

# 3GPP-LTE 및 LTE-Advanced에서의 협력전송기술

서장은 윤석현 (한양대학교)

## I. 서론

2009년 3GPP LTE (long term evolution) Release-8의 규격화가 확정되었으며 현재 LTE-A Release-10의 표준화가 한창 진행 중이다. LTE-A에서의 주요 이슈는 세 가지로 요약될 수 있다.

- (1) 더 넓은 대역의 지원을 위해 여러 개의 반송파를 묶는 carrier aggregation 방법과 이의 지원을 위한 각종 물리 채널의 확장 방안
- (2) 상하향 다중입력 다중출력 (MIMO) 전송에서 안테나수의 확장에 따른 기준 신호 (Reference signal) 설계 및 채널 정보 Feedback 설계 방안
- (3) 효과적인 셀간 간섭의 제거와 셀 변두리 사용자의 서비스 품질 향상을 위한 CoMP (Coordinated Multi-Point) 방법

이중 마지막 이슈는 2월에 이루어진 표준화 회의에서의 합의에 따라 Release-10에서는 더 이상 다루지 않게 되었다. 그러나, 현재까지도 부분적으로 논의는 계속되는 상황이며 Release-

10 이후 언제든지 다시 표준화 이슈에 포함될 것으로 보인다. 따라서, 본 특집호에서는 셀간 간섭 제거 기술들과 이들과 관련된 Signaling 방안들에 대해 간략히 소개하고자 한다.

일반적으로 3GPP-LTE에서 CoMP로 일컬어지는 기술은 크게 두 가지로 분류된다. 즉, (1) 협력 스케줄링 및 빔포밍과 (2) 결합 전송(Joint Transmission)이 그것이다. 전자의 경우 인접한 여러 개의 셀 (coordinating cells)은 서로 스케줄링 정보를 주고 받아 상호간 간섭을 최소화하는 방향으로 협업에 의해 각 셀의 리소스를 할당할 수 있으며 하나의 UE (User Equipment)는 하나의 전송노드로부터만 데이터를 받는 반면, 후자의 경우 다중의 전송 노드가 협력적인 방법으로 동시에 하나의 UE에게 데이터를 전송하는 방법으로 분류된다. 이러한 방안이 실제로 구현되기 위한 표준 이슈들로는

- (1) 채널 측정 및 채널정보 피드백 방안
- (2) 기준 신호 설계 방안
- (3) 결합전송을 위한 전처리 방안

등이 있다.

본 특집호에서는 위에서 언급한 분류 방법보다는 (1) 단일 안테나 시스템을 위한 간섭 제거 기술로 협력 스케줄링 기술과 (2) 다중안테나 기반의 간섭제거 기술로 협력 빔포밍 및 결합 전송의 기술로 분류하고 각 기술의 원리와 관련된 표준화 이슈들에 대해 소개하고자 한다.

우선, 다음의 II장에서는 협력 스케줄링 기술에 대해, III장에서는 협력 빔포밍 및 결합 전송 기술, 특히, Network MIMO의 개념과 관련 기술에 대해 알아보고, 마지막으로, IV장에서는 향후 간섭 제거 기술의 표준화 및 기술 진화에 대한 결론으로 끝맺고자 한다.

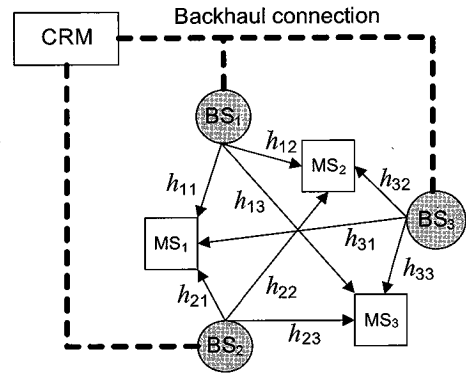
## II. 협력 스케줄링 기술

협력 스케줄링은 기본적으로 단일 안테나 시스템에서 인접 셀간 채널 정보 등을 상호 공유하여 사용자 스케줄링과 전력 제어를 협력적으로 수행하는 방법이다.

### 1. 시스템 모델

<그림 1>에 협력 스케줄링 기술이 적용되는 셀룰라 시스템의 모델을 도시하였다. 시스템의 구성 요소는 세 가지로 이동단말(MS), 기지국(BS) 그리고 중앙자원관리시스템(CRM, central resource manager)로 구성된다. 일반적으로 협력 클러스터로 불리는 인접 셀들의 기지국은 backhaul 연결을 통해 CRM과 연결되어 있으며 다음의 과정에 따라 자원 할당을 수행한다.

- (1) 우선, 클러스터 내의 각 이동국은 serving BS와 강한 간섭을 발생하는 인접 BS로부



BSs are cooperating through backhaul connection with CRM

<그림 1> 협력 스케줄링을 위한 시스템 모델

터의 신호 강도를 측정하여 측정된 채널 정보를 serving BS에 피드백 한다.

- (2) 기지국에 연결된 사용자 정보와 이들 사용자가 기지국에 알려준 채널 정보를 CRM으로 전송한다.
- (3) CRM은 각 BS로부터의 정보를 종합하여 자원을 할당하고 다시 각 BS에 자원 할당 정보를 알려준다.
- (4) 각 BS는 CRM으로부터 얻은 자원 할당 명령에 따라 그 BS에 연결된 사용자에게 자원을 할당하여 데이터를 전송한다.

<그림 1>에서  $h_{ij}$ 는  $i$ 번째 BS와  $j$ 번째 MS간 채널 이득을 나타내는 복소수로 두 노드간 채널 강도는  $g_{ij} = |h_{ij}|^2$ 로 정의할 수 있다. 한편, 협력 클러스터에 포함된 BS(셀)의 개수를  $N$ 이라고 하고  $n$ 번째 BS에 연결된 MS의 집합을  $U_n$ , 이에 연결된 사용자의 수, 즉, 집합  $U_n$ 의 크기를  $K_n$ 이라하자. 또한, 스케줄링 벡터와 전력 할당 벡터를 각각 크기  $N \times 1$ 의 벡터  $\vec{u}$ 과  $\vec{p}$ 이라하자. 여기서,  $\vec{u}$ 과  $\vec{p}$ 의 각 요소  $u_n \in U_n$ 과  $p_n$ 은 각각  $n$ 번째 BS에 할당된 사용자 인덱스와 전력

을 의미하며 전력의 경우  $0 \leq p_n \leq p_{\max}$ 의 constraint를 갖는다. 이러한 정의에 따른  $n$ 번째 BS에 할당된 사용자  $u_n$ 의 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_{u_n} = \underbrace{\sqrt{p_n} h_{n,u_n} x_n}_{\text{Signal}} + \underbrace{\sum_{j \neq n} \sqrt{p_j} h_{j,u_n} x_j}_{\text{interferences}} + \underbrace{n_{u_n}}_{\text{noise}} \quad (1)$$

$n$ 번째 BS에 할당된 사용자  $u_n$ 의 SINR은 다른 셀에서의 사용자 할당과는 무관하며 전력할당에만 의존하는데  $n$ 번째 BS에  $u$ 번째 사용자가 할당되었다면 이사용자의 SINR은 식(1)로부터

$$\gamma_n(u, \vec{p}) = \frac{p_n g_{n,u_n}}{N_0 + \sum_{j \neq n} p_j g_{j,u_n}} \quad (2)$$

으로 주어지며 간단한 Shannon 공식을 이용하면 이에 상응한 이론적 전송율은

$$R_n(u, \vec{p}) = \log(1 + \gamma_n(u, \vec{p})) \quad (3)$$

이 된다.

따라서, 다중셀 환경에서의 사용자할당과 전력할당의 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$[\vec{u}^*, \vec{p}^*] = \underset{u, p}{\operatorname{argmax}} \sum_{n=1}^N R_n(u, \vec{p}) \quad (4)$$

이는 non-convex 최적화 문제로 일반적인 최적화 방법으로는 해를 구할 수 없으며 [2], 이에 따라 이에 따라 여러 가지 근사화 및 단순화된 방안들이 고안되었다 [2~6].

Geometric Programming을 이용한 방법:

Geometric programming 방법<sup>[3,4]</sup>은 목적함수가 특정한 형태, 즉, 개별 비용/목적 함수들의 곱으로 주어지는 monomial의 형태를 갖는 경우 적용이 되는데 식(4)의 목적함수를 다시 정리해보면

$$\sum_{n=1}^N R_n(u_n, \vec{p}) = \log \left( \prod_{n=1}^N (1 + \gamma_n(u_n, \vec{p})) \right) \quad (5)$$

이되며 log함수는 단순증가 함수이므로 geometric programming을 이용한 최적화가 가능해진다 [2].

On-off 전력 제어: 단순화된 방안의 하나로 on-off 전력제어, 혹은, 이진 전력제어 방안이 제안되었으며 [5,6], 이 경우, 가능한 전력 벡터 집합, 즉, 탐색 공간(search space)는  $N$ -차원 hypercube에서 all-zero 벡터를 제외한  $2^N - 1$  개의 corner-point로 구성된다. 물론, 이 경우에도 연산의 복잡도는  $N$ 의 멱에 비례하므로 여전히 복잡도는 높으나 협력 클러스터의 크기가 작은 경우 실시간 처리에 문제는 없을 것으로 판단된다. [5]와 [6]에서 보인 바와 같이 이진 전력제어는  $N=2$ 인 경우 최적의 해인 것으로 알려져 있으며  $N$ 이 3이상인 경우에도 최적해가 갖는 성능과 큰 차이는 없는 것으로 알려져 있다 [2]. 물론, 이러한 성능은 평균적인 수율의 향으로 분석된 것으로 현실적으로는 평균 수율과 사용자간 공평성을 모두 고려하여 평가되어야 하며 셀의 변두리에 있는 사용자들, 즉, worst case에 대한 성능 평가가 추가적으로 분석에 포함되어야 할 것으로 판단된다.

분산 스케줄링 (distributed scheduling): Geometric programming 방법과 이진 전력제어 모두 기본적으로 CRM이 모든셀의 BS와 MS

간 채널 정보를 알고있어야만 구현 가능하다. 즉, MS는 serving BS를 포함하여 간섭으로 작용하는 모든 다른 BS와의 채널강도,  $g_{ij}$ ,를 측정하여 리포트해주어야 하며, CRM은 이를 모두 받은 상태에서만 주어진 사용자 스케줄링 벡터와 전력할당 벡터에 대한 SINR을 계산할 수 있다. 이러한 backhaul을 통한 정보의 공유는 실제 구현 측면에서는 매우 번거로운 일이며, 따라서, 가능하다면 CRM을 사용하지 않고 인접 BS간 부분적인 정보공유를 통한 사용자 및 전력할당이 이루어질 수 있다면 좋을 것이다. 이러한 요구에 따라, 많은 분산 스케줄링 방안들이 제안되었다 [7~13].

**게임 이론적 접근방법** [7,8]: 이 방안은 다중셀 CDMA 시스템에서의 전력제어를 위한 분산 전력제어의 방안으로 제안되었는데, 당시에는 사용자 스케줄링은 고려하지 않고 단순히 전력제어만을 고려하여 문제가 약간 다르게 공식화되었으나, 사용자 스케줄링을 포함시키는 것은 쉽게 이루어 질 수 있다. 문제는, 목적함수로서 단지 개별 사용자의 수율(원 논문에서는 “utility” 함수의 개념을 도입하여 트래픽 특성에 따라 여러 가지의 utility 함수를 제시하였음)의 최대화만을 고려하는 경우 모든 사용자는 이기적인 방향으로 전력제어가 된다는 것이 밝혀졌다. 따라서, 전체 네트워크의 수율 향상을 보장하기 위한 새로운 항, 예를 들면 전력에 대한 비용 등을 목적함수에 포함시킬 것이 요구된다 [2,8].

**분산 이진 전력제어** [9,10]: [9]에서 제안된 방법의 경우 밀집한 네트워크, 즉, 클러스터 크기가 매우 크고 셀들이 상대적으로 가까운 거리에 있다는 가정 하에 다음과 같은 단순화된 간섭 전력 모델을 사용한다.

$$\sum_{j \neq n} p_j g_{j,u_n} \approx G \cdot \sum_{j \neq n} p_j = G(\tilde{N}-1)p_{\max} \quad (6)$$

여기서  $G$ 는 평균 채널 강도이며  $\tilde{N}$ 은 on 상태에 있는 셀의 개수를 나타낸다. 이러한 간섭전력의 근사화는 실제 간섭전력과 전력할당 벡터 간 상호의존도를 제거하여 매우 단순한 전력제어 규칙이 얻어지는데 셀이 on상태가 되는 조건은 다음과 같다.

$$\gamma_n(u, \vec{p}) \leq \left( \frac{\tilde{N}-1}{\tilde{N}-2} \right)^{\tilde{N}-1} \xrightarrow{\tilde{N} \rightarrow \infty} e \quad (7)$$

즉, BS는 MS로부터 피드백된 SINR을 상수( $e$ )와 비교하여 이보다 큰 경우 전력을  $p_{\max}$ 로 할당하여 데이터를 전송하고 그렇지 않은 경우 전력을 0으로 놓고 데이터 전송을 하지 않는다.

[10]에서의 전력제어의 경우 역시 이와 유사하다고 볼 수 있는나 여기서는 SINR의 threshold를 사용하는 대신 위치정보를 이용하여 특정 영역안에 있는 경우 on상태로 서비스를 해주는 형태이다. 이는 “대칭적인 네트워크”라는 매우 비현실적인 네트워크 구성을 가정하고 있으며  $N$ 이 4이상인 경우로 확장하는 것은 매우 어려울 뿐 아니라 현실적인 전력제어 방안으로 보기는 어렵다. 다만, 전력제어가 성능에 미치는 영향에 대해 시스템 설계자들에게 좋은 지표가 될 수는 있을 것이다.

### III. 다중사용자 MIMO 및 네트워크 MIMO를 위한 협력 전송기술

#### 1. 시스템 모델

협력 빔포밍은 이론적인 관점에서 볼 때 네트

위크 MIMO<sup>[14]</sup>로 일반화하여 공식화하는 것이 가능한데 이는 다중 사용자 MIMO<sup>[15]</sup>의 확장된 시스템으로 볼 수 있으며 <그림 3>에 점대점(단일사용자) MIMO, 다중 사용자 MIMO 및 네트워크 MIMO의 단순화된 시스템 모델을 도시하였다.

점대점 MIMO<sup>[16,17]</sup>:  $N_t$ 개의 전송안테나와  $N_r$ 개의 수신안테나를 갖는 점대점 MIMO 채널의 신호 모델은 다음과 같다.

$$\vec{y} = H\vec{G}\vec{x} + \vec{n} \quad (8)$$

여기서,  $\vec{y}$ 는  $N_r \times 1$ 의 수신 신호벡터,  $H$ 는  $N_r \times N_t$ 의 채널행렬,  $G$ 는  $N_t \times L$ 의 precoder 행렬,  $\vec{x}$ 는  $L \times 1$ 의 전송신호 벡터,  $\vec{n}$ 은  $N_r \times 1$ 의 잡음신호벡터로 이의 상호상관 행렬은  $Q$ 로 주어진다.  $L$ 은 스트림(혹은 layer)의 개수로 동시에 전송되는 데이터 스트림의 수로 채널의 rank보다 작거나 같은 정수이다.

이러한 점대점 MIMO 채널의 채널용량은 다음의 식에 의해 주어진다.

$$C = \max_{G: tr(GG^H) \leq P} \log \det(I + G^H H^H Q^{-1} H G) \quad (9)$$

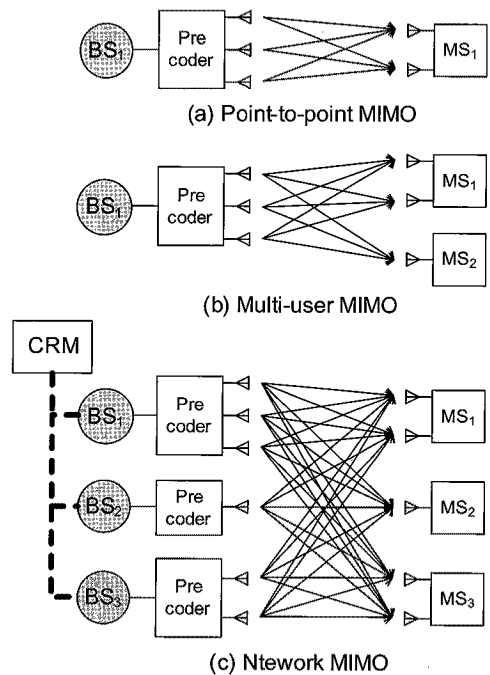
여기서,  $tr(GG^H) \leq P$ 는 총전력 제한 조건이다. 수신단에서,  $N_r \times L$ 의 선형 등화기  $F$ 를 사용한다고 가정하면 이를 포함한 등가 채널은 다음과 같다.

$$\vec{y}' = F H \vec{G} \vec{x} + F \vec{n} \quad (10)$$

식(9)의 채널 용량은 채널행렬의 singular-

value decomposition(SVD)에 의해 얻어질 수 있으며 SVD를 통해 얻어진 두 개의 Unitary 행렬을 각각 송수신단에서의 precoder 및 등화기로 사용하면 등가채널은  $L$ 개의 평행 채널이 되며 water-filling 전력 안배를 통해 채널용량의 전송률로 데이터 전송이 가능하다.

다중사용자 MIMO : 다중사용자 MIMO는 MIMO broadcast(BC) 채널과 MIMO multi-access (MAC) 채널로 분류되는데 하향링크의 경우 하나의 전송기와 여러 개의 수신기로 구성되는 MIMO BC채널에 해당한다. <그림 2>-(b)에 이러한 시스템의 단순화된 모델을 도시하였는데 전체적으로 볼 때 이는 하나의 3x3 MIMO 채널로 볼 수 있으며 점대점 MIMO와 신호 모델 자체는 동일하나 다른점은 MS간 협력이 불가능하므로 수신단 등화기의 사용은 제한되며, 따라



<그림 2> 단순화된 하향 MIMO 시스템 모델

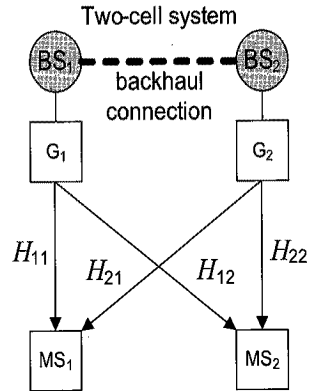
서, 전송단에서의 사전간섭제거가 요구된다 [18~20].

**네트워크 MIMO** [21,22]: 네트워크 MIMO는 다중사용자 MIMO의 확장된 개념으로 <그림 2>-(c)에 단순화된 시스템 모델을 도시하였다. 그림에 도시하였듯이 시스템은 여러 개의 송신기(BS)와 여러 개의 MS로 구성되는데 각 기지국은 backhaul을 통해 CRM에 연결되어 있다. 각 BS는 MS로부터 채널정보를 받아 backhaul을 통해 CRM으로 전송해주고 CRM은 각 기지국으로부터의 정보를 받아 사용자/precoder/전력 할당을 수행하여 각 BS에 알려주면 각 BS는 이에 따라 데이터를 전송한다. 시스템내의 모든 BS는 CRM에 연결되어 있으므로 하나의 전송단으로 동작하며 결국 이러한 시스템은 BS간 협력이 backhaul에서의 전송률 및 지연에 의해 제한되는 것을 제외하면 하나의 다중사용자 MIMO시스템으로 볼 수 있으며 다중사용자 MIMO의 전송 기법을 그대로, 혹은 부분적으로 이용하는 것이 가능하다.

## 2. 하향링크 다중사용자/네트워크 MIMO를 위한 사전 간섭제거

문제의 단순화를 위해 <그림 3>과 같은 2셀 네트워크 MIMO시스템을 고려해보자. BS<sub>1</sub> 및 MS<sub>2</sub>는 각각  $N_{t,1}$  및  $N_{t,2}$ 개의 송신 안테나를 가지고 있고 MS<sub>1</sub>과 MS<sub>2</sub>는 각각  $N_{r,1} \leq N_{t,1}$  및  $N_{r,2} \leq N_{t,2}$ 개의 수신 안테나를 가지고 있다고 가정하자.

<그림 3>에 표시된 채널행렬  $H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}$ 는 각각  $N_{r,1} \times N_{t,1}, N_{r,1} \times N_{t,2}, N_{r,2} \times N_{t,1}$  및  $N_{r,2} \times N_{t,2}$ 의 복소 행렬이며 전체 네트워크 MIMO시스템은  $(N_{r,1} + N_{r,2}) \times (N_{t,1} + N_{t,2})$ 의 채

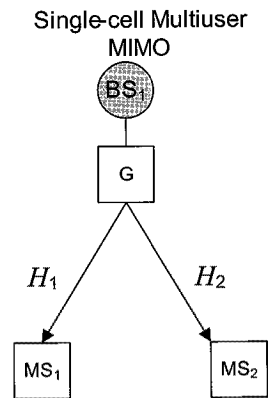


<그림 3> 2셀 네트워크 MIMO의 예

널행렬

$$H = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{21} \\ H_{12} & H_{22} \end{pmatrix} \quad (11)$$

로 표현될 수 있다. <그림 3>에서 두 개의 BS는 backhaul로 연결되어 있어 채널 정보의 공유와 CRM을 통한 협력 스케줄링을 고려하면 전송 안테나가  $(N_{t,1} + N_{t,2})$ 개인 하나의 BS로 간주될 수 있으며 <그림 4>와 같은 단일셀 다중사용자 MIMO와 동일한 시스템으로 볼 수 있다. 즉,  $H_1$ 과  $H_2$ 를 각각  $H_1 = (H_{11} \ H_{21})$  및  $H_2$



<그림 4> 단일셀 다중사용자 MIMO의 예

$= (H_{12} H_{22})$ 로 놓으면 <그림 3>과 <그림 4>의 시스템에서의 문제는 동일해진다. 다만, 한 가지 차이점은 <그림 3>의 경우 MS<sub>1</sub>은  $H_{11}$ 과  $H_{21}$ 을 BS<sub>1</sub>에, MS<sub>2</sub>는  $H_{22}$ 와  $H_{12}$ 를 BS<sub>2</sub>에 피드백해 주어야 하는 반면, <그림 4>의 경우 MS<sub>1</sub>은  $H_1$ 을, MS<sub>2</sub>는  $H_2$ 를 BS<sub>1</sub>에 피드백해 주어야 하는 것이 다를 뿐이다.

ZF 빔포밍과 Dirty-Paper-Coding (DPC): 전송단에서 채널행렬을 알고 있다면 적절한 precoding을 통한 “사전간섭제거”가 가능한데 ZF 빔포밍의 경우 수신단에서의 ZF-등화를 전송단에서 수행하는 것과 동일하다<sup>[23]</sup>. 즉, 전송단에서 채널행렬의 pseudo-inverse로 주어지는 precoder, 즉,

$$G = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \end{pmatrix} = H^H (H H^H)^{-1}$$

를 사용하여 실효 채널을  $(N_{r,1} + N_{r,2})$ 개의 평행 채널로 변환하는 것이다<sup>[25]</sup>. 물론, 이러한 ZF-빔포밍은 채널용량관점에서 전송율의 손해를 보게 된다. 합전송율(sum-rate) 관점에서는 DPC가 최적한 것으로 알려져 있으며<sup>[18~20]</sup> 이는 MIMO-MAC채널에서의 MMSE-SIC를 전송단에서 수행하는 것이다<sup>[24]</sup>.

ZF-빔포밍 및 DPC는 협력 빔포밍의 이론적 기반으로 협력 빔포밍의 기본적인 아이디어는 serving BS와의 채널 정보뿐 아니라 Non-serving BS와의 채널에 대한 정보를 serving BS에 피드백하고 이를 클러스터에 포함된 BS간 공유하여 non-serving BS로부터의 간섭을 최소화하면서 serving BS로부터의 데이터 전송율을 극대화하는 precoder,  $G_1$ 과  $G_2$ 를 선택하는

것이다. 따라서, 협력 빔포밍의 효과적인 지원을 위해서는 적절한 채널 정보의 피드백이 요구된다.

### 3. 채널정보의 Feedback

ZF-빔포밍 및 DPC의 문제는 전송단에서 얻은 채널정보, 즉, 채널행렬  $H$ 를 알고 있어야 한다는 것인데 3GPP-LTE release-8에서는 이러한 채널정보의 피드백은 지원하지 않고 있다. ZF-빔포밍 및 DPC의 지원을 위한 채널 행렬  $H$  자체를 (적당히 양자화하여) BS에게 피드백하는 방법을 explicit 피드백이라 한다면, LTE release-8에서와 같이 Precoder 코드북을 사용한다는 가정하에 RI (channel rank indicator), PMI (Precoder matrix index) 및 CQI (Channel quality indicator) 등의 값을 이용하여 간접적으로 채널 상황을 피드백해 주는 방법을 implicit 피드백으로 분류하는데 현재 이 두 가지 방안에 대한 구체적 아이디어들이 3GPP 표준화에서 활발히 논의되고 있다.

Release-8에서의 Feedback은 Implicit 방법으로 분류되며 기본적으로 타 사용자 혹은 타 BS와의 채널에 대한 RI, PMI 및 CQI를 피드백하지는 않기 때문에 다중사용자 MIMO-SM이나 네트워크 기반 MIMO전송은 구현이 쉽지 않다. 따라서, 현재의 LTE-A의 표준화에서 implicit 피드백 방안에 대한 연구는 주로 기존의 방안을 어떻게 확장하여 다중사용자/네트워크 MIMO전송을 효과적으로 지원할 것이냐에 초점이 맞춰져 있다. 그러나, 코드북 기반의 implicit 피드백을 이용한 사용자간 ghrdms 셀간 간섭의 제거는 한계가 있으며 explicit 피드백이 아닌 이상 코드북의 크기를 증가하는 것이외에 다른 방법은 없으며 이에 따라 코드북 크기의 확장과 함께 적응적

코드북, Differential 코드북, Downloadable 코드북 등에 대한 안이 제시되었다.

#### 4. 결합전송 (Joint Transmission) 기술

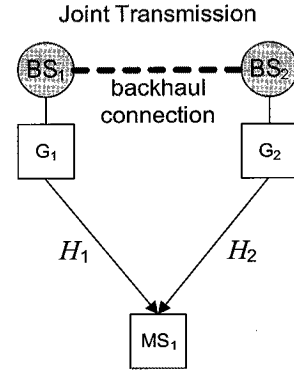
협력스케줄링이나 협력 빔포밍의 경우 하나의 MS는 하나의 BS로부터 데이터를 수신받는 반면, 결합전송은 하나의 MS가 두 개 이상의 BS로부터 서비스를 받으며, 따라서, 3GPP-LTE 표준화에서는 협력스케줄링이나 협력 빔포밍과는 따로 분류되어 활발한 논의가 진행되었다.

<그림 5>는 결합전송시스템의 모델을 보여주는데 여기서는 두 개의 BS가 동시에 협력적인 방법으로 하나의 MS에 데이터를 전송하는 것을 보여준다. 가장 단순한 형태의 Joint Transmission으로는 방송에서 흔히 통용되는 Single Frequency Network (SFN)가 있는데 일종의 site-diversity로 볼 수 있다. 예를 들어 <그림 5>의 2개 BS가 단일 안테나를 갖는다고하면 MS와 각 BS간 채널은 스칼라값으로 표현되며 두 BS가 동일 데이터를 전송한다고 가정하면 MS에서의 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y = (H_1 + H_2)x + n \quad (12)$$

여기서 실효 채널이득은  $H_1 + H_2$ 이며 SINR에 있어서 3dB의 이득을 볼 수 있다. 그러나 이는 passive combining으로 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 한편, 추가적인 다이버시티 이득을 얻기 위한 많은 방안들, 예를 들면, SFN대신 SFBC등을 사용하는 방안들이 제시되었다.

결합전송의 경우, 앞서 언급한 바와 같이 협력스케줄링이나 협력 빔포밍과는 차이점을 가지고



<그림 5> 결합전송 시스템 모델

있으나 클러스터내 BS가 backhaul을 통해 부분적으로 혹은 explicit 채널 정보를 공유해야한다는 측면에서 협력 빔포밍 기술과는 유사하다고 볼 수 있다. 그러나, 수율의 향상을 위한 기술이라기보다는 셀변방 사용자의 서비스 품질을 다이버시티에 의존하여 향상시킨다는 점에서 다르며, 이에 따라, 채널 정보의 피드백보다는 backhaul을 통한 정보의 공유 방안이 해결해야할 보다 큰 숙제라 할 수 있겠다.

## VI. 결론

지금까지 3GPP-LTE 표준을 중심으로 셀 간 혹은 사용자 간 협력통신기술에 대해 논의하였다. 단일 안테나 시스템의 경우 협력스케줄링(협력적 사용자 할당 및 전력제어)의 이론적 배경과 구현상의 문제점, 그리고 이에 대한 해결방안들을 survey하였다. 전력제어의 관점에서 볼 때 이러한 협력 스케줄링은 결국 주어진 자원을 동시에 사용할 것이냐 배타적으로 사용할 것이냐의 문제이며 이를 위해서는 타 BS에 대한 채널 정보의 피드백뿐 아니라 backhaul을 통한 클



러스터 내 BS간 이들 정보의 공유가 필수적이다. 그러나 이러한 비용에 비해 셀 수율의 향상은 미미한 것이 사실이며 따라서 협력 스케줄링의 설계에 있어 1차로 고려되어야 할 것은 셀의 평균 수율보다는 셀변방 사용자들의 수율 향상이 되어야 할 것이다.

다중안테나 기반의 네트워크 MIMO는 다중사용자 MIMO의 확장된 문제로 이해될 수 있으며 ZF-빔포밍이나 DPC의 적용을 위해서는 explicit 피드백 문제가 해결되어야 한다. LTE-release-8에서의 implicit 피드백이 부분적으로는 다중사용자 MIMO를 지원할 수 있으나 네트워크 MIMO의 경우 non-serving BS의 채널 정보역시 serving-BS로 피드백되어야 하므로 피드백 오버헤드는 훨씬 클 수 있어 이에 대한 방안이 요구된다.

#### 참고문헌

- [1] 3GPP, TR 36.912 v9.1.0 Feasibility Study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), Available at: <ftp://ftp.3gpp.org>, Dec., 2009.
- [2] D. Gesbert, S. G. Kiani, A. Gjendemsjøl, and G. E. Øien, "Adaptation, Coordination, and Distributed Resource Allocation in Interference-Limited Wireless Networks", *Proceedings of IEEE*, Vol.25, No.12, pp.2393-2407, Dec., 2007.
- [3] M. Chiang, "Geometric programming for communications systems," *Found. Trends Commun. Inf. Theory*, Vol.2, No.1/2, pp.1-156, Aug., 2005.
- [4] S. Boyd, S. J. Kim, L. Vandenberghe, and A. Hassibi, "A tutorial on geometric programming", *Opt. Eng.*, submitted for publication. [Online]. Available: [http://www.stanford.edu/~boyd/gp\\_tutorial.html](http://www.stanford.edu/~boyd/gp_tutorial.html)
- [5] M. Ebrahimi, M. A. Maddah-Ali, and A. K. Khandani, Technical Report UW-ECE #2006-13: Throughput Scaling in Decentralized Single-Hop Wireless Networks with Fading Channels, available online at [http://www.cst.uwaterloo.ca/r/2006\\_throughput\\_scaling\\_Ebrahimi-Maddah-Khandani.pdf](http://www.cst.uwaterloo.ca/r/2006_throughput_scaling_Ebrahimi-Maddah-Khandani.pdf)
- [6] A. Gjendemsjøl, D. Gesbert, G. E. Øien, and S. G. Kiani, "Optimal power allocation and scheduling for two-cell capacity maximization," in *Proc. Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Net.*, Boston, MA, Apr., 2006, pp.1-6.
- [7] D. Goodman and N. Mandayam, "Power control for wireless data," *IEEE Pers. Commun. Mag.*, Vol.7, No.2, pp.48-54, Apr., 2000.
- [8] J. Huang, R. Berry, and M. L. Honig, "Distributed interference compensation for wireless networks," *IEEE JSAC.*, Vol.24, No.5, pp.1074-1084, May, 2006.
- [9] S. G. Kiani, G. E. Øien, and D. Gesbert, "Maximizing multi-cell capacity using distributed power allocation and scheduling," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. (WCNC)*,

- Hong Kong, Mar., 2007.
- [10] T. Bonald, S. Borst and A. Proutiere, "Inter-cell coordination in wireless data networks," *European trans. on Telecommunications*, Vol.17, pp.303-312, Apr., 2006.
- [11] R. Y. Chang, Z. Tao, J. Zhang, and C.J. Kuo, "Multicell OFDMA Downlink Resource Allocation Using a Graphic Framework," *IEEE trans. on Vehicular Tech.*, Vol.58, No.7, pp.3494-3507, Sep., 2009.
- [12] G. Li and H. Liu, "Downlink dynamic resource allocation for multi-cell OFDMA system," in *Proc. IEEE VTC*, Oct., 2003, pp.1698-1702.
- [13] H. Kim, Y. Han, and J. Koo, "Optimal subchannel allocation scheme in multi-cell OFDMA systems," in *Proc. IEEE VTC*, May, 2004, pp.1821-1825.
- [14] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, and R. A. Valenzuela, "Network coordination for spectrally efficient communication in cellular systems," *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.13, No.4, pp.56-61, Aug., 2006.
- [15] A. Goldsmith, S. A. Jafar, N. Jindal, and S. Vishwanath, "Capacity limits of MIMO channels," *IEEE J. Sel. Areas. Commun.*, Vol.21, No.5, pp.684-702, Jun., 2003.
- [16] G. J. Foschini, "On the limit of Wireless Communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Communications*, No.6, pp.315-335, 1998.
- [17] I. E. Telatar, "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channel", *Eur. Trans. on Telecommunications*, Vol.10, pp.585-595, Nov., 1999.
- [18] P. Viswanath and D. Tse, "Sum Capacity of the Multi-Antenna Broadcast Channel", *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp.497, Lausanne, Switzerland, Jun., 30- Jul., 5, 2002.
- [19] S. Vishwanath, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Duality, achievable rates and sum rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.49, No.10, pp.2658-2668, Oct., 2003.
- [20] W. Yu and J. Cioffi, "Trellis Precoding for the Broadcast Channel", *Proc. IEEE Global Tele. Conf. (Globecom)*, pp.1344-1338, Nov., 2001.
- [21] F. Boccardi and H. Huang, "A near-optimum technique using linear precoding for the mimo broadcast channel," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Apr., 2007.
- [22] H. Huang and M. Trivellato, "Performance of multiuser MIMO and network coordination in downlink cellular networks," in *Proceedings of the 6th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*

(WiOpt'08), pp.85-90, April, 2008.

- [23] Q. Spencer, A. L. Swindlehurst, and M. Haardt, "Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol.52, No.2, pp.461-471, Feb., 2004.
- [24] M. K. Varanasi and T. Guess, "Optimum Decision Feedback Multiuser Equalization with Successive Decoding Achieves the Total Capacity of Gaussian Multiple Access Channel," *Proc. of Asilomar Conference 1998*, pp.1405-1409, 1998.

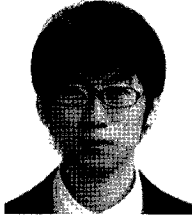
## 저자소개



윤 석 현

1992년 2월 성균관대학교 전자공학과 학사  
 1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 석사  
 2003년 1월 New Jersey Institute of Technology 박사  
 1999년 3월~1999년 8월 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2003년 3월~2005년 2월 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 책임연구원  
 2005년 3월~현재 단국대학교 전자전기공학부 조교수  
 주관심 분야 : 무선/이동통신 물리계층 및 MAC계층

## 저자소개



서 강 운

2010년 2월 단국대학교 전자과 학사  
 현재 단국대학교 전자과 석사과정

주관심 분야 : 무선/이동통신 물리계층 및 MAC 계층