

협력 공간 분할 다중 접속 기술을 위한 제한된 피드백과 스케줄링

Limited Feedback and Scheduling for Coordinated SDMA

문 철 · 정 창 규

Cheol Mun · Chang-Kyoo Jung

요 약

본 논문은 협력 무선 통신 시스템에서 역방향 링크의 제한된 피드백 채널을 통해 AT(Access Terminal)로부터 전달된 부분적인 채널 정보만을 이용하여, 인접 BTS(Base Transceiver Station)에 의한 타 셀 간섭을 효과적으로 억제하는 협력 공간 분할 다중 접속 기술을 제안하였다. 제안하는 협력 공간 분할 다중 접속 기술에서, AT는 각 링크별로 다중 사용자 다이버시티 이득을 최대화 하는 최적의 전송 모드를 선택하고 이를 피드백하며, 클러스터 스케줄러는 각 전송 모드별로 동일 전송 모드를 선택하는 AT들에 대해 스케줄링을 수행하고, 최대 스케줄링 우선 순위를 제공하는 클러스터의 전송 모드와 해당 AT들을 선택한다. 또한, 다중 사용자 다이버시티 이득을 증가시키기 위해, 각 AT별로 다수의 선호하는 전송 모드를 피드백하는 확장된 전송 모드 피드백 방식을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 기술이 시스템의 상향 링크 피드백의 허용된 용량에 따라 최적의 피드백 방식을 선택함으로써 시스템 전송 용량을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, coordinated space division multiple access(SDMA) technology is proposed to mitigate inter-cell interference by using partial channel state information in cooperative wireless communications system with limited feedback. Each AT selects an optimal cluster transmission mode and sends it back to a cluster scheduler, and at the cluster scheduler, ATs are scheduled within a AT group with the identical cluster transmission mode, and the optimal transmission mode and the corresponding scheduled ATs are determined to maximize scheduling priority. Also, in order to enhance multiuser diversity gain, an extended transmission feedback method is proposed to feed back multiple preferred cluster transmission modes at each AT. It is shown that the proposed coordinated SDMA scheme outperforms existing non-coordinated SDMA schemes in terms of the average system throughput.

Key words : Multiuser MIMO, Coordinated SDMA, Precoder Codebook, Limited Feedback

I. 서 론

무선 데이터 트래픽의 급증에 대응하기 위해 무선 통신 시스템의 전송 용량을 개선하기 위한 다양한 통신 기술들이 개발되고 있다. 최근 long term

evolution(LTE)와 mobile WiMAX에서는 multiple-input multiple-output(MIMO)와 orthogonal frequency division multiple access(OFDMA) 기술을 사용하여 단일 셀에서의 전송 용량을 개선시키고 있다. 특히, MIMO 기술에서는 제한된 피드백 정보량을 이용하

「이 연구는 2011년도 충주대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.」

국립충주대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communications Engineering, Chungju National University)

· 논문 번호 : 20110503-034

· 교신저자 : 문철(e-mail : chmun@cjnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 6월 9일

는 공간 분할 다중 접속(Space Division Multiple Access: SDMA) 기술이 핵심 MIMO 기술로써 개발되었다. 그러나, 다중 셀 네트워크(multi-cell network)의 전송 용량의 관점에서, MIMO와 OFDMA 기술은 다중 셀 네트워크의 이론적인 전송 용량에 근접하지 못하는데, 이는 주로 셀 간 간섭(inter-cell interference, ICI) 때문이다. 셀 간 간섭을 억제하기 위해서는, 인접하는 BTS(base transceiver station) 간 coordination을 통해 셀 간 간섭을 억제하는 기술이 필요하다^{[1],[2]}. 개념적으로 공간 분할 다중 접속 기술과 같은 단일 셀 MIMO 기술을 다수의 셀 확장하는 기술이 필요하다^{[3],[4]}.

최근 LTE에서는, 다수의 셀로 확장된 SDMA 기술, 즉 coordinated multi-point(COMP)에 대한 표준화를 진행하고 있다^[5]. 하향 링크 COMP는 협력 스케줄링/빔 성형(coordinated scheduling/beamforming) 기술과 결합 전송(joint transmission) 기술로 나뉜다. 협력 스케줄링 기술에서 각 AT의 데이터는 serving cell에서만 전송되고, 셀간 간섭을 억제하도록 스케줄링과 빔 성형이 셀간 협력을 통해서 수행된다. 결합 전송 기술은 한 AT의 데이터가 다수의 셀에서 동시에 전송되는 기술이다. 현재까지, 주로 coordinated beam selection과 스케줄링 기술에 대한 연구가 주로 진행되었으며^{[6],[7]}, 결합 전송 기술은 실현 가능성 검증 수준에 머물러 있다^[8].

본 논문에서는 인접하는 다수의 협력 BTS(coordinated BTS: C-BTS) 간의 협력 스케줄링을 통해 셀 간 간섭을 억제하는 다수의 셀에 대한 협력 SDMA 기술을 제안한다. 제안하는 협력 SDMA 기술은 다수의 C-BTS들로 구성된 클러스터(cluster)에 포함된 C-BTS들과 AT 사이에 사용 가능한 전송 모드(mode)들을 미리 약속하고, 각 AT의 최적 전송 모드 정보를 이용하여, 스케줄러는 최적의 클러스터 전송 모드와 데이터를 전송할 AT들을 선택한다. 또한, 다중 사용자 다이버시티 이득을 극대화하기 위한, 확장 클러스터 전송 모드 피드백 방식과 그에 따른 클러스터 스케줄링 기술을 제안한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 제안하는 기술이 시스템의 상향 링크 피드백의 허용된 용량에 따라 최적의 피드백 방식을 선택함으로써 클러스터의 하향 링크 전송 용량을 상당히 향상시킬 수 있음을 보인다.

II. 협력 SDMA 시스템 모델

각 BTS는 n_T 개의 송신 안테나를 사용하고, 모든 AT는 n_R 수신 안테나를 사용하며, 각 BTS별로 K 사용자가 있는 인접한 세 개의 BTS로 이루어진 순방향 링크 클러스터를 고려한다. 설명을 위해 세 개의 BTS로 이루어진 클러스터를 고려하지만, 제안한 기술은 임의의 개수의 BTS를 포함하는 클러스터로 확장이 가능하다.

\mathbf{x}_m 를 m 번째 BTS에서의 $n_T \times 1$ 송신 신호 벡터, $\mathbf{y}_{m,k}$ 는 m 번째 BTS에서 속한 k 번째 AT의 $n_R \times 1$ 수신 신호 벡터라고 하고, 주파수 비선택적 페이딩을 가정하면 수신 신호는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y}_{m,k} = \sqrt{\frac{\gamma_{m,k}}{n_T}} \mathbf{H}_{m,k} \mathbf{F} \mathbf{x}_m + \sum_{i=1}^2 \frac{\sqrt{\gamma_{m,k,i}}}{n_T} \overline{\mathbf{H}}_{m,k,i} \mathbf{G}_i \mathbf{i}_i + \mathbf{n}_{m,k} \quad (1)$$

여기서 $\gamma_{m,k}$ 는 k 번째 AT가 속한 m 번째 BTS로부터 수신한 평균 SNR(signal-to-noise ratio)를, $\overline{\gamma}_{m,k,i}$ 는 i 번째 간섭 BTS로부터 k 번째 AT로의 평균 SNR이다. $\mathbf{H}_{m,k}$ 는 k 번째 AT가 m 번째 BTS로부터 수신한 $n_R \times n_T$ 복소 채널 행렬을, $\overline{\mathbf{H}}_{m,k,i}$ 는 i 번째 간섭 BTS로부터 k 번째 AT로의 $n_R \times n_T$ 복소 채널 행렬을 나타내며, $\mathbf{n}_{m,k}$ 는 $n_R \times 1$ AWGN(additive white Gaussian noise) 벡터를 나타낸다. 또한, \mathbf{F} 와 \mathbf{G}_i 는 m 번째 BTS와 i 번째 간섭 BTS에서 사용하는 $n_T \times n_T$ 크기의 precoding 행렬을 각각 나타내며, \mathbf{i}_i 는 i 번째 간섭 BTS의 신호 벡터이다.

III. 협력 SDMA를 위한 AT의 동작

k 번째 AT가 클러스터 내의 인접한 간섭 BTS들로부터 하향 링크 채널 행렬 $\{\overline{\mathbf{H}}_{m,k,i}\}_{i=1,2}$ 을 추정할 수 있을 경우, 해당 AT는 협력 SDMA로 동작할 수 있다. 이는 해당 AT가 클러스터 내의 간섭 BTS들에서 수신하는 RS(Reference Signal)가 기준치 이상으로 수신할 때 가능하다.

협력 SDMA를 위해 AT는 다음과 같은 동작을 수행한다. 먼저, m 번째 BTS와 인접한 두 개의 BTS로

부터, AT가 하향 링크 MIMO 채널을 추정할 수 있다고 가정한다. 따라서, m 번째 BTS의 k 번째 AT가 인접한 두 개의 간섭 BTS들로부터의 하향 링크 MIMO 채널 행렬 $\{\bar{\mathbf{H}}_{m,k,i}\}_{i=1,2}$ 를 추정한다고 가정하면, m 번째 BTS와 인접한 두 개의 BTS로 구성된 BTS 클러스터의 $3n_T$ 개의 송신 안테나들로부터 동시에 전송된 $3n_T \times 1$ 크기의 신호 벡터 \mathbf{X} 가 m 번째 BTS의 k 번째 AT에 수신되는 신호 벡터 $\mathbf{Y}_{m,k}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_{m,k} &= \sqrt{\frac{\gamma_{m,k}}{n_T}} \\ & [\mathbf{H}_{m,k} \mathbf{F} \alpha_1 \bar{\mathbf{H}}_{m,k,1} \mathbf{G}_1 \alpha_2 \bar{\mathbf{H}}_{m,k,2} \mathbf{G}_2] \mathbf{X} + \mathbf{N}_{m,k} \\ &= \sqrt{\frac{\gamma_{m,k}}{n_T}} \mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}, \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2) \mathbf{X} + \mathbf{N}_{m,k} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $\mathbf{Y}_{m,k}$ 는 $n_R \times 1$ 크기의 수신 신호 벡터, $\mathbf{N}_{m,k}$ 은 $n_R \times 1$ 크기의 잡음 벡터를 나타내고 $\alpha_i = \sqrt{\gamma_{k,m,i}/\gamma_{k,m}}$ 이다. $\mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}, \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2)$ 는 $n_R \times 3n_T$ 크기의 C-BTS 클러스터에 속한 3개의 C-BTS로부터 m 번째 BTS의 k 번째 AT로의 effective 하향 링크 채널 행렬을 나타내며, AT에서 $\mathbf{H}_{m,k}$ 와 $\{\alpha_i \bar{\mathbf{H}}_{m,k,i}\}_{i=1,2}$ 를 각각 추정할 수 있기 때문에, m 번째 BTS가 사용할 precoding 행렬 \mathbf{F} 와 클러스터 내의 두 개의 간섭 BTS가 사용하는 precoding 행렬 $\{\mathbf{G}_i\}_{i=1,2}$ 를 알고 있으면, $\mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}, \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2)$ 를 추정할 수 있다.

각 BTS가 G 개의 precoding 행렬로 이루어진 DFT(Discrete Fourier Transform) precoder codebook^[9], $\mathbf{F} = \{\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \dots, \mathbf{E}_G\}$ 에서 하나의 precoding 행렬을 선택하여 사용한다면, AT는 G^3 개의 가능한 precoding 행렬 조합들 중에서 다중 사용자 다이버시티 이득을 최대화하는 조합을 선택한다. 본 논문에서는 이러한 각각의 조합을 전송 모드라고 정의한다.

k 번째 AT는 모든 가능한 전송 모드에 대해 m 번째 BTS로부터 수신하는 n_T 개의 신호 데이터 스트림들에 대한 수신 SINR을 계산한다. AT가 사용하는 알고리즘에 따라 계산된 $n_R \times 3n_T$ 수신 가중치 행렬을 $\mathbf{W}_{m,k} = [\mathbf{w}_{m,k,1} \ \mathbf{w}_{m,k,2} \ \dots \ \mathbf{w}_{m,k,3n_T}]$ 라 하면, $\mathbf{W}_{m,k}$ 의 첫 번째부터 n_T 번째 컬럼 벡터들 $\{\mathbf{w}_{m,k,n}\}_{n=1, \dots, n_T}$ 은 k 번째 AT가 수신하는 n_T 개의

신호 데이터 스트림들에 대한 수신 가중치 벡터들이다. 가능한 전송 모드 중에서 $(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)$ 를 사용할 경우, m 번째 BTS의 송신 신호 벡터 \mathbf{x}_m 의 n 번째 데이터 스트림의 심볼 $\{x_{m,k,n}\}_{n=1, \dots, n_T}$ 을 다음 식 (3)과 같이 복구한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_{m,k,n}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) &= \\ & \sqrt{\frac{\gamma_{m,k}}{n_T}} \mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) x_{m,k,n} \\ & + \frac{\gamma_{m,k}}{n_T} \sum_{i=1, i \neq n}^{3 \times n_T} \mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) x_{m,k,i} \\ & + \mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{N}_{m,k} \end{aligned} \quad (3)$$

복구된 심볼 $\hat{x}_{m,k,n}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)$ 의 수신 SINR $\{\rho_{m,k,n}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)\}_{n=1, \dots, n_T}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rho_{m,k,n}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) &= \\ &= \frac{(|\mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) x_{m,k,n}|^2)}{\left(\sum_{i=1, i \neq n}^{3 \times n_T} |\mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{C}_{m,k}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b) x_{m,k,i}|^2 \right)} \\ & \quad \left(+ \frac{n_T}{\gamma_{m,k}} |\mathbf{w}_{m,k,n}^H \mathbf{N}_{m,k}|^2 \right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 분모의 첫번째 항은 BTS 클러스터에서 동시에 전송되는 $3 \times n_T - 1$ 개의 데이터 스트림으로부터의 수신되는 간섭량을 나타낸다. AT는 계산된 $\{\rho_{m,k,n}(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)\}_{n=1, \dots, n_T}$ 을 이용하여, C-BTS 클러스터의 k 번째 AT가 수신하는 n_T 개의 신호 데이터 스트림 중에서 하나의 데이터 스트림의 수신 SINR을 최대로 만드는 전송 모드 $(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)$ 를 결정한다.

각 AT는 최대 수신 SINR을 만드는 전송 모드 $(\mathbf{F}_a, \mathbf{G}_a, \mathbf{G}_b)$ 와 해당 수신 SINR 정보를, 역방향 링크 피드백 채널을 통해 m 번째 BTS를 경유하여 클러스터 스케줄러로 알려준다.

IV. 클러스터 스케줄링

클러스터 스케줄러는 수집된 클러스터 내의 각 AT들의 전송 모드와 수신 SINR 정보를 이용하여, 스케줄링 criterion을 최대화 하도록, 클러스터가 사용할 클러스터 전송 모드(C-BTS들이 사용할 precoding 행렬의 조합)와 선택된 전송 모드를 통해 데이터를 전송할 AT들을, 클러스터에 속한 모든 AT들 중

에서 선택한다.

클러스터 스케줄러는 각 AT가 선택한 전송 모드 별로 그룹핑을 수행한다. 동일 그룹에 속한 AT들은 클러스터의 전송 모드를 공유할 수 있다. 즉, 동일한 전송 모드를 선택한 AT들에 대해서, C-BTS들은 해당 전송 모드의 precoding 행렬을 이용하여 데이터를 전송할 수 있다.

클러스터 스케줄러는 클러스터에 속한 모든 AT를 대상으로 하여 스케줄링을 수행한다. 클러스터 스케줄러는 클러스터에 속한 모든 AT들을 각 AT가 선택한 전송 모드에 따라 G^3 개의 그룹으로 나눈다.

전송 모드별 G^3 개의 AT 그룹을 $\{S_g\}_{g=1, \dots, G^3}$ 라고 하면, 각 AT 그룹 별로 스케줄링을 수행한다. 각 그룹에서 사용하는 송신 모드의 $3 \times n_T$ 개의 송신 가중치를 이용하여 데이터를 전송할, 최대 스케줄링 priority를 갖는 AT들을 선택한다. BTS는 다음 식 (5)와 같이 g 번째 전송 모드의 n 번째 송신 가중치를 이용하여 데이터를 전송할 $z_{g,n}^*$ 번째 AT를 선택한다.

$$z_{g,n}^* = \arg \max_{z=1, \dots, K_g, z \in S_g} \text{priority}(\tilde{\rho}_{z,n}) \quad (5)$$

여기서, $\text{priority}(\tilde{\rho}_{z,n})$ 는 g 번째 AT 그룹 S_g 에 속하는 z 번째 AT가, g 번째 전송 모드의 n 번째 송신 가중치를 통해 수신할 수 있는 SINR $\tilde{\rho}_{z,n}$ 에 의한 스케줄링 priority를 결정하는 스케줄링 함수이다. 또한, $\tilde{\rho}_{z,n}$ 는 z 번째 AT가 속한 BTS를 통해 클러스터 스케줄러에 피드백된 정보이다. 스케줄링 함수 $\text{priority}(\tilde{\rho}_{z,n})$ 는 스케줄링 알고리즘에 의해 결정되는 함수로서, proportional fair scheduling의 경우 $\tilde{\rho}_{z,n}$ 에 의해 전송 가능한 순시 전송률을 평균 전송률로 나눈 형태를 갖는다.

각 AT 그룹별로 $3 \times n_T$ 개의 송신 가중치를 통해 데이터를 전송할 AT들이 선택되고, 선택된 AT들에 의한 각 그룹별 대표 스케줄링 priority pri_g 가 다음 식 (6)과 같이 결정된다.

$$\text{pri}_g = \sum_{n=1}^{3n_T} \text{priority}(\tilde{\rho}_{z_{g,n}^*, n}) \quad (6)$$

클러스터 스케줄러는 각 그룹별 스케줄링 priority를 이용하여, 가장 큰 그룹 스케줄링 priority를 갖는

AT 그룹 S_{g^*} 을 선택한다.

$$S_{g^*} = \arg \max_{S_g, g=1, \dots, G^3} \text{pri}_g \quad (7)$$

선택된 AT 그룹 S_{g^*} 의 최대 $3n_T$ 개의 선택된 AT들이 해당 클러스터 전송 모드를 사용하여 데이터를 전송한다.

V. 다중사용자 다이버시티 이득 증가를 위한 확장된 전송 모드 선택 및 피드백

Precoder codebook의 크기 G 의 증가는 각 링크별로 세밀한 precoding을 가능하게 함으로써 각 링크의 수신 SINR을 증가시키지만, 반면에 클러스터의 전송 모드 수가 증가함에 따라 동일 전송 모드를 공유하는 그룹에 속하는 AT들의 수를 감소시키기 때문에 시스템의 다중 사용자 다이버시티 이득이 감소하게 된다. 따라서, precoder codebook 크기 증가에 따른 시스템의 다중 사용자 다이버시티 이득 감소 현상을 극복하기 위한 방법을 제안한다.

이를 위해, AT에서 클러스터 전송 모드를 G 개 선택하고, 이에 대한 정보를 BTS로 피드백하는 방식을 제안한다. AT는 AT가 속한 BTS가 codebook 내의 G 개의 precoding 행렬을 각각 사용할 경우, C-BTS 클러스터로부터 m 번째 BTS의 k 번째 AT 간의 링크에서 다중 사용자 다이버시티 이득을 최대화하는 전송 모드를 선택한다. 선택된 클러스터 전송 모드를 나타내는 인덱스와, 해당 클러스터 전송 모드를 사용하여 송신할 경우, AT에서 수신하는 n_T 데이터 스트림에 대한 SINR을 각각 역방향 링크 피드백 채널을 통해 m 번째 BTS로 알려준다.

VI. 성능 분석

본 절에서는 제안하는 협력 SDMA 기술의 성능을 분석하기 위해, 세 개의 C-BTS와 K_c 개의 AT들로 구성된 하나의 클러스터에서, 비협력 SDMA(non-coordinated SDMA, NC-SDMA) 기술, 즉 BTS별로 데이터를 전송할 AT들을 결정하는 스케줄링이 수행되는 기존의 SDMA 기술과 제안하는 협력 SDMA(C-SDMA) 기술의 성능을 시뮬레이션을 통해 시스템 레벨

용량을 기준으로 비교 분석한다.

시뮬레이션을 위해 각 BTS의 송신 안테나 수 n_T 은 4이고, 안테나 간격이 0.5λ 이며, AT의 수신 안테나 수 n_R 은 4이고, 안테나 간격이 0.5λ 이다. 모든 K_C 개의 AT들은 세 개의 C-BTS들로부터 평균 SNR 10 dB의 신호를 수신한다고 가정한다.

클러스터로부터 K_C 개의 AT들까지의 각 링크에서 MIMO 채널 계수를 10,000 번 발생시켜서 얻어진 클러스터의 throughput을 평균하여 성능 척도로 사용하였다. 채널 계수 발생 시, BTS의 송신단에서의 AOD(angle of departure)와 AT의 수신단에서의 AOA (angle of arrival)은 $(-30^\circ, 30^\circ)$ 내에서 균일하게 발생시켰다. 각 링크의 채널은 공간 상관도가 있는 MIMO 채널이며, BTS의 송신단에서의 공간 상관 행렬 R_T 와 AT의 수신단에서의 공간 상관 행렬 R_R 는 선형 배열 안테나를 사용하며, angular spectrum이 AOD와 AOA를 중심으로 각각 $\Delta_T=5^\circ$ 와 $\Delta_R=60^\circ$ 만큼 균일하게 분포하는 모델을 사용하여 구하였다^[10].

사용된 precoding 행렬은 다음 식 (8)과 같다. $G=1$ 일 경우, $F = \{\mathbf{E}_1\}$ 이고 $G=2$ 인 경우, $F = \{\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2\}$ 이다.

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{E}_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\pi/4} & e^{j3\pi/4} & e^{j5\pi/4} & e^{j7\pi/4} \\ e^{j\pi/2} & e^{j3\pi/2} & e^{j5\pi/2} & e^{j7\pi/2} \\ e^{j3\pi/4} & e^{j\pi/4} & e^{j15\pi/4} & e^{j21\pi/4} \end{bmatrix} \quad (8)$$

그림 1은 시뮬레이션을 통해 구해진 제안하는 C-SDMA와 NC-SDMA의 클러스터 평균 throughput을 보여준다. 여기서, C-SDMA 기술이 NC-SDMA 기술보다 높은 용량을 보임을 확인할 수 있다. 이는 C-SDMA 기술이 타 셀 간섭을 효과적으로 억제하기 때문이다. 또한, $G=1$ 인 경우보다 $G=2$ 인 경우에 C-SDMA 기술이 높은 클러스터 용량을 제공함을 확인할 수 있다. 이는 사용하는 precoder codebook의 크기가 증가할수록 각 링크별로 세밀한 precoding을 가능하게 함으로써 각 링크의 수신 SINR을 증가시키기 때문이다.

또한, C-SDMA에서 각 AT에서 하나의 최적 전송

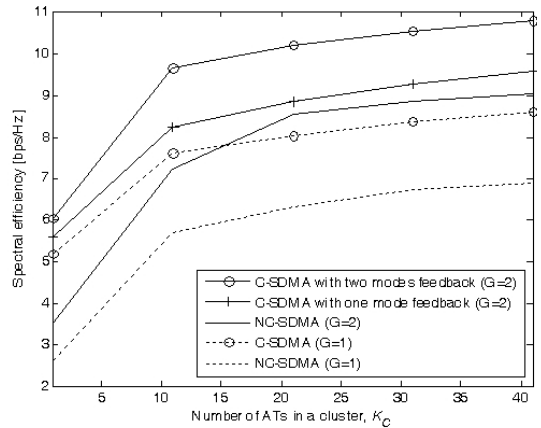


그림 1. NC-SDMA와 C-SDMA 기술의 클러스터의 평균 throughput 비교

Fig. 1. Comparison of average cluster throughput of NC-SDMA and C-SDMA.

모드를 선택하고 피드백하는 방식보다, 각 AT에서 두 개의 전송 모드를 선택하고 피드백하는 방식이 상당히 높은 용량을 제공함을 알 수 있다. 단일 전송 모드 피드백 방식은 하나의 전송 모드를 나타내기 위한 5비트와 선택된 전송 모드를 사용할 경우 AT가 수신하는 n_T 개의 SINR을 나타내기 위한 $n_T \times FB_{SINR}$ 비트가 요구된다. 여기서, FB_{SINR} 는 하나의 SINR을 나타내기 위해 필요한 비트 수이다. AT에서 G 개의 전송 모드를 선택하고, 이를 피드백하는 방식은 단일 전송 모드에서 필요한 $5 + n_T \times FB_{SINR}$ 의 G 배의 피드백 비트가 요구된다. 따라서, $G=2$ 인 경우에는 두 배의 피드백 비트가 요구된다. 결론적으로, 제안하는 두 개의 피드백 방식 중에서, 시스템의 상향 링크 피드백 채널의 허용 전송 용량에 따라, C-SDMA를 위한 최적의 피드백 방식을 선택할 수 있음을 알 수 있다.

VII. 결 론

본 논문은 협력 무선 통신 시스템에서 협력 공간 분할 다중 접속 기술을 위한 피드백 방식과 그에 따른 스케줄링 기술을 제안하였다. 제안한 기술이 제한된 피드백 정보량을 이용하여 시스템 전송 용량을 향상시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 제안한 기술은 상향 링크 피드백의 허용된 용량에 따라 최적의 피드백 방식을 선택함으로써 시스템 전

송 용량을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] P. Marsch, S. Khattak, and G. Fettweis, "A framework for determining realistic capacity bounds for distributed antenna systems", *Proc. IEEE Info. Theory Wksp. '06*, Chengdu, China, pp. 22-26, Oct. 2006.

[2] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, and R. A. Valenzuela, "Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 13, no. 4, Aug. 2006.

[3] J. G. Andrews, W. Choi, and R. W. Heath Jr., "Overcoming interference in spatial multiplexing MIMO cellular networks", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 14, no. 6, pp. 95-104, Dec. 2007.

[4] R. Irmer, H. Droste, P. Marsch, M. Grieger, G. Fettweis, S. Brueck, H-P. Mayer, L. Thiele, and V. Jungnickel, "Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results", *IEEE Communications Mag.*, vol. 49, no. 2, pp. 102-111, Feb. 2011.

[5] 3GPP TR 36.814, "Further advancements for E-

UTRA physical layer aspects", *Release 9*, v. 9.0.0, Mar. 2010.

[6] 정희진, 김도윤, 문철, 육종관, "다중 입출력 안테나 시스템을 사용하는 무선 통신 네트워크에서 기지국들간 공동 빔 성형 기술", 한국인터넷정보학회 2009년 추계학술발표대회 논문집, 2009년 10월.

[7] J. Giese, M. A. Awais, "Performance upper bounds for coordinated beam selection in LTE-advanced", *Proc. ITG/IEEE Wksp. Smart Antennas '10*, Bremen, Germany, Feb. 2010.

[8] V. Jungnickel et al., "Field trials using coordinated multi-point transmission in the downlink", *3rd IEEE Int'l. Wksp. Wireless Distrib. Net., IEEE PIMRC*, Sep. 2010.

[9] C. Mun, "Quantized principal component selection precoding for spatial multiplexing with limited feedback", *IEEE Trans. on Comm.*, May 2008.

[10] J. Salz, J. H. Winters, "Effect of fading correlation on adaptive arrays in digital wireless communications", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, pp. 1049-1057, Nov. 1994.

문 철



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 2001년 3월~2002년 2월: 삼성전자 네트워크 사업부 선임연구원

2003년 8월~현재: 국립충주대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] MIMO 시스템, 채널 모델링 등

정 창 규



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 9월~현재: 충주대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] MIMO 시스템, 채널 모델링 등