

다중 셀 환경에서 OFDMA 기반 복호 후 재전송 중계 네트워크를 위한 부반송파 할당 기법

*최동욱 **이재홍

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

*dongwook@snu.ac.kr

Subcarrier Allocation Algorithm for OFDMA-based Decode-and-Forward Relay Networks with Multicells

*Dongwook Choi and **Jae Hong Lee

School of Electrical Engineering and Computer Science, INMC

Seoul National University

요약

본 논문에서는 다중 셀 환경의 OFDMA 기반 복호 후 재전송 중계 네트워크를 위한 새로운 부반송파 할당 기법에 대해서 제안한다. 제안된 기법에서는 기지국 간의 채널 정보 공유를 통해 공평성 제한을 가지면서 전체 통신 용량이 최대가 되도록 중계단말기와 수신단말기에 부반송파를 할당한다. 공평성 제한은 각 중계단말기의 최대 전송 전력과 각 수신단말기의 최소 통신 용량에 부과되어 중계단말기가 전력을 과도하게 사용하는 것을 막고 수신단말기가 채널 상태가 좋지 않더라도 최소한의 통신 용량을 확보할 수 있도록 한다. 모의실험 결과 제안된 기법이 대조군인 static 기법에 비하여 부반송파 당 더 높은 주파수 효율을 얻는 다는 것을 확인하였다.

1. 서론

다양한 멀티미디어 서비스, 애플리케이션을 사용하는 스마트폰, 넷북, 태블릿 PC 등의 수요가 증가함에 따라 차세대 무선통신에 대한 기대와 요구가 커지고 있다. 이에 따라 차세대 무선통신의 성능을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access)는 사용하고자 하는 주파수 대역을 여러 개의 작은 주파수 대역으로 분할하여 주파수 선택적 페이딩(frequency selective fading)을 효과적으로 극복하는 장점이 있다. 또한 대용량의 데이터를 다중 직교 부반송파로 분할 전송함으로써 여러 명의 사용자에게 각각 다른 QoS(quality of service)를 제공할 수 있다. 따라서 사용자의 채널 상태에 따라 부반송파 및 전력을 적응적으로 할당하여 주파수 및 전력 효율을 높일 수 있다[1][2]. 이러한 장점으로 인해 OFDMA는 차세대 무선통신 후보 기술인 LTE-Advanced, WiMAX Evolution 등 국제 표준에서 핵심 기술로 적용되고 있다.

MIMO(multiple input multiple output)는 단말기에 다중 송신안테나를 사용해 공간 다이버시티(spatial diversity)를 얻는 기법으로 차세대 무선통신의 핵심 기술로 인정받고 있다. 그러나 다중 안테나를 단말기에 탑재하는 것은 크기, 무게, 하드웨어 복잡도 등에 의해 사용이 제한적이다. 이에 대한 대안으로 협동통신(cooperative communication)이 제안되었다. 협동통신은 단일 안테나를 사용하는 다중 사용자들이 그들의 안테나를 공유하여 가상의 MIMO 안테나 열을 구성하여 공간 다이버시티를 얻는다. 이를 통해 단말기의 전력소비

를 줄이며 통달거리를 늘린다. 이러한 장점으로 인해 협동통신은 차세대 무선통신의 핵심 기술로 급부상하고 있다[3][4].

최근에 협동통신과 OFDMA는 높은 통신 용량을 얻기 위해 서로 통합하여 연구되고 있는 추세이다[5]-[7]. 하향링크 OFDMA 중계 네트워크에서 수신단말기의 순시전력을 최대화하는 전력할당 기법[5][6]이 연구되었고 상향링크 OFDMA 중계 네트워크에서 부반송파 당 통신 용량을 제고하기 위한 부반송파 할당 기법이 연구되었다[7]. 이와 같이 대부분의 기존 연구에서는 OFDMA 중계 네트워크의 단일 셀 환경이 연구되었고 다중 셀 환경에서 성능열화의 주요 요인인 셀 간 간섭은 고려되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 다중 셀 환경의 OFDMA 중계 네트워크 환경을 고려한 새로운 자원할당 기법을 제시하려고 한다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 I 개의 셀로 구성된 하향링크 OFDMA 중계 네트워크를 고려한다. 셀 i 의 중심에는 기지국(BS_i)이 위치하고 있다고 가정한다. 또한 J_i 개의 중계단말기가 동심원 위에 대칭적으로 분포하고 있고 K_i 개의 수신단말기가 셀 안에 균일하게 분포하고 있다고 가정한다.

기지국과 중계단말기는 심볼 단위로 동기화(Synchronization)되고 있고 중계단말기는 송신과 수신을 동시에 할 수 없다고 가정한다.

따라서 기지국과 수신단말기사이에서의 통신은 두 타임 슬롯으로 이루어진다. 첫 번째 타임 슬롯에서는 기지국이 데이터를 중계단말기와 수신단말기에 전송한다. 두 번째 타임 슬롯에서는 중계단말기들이 수신된 신호를 복호한 후 전송한다.

본 논문에서 사용되는 표기법은 다음과 같다. $\rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n}$ 은 n 번째 부반송파 채널이 셀 i 내에 있는 j 번째 중계단말기($R_{j,i}$)와 셀 i 내에 있는 k 번째 수신단말기($U_{k,i}$)에 할당되었는지를 나타내는 부반송파 할당 변수이다 (즉, n 번째 부반송파 채널이 중계단말기 $R_{j,i}$ 와 수신단말기 $U_{k,i}$ 에 할당될 경우 $\rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} = 1$, 그렇지 않을 경우 $\rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} = 0$). $R_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n}$ 은 수신단말기 $U_{k,i}$ 와 중계단말기 $R_{j,i}$ 에 n 번째 부반송파가 할당될 때의 통신 용량이다. $P_{BS_i}^n$ 는 기지국 BS_i 의 n 번째 부반송파에 할당된 전력이고 $P_{R_{j,i}}^n$ 는 중계단말기 $R_{j,i}$ 의 n 번째 부반송파에 할당된 전력이다. 또한 \mathbf{P}_{BS_i} 는 $[P_{BS_i}^1, P_{BS_i}^2, \dots, P_{BS_i}^N]$ 이고 $\mathbf{P}_{R_{j,i}}$ 는 $[P_{R_{j,i}}^1, P_{R_{j,i}}^2, \dots, P_{R_{j,i}}^N]$ 라고 하자.

3. 부반송파 할당 기법

기지국과 중계단말기가 전력을 과도하게 사용하지 못하게 하고 수신단말기가 최소한의 통신 용량을 확보할 수 있도록 기지국, 중계단말기, 수신단말기에 각각 제한조건을 부가하였다. 기지국과 중계단말기에는 제한된 전력 P_{\max}^{BS} 와 P_{\max}^R 을 사용하도록 제한하였고 수신단말기에는 최소 통신 용량 R_{\min} 을 달성하도록 제한하였다. 이러한 제한조건이 있는 최적화 문제는 다음과 같이 표현할 수 있다 [8].

$$R^* = \max \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n=1}^N \rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} R_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} \quad (1)$$

$$\text{subject to: } \rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} \in \{0,1\}, \forall i,j,k,n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_i} \rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} \leq 1, \forall i,n \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_{BS_i} \mathbf{1}^T \leq P_{\max}^{BS}, \forall i \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_{R_{j,i}} \mathbf{1}^T \leq P_{\max}^R, \forall i,j \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_{BS_i} \geq 0, \forall i \quad (6)$$

$$\mathbf{P}_{R_{j,i}} \geq 0, \forall i,j \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_i} \rho_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} R_{R_{j,i}}^{U_{k,i},n} \geq R_{\min}, \forall i,k. \quad (8)$$

4. 모의실험

모의실험에서는 3개의 셀로 구성된 OFDMA 중계 네트워크를 가정한다. 각 셀에는 3개의 중계단말기 10명의 수신단말기가 있다고 가정한다. 셀의 반경은 1 km 이고 중계단말기는 반경 0.5 km의 동심원에 대칭적으로 분포한다. 부반송파의 수는 16개 경로 손실 지수는 4 라고 가정한다. 채널은 ITU pedestrian B 모델을 채택하였다 [9], [10]. 그

림에서 대조군으로 Greedy 기법과 Static 기법을 제시하였다. Greedy 기법은 부반송파가 제한조건 없이 중계단말기와 수신단말기에 할당되는 방식이다. Static기법은 OFDM-TDMA 방식으로 미리 지정된 타임 슬롯에 수신단말기와 중계단말기가 OFDM 심볼을 사용하는 방식이다.

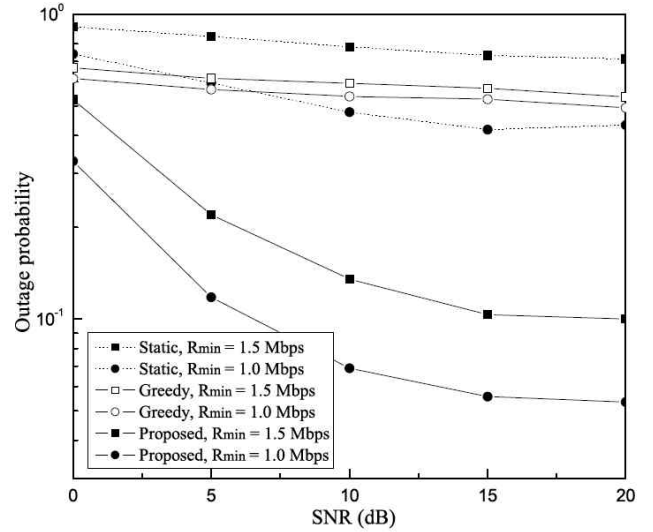


그림 1. 제안된 기법의 오수신 확률.

그림 1은 제안된 기법의 오수신 확률을 보여준다. 오수신 사건은 수신단말기가 최소 통신 용량을 달성하지 못했을 경우 발생한다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안된 기법이 SNR(Signal to noise ratio)이 높아질수록 Greedy와 Static 기법보다 오수신 확률이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 채널이 좋은 수신단말기에 모든 부반송파를 할당하는 Greedy 방식과 달리 제안된 할당 기법은 수신단말기들의 최소 통신 용량을 달성하도록 자원을 할당하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 다중 셀 환경의 OFDMA 기반 복호 후 재전송 중계 네트워크를 위한 새로운 부반송파 할당 기법에 대해서 제안하였다. 제안된 기법에서는 수신단말기가 최소통신용량을 달성하고 기지국과 중계단말기가 제한된 전력을 사용하도록 공평성 제한을 부가하였다. 컴퓨터 모의실험 결과 제안된 기법은 static, greedy 기법보다 낮은 오수신 확률을 얻는 것을 확인하였다.

6. 참고문헌

- [1] Y. Li and G. L. Stüber, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications*. Springer, 2006.
- [2] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letief, and R. D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 10, pp. 1747-1758, Oct. 1999.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp.1927-1938, Nov. 2003.
- [4] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative di-

versity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.

- [5] I. Hammerstrom and A. Wittneben, “On the optimal power allocation for nonregenerative OFDM relay links,” in *Proc. IEEE ICC 2006*, Istanbul, Turkey, June 2006, pp. 4463-4468.
- [6] R. Kwak and J. M. Cioffi, “The subchannel-allocation for OFDMA relaying downlink systems with total power constraint,” in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC) 2008-Fall*, Calgary, Canada, Sep. 2008.
- [7] G. Li and H. Liu, “Resource allocation for OFDMA relay networks with fairness constraints,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 11, pp. 2061-2069, Nov. 2006.
- [8] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [9] WiMAX Forum, *Mobile WiMAX-Part I: A technical overview and performance evaluation*, WiMAX Forum White Paper, June 2006.
- [10] W. Rhee and J. M. Cioffi, “Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation,” in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC) 2000-Spring*, Tokyo, Japan, May 2000, pp. 1085-1089.