

# 셀 간 협동 CSM에서 상향 링크 용량 개선을 위한 자원 할당 알고리즘

## Radio Resource Management Algorithm for Uplink Coordinated Cooperative Spatial Multiplexing

문 철 · 조 한 신\*

Cheol Mun · Han-Shin Jo\*

### 요 약

본 논문에서는 셀 간 협동을 수행하는 cooperative spatial multiplexing(CSM)의 상향 링크 용량을 개선하기 위한 무선 자원 관리 알고리즘을 제안한다. 인접 기지국에 대한 상향 링크 간섭을 억제하기 위해 각 이동국에서 독립적으로 수행되는 최대 송신 전력 제한 알고리즘을 제안한다. 또한 서비스 기지국과 간섭 기지국이 서로 상향 링크 채널 정보를 공유하는 coordinated CSM 시스템에서 셀 간 상향 링크 간섭 억제를 통해 용량을 개선하는 협동 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘들은 낮은 복잡도로 동작하지만 인접 기지국의 상향 링크 간섭을 효과적으로 억제하여 상향 링크 시스템 용량을 증가시킬 수 있다.

### Abstract

In this paper, for a uplink space division multiple access system named cooperative spatial multiplexing(CSM), radio resource management(RRM) algorithms are proposed based on sharing uplink channel information among a serving base station(BS) and interfering BSs in a uplink coordinated wireless communication system. A constrained maximum transmit power algorithm is proposed for mobile station(MS) to limit uplink inter-cell interference(ICI). And joint scheduling algorithm among coordinated BSs is proposed to enhance uplink capacity through ICI mitigation by using channel information from interfering BSs. It is shown that the proposed RRM algorithm provides a considerable uplink capacity enhancement by effective ICI mitigation only with moderate complexity.

Key words : MIMO Systems, Uplink Space Division Multiple Access, Radio Resource Management, Inter-Cell Interference Mitigation, Transmit Power Control

### I. 서 론

무선 통신에서 고속, 고품질의 데이터 서비스를 제공하기 위해 송신단과 수신단에 다중의 안테나를 사용하는 다중 입/출력 안테나 시스템(Multiple-Input Multiple-Output: MIMO)이 제안되고 있다. Worldwide Interoperability for Microwave Access(WiMAX)에서는

상향 링크 시스템 용량 증가를 위한 Space Division Multiples Access(SDMA) 방식으로서 Collaborative Spatial Multiplexing(CSM) 기술이 제안되었다<sup>[1]</sup>. 상향 링크 CSM 기술에서는 각각 하나의 송신 안테나를 사용하는 두 개의 이동국들이 동시에 상향 링크 데이터를 전송하고, 기지국 수신기에서 동시에 전송되는 데이터들을 SDMA 기술과 Successive Interference Can-

「이 논문은 삼성전자 지원과 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0075304).」  
국립충주대학교 정보통신공학과(Department of Information & Communications Engineering, Chungju National University)

\*텍사스대학 오스틴교 전자컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Texas at Austin)

· 논문 번호 : 20100906-126

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

· 수정완료일자 : 2010년 10월 5일

cellation(SIC) 기술을 통해 분리해서 수신하는 기술이다<sup>[2]~[4]</sup>. SIC 기술을 사용할 경우, 동일 셀에서 동시에 전송되는 두 개의 데이터 스트림 간의 간섭을 거의 제거할 수 있다<sup>[5]</sup>. 따라서, CSM에서 기지국 수신기에서 수신하는 간섭의 대부분은 타 셀 간섭이며, 따라서 CSM의 추가적인 성능 개선을 이루기 위해서는 타 셀로부터 수신되는 간섭을 효과적으로 억제하는 것이 필요하다.

기존의 CSM 기술들은 동일 섹터 내에서 동시에 전송되는 상향 링크 데이터 스트림들 간의 간섭을 제거하거나 억제하는데 초점을 맞춘 기술로, 상향 링크 데이터를 전송할 두 개의 이동국을 각 셀 별로 독립적으로 스케줄링하였다. 각 셀 별 독립적인 스케줄링에 의해 선택된 이동국들이 인접 셀의 서비스 영역에 가까운 지역에 위치할 경우, 셀 간 간섭이 상당히 증가하여 성능을 저하시킨다. 이러한 단점을 개선하기 위해, 인접 셀 간 간섭이 최소화되도록 인접한 셀에서 데이터를 전송할 이동국들을 동시에 스케줄링하는 셀 간 협동 스케줄링 기술이 필요하다.

CSM 기술에서 셀 간 협동 스케줄링 기술을 사용하더라도, 간섭 셀에서 상향 링크 데이터를 송신하는 이동국의 송신 전력이 클 경우에는, 기지국에서 수신하는 타 셀 간섭 전력이 상당히 증가하게 된다. 따라서, 효과적으로 셀 간 간섭을 억제하기 위해서는 셀 간 협동 스케줄링과 함께 간섭 이동국의 송신 전력을 효과적으로 제한하는 기술이 필요하다.

본 논문에서는 셀 간 간섭이 최소화되도록 인접 셀들의 이동국들을 동시에 스케줄링하는 셀 간 협동 스케줄링 기술과 각 이동국들의 상향 링크 송신 전력을 효과적으로 제한하는 기술을 제안하고, 이를 이용한 CSM의 성능 개선을 시뮬레이션을 통해 보인다.

## II. CSM 시스템 모델

본 절에서는 기존의 CSM 시스템 모델을 설명한다. CSM 기술은 다중 안테나를 사용하는 기지국 수신기에서, 다수 이동국들이 동시에 전송하는 상향 링크 신호를 SDMA를 통해 수신하는 기술이다<sup>[1]</sup>. 이동국 송신기는 단일 송신 안테나를 사용하고, 기지국 수신기가  $n_R$ 개의 수신 안테나를 사용할 경우,  $n_R$ 개

의 이동국이 동시에 각기 하나의 데이터 스트림을 전송하여, 각 셀의 상향 링크에서는 총  $n_R$ 개의 데이터 스트림이 동시에 전송된다.  $x_k$ 는  $k$ 번째 송신기의 송신 신호,  $\mathbf{h}_k$ 는  $n_R \times 1$  상향 링크 채널 벡터,  $\gamma_k$ 는 평균 수신 signal-to-noise ratio(SNR),  $P_k$ 는  $k$ 번째 송신기의 송신 전력이라고 하고, 주파수 비선택적 페이딩을 가정하면 기지국에서의 상향 링크 수신 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \in S}}^{n_R} \sqrt{\gamma_k P_k} \mathbf{h}_k x_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in O}}^I \sqrt{\gamma_i P_i} \mathbf{h}_i x_i + \mathbf{n} \quad (1)$$

여기서,  $S$ 와  $O$ 는 현재 기지국에 속한 이동국들의 index set과 간섭 기지국에 속한 이동국들의 index set을 각각 나타낸다.

각 기지국은  $K$ 개에서  $n_R$ 개를 선택하는 모든 경우의 이동국 집합,  $S_m, m=1, \dots, C_{n_R}^K$ 에 대해 스케줄링 priority를 계산하고, 가장 높은 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합을 다음과 같이 선택한다.

$$S_m^* = \operatorname{argmax}_{m=1, \dots, C_{n_R}^K} f(S_m) \quad (2)$$

여기서,  $f(S_m)$ 은 이동국 집합  $S_m$ 에 속하는 이동국들의 수신 가능 SINR  $\{\Gamma_{m,l}\}_{l=1, \dots, n_R}$ 에 의해 계산되는 scheduling priority 함수이다. 대표적인 scheduling priority 함수로는 proportional fair 스케줄링이 있다.

이 때, 기지국은 식 (2)의 스케줄링을 위해 이동국 집합  $S_m$ 에 속하는 이동국들의 수신 가능 SINR  $\{\Gamma_{m,l}\}_{l=1, \dots, n_R}$ 을 추정한다. 기지국은 상향 방향 링크에서 동시에 전송되는 동일 셀의 상향 링크 채널  $\mathbf{h}_k, k \in S_m$ 을 추정할 수 있기 때문에, 순차적인 간섭 제거(successive interference cancellation, SIC)에 의해 동일 셀 간섭이 완벽이 제거되었다고 가정하고, 이동국 set  $S_m$ 에서  $l$ 번째로 decoding되는 신호의 SINR  $\Gamma_{m,l}$ 을 다음과 같이 추정한다<sup>[5]</sup>.

$$\Gamma_{m,l} = \frac{\gamma_l P_l |\mathbf{w}_l^H \mathbf{h}_l|^2}{\sum_{s > l, s \in S_m} \gamma_s P_s |\mathbf{w}_l^H \mathbf{h}_s|^2 + \sum_{i \in O} \gamma_i P_i |\mathbf{w}_l^H \mathbf{h}_i|^2 + N_0} \quad (3)$$

여기서,  $\mathbf{w}_l$ 은 수신 가중치 벡터를 나타내고, 분모의 첫 번째 항은 동일 셀로부터 수신되는 신호이지만

아직 간섭이 제거되지 않은 신호로부터의 자기 셀 간섭 전력을 나타낸다. 한편, 식 (3) 분모의 두 번째 항은 타 셀로부터 수신되는 신호에 의한 간섭 전력을 나타내며, non-coordinated CSM 시스템의 경우, 타 셀로부터 수신되는 간섭 채널  $h_i, i \in O$ 에 대한 정보를 가지고 있지 못하기 때문에, 각 serving 기지국 단독으로 계산하는 식 (3)의 SINR에는 오차가 포함될 수밖에 없다.

각 기지국의 스케줄링에 의해 선택된 이동국 set  $S_m^*$ 에 의해 얻어지는 실제 상향 링크 시스템 용량은 다음과 같이 구해진다.

$$C(S_m^*) = \sum_{l=1}^{n_R} \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma_l P_l |w_l^H h_l|^2}{I_s + I_o + N_0} \right), \quad (4)$$

여기서,  $I_s = \sum_{s > l, s \in S_m^*} \gamma_s P_s |w_s^H h_s|^2$ 는 동일 셀 간섭을 나타내며,  $I_o = \sum_{i \in O} \gamma_i P_i |w_i^H h_i|^2$ 는 타 셀로부터의 간섭 전력을 나타낸다. 여기서, 이동국 set  $O^*$ 는 간섭 기지국에서 독립적으로 수행된 스케줄링에 의해 선택된 이동국 set이다. 따라서, 각 기지국의 스케줄러에서 추정된 식 (3)의 SINR은 식 (4)의 실제 수신 SINR과 상당히 다르다. 이러한 현상은 특히, 동일 셀로부터 양호한 채널 환경을 가지면서 타 셀로부터 상당한 간섭을 받는 경우에 두드러진다. 이러한 경우, 각 기지국 스케줄러에 의해 이동국이 데이터를 전송하도록 선택되더라도, 해당 이동국의 실제 전송 용량은 상당한 타 셀 간섭에 의해 스케줄러에 의해 추정된 전송 용량보다 상당히 감소하게 된다. 따라서, 타 셀 간섭을 정확히 고려하여 전송 가능 데이터 용량을 추정함으로써 스케줄링에 의한 다중 사용자 다이버시티 이득을 최대화 할 수 있다. 이를 위해서는 기지국간의 coordination을 통해 셀 간 간섭 채널 정보를 공유해야 한다.

### III. CSM 용량 개선을 위한 적응 송신 전력 제한 알고리즘

기존 CSM에서는 각 이동국이 데이터 전송에 사용할 수 있는 최대 전력을 제한함으로써 상향 링크에서 발생하는 셀 간 간섭을 일정 수준 이하로 억제하는 기술을 사용한다. 기존의 상향 링크 전력 제어

에서 각 이동국은 상향 링크 데이터 전송 시 마다, 송신 전력  $\{P_k\}_{k=1, \dots, K}$ 가 최대 송신 전력  $P_{\max}$ 를 초과하지 않도록, 다음 (6)과 같이 최종 송신 전력  $\{P_k^*\}_{k=1, \dots, K}$ 를 결정한다.

$$P_k^* = \min(P_k, P_{\max}) \quad (5)$$

여기서,  $P_{\max}$ 는 고정된 값으로 spectral masks와 error vector magnitude requirements를 만족하기 위한 사용자의 최대 송신 전력이다. 따라서,  $P_{\max}$ 는 타 셀로부터 발생하는 추가적인 간섭을 고려하지 못한 값이기 때문에, 타 셀의 상향 링크에 주는 간섭을 최소화하기 위해서는, 최대 송신 전력  $P_{\max}$ 를 보다 엄격히 제한해야 한다.

본 논문에서는, 각 이동국에서 간섭 셀로의 상향 링크 간섭량을 고려하여 간섭 셀로 일정량 이상의 간섭 전력이 전달되지 않도록, 각 이동국의 최대 송신 전력을 적응적으로 결정하는 방식을 제안한다. 이 방식은 기지국간 정보 교환이나 협력 없이 적용 가능하다. 각 기지국에 속한 이동국들은 주변 간섭 셀로부터 수신되는 신호의 수신 전력을 충분한 시간 구간 동안 시간 평균을 취하여,  $m$ 번째 간섭 기지국로부터  $k$ 번째 이동국으로 평균 수신 전력  $R_{k,m}$ 을 구하고,  $m$ 번째 간섭 기지국의 송신 전력  $T_m$  정보를 이용하여,  $m$ 번째 간섭 기지국으로부터  $k$ 번째 이동국까지 평균 경로 손실  $L_{k,m} = R_{k,m}/T_m$ 을 계산한다. 평균 경로 손실이 적을수록,  $k$ 번째 이동국이 간섭 셀 기지국에 대해 큰 간섭을 주기 때문에,  $M$ 개의 간섭 기지국들에 대한 경로 손실 중에 최소 경로 손실  $L_{k,\min} = \min(L_{k,1}, \dots, L_{k,M})$ 을 사용하여,  $k$ 번째 이동국의 최대 송신 전력을 결정한다.

$k$ 번째 이동국은 간섭 기지국에 대한 최대 간섭 전력  $P_k L_{k,\min}$ 가, 시스템에서 미리 정하는 허용 최대 간섭량  $I_{th}$ 을 초과하지 않도록, 이동국의 송신전력  $P_k^*$ 을 다음 식 (6)과 같이 제한한다.

$$P_k^* L_{k,\min} \leq I_{th} \quad (6)$$

결론적으로,  $k$ 번째 이동국이 사용할 수 있는 최대 송신 전력  $P_k^*$ 은 다음 식 (7)과 같이 결정된다.

$$P_k^* = \min(I_{th}/L_{k,\min}, P_{\max}) \quad (7)$$

시스템에서 미리 정하는 최대 허용 간섭량  $I_{th}$ 는 시스템 별로 상이할 수 있으며, 대표적인 예로서,  $I_{th} = \alpha \times NF_{out} \times N_o \times W$ 와 같이 기지국의 잡음 전력의  $\alpha$ 배로 결정할 수 있다. 여기서, 기지국의 잡음 전력을 결정하는  $NF_{out}$ , 그리고  $N_o$ ,  $W$ 는 각각 기지국의 잡음 지수(noise figure), 잡음 전력 스펙트럴 밀도(noise spectral density), 그리고 사용 대역폭이다. 본 논문에서는  $\alpha = 0.25$  값을 고려하였다. 위의 최대 송신 전력 결정 과정은 각 이동국 별로 수행되어, 이동국 별로 최대 송신 전력량을 결정한다.

#### IV. Coordinated CSM을 위한 충돌 회피 스케줄링 알고리즘

상향 링크 CSM에서 타 셀 간섭을 효과적으로 억제하기 위해서는, 간섭 셀로부터 오는 채널 벡터  $\{h_i\}_{i \in O}$ 를 추정해야 하며, 동시에 간섭 셀에서 데이터를 전송하는 이동국들이 최대한 서비스 신호에 간섭을 주지 않도록 스케줄링되어야 한다. 이를 위해서는 서비스 기지국과 간섭 기지국이 각각의 상향 링크 채널 정보를 공유하고, 기지국간 간섭을 최소화 하도록 서비스 기지국과 간섭 기지국에서 이동국들을 joint하게 스케줄링하는 셀간 충돌 회피(intercell collision avoidance) 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 인접한 셀의 기지국들이 광대역의 유선 통신망을 통해 각 셀의 상향 링크 채널 정보를 서로 공유하는 coordinated CSM 시스템을 가정한다. 설명을 위해 (a, b, c) 세 개의 셀이 하나의 클러스터를 구성하고, 각 클러스터에는 각 셀로부터 상향 링크 채널 정보 및 스케줄링 request를 공유하며, 속한 셀들에서 데이터를 전송할 이동국들을 joint하게 결정하는 하나의 스케줄러가 존재하는 coordinated CSM 시스템을 가정한다.

순차적인 간섭 제거기를 사용하는 상향 링크 CSM에서 겪는 간섭의 대부분은 타 셀로부터 수신되는 간섭이기 때문에, 상향 링크 CSM의 추가적인 성능 개선을 이루기 위해서는 타 셀로부터 수신되는 간섭을 효과적으로 억제하는 것이 필요하다. 이를 위해서 세 개의 셀들로부터 채널 정보 및 스케줄링 request를 공유하고, 세 개의 셀들에서 데이터를 전송할 이동국들을 joint하게 결정하는 스케줄링 알고리

즘을 제안한다.

먼저, 클러스터에 속하는 각 이동국로부터 각 셀 기지국으로의 평균 수신 SNR  $\{\gamma_{k,i}\}_{i \in \{a,b,c\}}$ 을 추정한다. 여기서  $\gamma_{k,i}$ 는  $k$ 번째 이동국으로부터  $i$ 번째 셀 기지국으로의 평균 수신 SNR을 의미한다. 추정된 평균 수신 SNR  $\{\gamma_{k,i}\}_{i \in \{a,b,c\}}$ 을 이용하여 다음과 같이 가장 높은 평균 수신 SNR을 제공하는 셀의 기지국을  $k$ 번째 이동국의 서비스 기지국으로 결정한다.

$$s_k^* = \operatorname{argmax}_{i=a,b,c} \gamma_{k,i} \quad (8)$$

또한, 간섭 셀의 기지국으로부터 수신되는 SNR이 서비스 셀의 기지국으로부터 수신되는 SNR의 일정 부분 이상일 경우,  $k$ 번째 이동국의 주 간섭 셀로 다음과 같이 지정한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_{k,s_k^*} \\ \gamma_{k,i} \end{array} \right\}_{i=a,b,c,i \neq s_k^*} < \gamma_{th} \quad (9)$$

본 논문에서는  $\gamma_{th} = 10$ 으로 고려한다. 즉, 간섭 셀로부터 수신되는 SNR이 서비스 셀로부터 수신되는 SNR의 0.1배 이상일 경우에는 해당 이동국이 데이터를 전송할 경우, 간섭 셀의 역방향 링크에 상당한 간섭을 주는 것을 의미한다. 위와 같은 과정을 거쳐 클러스터 내의 모든 이동국들은 서비스 셀과 주 간섭 셀을 결정한다. 예를 들어, 한 이동국이(servicing cell, interfering cell, interfering cell)=(a, b, 0)라고 하면, 서비스 셀은 a이고, 주로 간섭을 주는 셀은 b가 된다. 다른 예로서, (b, a, c)는 서비스 셀은 b이고, 주로 간섭을 주는 셀은 a와 c가 된다.

클러스터 스케줄러는 역방향 링크 데이터 전송을 위해 선택되는 각 기지국의 이동국들이 타 셀의 주 간섭이 되지 않도록 하는 충돌 회피 스케줄링 과정을 수행한다. 구체적인 과정은 다음과 같다.

- ① 클러스터 스케줄러는  $S_m^{(a)}$ ,  $S_m^{(b)}$ ,  $S_m^{(c)}$ 의 이동국 집합 중 최대 스케줄링 priority를 만족하는 이동국 집합을 다음과 같이 선택한다.

$$S_{m_n}^{(n^*)} = \operatorname{argmax}_{n,n=a,b,c} \max_{m=1, \dots, K} f(S_m^{(n)}) \quad (10)$$

즉, 스케줄링 priority를 가지는 기지국 index  $n^*$ 와 해당 기지국의 최대 스케줄링 priority를 가지는 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n^*)}$ 을 선택한다. 이를 위해, 각 이동국 집

합에 대한 수신 가능 SINR 추정을 할 때, 수행될 충돌 회피 스케줄링을 통해 선택된 이동국들은 서비스 셀과 주 간섭 셀이 서로 충돌하지 않을 것으로 가정하고,  $k$ 번째 상향 링크에 대한 평균 간섭 전력  $\rho_k$ 을 구할 때 주 간섭을 일으키지 않는 역방향 링크들로부터 수신하는 평균 간섭 전력들을 평균하여 구한다. 예를 들어,  $k$ 번째 이동국의 역방향 링크가  $(a, b, 0)$ 의 서비스 셀과 주 간섭 셀을 가질 경우,  $b$ 가 수신호 셀이면서  $a$ 셀에 간섭을 주는, 즉  $(b, a, 0)$ 의 이동국들을 제외한 간섭 셀의 이동국들로부터의 역방향 링크 간섭 전력을 구한 후 평균하여, 타 셀로부터 수신되는 평균 간섭 전력  $\rho_k$ 을 구한다. 이를 이용하여, 클러스터 스케줄러는 기지국  $n$ 의 이동국 set  $S_{m_n}^{(n)}$ 에서  $l$ 번째로 decoding되는 신호의 SINR은 다음과 같이 추정한다.

$$\Gamma_{m,l}^{(n)} = \frac{\gamma_l P_l |w_l^H h_l|^2}{\sum_{s>l, s \in S_n} \gamma_s P_s |w_s^H h_s|^2 + \rho_k + N_o} \quad (11)$$

② 클러스터 스케줄러는 식 (10)에서 선택된 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n)}$ 에 대한 두 개의 간섭 셀  $\{n\}_{n=a,b,c,n \neq n}$  중 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합을 포함하는 셀  $h^*$ 를 선택하고, 셀  $h^*$ 의  $\kappa C_{n_r}$ 개의 이동국 집합 중에서, 식 (10)에서 선택된 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n)}$ 과 충돌이 발생하지 않으면서 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합  $S_{m_h}^{(h)}$ 을 선택한다. 구체적으로 설명하면, 식 (10)에서 선택된  $n^*$ 셀의 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n)}$ 의 주 간섭 셀이  $h^*$ 일 경우, 셀  $h^*$ 의 이동국 집합 중 주 간섭 셀이  $n^*$ 이 아니면 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합  $S_{m_h}^{(h)}$ 을 선택한다. 반면에, 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n)}$ 의 주 간섭 셀이  $h^*$ 가 아닌 경우, 셀  $h^*$ 의 모든  $\kappa C_{n_r}$ 개의 이동국 집합들 중 스케줄링 priority를 갖는  $S_{m_h}^{(h)}$ 을 선택한다.

③ 클러스터 스케줄러는 마지막으로 이동국 집합이 선택되지 않은 셀  $l^*$ 의  $\kappa C_{n_r}$ 개의 이동국 집합 중에서, 이미 선택된 셀  $n^*$ 의 이동국 집합

$S_{m_n}^{(n)}$ 과 셀  $h^*$ 의  $S_{m_h}^{(h)}$ 와 충돌이 발생하지 않으면서 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합을 선택한다. 구체적으로 설명하면, 이미 선택된 이동국 집합  $S_{m_n}^{(n)}$ 과  $S_{m_h}^{(h)}$ 의 주 간섭 셀이  $l^*$ 일 경우, 셀  $l^*$ 의 사용자 집합 중 주 간섭 셀이  $n^*$ 과  $h^*$  모두 아니면 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합  $S_{m_l}^{(l)}$ 을 선택한다. 반면에,  $S_{m_n}^{(n)}$ 의 주 간섭 셀만  $l^*$ 일 경우, 셀  $l^*$ 의 사용자 집합 중 주 간섭 셀이  $n^*$ 이 아니면 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합  $S_{m_l}^{(l)}$ 을 선택한다. 또한,  $S_{m_h}^{(h)}$ 의 주 간섭 셀만  $l^*$ 일 경우, 셀  $l^*$ 의 사용자 집합 중 간섭 셀이  $h^*$ 이 아니면 스케줄링 priority를 갖는 이동국 집합  $S_{m_l}^{(l)}$ 을 선택한다.

④ 클러스터 스케줄러는 위와 같이 각 셀 별로 이동국 집합을 선택한 후, 선택된  $S_{m_n}^{(n)}$ ,  $S_{m_h}^{(h)}$ ,  $S_{m_l}^{(l)}$ 에게 각 셀의 상향 링크 자원을 할당한다.

## V. 성능 분석 및 결론

본 절에서는 WiMAX 시스템을 모사하는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 제안한 기술들의 성능을 비교 분석한다. 모의실험을 위해 2 tier로 구성된 총 7개의 셀을 고려하였다. 각 셀은 총 3개의 섹터로 구성되며, 충돌 회피를 위한 joint 스케줄링이 수행되는 클러스터는 각 셀의 3개의 섹터로 구성된다. 기지국 간의 거리는 800 m이고 매 드롭마다 섹터 별로 동일한 수의 이동국이 균일하게 분포되며, 매 드롭에서 이동국의 위치와 속도는 고정된다. 각 이동국은 자신이 위치한 섹터 기지국에서 상향 링크 수신 전력이 최대가 되도록 상향 링크를 형성한다. 이동국으로부터 기지국에 수신되는 수신 전력은 경로 손실과 shadowing, 그리고 fast-fading에 의한 순시 채널 이득을 고려하여 구해진다. 순시 채널은 flat Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였으며, 이동국의 이동 속도는 3 km/h로 가정하였고, 5 ms마다 채널을 발생시킨다.

모든 클러스터는 충돌 회피 스케줄링을 통해 각 섹터에서 데이터를 전송할 이동국 집합을 선택하고, 각 섹터별 상향 링크 sum rate의 평균을 계산한다. 성

표 1. 상향 링크 시뮬레이션 변수

Table 1. System parameters for uplink simulation

변수	값
셀 구조	7(hexagonal grid, 1-ring, 3-sector system, 21 sectors)
기지국 간의 거리	800 m
안테나 패턴	70 deg(-3 dB) with 20 dB front-to-back ratio
기지국 안테나 이득 (cable loss 포함)	15 dBi (17 dB BS antenna gain, 2 dB cable loss)
이동국 안테나 이득	-1 dBi
이동국 잡음 지수	7 dB
열잡음 밀도	-174 dBm/Hz
기준 반송파 주파수	2.5 GHz
경로 손실 모델	ITU-model
Fast fading 유형	Rayleigh fading
Log-Normal Shadowing	표준 편차=10 dB(NLOS) 기지국간 상관도: 0.5
대역폭	10 MHz
AT 최대 송출 전력	20 W(23 dBm)
안테나 수	기지국: 2, 이동국: 1

능 평가를 위한 모의실험에 사용된 시스템 변수는 WiMAX 시스템을 모사하도록 결정되었으며, 표 1에 정리되어 있다.

그림 1은 섹터 당 이동국수에 따른 평균 섹터의 sum rate 결과를 보여준다. Proportional fair 스케줄링 알고리즘을 고려하였으며, 다음의 세 가지 경우의 용량을 비교 분석하였다.

- Conventional fixed max. tx. pwr.: 식 (5)의 고정된 이동국 최대 송신 전력을 사용하는 경우
- Proposed adaptive max. tx. pwr.: 제안하는 식 (7)의 각 이동국의 최대 송신 전력을 적응적으로 결정하는 알고리즘을 이용하는 경우
- Proposed adaptive max. tx. pwr. & CA scheduling: 제안하는 식 (7)의 적응 송신 전력 제한 알고리즘과 충돌 회피 스케줄링 알고리즘을 동시에 사용하는 경우

먼저, 제안하는 이동국 최대 송신 전력을 적응적으로 결정하는 알고리즘은 기존의 고정된 최대 송신

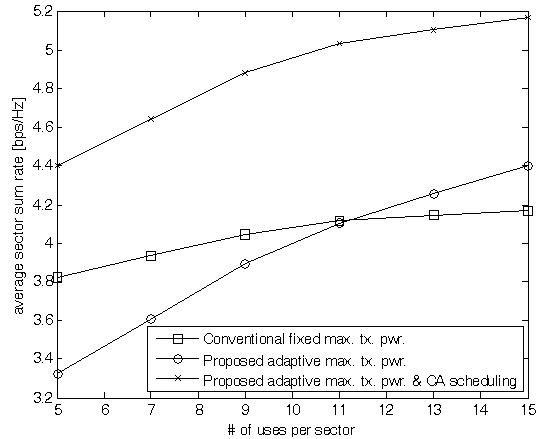


그림 1. 평균 섹터 sum rate(수신 안테나 간격: 0.5 λ)  
Fig. 1. Average sector sum rate (transmit antenna spacing: 0.5 λ)

전력을 사용하는 경우보다 이동국 수가 섹터당 10명 이상일 경우에만 용량 개선을 보인다. 이는 섹터 당 이동국수가 증가할수록, 각 기지국의 PF 스케줄러에 의해 선택되는 이동국 중에서 섹터 가장자리에 위치하여 타 섹터에 간섭을 많이 주는 이동국 수가 증가하게 되며, 이러한 환경에서는 타 셀에 주는 간섭량을 제한하도록 송신 전력을 결정하도록 하는 제안 알고리즘의 성능이 우수해진다. 반면에 섹터 당 이동국수가 적은 경우에는 제안하는 최대 송신 전력 결정 알고리즘이 이동국의 최대 송신 전력을 필요 이상으로 낮게 설정하고 있음을 알 수 있다. 이러한 문제는 시스템 특성 및 운용 환경에 따라, 허용 타 셀 간섭량  $I_{th}$ 를 결정하는  $\alpha$  값을 최적화함으로써 해결할 수 있다.

또한, 제안하는 이동국 최대 송신 전력 결정 알고리즘과 제안하는 셀간 충돌 회피 스케줄링 알고리즘을 동시에 사용하면 기존의 고정된 최대 송신 전력을 사용하는 경우보다 용량이 25%가 증가됨을 보여준다. 이는 제안하는 알고리즘들이 상향 링크 셀간 간섭을 효과적으로 억제함으로써 CSM 시스템의 상향 링크 용량을 개선시킬 수 있음을 보여 준다.

### 참 고 문 헌

[1] M. Ergen, *Mobile Broadband - Including WiMAX and LTE*, Springer, NY, 2009.

- [2] M. El-Hajjar, S. Zummo, and L. Hanzo, "Near-instantaneously adaptive cooperative uplink schemes based on space-time block codes and VBLAST", in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, Dublin, Ireland, pp. 2200-2204, Apr. 2007.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. System description", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, 2003.
- [4] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part II. Implementation aspects and performance analysis", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no. 11, pp. 1939-1948, 2003.
- [5] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communications in a fading environment when using multi-element antennas", *Bell Labs Tech. J.*, vol. 1, pp. 41-59, 1996.

### 문 철



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

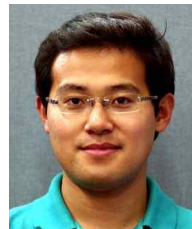
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

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

### 조 한 신



2001년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

2004년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

2009년 9월~현재: University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow

[주 관심분야] MIMO 시스템, 랩토셀 및 이기종 네트워크 등