

# MMSE-SIC 기반 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서의 효율적 자원 할당 기법

\*이관형 \*\*이재홍

\*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

\*leeph@snu.ac.kr

## Efficient resource allocation for the multi-user MIMO-OFDM system with MMSE-SIC receiver

\*Panhyung Lee \*\*Jae Hong Lee

\*Department of Electrical Engineering and INMC, Seoul National University

### 요약

본 논문에서는 상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 위한 새로운 자원 할당 기법(resource allocation) 제안한다. 제안된 자원 할당 기법에서는 각 사용자별 전송전력 제한을 만족하면서 주파수 효율이(spectral efficiency) 최대화 되도록 사용자들에게 부반송파와(subcarrier) 전력을(power) 할당한다. 모의 실험 결과에서는 제안된 기법이 기존 기법에 비해 주파수 효율이 증가됨을 보이고 있다.

### 1. 서론

무선 통신에서의 다중 안테나(MIMO: multiple input multiple output) 시스템은 단일 안테나 시스템에 비해 높은 채널용량을(capacity) 달성한다 [1]. 채널용량을 증가시키기 위해 다중 안테나 시스템은 공간 다중화를 통해 독립적인 데이터 스트림을 전송한다 [2].

다중 사용자 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 시스템은 사용자 채널 상태를 고려한 적응적 자원 할당을 통해 높은 데이터 전송률을 달성한다 [3].

다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서의 최적 자원 할당은 높은 복잡도를 가지고 있다. [4]에서는 사용자별 최소 데이터 전송률을 만족하면서 전체 전송 전력을 최소화하도록 하는 부최적 자원 할당이 연구되었다. [5]에서는 사용자를 집산화하는 기법을 통해 낮은 복잡도를 가지는 자원 할당이 제안되었다.

기존의 대부분 연구는 하향링크 시스템에서의 전체 전송 전력 제한을 만족하는 적응적 자원 할당을 고려하고 있다. 하지만 상향링크 시스템에서는 사용자별 전송전력 제한을 고려한 적응적 자원 할당이 필요하다 [6]. 본 논문에서는 사용자별 전송전력 제한을 만족하는 최적화 문제를 도출하고, 새로운 자원 할당 알고리즘을 제안한다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0001274)

### 2. 시스템 모델

상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서  $M$ 개의 수신 안테나를 가지고 있는 하나의 기지국과 하나의 송신 안테나를 가지고 있는  $K$ 명의 사용자를 고려한다. 사용자의 수는 기지국의 수신안테나 수보다 많으며( $K > M$ ), 부반송파의(subcarrier) 수는  $N$ 개로 가정한다. 무선 채널은 주파수 선택적이고(frequency selective) 신호간간섭 및 부반송파간간섭은 없다고 가정한다.

각 사용자들은 다음 식과 같은 사용자별 전송전력 제한을 가진다고 가정한다.

$$\sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

여기서  $p_{k,n}$ 는 사용자  $k$ 의 부반송파  $n$ 에서의 전송전력을 나타낸다.

집합  $U_n$ 은 부반송파  $n$ 을 통해 신호를 전송하는 사용자의 집합을 나타내며  $U_n$ 의 원소의 수는 기지국의 안테나 수보다 작거나 같다고 가정한다.

$\mathbf{x}_n(U_n) = [x_{1,n} \ x_{2,n} \ \dots \ x_{|U_n|,n}]^T$ 은  $|U_n|$ 명의 사용자가 부반송파  $n$ 을 통해 전송하는 신호이고 기지국에서 부반송파  $n$ 을 통해 수신되는 신호는 다음 식으로 주어진다.

$$\mathbf{y}_n(U_n) = \mathbf{H}_n(U_n)\mathbf{x}_n(U_n) + \mathbf{z}_n, \quad n = 1, \dots, N \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{H}_n(U_n)$ 은 다중 사용자 MIMO 채널을 나타내고  $\mathbf{z}_n$ 은 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$ 인 백색가우시안 잡음이다.

기지국에서는 부반송파별로 독립적인 MMSE-SIC 수신기를 통해 각 사용자들로부터 전송된 신호를 검출하며 이를 위해 기지국은 채널 정보를 완전히 알고 있다고 가정한다 [2].

### 3. 상향링크 다중사용자 MIMO-OFDM 자원 할당

상향링크 다중사용자 MIMO-OFDM 시스템에서의 최적화 문제는 다음 식과 같이 주어진다.

$$R^* = \max \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{k,n} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K |U_n| \leq M \quad (4a)$$

$$\sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P_k, \quad \text{for all } k \quad (4b)$$

$$p_{k,n} \geq 0, \quad \text{for all } k, n \quad (4c)$$

제안된 자원할당 기법은 (4a)-(4c)의 조건을 만족하면서 (3)의 목적함수를 최대화 한다. 제안된 기법은 동일전송전력을 가정한 부반송파 할당 단계와 부반송파할당 후 전송전력을 할당하는 단계로 나뉘어져 있다. 부반송파는 반복을 (iteration) 통해 할당하고,  $l$  번째 반복에서 부반송파  $n^*$  은 다음을 만족하는 사용자  $k^*$  에게 할당된다.

$$(k^*, n^*) = \arg \max_{k,n} (r_{k,n}^l) \quad (5a)$$

$$\sum_{n=1}^N r_{k^*,n}^{l-1} < \sum_{n=1}^N r_{k^*,n}^l \quad (5b)$$

여기서  $r_{k,n}^l$  는  $l$  번째 반복에서의 데이터 전송률이다. 그 후 각 부반송파에서의 전송전력은 Water-filling 할당을(WF) 통해 구한다.

### 4. 모의실험결과

본 절에서는 제안된 자원 할당 알고리즘에 대한 주파수 효율 성능을 모의실험을 통해 알아본다. 부반송파의 수는 128개로 가정하고 사용자별 평균 채널 이득은 0.1에서 1사이의 임의의 값을 가지며 모든 사용자의 전송전력 제한은 동일하다고 가정한다. 그림에서는 Round robin(RR) 기법, Max channel(MC) 기법, Max rate(MR) 기법을 대조군으로 사용하였다. RR 기법은 부반송파가 모든 사용자에게 균등하게 할당되고, MC 기법은 각 부반송파가 최대채널이득을 가지는 사용자에게 할당되며, MR 기법은 각 부반송파가 가장 큰 전송률을 달성하는 사용자에게 할당되는 기법이다. MR-WF 기법은 부반송파를 할당할 때 마다 전송전력을 계산하는 기법으로 제안된 기법에 비해 복잡도가 큰 단점이 있다.

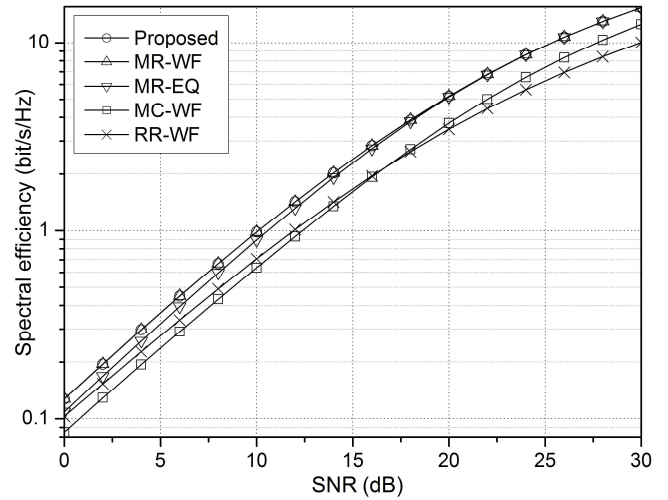


그림 1. 전송전력대잡음비에 따른 데이터 전송률 ( $K = 30, M = 4$ )

### 5. 결론

본 논문에서는 상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서 새로운 자원 할당 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 기존 자원 할당 기법보다 더 높은 주파수 효율을 달성함을 보여 제안된 기법의 우수성을 확인하였다.

### 6. 참고 문헌

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.
- [2] R. W. Heath Jr. and D. J. Love, "Multimode antenna selection for spatial multiplexing systems with linear receivers," *IEEE Signal Process.*, vol. 53, no. 8, pp. 3042-3056, Aug. 2005.
- [3] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, 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.
- [4] J. M. Choi, J. S. Kwak, H. S. Kim, and J. H. Lee, "Adaptive subcarrier, bit, and power allocation algorithm for MIMO-OFDM system," in *Proc. VTC 2004-Spring*, Milan, Italy, May 2004.
- [5] N. U. Hassan and M. Assaad, "Low complexity margin adaptive resource allocation in downlink MIMO-OFDMA system," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3365-3371, July 2009.
- [6] L. Gao and S. Cui, "Efficient subcarrier, power, and rate allocation with fairness consideration for OFDMA uplink," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 1507-1511, May 2008.