

멀티모드 단말기를 위한 셀 경계 지역에서의 SINR 기반 사용자 선택 방법

금 동 현* · 최 승 원**

Scheduling Method based on SINR at Cell Edge for multi-mode mobile device

Kum Donghyun · Choi Seungwon

〈Abstract〉

We consider a cell edge environment. In cell edge, a user interfered by signal which is generated by a base stations not including the user. In cell edge environment, that is, there are inter cell interference (ICI) as well as multi user interference (MUI). Coordinated multi-point transmission (CoMP) is a technique which mitigates ICI between base stations. In CoMP, therefore, base stations can coordinate with each other by sharing user state information (CSI) in order to mitigate ICI. To improve sum rate performance in CoMP, each base station should generate optimal user group and transmit data to users selected in the optimal user group. In this paper, we propose a user selection algorithm in CoMP. The proposed method use signal to interference plus noise ratio (SINR) as criterion of selecting users. Because base station can't measure accurate SINR of users, in this paper, we estimate SINR equation considering ICI as well as MUI. Also, we propose a user selection algorithm based on the estimated SINR. Through MATAL simulation, we verify that the proposed method improves the system sum rate by an average of 1.5 ~ 3 bps/Hz compared to the conventional method.

Key Words : CoMP, MU-MIMO, ICI, Scheduling

I. 서론

최근 무선으로 음성 서비스를 비롯한 다양한 멀티 미디어 서비스를 제공하기 위해 고품질 및 고속의 데이터 전송에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로 공간영역의 자원을 활용하는 Multi-User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO) 시스템

연구가 최근 몇 년간 주목을 받아왔다[1-3]. MU-MIMO 시스템에서는 채널 용량을 향상시키기 위해, 채널 환경이 좋은 사용자를 선택해서 데이터를 전송한다[4-7]. 대표적인 사용자 선택방법으로는 사용자 채널의 크기를 고려하여 Semi-orthogonal한 사용자 그룹을 선택하는 Semi-orthogonal User Selection (SUS)[4], 선택된 사용자의 누수 전력의 합이 간섭 전력의 합과 같다는 점을 이용하여, SINR 식에서 간섭 전력을 누수 전력으로 변형시킨 SLNR (Signal to

* 한양대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

** 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수 (교신저자)

Leakage plus Noise Ratio)를 기반으로 사용자를 순차적으로 선택하는 방법[5], 근사한 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) 식을 기반으로 사용자를 순차적으로 선택하는[6] JUS 방법 등이 있다. 하지만 [4-7]의 사용자 선택 방법은 기지국 간 간섭 신호를 고려하지 않았다. 기지국 간 간섭을 완화시키기 위해 연구되고 있는 기술 중 하나는 협력 다중점 송수신 (CoMP)기술이 있다[8-11]. 하향링크 협력 다중점 송수신 기술은 CoMP-CSB (Coordinated Scheduling and Beamforming)과 CoMP-JPT (Joint Processing and Transmission) 두 가지방식이 있다. CoMP-CSB는 셀간 간섭(Inter Cell Interference, ICI)을 완화하기 위해 모든 사용자 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 공유하여 다른 기지국의 간섭을 고려하여 사용자 그룹을 형성시킨다. CoMP-JPT는 기지국들이 다중 셀의 완전한 협력을 얻기 위하여 모든 사용자의 데이터 및 사용자 채널 상태 정보를 공유한다. CoMP-JPT가 CoMP-CSB에 비해 성능이 우수하지만, CoMP-JPT는 구현을 하는데 있어서 심각한 복잡도를 가지고 있다.[8]과 [9]에서는 CoMP-JPT에 관련한 연구가 수행 되었다.

본 논문에서는 구현 가능성을 고려하여 CoMP-CSB 환경을 고려한 사용자 선택 방법을 제안한다. 제안 방법에서는 [11]에서처럼 기지국 간 간섭을 완화시키기 위해 프리코딩 행렬의 마지막 행에 다른 기지국에서 첫 번째로 선택된 사용자의 채널을 이용한다. 또한 [6]에서 근사한 SINR식을 참고하여 CoMP 환경을 고려한 SINR 근사식을 제안하고, 제안 SINR 근사식을 기반으로 사용자 그룹을 선택함으로써 [11]보다 우수한 성능을 갖는 사용자 선택 방법을 제안한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 하향링크 셀룰라 통신 시스템에서 B 개의 기지국과 K 명의 사용자를 고려한다. 각 사용자는 1개의 수신 안테나를 갖는다. 모든 기지국은 같은 주파수 대역에서 사용자들과 통신한다. 기지국들은 모든 사용자와의 CSI를 알 수 있다고 가정한다. 또한 각 기지국들은 백홀 네트워크(Backhaul Network)를 통해 다른 기지국들과 모든 사용자들 사이의 CSI를 교환한다. 또한 모든 기지국들은 동일하게 각각 N_t 개의 수신 안테나를 갖는다. b 번째 기지국과 k 번째 사용자 사이의 하향링크 수신 신호는 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$y_{b,k} = h_{b,k} w_{b,k} x_{b,k} + h_{b,k} \sum_{j \in S_b, j \neq k} w_{b,j} x_{b,j} + \sum_{\substack{\bar{b} \neq b \\ \bar{b} \in S_b}} h_{\bar{b},k}^I \sum_{s \in S_{\bar{b}}} w_{\bar{b},s}^I x_{\bar{b},s}^I + n_{b,k} \quad (1)$$

$h_{b,k}$ 는 b 번째 기지국과 k 번째 사용자 사이의 하향링크 채널 벡터를 의미한다. 또한 $h_{b,k}$ 는 서로 독립이고 동일한 분포 (Independent Identically Distributed, i.i.d.)를 따른다. $w_{b,k}$ 는 프리코딩 벡터를, $x_{b,k}$ 는 송신 신호를, 그리고 $n_{b,k}$ 는 평균이 0이고 분산이 1인 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise, AWGN)이다.

$h_{\bar{b},k}^I$ 는 \bar{b} 번째 기지국에서 k 번째 사용자에게 미치는 간섭 채널이다. \bar{b} 번째 기지국에서 k 번째 사용자에게 보내는 프리코딩 벡터와 송신 신호는 $w_{\bar{b},k}^I$ 와 $x_{\bar{b},k}^I$ 로 각각 표현된다. S_b 는 b 번째 기지국에서 선택된 사용자 그룹을 나타낸다.

III. 제안 방법

다중 셀의 가장자리의 상황을 고려할 때, 주요 문

제는 식 (1)의 등식 오른쪽 두 번째, 세 번째 간섭항으로 인해 야기된다. 본 논문에서는 두 번째 간섭항을 제거 하기위해 [6]의 SINR 근사식을 이용한다.[6]의 SINR 근사식은 (2)와 같다.

$$SINR_j^m \approx (\lambda_j^{\max})^2 |t_j^H u_m|^2 / [(\lambda_j^{\max})^2 (1 - |t_j^H u_m|^2) + \frac{1}{\beta} (\lambda_j^{\max})^2 + \frac{1}{\beta}] \quad (2)$$

식 (2)에서 $SINR_j^m$ 는 기지국이 m 번째 사용자를 선택하는 과정에서 j 번째 사용자의 SINR을 의미한다. λ_j^{\max} 는 j 번째 사용자의 특이값의 최대값, t_j 는 j 번째 사용자의 하향 링크 채널 h_j 의 특이값 분해를 통해 얻은 V 의 첫 번째 열이다. u_m 은 m 번째 사용자의 프리코딩 벡터를 나타내고, β 는 SNR을 의미한다. 식 (2)는 셀 가장자리에서의 환경을 고려하지 않았기 때문에 식 (1)의 오른쪽 세 번째 항을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 식 (1)의 세 번째 항을 고려하지 않았다. 식 (1)의 세 번째 항을 고려한 B 번째 기지국의 k 번째 사용자의 SINR 식은 식 (3)과 같다.

$$SINR_{b,j} = |h_{b,k} w_{b,j}|^2 / [\sum_{j,j \neq k} |h_{b,k} w_{b,j}|^2 + \sum_i |h_{b,i}^T w_{b,i}|^2 + \frac{1}{\beta}] \quad (3)$$

제안 방법에서는 [6]에서처럼 서로 직교하는 채널을 가진 사용자 그룹을 선택하기 위해 특이값 분해를 이용하여 생성한 프리코딩 벡터를 프리코딩 벡터로 가정하여 SINR을 근사한다. 또한 [11]에서처럼 $N_t - 1$ 명의 사용자를 선택한 후 다른 기지국에서 첫 번째로 선택한 사용자의 간섭 채널을 마지막 사용자의 채널로 간주한다.

본 논문에서 제안하는 새로운 사용자 스케줄링 방법은 다음과 같다.

1 단계 : $|S_b| = \phi$ 와 같이 초기화를 한다.

2 단계 : 각각의 기지국에서 최대의 채널 파워를 갖는 1^{st} 사용자를 선택한다.

$$\pi(b, 1) = \arg \max_{k \in K} \|h_{b,k}\| \quad (4)$$

$$S_b = S_b \cup \pi(b, 1)$$

(모든 기지국은 백홀 네트워크를 통해서 선택된 사용자의 인텍스를 공유한다.)

단계 3 : 기지국 \tilde{b} 는 기지국 b 에서 선택한 사용자 간섭 채널 $h_{\tilde{b},k}$ 과의 correlation 크기 $|h_{\pi(\tilde{b},1),1}^H h_{(\tilde{b},k)}^H|$ 와 의 간섭 채널 크기 $|h_{\tilde{b},k}|$ 를 측정하여 기지국 b 에 보낸다.

단계 4 : 기지국 b 에서는 첫 번째로 선택된 사용자의 채널과 이웃한 기지국에서 선택한 첫 번째 사용자의 간섭채널로 구성된 채널의 수도 역행렬 $[h_{\pi(b,1)}^T, h_{\pi(\tilde{b},1)}^T]^T$ 을 구한다.

단계 5 : 단계 4에서 구한 수도 역행렬을 특이값 분해하여 $U = [u_{b,1}, u_{b,2}, \dots, u_{b,N_T}]$ 를 생성한다.

$$[h_{\pi(b,1)}^T, h_{\pi(\tilde{b},1)}^T]^T U = U \Sigma V^H \quad (5)$$

단계 6 : 기지국 b 가 m 번째 사용자를 선택하기 위해 다음의 식을 사용한다.

$$\pi(b, m) = \arg \max_{k \in K} |h_{b,k} u_{b,m}|^2 / [|h_{b,k}|^2 (1 - |h_{b,k} u_{b,m}|^2) + |h_{\tilde{b},k}|^2 (1 - |h_{\tilde{b},\pi(b,1)}^H h_{b,k}^H| + \frac{1}{\beta})] \quad (6)$$

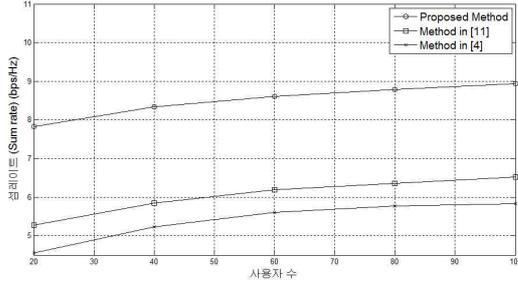
$$S_b = S_b \cup \pi(b, m)$$

단계 7 : 단계 6을 $N_T - 1$ 명의 사용자를 선택할 때까지 반복하고 식 (7)의 행렬을 구성한 후 제로포싱 빔포밍을 이용하여 프리코딩 행렬을 생성한다.

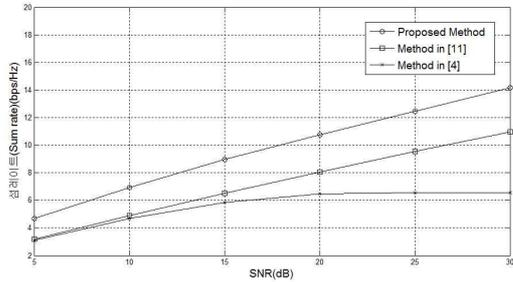
$$H_S = [h_{b,\pi(b,1)}^T, \dots, h_{b,\pi(b,N_T-1)}^T, h_{b,\pi(\tilde{b},1)}^T]^T \quad (7)$$

$$W = H_S^H (H_S H_S^H)^{-1} \quad (8)$$

IV. 성능 평가



<그림 1> 다양한 방법 아래 사용자 수에 따른 섹레이트 성능 비교
 $B=2, N_t=4, SNR=15dB$



<그림 2> 다양한 방법 아래 SNR에 따른 섹레이트 성능 비교
 $B=2, N_t=4, K=100$

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 제안 방법의 섹레이트 (Sum rate) 성능을 검증하였다. <그림 1>은 기지국 2개, 기지국의 송신 안테나는 각각 4개 그리고 SNR이 15dB인 환경에서 제안 방법과 [4, 8]의 방법을 사용자수에 따라 시뮬레이션한 결과이다. <그림 1>의 결과로 협력 다중점 송수신 기술을 사용하는 제안 방법과 [11]의 방법이 기지국간에 협력이 없는 SUS (Semi-orthogonal User Selection) [4] 보다 평균적으로 3.2bps/Hz, 0.7bps/Hz 정도 더 높은 섹레이트 성능을 보임을 확인 할 수 있다. 또한 MUI를 고려한 [6]의 SINR 근사식에 ICI를 추가로 고려하여 사용자를 선택한 제안 알고리즘이 기존 알고리즘 [11] 보다 2.5bps/Hz의 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인할 수

있다.

<그림 2>는 기지국 2개, 기지국의 송신안테나는 각각 4개 그리고 셀 가장자리에 사용자가 100명 있는 환경에서 제안 방법과 [4,8]의 방법을 SNR에 따라 섹레이트 성능을 시뮬레이션한 결과 이다. <그림 2>에서 [4]과 [11]은 SNR이 5dB인 경우에 비슷한 성능을 보이지만 SNR이 [4]의 방법은 ICI를 고려하지 않았기 때문에 SNR에 따른 성능 향상이 적고, 특히 SNR이 20dB이상에서는 6.5bps/Hz로 성능이 수렴하는 현상을 보인다. [11]의 방법의 경우에는 ICI를 고려하였기 때문에 SNR이 증가함에 따라 섹레이트 성능이 거의 선형으로 증가하여 SNR이 30dB에서는 [4]의 방법 보다 4.4bps/Hz의 섹레이트 성능 향상을 보임을 확인할 수 있다. 제안 방법은 ICI와 MUI를 동시에 고려한 SINR 근사식을 통해 SNR이 5dB에서도 [4]과 [11]보다 1.5bps/Hz의 섹레이트 성능 향상을 확인할 수 있고, SNR이 30dB에서는 3bps/Hz의 성능 향상을 보임을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기지국들이 CSI를 공유할 때, CoMP-MU-MIMO 환경에서 새로운 사용자 선택 방법을 제안하였다. 제안 방법은 MUI를 고려한 [6]의 SINR 근사식에 ICI를 추가로 고려한 SINR 근사식을 통해 기존의 방법 [11] 보다 상당한 섹레이트 성능 향상을 보였다. 셀 경계에 있는 사용자 수에 따라서는 대략 2.5 bps/Hz의 성능 향상을 보였고, SNR에 따라서도 최소 1.5 bps/Hz의 성능향상을 보일 수 있음을 확인할 수 있다.

Acknowledge

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0166-15-1031, 멀티모드 단말기용 소프트웨어 모뎀 API를 지원하는 범용 프로토콜 국제표준 개발)

참고문헌

- [1] I. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *European Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, 1999, pp. 585-595.
- [2] G. J. FOSCHINI and M. J. GANS, "On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas," *wireless Pers. Commun.*, vol. 6, Mar. 1998, pp. 311-335.
- [3] 이승학, 김경훈, 최승원, "GPU를 이용한 SDR 시스템 용 LTE MIMO 기지국 기능 구현," *디지털산업정보학회 논문지*, 제8권, 제4호, 2012년.
- [4] T. Yoo and A. Goldsmith, "On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming," *IEEE Trans. J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, Mar. 2006, pp. 528-541.
- [5] X. Xia, G. Wu, J. Liu, and S. Li, "Leakage-based user scheduling in MU-MIMO broadcast channel," *Sci. China Ser. F-Inf. Sci.*, vol. 52, no. 12, Dec. 2009, pp. 2259-2268.
- [6] Xin Xia, Shu Fang, Gang Wu, Shaoqian Li, "Joint User Pairing and Precoding in MU-MIMO Broadcast Channel with Limited Feedback," *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 11, Nov. 2010, pp. 1032-1034.
- [7] 강대근, 신창의, 금동현, 최승원 "하향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서의 일반화된 사용자 선택 알고리즘," *디지털산업정보학회 논문지*, 제8권, 제4호, 2012년
- [8] Qixing Wang, Dajie Jiang, Guangyi Liu, Zhigang Yan, "Coordinated Multiple Points Transmission for LTE-Advanced Systems," *WICOM' 09. 5th International Conference*, Sep. 2009.
- [9] Xin Xia, Gang Wu, Shu Fang, Yuan Tian, Shaoqian Li, "Coordinated scheduling and precoding in multicell MIMO system," *PACCS. 2010 Second Pacific-Asia Conference*, Aug. 2010
- [10] 홍경화, 오태열, 최승원, "WiBro 다운링크 환경에서 여러 가지 MIMO 기법의 성능 및 연산량에 대한 비교 연구," *디지털산업정보학회 논문지*, 제4권, 제2호, 2008년.
- [11] Uk Jang, Kang Yong Lee, Kee Seong Cho, Won Ryu, "Transmit Beamforming Based Inter-Cell Interference Alignment and User Selection with CoMP," *Vehicular Technology Conference Fall 2010 IEEE 72nd Sept.* 2010.

■ 저자소개 ■



금 동 현
Kum Donghyun

2011년 3월 ~ 현재
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
석박사 통합과정
2011년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
(공학 학사)

관심분야 : LTE, MU-MIMO, 신호처리
E-mail : kkh0602@dsplab.hanyang.ac.kr



최 승 원
(Choi Seungwon)

2012년~현재 HY-MC 연구센터 센터장
2002년~2011 HY-SDR 연구센터 센터장
1992년~현재 한양대학교 전자전기공학부 교수
1990년~1992년 일본 우정성 통신연구소 선임연구원
1989년~1990년 ETRI 선임연구원
1988년~1989년 미국 Syracuse대학 전지 및 전산과 교수
1988년 12월 미국 Syracuse대학 전기공학 (공학박사)
1985년 12월 미국 Syracuse대학 컴퓨터공학 (공학석사)
1982년 2월 서울대학교 전자공학 (공학석사)
1980년 2월 한양대학교 전자공학 (공학박사)

관심분야 : SDR, 이동통신, 신호처리
E-mail : choi@dsplab.hanyang.ac.kr

| |
|---------------------|
| 논문접수일: 2015년 8월 18일 |
| 수 정 일: 2015년 8월 27일 |
| 게재확정일: 2015년 9월 2일 |