

논문 2014-51-10-6

# 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서 단말 간 간섭 제어를 위한 하향 링크 전력 할당 기법

( Downlink Power Allocation Technique for Inter-User Interference Management in Multi-User Multiple-Input Multiple-Output System )

권 구 형\*, 나 현 중\*, 김 진 민\*\*, 이 충 용\*

( Kuyung Kwon, Hyunjong Na, Jin Min Kim, and Chungyong Lee<sup>©</sup> )

## 요 약

전이중 무선 통신 시스템은 반이중 통신 시스템에 비해 향상된 대역폭 효율을 얻을 수 있다. 전이중 방식의 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서는 단말 간 간섭에 의한 성능 열화 문제가 발생한다. 본 논문에서는 단말 간 간섭 채널의 통계적 정보를 이용하여 시스템의 대역폭 효율을 최대화하는 하향 링크 전력 할당 기법을 제안한다.

## Abstract

In full-duplex wireless communication, spectral efficiency can be improved over half-duplex communication system. In this paper, we consider full-duplex multiple-user (MU) multiple-input multiple-output (MIMO) system in which inter-user interference may degrade the performance of the full-duplex system. We propose a downlink power allocation technique at base station that can maximize the spectral efficiency only with the statistical information about the inter-user interference channel.

**Keywords :** full-duplex, power allocation

## I. 서 론

전이중 (full-duplex) 통신은 같은 주파수 대역을 이용하여 동시에 송, 수신을 수행하는 통신 기법이다. 전이중 통신 방식은 송, 수신 중 하나로만 동작하는 반이중 (half-duplex) 통신에 비해 높은 대역폭 효율

(spectral efficiency)을 얻을 수 있다<sup>[1~2]</sup>. 그러나 전이중 통신에서는 자신의 송신 신호가 수신 신호에 간섭으로 작용하는 자기 간섭 (self-interference) 문제가 발생한다. 자기 간섭 문제는 전이중 통신 시스템에서 기대되는 반이중 통신 대비 성능 향상 폭을 크게 감소시키는 요인으로 작용한다. 따라서 이를 제거, 완화하기 위한 다방면의 연구가 진행되고 있으며, 물리적 차폐 또는 RF단에서의 제거 기법 등을 이용하면 간섭 신호의 세기를 잡음 신호의 크기까지 줄일 수 있다<sup>[3~6]</sup>.

전이중 통신 기반의 다중 사용자 (Multi-User: MU) 다중 안테나 (Multiple-Input Multiple-Output: MIMO) 시스템에서는 사용자 단말의 상향 링크 (uplink) 신호가 다른 사용자 단말의 하향 링크 (downlink) 신호에 간섭으로 작용하는 문제가 발생한다. 이러한 단말 간 간섭

\* 정회원, 연세대학교 전기전자공학과  
(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

\*\* 정회원, (주) LG전자  
(LG Electronics Advanced Communication Technology R&D Lab.)

© Corresponding Author(E-mail: cylee@yonsei.ac.kr)

접수일자: 2014년08월10일, 수정일자: 2014년09월17일  
게재확정: 2014년10월01일

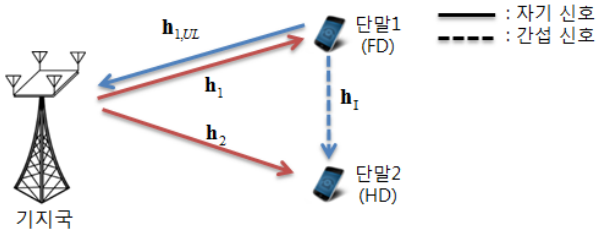


그림 1. 전이중 방식의 다중 사용자 다중 안테나 시스템

Fig. 1. Full-duplex MU-MIMO system.

을 제어하기 위해 단말에서 간섭 제거 (Zero-Forcing: ZF) 전처리기와 최소 자승 에러 (Minimum Mean Squared Error: MMSE) 전처리기 등의 선형 필터를 사용할 수 있다. 그러나 선형 필터를 이용하는 기법은 간섭 채널에 대한 정보가 요구되며 자유도 (Degree Of Freedom: DoF) 손실의 부담이 따른다. 따라서 본 논문에서는 간섭 채널의 통계적인 정보만을 이용하여, 기지국에서의 효율적인 하향 링크 전력 할당을 통해 시스템의 대역폭 효율 (spectral efficiency)을 최대화하는 기법을 제안한다.

## II. 본 론

### 1. 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 기지국과 두 사용자 단말로 이루어진 다중 사용자 시스템을 고려한다. 기지국과 단말1은 전이중 방식으로 동작하며, 단말2는 반이중 방식으로 기지국의 하향 링크 신호를 수신한다. 시스템 모델은 그림1과 같이 도식적으로 나타낼 수 있다. 단말1의 상향 링크 송신 신호는 단말2의 하향 링크 수신 신호에 간섭으로 작용한다. 기지국과 단말1, 그리고 단말2의 수신 신호 모델은 식 (1~3)과 같다.

$$\mathbf{y}_{BS} = \sqrt{P_u} \mathbf{h}_{1,UL} x_1 + \mathbf{n}_b \quad (1)$$

$$y_1 = \sqrt{P_1} \mathbf{h}_1 s_1 + n_1 \quad (2)$$

$$y_2 = \sqrt{P_2} \mathbf{h}_2 s_2 + \sqrt{P_u} \mathbf{h}_1 x_1 + n_2 \quad (3)$$

$\mathbf{h}_1$ 과  $\mathbf{h}_2$ 는 각각 단말1과 단말2의 하향 링크 채널 벡터이며,  $\mathbf{h}_{1,UL}$ 는 단말1의 상향 링크 채널 벡터이다.  $\mathbf{h}_1$

는 단말1에서 단말2로의 간섭 채널을 나타내는 벡터이다.  $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2$ 은 각각 단말1, 단말2를 위한 기지국의 송신 신호이며,  $x_1$ 은 단말1의 송신 신호이다. 모든 채널들은 Rayleigh 페이딩 채널이며, 기지국과 단말의 수신단에서는 평균 0, 분산  $N_0$ 의 Gaussian 잡음이 더해진다. 또한, 전이중 방식으로 통신을 수행하는 기지국과 단말1에서의 자기 간섭은 완벽히 제거되었다고 가정한다<sup>[7]</sup>. 기지국의 총 송신 전력을  $P$ , 단말1과 단말2의 하향 링크에 할당하는 전력을 각각  $P_1, P_2$ 라 하면, 기지국, 단말1, 그리고 단말2의 수신 신호 대 간섭 및 잡음비 (Signal-to-Interference-and-Noise Ratio: SINR)는 각각 식 (4~6)과 같다.

$$SINR_{BS} = \frac{P_u \|\mathbf{h}_{1,UL}\|^2}{N_0} \quad (4)$$

$$SINR_1 = \frac{P_1 \|\mathbf{h}_1\|^2}{N_0} \quad (5)$$

$$SINR_2 = \frac{P_2 \|\mathbf{h}_2\|^2}{N_0 + P_u \|\mathbf{h}_1\|^2} \quad (6)$$

식 (4)와 (6)에서  $P_u$ 는 단말의 송신 전력을 나타낸다. 시스템의 전송률 합은 식 (4~6)의 SINR을 이용하여 나타낼 수 있으며, 이는 식 (7)과 같다.

$$R = \log_2(1 + SINR_{BS}) + \log_2(1 + SINR_1) + \log_2(1 + SINR_2) \quad (7)$$

### 2. 제안 기법

기지국에서는 시스템의 전송률 합 (7)을 최대화하는 전력 할당 기법을 수행한다. 이를 위한 최적화 문제는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \arg \max_{P_1, P_2} \log_2(1 + SINR_1) + \log_2(1 + SINR_2) \\ & s.t. P = P_1 + P_2, \\ & P_1, P_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)은 볼록 함수이기 때문에 볼록 최적화 식을 이용하여 각 단말로 전송할 최적의 전력을 구할 수 있다.

$$P_1 = \frac{1}{2}P + \frac{N_0(\|h_1\|^2 - \|h_2\|^2) + P_u\|h_1\|^2\|h_1\|^2}{2\|h_1\|^2\|h_2\|^2} \quad (9)$$

$$P_2 = \frac{1}{2}P + \frac{N_0(\|h_2\|^2 - \|h_1\|^2) - P_u\|h_1\|^2\|h_1\|^2}{2\|h_1\|^2\|h_2\|^2}$$

(10)

식 (9), (10)에 따르면 간섭 신호의 세기가 매우 약한 구간에서는 채널 환경이 좋은 사용자 단말을 위한 신호에 더 높은 전력을 할당하는 방식이 최적이다. 그러나 간섭 신호의 세기가 큰 구간에서는 기지국에서 간섭 신호의 영향을 받지 않는 사용자 단말을 위한 신호에 더 높은 전력을 할당하는 것이 시스템의 전송률 합 측면에서 최적임을 확인할 수 있다.

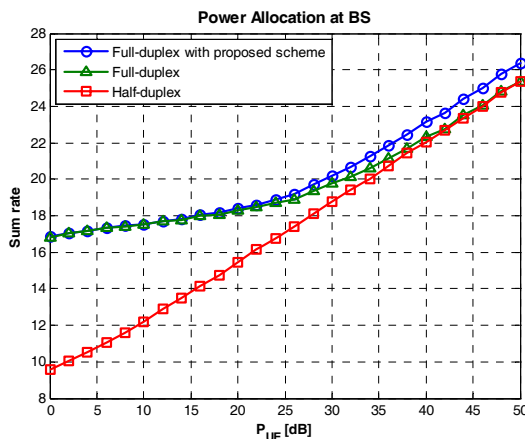


그림 2. 단말 간 간섭이 존재하는 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서의 기지국 하향 링크 할당 기법

Fig. 2. Downlink power allocation at base station in full-duplex MU-MIMO system with inter-device interference environment.

### III. 실험

본 논문에서는 기지국의 하향 링크 총 송신 전력이 일정한 환경에서 단말의 송신 전력 증가에 따른 시스템의 전송률 합에 대한 모의실험을 수행하였다. 기지국은 각 2개의 송, 수신 안테나를, 단말은 각 1개의 송, 수신 안테나를 갖는다고 가정한다. 그림2의 실험 결과를 통해 전이중 통신 시스템은 기존 반이중 통신 시스템에

비해 향상된 대역폭 효율을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 그러나 사용자 단말의 송신 신호의 세기가 큰 구간에서는 간섭의 영향에 의해 전이중 방식의 이점을 얻을 수 없는 문제가 발생한다. 하지만 제안 기법인 기지국에서의 하향 링크 송신 전력 할당을 이용하여 소폭의 성능 개선이 가능함을 실험적으로 검증하였다.

### IV. 결론

본 논문에서는 전이중 방식의 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서의 기지국 하향 링크 전력 할당 기법을 제안하였다. 제안 기법은 단말 간의 간섭이 존재하는 환경에서 대역폭 효율을 최대화할 수 있다. 그러나 향후 추가적인 성능 향상을 위해서는 단말 간 간섭을 근본적으로 제거하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

### REFERENCES

- [1] Melissa Duarte and Ashutosh Sabharwal, "Full-duplex wireless communications using off-the-shelf radios: feasibility and first results", in *2010 Conference Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 1558 - 1562, Asilomar, Nov. 2010.
- [2] J. I. Choi, M. Jain, K. Srinivasan, P. Levis, and S. Katti, "Achieving single channel, full duplex wireless communication," In *ACM MobiCom*, 2010.
- [3] J. Sangiamwong, T. Asai, J. Hagiwara, Y. Okumura, and T. Ohya, "Joint multi-filter design for full-duplex MU-MIMO relaying," in *Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, Apr. 2009.
- [4] Y. Y. Kang and J. H. Cho, "Capacity of MIMO wireless channel with full-duplex amplify-and-forward relay," in *Proc. IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, September 2009.
- [5] T. Riihonen, S. Werner, and R. Wichman, "Spatial loop interference suppression in full-duplex MIMO relays," in *Proc. 43rd Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Nov. 2009.
- [6] D. W. Bliss, P. A. Parker, and A. R. Margetts,

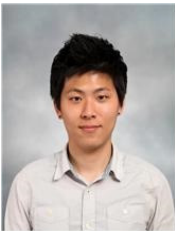
“Simultaneous transmission and reception for improved wireless network performance,” in *Proc. IEEE 14th Workshop on Statistical Signal Processing*, Aug. 2007.

- [7] J. Lee, “Self-interference cancelation using phase rotation in full-duplex wireless”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 6, pp. 2806–2814, Nov. 2013.

---

— 저 자 소 개 —

---



권 구 형(정회원)  
2013년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
<주관심분야 : 통신, 신호처리>



나 현 중(정회원)  
2012년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
<주관심분야 : 통신, 신호처리>



김 진 민(정회원)  
LG Electronics Advanced  
Communication Technology  
R&D Lab.  
<주관심분야 : 통신, 신호처리>



이 충 용(정회원)  
1987년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1989년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1995년 University of Georgia  
Institute of Technology  
(Ph.D) 졸업.  
1995년~1996년 삼성전자 선임 연구원  
1997년~연세대학교 전기전자공학부 교수  
<주관심분야 : 통신, 신호처리>