를 갖는 2명의 사용자와 2개의 송신 안테나가 있음을 가정했다. (2)을 만족하는 Tx-Rx BFV를 찾아 500번의 시행 평균 최대 sum-rate을 그려보면 그림1과 같다. 셀이 증가할 때 다른 셀로부터의 간섭을 고려한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 성능이 30%가까이 향상되는 이득을 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] T. Yoo and A.Goldsmith, "Optimality of Zero-Forcing Beamforming with Multiuser Diversity", *IEEE Int. Conf. Commun.(ICC)*, vol.1, May 2005, pp.542-546.
- [2] K.K.Wong. "Maximizing the Sum-Rate and Minimizing the Sum-Power of a Broadcast 2-User 2-Input Multiple-Output Antenna System Using a Generalized Zeroforcing Approach.", *IEEE Trans. On Wireless Commun.* vol. 5, No. 12, pp.3406-3412, DEC. 2006.