

CoMP 기법이 적용된 다중 사용자 MIMO-OFDMA 시스템을 위한 자원 할당 기법

*최동욱 *이재홍 **이문식 **김일규

*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

**한국전자통신연구원

dongwook@snu.ac.kr

Resource allocation algorithm for multiuser MIMO-OFDMA systems with CoMP

*Dongwook Choi *Jae Hong Lee **Moon-Sik Lee **Ilgyu Kim

*School of Electrical Engineering and Computer Science, INMC

Seoul National University

**Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 CoMP 기법이 적용된 다중 사용자 MIMO-OFDMA 시스템을 위한 자원할당 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 eNode B가 RRE와 UE간의 채널 정보를 이용하여 전체 송신 전력 제한을 가지면서 전체 데이터 레이트가 최대가 되도록 자원을 할당한다. 자원할당 알고리즘을 통해 얻어진 결과를 이용하여 부반송파에 다수의 UE들이 할당된다. 할당된 UE들은 각각 MIMO 채널을 통해 다수의 공간경로를 갖고 각 공간경로에서는 할당된 전력에 따라 QPSK, 16QAM, 64QAM 중 하나를 선택하여 전송한다.

1. 서론

다양한 멀티미디어 서비스, 애플리케이션을 지원하는 스마트폰, 넷북 등의 수요가 증가함에 따라 차세대 무선통신에서는 기존 무선통신 시스템에 비해 고속·대용량의 데이터 전송이 요구된다. 이를 달성하기 위해서는 무선 채널에서 필연적으로 발생하는 페이딩 및 다중 사용자 간섭에 의한 성능 열화의 극복을 위한 신뢰성 향상 기술과 제한된 대역폭에서 대용량 데이터 전송을 위한 고 주파수 효율의 송수신 기술이 요구된다. 이와 같이 차세대 무선통신이 요구하는 낮은 전송 오율과 높은 데이터 전송률 달성을 위해 다중송수신안테나(MIMO: multiple-input multiple-output) 기술과 직교주파수분할다중접속(OFDMA: orthogonal frequency division multiple access) 기술이 결합된 MIMO-OFDMA가 각광을 받고 있다 [1]-[5].

MIMO-OFDMA는 공간 및 주파수 영역에서 발생하는 채널을 다수의 병렬 부채널로 해석할 수 있게 해줌으로써 AMC(adaptive modulation and coding) 기술, 다중 안테나 기술, 적응적 자원 할당 기술 등을 이용하여 높은 주파수 효율을 얻을 수 있다. 특히 적응적 자원 할당 기술은 한정된 자원을 채널 이득이 우수한 사용자에게 우선 할당함으로써 다중 사용자 다이버시티 이득(multiuser diversity gain)을 얻는 장점이 있어 다양한 연구가 진행되고 있다. 현재 적응적 자원 할당 기술의 연구는 고정된 시스템 전송 용량에 대해 전체 송신 전력을 최소화하는 기술과 고정된 전체 송신 전력에 대해 시스템 전송 용량을

최대화하는 기술로 구분되며, 다양한 사용자 QoS(quality of service) 및 사용자 간의 공정성이 고려된 시스템도 연구되고 있다.

그러나 셀 경계에 있는 사용자들은 주파수 재사용 지수(frequency reuse factor)가 1인 OFDM 셀룰러 환경에서는 큰 셀 간 간섭을 받는다. 셀 간 간섭은 시스템 성능에 큰 저하를 야기하고 이를 극복하기 위해 신호의 전력을 증가시키면 다른 셀에 더 큰 간섭을 불러일으키는 특성을 갖는다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 주로 CoMP(coordinated multipoint) 송수신 기술로 불리는 다중 셀 MIMO 기술이 제안되었다 [6]. CoMP는 상향링크, 하향링크에서 셀 평균 처리율과 셀 경계 사용자 처리율을 증가시키기 위해 차세대 이동통신의 핵심 기술들 중 하나로 채택되었다. 비록 CoMP가 시스템 복잡도를 증가시키기는 하지만 전송 용량과 통달거리 관점에서 상당한 이득을 얻을 수 있다.

2. 시스템 모델

본 논문에서 제안된 시스템은 그림 1과 같이 서로 협력하는 I 개의 RRE들과 J 개의 UE들로 구성된다. 제안된 시스템은 M 개의 부반송파로 이루어진 OFDMA 시스템을 가정한다. 부반송파 m 에 할당된 UE들의 집합은 다음과 같이 표현한다.

$$K_m = \{s_1, s_2, \dots, s_{|K_m|}\} \quad (1)$$

$$N_r^m = \sum_{k \in K_m} r_k \quad (3)$$

여기에서 $|\cdot|$ 은 카디널리티(cardinality)를 의미한다.

RRE i 는 t_i 개의 송신안테나를 갖고 UE k 는 r_k 개의 수신안테나를 갖는다고 가정한다. 서로 협력하는 I 개의 RRE들의 송신 안테나의 총합은 다음과 같다.

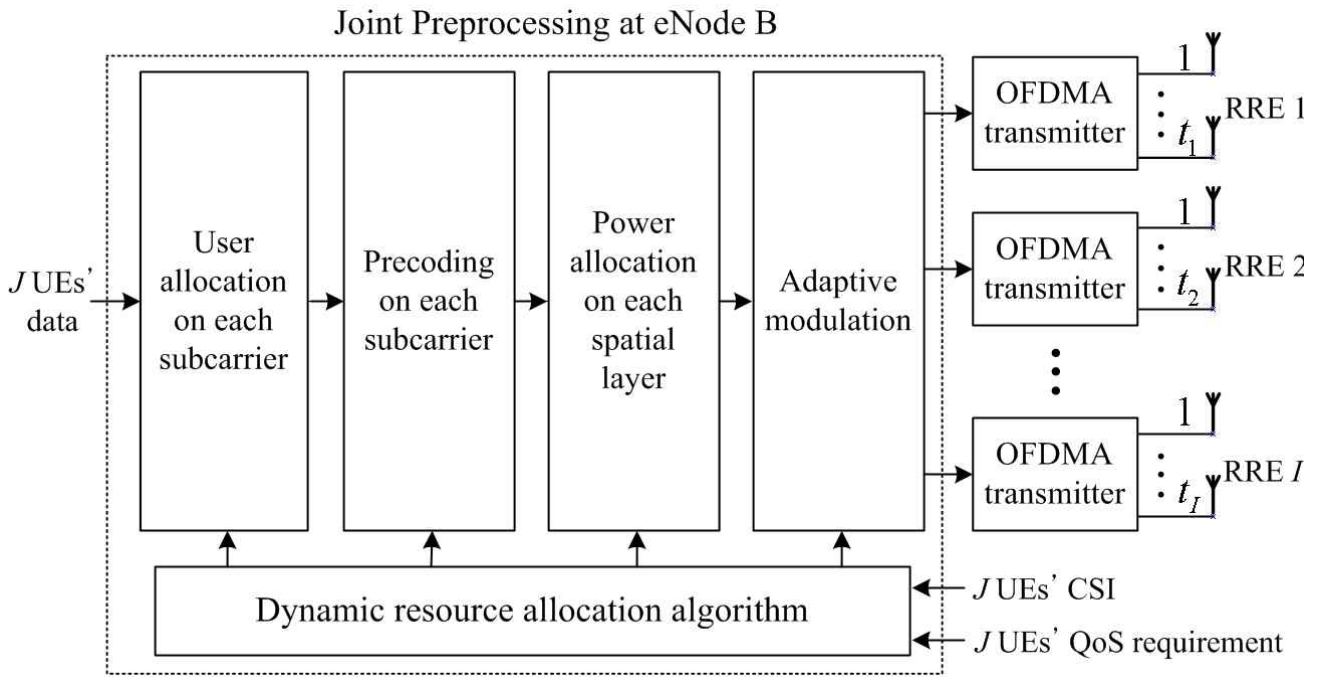
$$N_t = \sum_{i=1}^I t_i \quad (2)$$

부반송파 m 에 할당된 UE들의 수신안테나 총합은 다음과 같다.

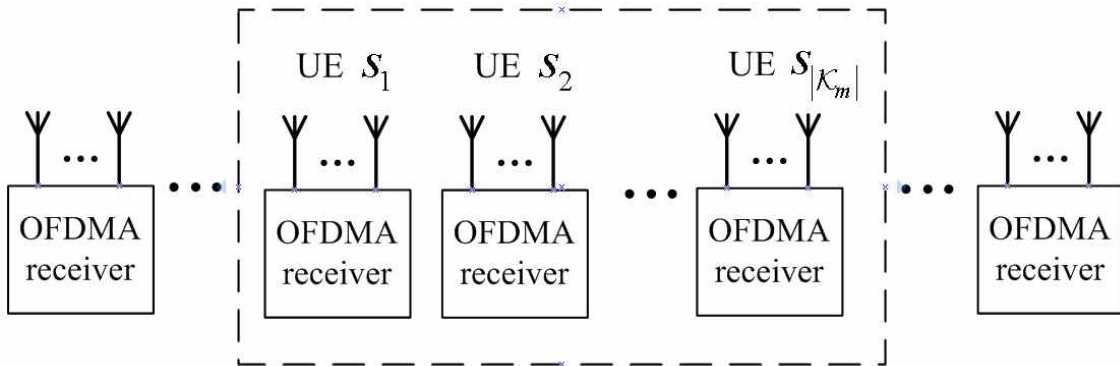
따라서 제한된 시스템은 N_t 개의 송신안테나와 N_r^m 개의 수신안테나로 이루어진 가상의 MIMO 시스템으로 고려할 수 있다. 이때 모든 m 에 대하여 $N_t \geq N_r^m$ 이 되도록 K_m 을 선택한다.

3. 자원할당 알고리즘

알고리즘은 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 모든 경우의 수를 고려하여 가장 큰 심볼 당 비트 수의 전체 합을 갖는 경우를 찾는 알고리즘이다. 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 모든 경우의 수는 2^M 가지가 존재한다. 각각의 경우를 순차적으로 비교하여 가장 큰 데



(a) 송신기 블록도



(b) 수신기 블록도

그림 1. 하향링크 CoMP 기반 다중 사용자 MIMO-OFDMA 시스템

이더 레이트의 총합을 갖는 경우를 찾는다.

[알고리즘]

1단계: 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 2^M 가지 방법 중 한가지 방법으로 각각의 부반송파에 UE들을 할당.

2단계: 부반송파 집합 $M = \{1, 2, \dots, M\}$, 부반송파 m 에 할당된 UE들의 집합 $K_m = \{s_1, s_2, \dots, s_{|K_m|}\}$, 반송파 m 에서 UE k 에 할당된 공간 경로의 집합 $L_{m,k} = \{1, 2, \dots, L_{m,k}\}$ 을 모든 m, k 에 대하여 초기화.

모든 m, k, l 에 대하여 부반송파 m 에서 UE k 의 공간 경로 l 의 심볼 당 비트 수와 전력을 각각 다음과 같이 $b'_{m,k,l} = 0, p_{m,k,l} = 0$ 초기화.

3단계: 하기 수학적식 (4)를 만족하는 부반송파 m' , UE k' , 공간경로 l' 을 선택

$$(m', k', l')$$

$$= \arg \min_{m \in M, k \in K_m, l \in L_{m,k}} \{g(b'_{m,k,l} + 2, \Sigma'_{m,k,l}, \text{BER}_{m,k,l} = \text{BER}_{m,k,l}^{\text{target}}) - g(b'_{m,k,l}, \Sigma'_{m,k,l}, \text{BER}_{m,k,l} = \text{BER}_{m,k,l}^{\text{target}})\} \quad (4)$$

여기에서 $\text{BER}_{m,k,l}^{\text{target}}$ 은 부반송파 m 에서 UE k 의 공간 경로 l 에 대한 목표 비트오율이고,

$$g(b'_{m,k,l}, \Sigma'_{m,k,l}, \text{BER}_{m,k,l}) = \begin{cases} 0, & b'_{m,k,l} = 0, \\ -7 \frac{\sigma^2 \ln(5 \text{BER}_{m,k,l})}{1.5 \Sigma'^2_{m,k,l}}, & b'_{m,k,l} = 2, \\ -15 \frac{\sigma^2 \ln(5 \text{BER}_{m,k,l})}{1.5 \Sigma'^2_{m,k,l}}, & b'_{m,k,l} = 4, \\ -63 \frac{\sigma^2 \ln(5 \text{BER}_{m,k,l})}{1.5 \Sigma'^2_{m,k,l}}, & b'_{m,k,l} = 6. \end{cases} \quad (5)$$

여기에서 σ^2 은 공간경로 잡음의 분산이며, $\text{BER}_{m,k,l}$ 은 부반송파 m 에서 UE k 의 공간 경로 l 에 대한 비트오율이며, $\Sigma'_{m,k,l}$ 은 부반송파 m 에서 UE k 의 공간 경로 l 채널의 고유모드(eigenmode)이다.

선택된 부반송파 m' , UE k' , 공간경로 l' 의 송신 전력을 계산하면 다음과 같다.

$$p_{m',k',l'} = g(b'_{m',k',l'} + 2, \Sigma'_{m',k',l'}, \text{BER}_{m',k',l'} = \text{BER}_{m',k',l'}^{\text{target}}) \quad (4)$$

만약 $\sum_{m=1}^M \sum_{k \in K_m} \sum_{l=1}^{L_{m,k}} p_{m,k,l} \leq P_{\text{tot}}$ 이면,

$b'_{m',k',l'} = b'_{m',k',l'} + 2$ 업데이트. 이때 $b'_{m',k',l'} = 6$ 이면 부반송파 m' , UE k' , 공간경로 l' 이 64QAM을 사용

한다는 의미이므로 더 이상 추가적인 비트 할당이 없도록 $L_{m',k'} = L_{m',k'} - \{l'\}$. 모든 m, k 에 대하여 $L_{m,k} = \emptyset$ 이면 4단계로 이동. 그렇지 않으면 3단계 반복.

만약 $\sum_{m=1}^M \sum_{k \in K_m} \sum_{l=1}^{L_{m,k}} p_{m,k,l} > P_{\text{tot}}$ 이면,

$p_{m',k',l'} = g(b'_{m',k',l'}, \Sigma'_{m',k',l'}, \text{BER}_{m',k',l'} = \text{BER}_{m',k',l'}^{\text{target}})$ 와 같이 송신 전력 계산 후 4단계로 이동.

4단계: 데이터 레이트의 총합을 저장.

만약 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 2^M 가지 방법을 모두 사용하였다면 5단계로 이동,

그렇지 않다면 2^M 가지 방법 중 사용하지 않는 방법으로 각각의 부반송파에 UE들을 할당한 후 2단계로 이동.

5단계: 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 2^M 가지 방법 중 가장 큰 데이터 레이트의 총합을 갖는 경우를 선택.

4. 모의실험

모의실험에서는 RRE는 3개, UE는 부반송파 당 3개 이하가 되도록 선택하였다. 다중 사용자 다이버시티를 확인하기 위해서 전체 사용자의 수는 3명에서 6명까지 증가시켜 성능 변화를 확인하였다. 대조군으로 사용된 랜덤 선택(random selection) 기법은 각 부반송파에 사용자를 랜덤하게 할당하는 방법이다.

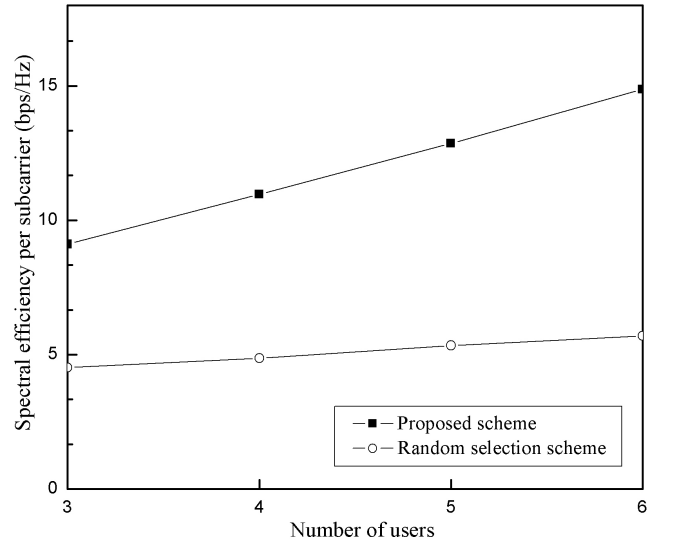


그림 2. 제안된 기법의 부반송파 당 주파수 효율.

그림 2은 제안된 기법의 부반송파 당 주파수 효율을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안된 기법은 다중 사용자 다이버시티를 얻어 UE의 수가 증가할수록 부반송파 당 주파수 효율이 증가함을 알 수 있다. 제안된 기법은 각각의 부반송파에 UE들을 할당하는 모든 경우의 수를 확인하므로 계산 복잡도가 높으나 성능이 높음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 CoMP 기법이 적용된 다중 사용자 MIMO-OFDMA 시스템을 위한 자원할당 알고리즘에 대해서 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 eNode B가 RRE와 UE간의 채널 정보를 이용하여 전체 송신 전력 제한을 가지면서 전체 데이터 레이트가 최대가 되도록 자원을 할당하였다. 컴퓨터 모의실험 결과 제안된 기법은 랜덤 선택 기법보다 높은 부반송파당 주파수 효율을 얻는 것을 확인하였다.

6. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001897, 3GPP LTE 단말 모델 칩셋 개발]

7. 참고문헌

- [1] E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *Eur. Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585-595, Nov. 1999.
- [2] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in an fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, 1998.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [4] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999.
- [5] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 44, no. 2, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [6] M. Sawahashi, Y. Kishiyama, A. Morimoto, D. Nishikawa, and M. Tanno, "Coordinated multipoint transmission/reception techniques for LTE-Advanced," *Wireless Commun.*, vol. 17, no. 3, pp. 26-34, June 2010.