

다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 위한 자원 할당 기법

*이관형 **이재홍

*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

*leeph@snu.ac.kr

Resource allocation for the multi-user MIMO-OFDM system

*Panhyung Lee **Jae Hong Lee

*Department of Electrical Engineering and INMC, Seoul National University

요약

본 논문에서는 주파수 선택적 페이딩(frequency selective fading) 채널에서 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 위한 자원 할당(resource allocation)을 연구한다. 다중 사용자의 신호를 검출하기 위해 기지국은 MMSE-SIC 수신기를 사용하고 이러한 조건에서 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 위한 최적화 문제를 도출하며 이를 위한 자원 할당 기법을 제안한다.

평균 채널 이득이 사용자마다 다른 환경에서의 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 자원 할당 기법의 성능을 알아본다. 모의 실험 결과 제안된 자원 할당 기법은 기존의 자원 할당 기법보다 더 높은 데이터 전송률(data rate)을 달성함을 보이고 있다.

1. 서론

무선 통신에서 다중 안테나(MIMO: multiple input multiple output) 시스템은 높은 데이터 전송률과 향상된 신뢰도를 달성할 수 있다 [1], [2]. 다중 안테나 시스템에서 공간 다중화(spatial multiplexing)기술을 사용하면 다수의 송신기가 다수의 수신기로 독립적인 데이터 스트림을 전송할 수 있으므로 데이터 전송률을 높일 수 있다.

직교주파수분할다중화(OFDM: orthogonal frequency division multiplexing)는 심볼간 간섭(ISI: inter symbol interference) 및 부반송파간 간섭(ICI: inter carrier interference)을 유발하는 주파수 선택적 페이딩에 강인한 장점이 있다 [3]. OFDM 시스템에서는 고속의 직렬 데이터를 저속의 병렬 데이터로 나누어 부반송파를 통해 각각 전송함으로써 간섭에 의한 성능 열화를 줄일 수 있다.

다중 사용자(multi-user) 시스템은 자원 할당 (resource allocation)을 통해 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있다 [4], [5]. 부반송파 및 전송전력 등의 자원을 무선 채널 상태에 따라 적응적으로 할당함으로써 주파수 효율(spectral efficiency)을 높일 수 있다 [6].

본 논문에서는 상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 위한 최적화 문제를 도출하고 이를 위한 자원 할당 기법을 제안한다. 그리고 컴퓨터 모의실험을 통해 데이터 전송률 측면에서 기존 기법과의 성능을 비교한다.

2. 시스템 모델

그림 1과 같이 K 명의 사용자는 하나의 송신 안테나를 가지고 있고 그림 2와 같이 기지국은 M 개의 수신 안테나를 가지고 있는 상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템을 고려한다. 사용자의 수는 기지국의 수신안테나 수보다 많다고 가정한다 ($K > M$). 하나의 OFDM 프레임(frame)은 L 개의 OFDM 심볼(symbol)로 구성되어 있고 주파수 및 송신 전력 할당은 각 프레임마다 이루어진다고 가정한다. 하나의 OFDM 심볼은 N 개의 부반송파(subcarrier)로 이루어져 있고 각 사용자들의 데이터는 각각의 부반송파를 통해 전송된다고 가정한다.

무선 채널은 주파수 선택적 페이딩(frequency selective)을 겪고 각 부반송파에서의 채널 이득은 하나의 프레임 동안 일정하지만 프레임 단위로 변화함을 고려한다. 순환 보호 구간(cyclic guard interval)의 길이가 무선 채널의 최대 전송 지연(maximum delay spread) 보다 크다고 가정하여 심볼간 간섭(ISI) 및 부반송파간(ICI) 간섭은 없다고 가정한다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0083495)

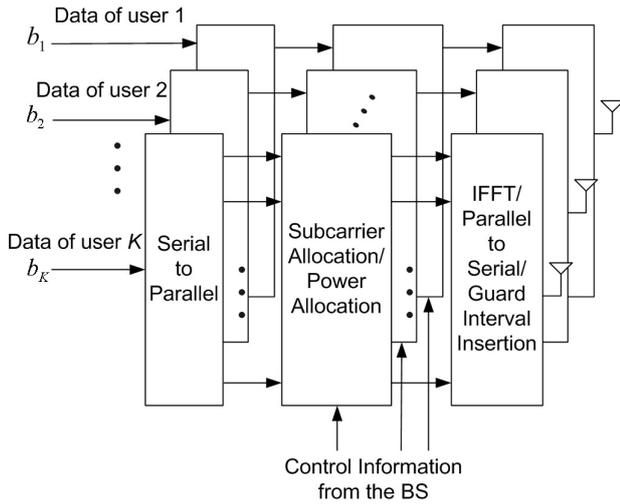


그림 1. 상향링크 MIMO-OFDM에서의 송신기(사용자)

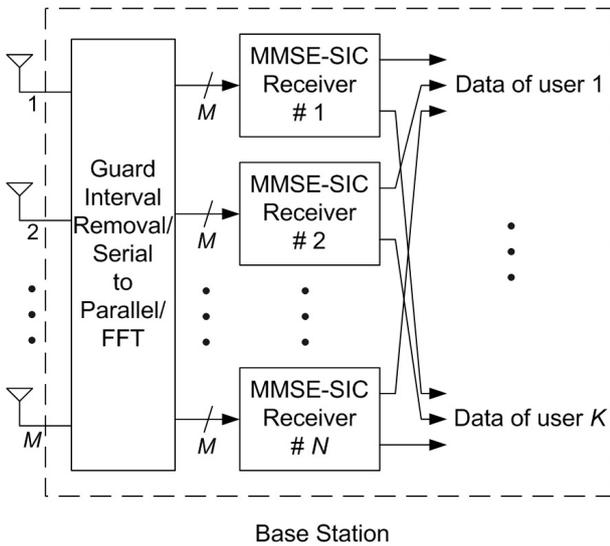


그림 2. 상향링크 MIMO-OFDM에서의 수신기(기지국)

기지국에서는 채널 정보를 완전히 알고 있으며 하나의 부반송파에서는 기지국의 수신안테나 수보다 적은 사용자가 동시에 신호를 전송한다고 가정한다. 기지국에서는 다중 사용자로부터 전송된 신호를 검출하기 위해 각 부반송파 별로 MMSE-SIC 수신기를 사용한다고 가정한다 [6], [7].

3. 상향링크 다중사용자 MIMO-OFDM 자원 할당

기지국에서 n 번째 부반송파를 통해 수신되는 신호는 다음 식으로 주어진다.

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

여기서 \mathbf{x}_n 은 다중 사용자 전송 신호를 나타내고 \mathbf{H}_n 은 다중 사용자 MIMO 채널을 나타내고 \mathbf{z}_n 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 백색가우시안 잡음을 나타낸다.

모든 사용자들은 다음 식과 같이 사용자별 최대 전송전력

제한을 가지고 있다.

$$\sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

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

사용자 k 의 부반송파 n 에서의 전송률은 다음 식으로 주어진다 [8].

$$r_{k,n} = \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma} \right) \quad (3)$$

여기서 $\gamma_{k,n}$ 은 사용자 k 의 부반송파 n 에서의 신호대간섭및 잡음비(SINR: Signal to interference and noise ratio)를 나타내고 $\Gamma = -\ln(5 \text{ BER})/1.5$ 는 요구되는 BER에 의해 주어지는 SNR Gap이다.

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

$$R^* = \max \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_{k,n} r_{k,n} \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_{k,n} \leq M \quad (5a)$$

$$\sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P_k, \quad \text{for all } k \quad (5b)$$

$$p_{k,n} \geq 0, \quad \text{for all } k, n \quad (5c)$$

여기서 $c_{k,n}$ 은 사용자 k 가 부반송파 n 을 통해 신호를 전송하면 1 아니면 0의 값을 가지며 부반송파 할당여부를 나타내는 지표이다.

제안된 자원할당 기법은 (5a)-(5c)의 조건을 만족하면서 (4)의 목적함수를 최대화 하도록 각 부반송파별 신호를 전송할 사용자들을 선택한다. 각 부반송파에서의 전송전력은 Water-filling 전력 할당 및 동등전력(Equal-power) 할당을 통해 구한다.

4. 모의실험결과

본 절에서는 제안된 상향링크 다중사용자 MIMO-OFDM 시스템에서의 자원 할당 알고리즘에 대한 데이터 전송률(data rate) 성능을 모의실험을 통해 알아본다. 부반송파의 수는 128개로 가정하고 요구되는 BER은 10^{-3} 으로 가정하였다. 사용자의 평균 채널 이득은 0.1에서 1사이의 임의의 값을 가지며 모든 사용자의 최대 전송전력 제한은 동일한 값을 가진다고 가정하였다 $P_1 = P_2 = \dots = P_K = P$. 그림에서 대조군으로 Round robin 기법과 Max channel 기법을 제시하였다. Round robin 기법은 부반송파가 모든 사용자에게 균등하게 할당되는 기법이다. Max channel 기법은 각 부반송파마다 최대채널이득을 가지는 사용자에게 부반송파를 할당

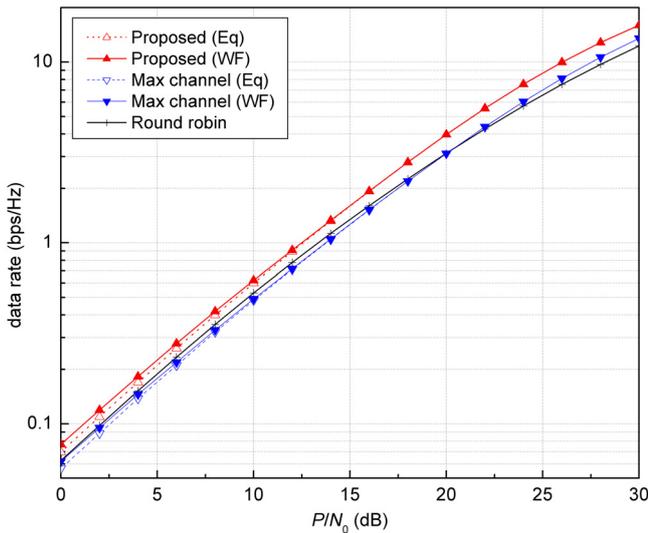


그림 3. 전송전력대잡음비에 따른 데이터 전송률
($K = 20$, $M = 6$)

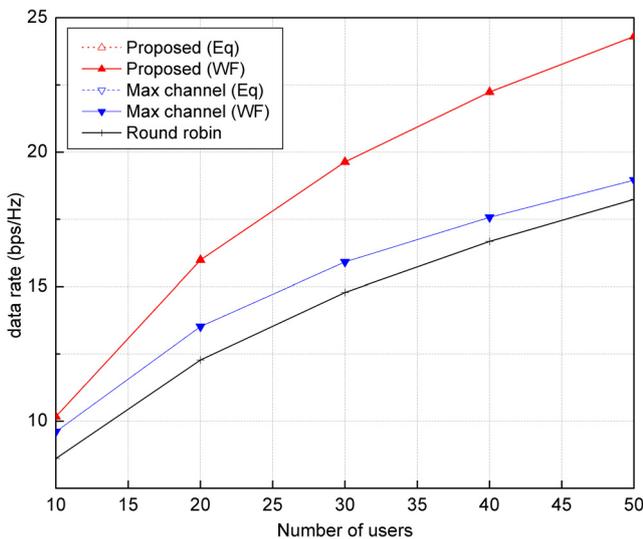


그림 4. 사용자수에 따른 데이터 전송률
($P/N_0 = 30$ dB, $M = 6$)

하는 기법이다 [9], [10].

5. 결론

본 논문에서는 상향링크 다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서 새로운 자원 할당 기법을 제안하였다. 사용자 별 전송전력 제한이 있는 조건에서 전송률을 최대화 하도록 부반송파를 할당하고 할당된 부반송파 별로 전송전력을 Water-filling 전력 할당 및 동등전력 할당을 통해 구한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 기존 자원 할당 기법보다 더 높은 데이터 전송률을 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] E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *Eur. Trans. Telecommun.*, vol. 10, pp. 585-598, Nov. 1999.
- [3] R. V. Nee and R. Pradas, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [4] 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.
- [5] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Larois, "Opportunistic beamforming using dumb antennas," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 48, no. 6, pp. 1277-1294, June 2002.
- [6] R. W. Heath, S. Sandhu, and A. J. Paulraj, "Antenna selection for spatial multiplexing systems with linear receivers," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 142-144, Apr. 2001.
- [7] P. Viswanath and D. N. C. Tse, "Sum capacity of the vector gaussian broadcast channel and uplink-downlink duality," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no. 8, pp. 1912-1921, Aug. 2003.
- [8] A. J. Goldsmith and S.-G. Chua, "Variable-rate variable-power MQAM for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 1218-1230, Oct. 1997.
- [9] J. Jang and K. B. Lee, "Transmit power adaptation for multiuser OFDM systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 21, no. 2, pp. 171-178, Feb. 2003.
- [10] K. Kim, Y. Han, and S.-L. Kim, "Joint subcarrier and power allocation in uplink OFDMA systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no. 6, pp. 526-528, June 2005.