

다중 안테나를 사용하는 무선 인지 네트워크를 위한 전력 조절 및 스케줄링 알고리즘

*유승진, 왕한호, 이제민, 안성우 **홍대식
 연세대학교 전기전자 공학과 정보 통신 연구실
 e-mail : seungjinwa@yonsei.ac.kr, daesikh@yonsei.ac.kr
 homepage : <http://mirinae.yonsei.ac.kr>

Joint Power Control and Scheduling Algorithm for Cognitive Radio Network Exploiting Multi-Antennas

*Seungjin You, Hano Wang, Jemin Lee, Seongwoo Ahn, **Daesik Hong
 Information and Telecommunication Lab. (B715),
 Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ.

Abstract

This paper presents a cognitive radio network where a base station exploits multi-antennas. For the system, a joint power control and user selection greedy algorithm which achieve a significant fraction of sum-capacity at lower complexity cost is proposed.

I. 서론

무선 인지(Cognitive Radio)는 무선 네트워크에서 주사용자에게 허가된 주파수를 부사용자가 동시에 사용할 수 있도록 하는 기법이다 [1]. 최근 무선인지 네트워크에서 부사용자의 전송률을 높이기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다. 그 중 부사용자의 다중안테나 기지국(BS)을 통한 공간다중화를 사용하여 전송률을 개선하려는 시도들이 있어왔다 [1]-[3]. 하지만 이것을 위해 주사용자에게 주는 간섭과 부사용자간에 발생하는 간섭을 제어해야 한다. 두 간섭은 부사용자의 전송률 증대와 서로 상쇄관계(trade-off)에 있기 때문에 문제를 해결하는 것은 쉽지 않다.

이런 어려움을 완화하기 위해 Zhang은 알고리즘에서 부사용자간에 발생하는 간섭을 상쇄할 수 있는 이상적인 빔 형성 수신기를 가정하였다[3]. 하지만 실제로 부

사용자 간섭을 완벽하게 추정하여 상쇄할 수 없기 때문에 알고리즘에서 구한 값과 실제 필요한 값 사이에 차이가 발생하게 된다. 또한 부사용자의 수가 안테나 수보다 많은 실제적인 경우에 대해서는 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서 부사용자간 간섭이 있는 일반적인 수신기와 안테나 수보다 많은 부사용자가 고려된 간단한 알고리즘을 제안한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 N개의 안테나를 가지고 있는 BS와 K명(K>N)의 부사용자간에 상향전송을 고려한다. 또한 같은 대역을 공유하는 하나의 주사용자 링크가 있다고 가정한다. BS에서는 사용자 수가 안테나 수보다 많기 때문에 부사용자 중 사용자 집합 S를 선택한다. 그때 BS에서의 합-전송률(sum-rate)은 다음과 같다[3].

$$f(\mathbf{p}, \mathbf{U}, S) = \sum_{s=1}^{|S|} \log \left(1 + \frac{p_s \mathbf{u}_s^H \mathbf{h}_s \mathbf{h}_s^H \mathbf{u}_s}{\mathbf{u}_s^H \left(\sum_{i \neq s} p_i \mathbf{h}_i \mathbf{h}_i^H + \sigma^2 \mathbf{I}_N + p_{PU} \hat{\mathbf{h}} \hat{\mathbf{h}}^H \right) \mathbf{u}_s} \right) \quad (1)$$

여기서 |S|는 집합 S의 크기이고 \mathbf{h}_s 과 $\hat{\mathbf{h}}$ 은 각각 집합 S안의 부사용자 s와 BS사이에 채널과 주사용자 송신기와 BS사이의 채널을 나타내는 $N \times 1$ 벡터이다. 그리고 P_{PU} 는 주사용자의 송신기에서 사용하는 송신전력이다. 또한 σ^2 은 BS에서의 노이즈 전력이고 모든 안테나에서 같다고 가정한다. 행렬 $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_K]$ 는 각 안테나의 수신 빔 형성 벡터모음이고 $\mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_K]$ 는 부사용자에게 할당된 전송 전력 벡터이다.

게다가 주사용자에게 주는 간섭을 고려하기 위하여 |S|명의 부사용자와 주사용자 수신기사이의 |S|×1 채널

† 본 과제(결과물)는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실현실 지원사업의 연구결과임.

‡ 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업(NRL:R0A-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음

벡터 $\mathbf{g} = [g_1, g_2, \dots, g_{|S|}]^T$ 를 정의한다. 실제적으로 채널 \mathbf{g} 값은 부사용자들의 협력을 이용한 센싱이나 주기적인 센싱을 통하여 추정해낼 수 있다 [2].

III. 제안된 알고리즘 및 실험 결과

무선인지 네트워크에서 주사용자와 부사용자가 주파수를 공유하기 위해서는 부사용자가 주사용자에게 주는 간섭이 미리 정의된 한계치(γ) 아래로 유지되어야 한다. 이러한 조건과 (1)을 고려하여 본 논문에 다루고자 하는 문제는 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{p}, \mathbf{U}, \mathbf{S}} & f(\mathbf{p}, \mathbf{U}, \mathbf{S}) \\ \text{s.t.} & \mathbf{g}^H \mathbf{p} \leq \gamma, p_k \leq P_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

문제 (2)의 최적해를 구하는 것은 모든 사용자 집합과 빔 형성 벡터 집합 그리고 파워 집합에 대해서 모두 고려해야 되기 때문에 너무 복잡하다. 따라서 간단한 Greedy 알고리즘을 제안한다. 각 단계마다 미리 결정된 사용자들의 영향을 고려하여 한명의 부사용자를 (2)의 목적에 맞게 선택하게 된다. 제안된 알고리즘은 다음과 같다.

제안된 파워 조절 및 사용자 선택 알고리즘
n 단계에서
$s \notin n-1$ 단계에서 선택된 사용자 집합: $S^{(n-1)}$ 에 대해
1) 사용자 집합 $S_s = \{s, S^{(n-1)}\}$ 정의하고 전송 전력 조건을 고려하여 유저 s에게 전력 p_s 할당
$p_s = \left[\frac{1}{\lambda g_s} - \frac{\mathbf{u}_s^H \left(\sum_{i \in S^{(n-1)}} p_i \mathbf{R}_i + \sigma^2 \mathbf{I}_N + p_{PU} \hat{\mathbf{R}} \right) \mathbf{u}_s}{\mathbf{u}_s^H \mathbf{R}_s \mathbf{u}_s} \right]$
만약 $p_s \geq P_{\max}$, $p_s \leq 0$ 라면 각각 P_{\max} , 0 할당
2) 모든 S_s 에 대한 합-전송률 계산 후 가장 큰 값 $C^{(n)}$ 을 갖는 사용자 집합 $S^{(n)}$ 을 선택
$C^{(n)} = \max_s f(\mathbf{p}_s, \mathbf{U}_s, S_s), S^{(n)} = \operatorname{argmax}_s f(\mathbf{p}_s, \mathbf{U}_s, S_s)$
3) 만약 $C^{(n-1)} < C^{(n)}$ 라면 n단계에 구한 값을 업데이트 한 후 1)에서 $n=n+1$ 단계로 다시 시작, 그렇지 않으면 n-1 단계에서 알고리즘 정지.

위의 알고리즘에서 1)에서의 전력 할당 식은 KKT 조건을 이용한 것이고 3)은 사용 가능성에 대한 조사를 한 것이다. 부사용자간에 서로 간섭으로 영향을 주기 때문에 사용자가 늘어나면 오히려 합-전송률이 떨어질 수 있기 때문에 3)이 필요하다.

제안된 알고리즘의 성능 분석을 위하여 모든 부사용자들과 주사용자 송신기는 BS에서 같은 거리(R)에 있고 주사용자 수신기는 균등분포(0,R)로 위치해 있는 시스템 모델을 사용한다. 또한 경로손실과 레일리 페이

딩을 고려한 채널을 사용한다. $R=500\text{m}$, $\sigma^2=-85\text{dBm}$, $N=5$ 일 때 다양한 간섭 한계치($\gamma=-85, -83 \text{ dBm}$)에서 [3]에서처럼 이상적인 수신기를 가정한 알고리즘의 성능과 평균 합-전송률을 비교하였다. 그림 1에서 높은 간섭한계치, 즉 부사용자간 간섭이 큰 경우에도 제안된 알고리즘의 빔 형성을 통한 부사용자간 간섭 제어와 전력 제어, 부사용자 선택에 의하여 [3]의 이상적인 수신기의 결과에 상당히 접근할 수 있음을 보여준다.

IV. 결론

본 논문에서는 안테나의 수보다 사용자의 수가 많은 무선인지 네트워크에서 부사용자의 전송률을 높이기 위한 간단한 Greedy 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과를 통해 제안된 알고리즘을 사용하여 낮은 복잡도에서 부사용자간 간섭을 제어할 수 있고 부사용자 전송률을 높일 수 있다는 것을 확인하였다.

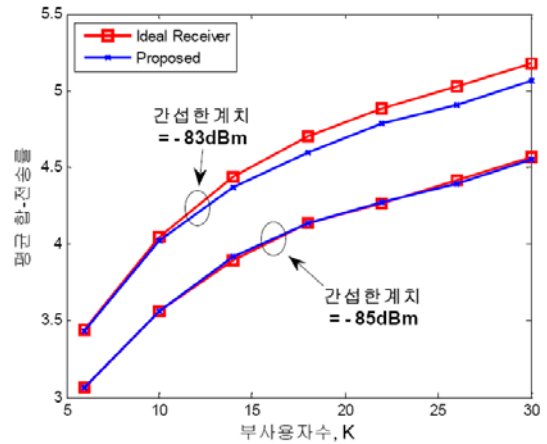


그림1 제안된 알고리즘이 사용된 비이상적인 수신기와 이상적인 수신기에서의 주사용 대안 간섭 한계치와 부사용자 수에 따른 합-전송률 비교

참고문헌

[1] S. Srimdharan and S. Vishwanath, "On the capacity of a class of MIMO Cognitive Radios", *IEEE J. Select. Topic in signal processing*, vol. 2, no. 1, pp. 103-117, Feb. 2008

[2] R. Zhang and Y.C. Liang, "Exploiting multi-antennas for opportunistic spectrum sharing in cognitive radio networks", *IEEE J. Select. Topic in signal processing*, vol. 2, no. 1, pp. 88-102, Feb. 2008

[3] L. Zhang, Y.C. Liang and Y. Xin, "Joint beam-forming and power allocation for multiple access channels in cognitive radio networks", *IEEE JSAC*, vol. 26, no. 1, pp38-51, Jan. 2008