

## 코드북 기반 SIR 향상 빔 형성 기법

안종민\*, 이동규\*, 박철\*\*, 김한나\*\*, 정재학°

## Code-Book Based Beamforming Techniques for Improving SIR

Jongmin Ahn\*, Dongkyu Lee\*, Chul Park\*\*, Hanna Kim\*\*, Jaehak Chung°

## 요약

본 논문은 원형배열 안테나를 사용하는 무선 메쉬 네트워크 환경에서 코드북을 이용한 다중 섹터 빔 형성시 섹터간 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 제안한다. 제안된 빔 선택 알고리즘은 피드백 되는 코드북 인덱스 조합에 따라 상호간 SIR을 향상시키는 빔 선택방법과 QoS를 보장하는 방법에 관한 내용이다. 전산 모의 실험을 통해 노드들이 섹터경계에 있을 경우 제안한 방법이 기존의 코드북 선택 방법보다 SIR이 4.42dB 우수함을 보였다. QoS를 위해 PF를 적용할 경우 기존보다 SIR이 1.70dB만큼 향상됨을 보였고 사용자간 QoS도 만족시킴을 보였다.

**Key Words** : Wireless mesh network, Codebook, beamforming, Interference, QoS

## ABSTRACT

We propose a beam selection algorithm that improves inter sector SIR using a code-book of a circular array antenna in multi-sector wireless mesh network environments. The proposed method improves SIR using a combination of fed back code-book and guarantees QoS of all nodes. Computer simulation exhibits the proposed scheme demonstrates 4.42dB higher SIR than that of the conventional code-book method, QoS with proportional fair is improved by 1.70dB and fact that all nodes are satisfied QoS is also shown.

## 1. 서론

무선 메쉬 네트워크는 고정되어 있는 유선 네트워크에 의존하지 않고 무선망을 이용하여 무선 이동 네트워크를 구축할 수 있는 기술이다<sup>[1]</sup>. 메쉬 네트워크가 안정적으로 운용되기 위해서는 각각 노드의 물리 계층 링크 성능을 높이는 것이 필요하다<sup>[2]</sup>. 다중 안테나를 이용한 빔 형성기법은 이러한 물리 계층의 성능을 높이기 위한 방법 중 하나이다<sup>[3]</sup>.

eNB는 다중 안테나를 이용하여 노드에게 최대 이득의 빔을 형성하기위해 노드로부터 채널 정보를 필요로 한다<sup>[4]</sup>. 그러나 노드가 채널 정보를 eNB에게 피드백하기에는 어려움이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 eNB에서 가중치 벡터를 이용한 코드북을 통해 빔을 형성하는 기법이 연구되어 왔다<sup>[5-7]</sup>. 코드북을 사용할 경우 노드는 주어진 채널 환경에서 가장 적합한 코드북 인덱스를 eNB로 피드백 하고 eNB는 피드백 받은 인덱스에 따라 노드에게 최대 이득을 갖는 빔을

※ 본 논문은 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아서 작성되었습니다.

♦ First Author : Inha University Department of Electronic Engineering, anjong3@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : Inha University Department of Electronic Engineering, jchung@inha.ac.kr, 중신회원

\* 인하대학교

\*\* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2015-06-192, Received June 19, 2015; Revised July 10, 2015; Accepted August 4, 2015

형성한다<sup>5,7</sup>. 3GPP Rel 12에서는 프리코딩 행렬을 기반으로 한 4-Tx 안테나가 사용되고 있다<sup>8</sup>. 그러나 이러한 코드북을 이용한 빔 형성방법은 다른 셀, 섹터에 미치는 간섭을 고려하지 않고, 노드에게 최대 이득을 갖는 빔을 형성한다.

메쉬 네트워크 환경에서 코드북을 이용해 빔을 형성할 경우 eNB는 노드에게 최대이득을 갖는 빔을 형성하기 때문에 노드가 섹터 경계로 인접하게 될 경우 eNB에서 각 노드에게 형성한 빔의 상호 간섭이 증가하여 노드의 데이터 속도가 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 간섭을 고려한 기중치 벡터를 사용하거나 스케줄링을 통해 간섭을 피하는 빔 형성방법이 제안되었다<sup>9,10</sup>. 그 외에도 셀 경계에서 간섭 채널 정보와 다중 안테나를 이용하여 간섭을 제거하는 방법이 연구되어 왔다<sup>11</sup>.

코드북을 이용한 빔 형성을 할 경우 노드에게 최대 이득을 갖는 빔을 형성하므로 무선 메쉬 네트워크 환경에서 섹터의 경계로 두 노드가 근접하게 되면 SIR은 감소하게 된다. 따라서 SIR을 높이기 위해 노드가 최대이득을 갖지 못하지만 간섭을 고려한 빔을 형성하면 상호 간섭을 줄여 전체적인 throughput을 향상시킬 수 있다.

본 논문은 무선 메쉬 네트워크 LOS환경에서 eNB는 각 섹터의 노드로부터 피드백 받은 코드북 인덱스를 종합하여, 주빔 이득을 최대화 하는 기존 코드북과 노드가 섹터 경계에서 서로 인접한 경우 간섭을 고려한 새로운 코드북을 추가로 사용하여 노드의 상황에 따라 빔 형성을 함으로써 전체적인 throughput을 높이고 노드의 QoS를 보장하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기본적인 시스템 모델과 코드북 기반 빔 형성기법을 설명하고, III장에서 본 논문이 제안하는 섹터 경계에서 상호 간섭을 고려한 빔 형성 방법과 QoS기반 빔 형성방법을 설명한다. IV장에서 전산 모의 실험을 통해 제안된 방법을 적용했을 때 기존방법보다 SIR이 향상되고 QoS가 보장되는 것을 보이고 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 네 개의 90° 섹터로 구성된 그림 1과 같은 원형 단일 셀을 고려한다. 셀의 네트워크 환경은 무선 메쉬 네트워크이며, eNB와 4개의 노드로 이루어져 있다.

eNB는  $n$ 개의 원형 배열 안테나를 사용하고 eNB는 각 노드에 독립적인 빔 형성을 한다. 하나의 수신

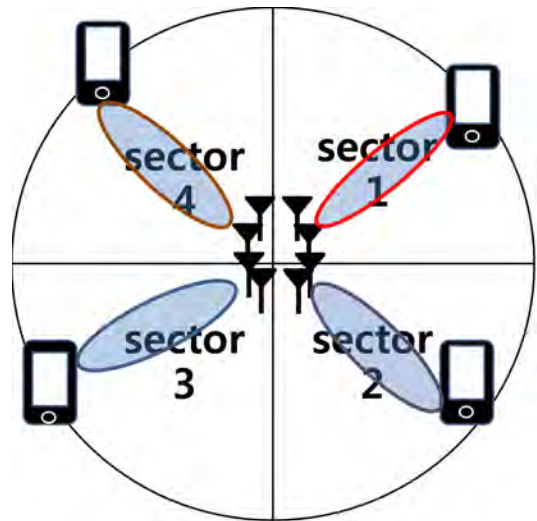


그림 1. 단일 셀 다중섹터 무선 메쉬 네트워크  
Fig. 1. Single cell multi sector wireless mesh network

안테나를 가지는 노드가 섹터내의  $n$ 개의 배열안테나로부터 겪는 채널 값  $H_r$ 은 아래와 같이 모델링할 수 있다.

$$H_r = H_w R^{1/2} \quad (1)$$

$$R = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \cdots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & & \rho_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{(n-1)1} & & \rho_{(n-1)n} \\ \rho_{n1} & \cdots & \rho_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$H_w = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_{n-1} \\ h_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $R$ 은 eNB의 배열 안테나간의 공분산 행렬 (Covariance matrix)로,  $\rho_{ij}$ 는 안테나  $i$ 와 안테나  $j$ 간 채널 상관관계수이다.  $i = j$ 일 경우  $\rho_{ij} = 1$ 이다.  $H_w$ 는  $n$ 개의 상관관계가 없는 채널을 나타내며, eNB와 노드 사이의 채널은 LOS(Line of sight)환경이라 가정한다.

eNB에서 다중 안테나 빔 형성을 위해서는 각 노드로부터 채널정보  $H_r$ 을 피드백 받아야 한다. 그러나, 피드백 받은 데이터양이 오버헤드로 작용하기 때문에

eNB는 노드로부터  $H_r$ 에 따른 빔 형성 코드북 인덱스를 피드백 받는다. 노드에서 eNB로 피드백하기 위한 코드북을 찾는 방법은 채널과 빔 형성 가중치 벡터의 곱이 최대가 되는 것을 선택하며 아래 식(4)와 같다.

$$j = \arg \max \sum_{i=1}^I H_r W_i \quad (4)$$

여기서  $W_i$ 는 eNB와 노드 간 공유하고 있는  $I$ 개의 빔 형성 벡터를 가지는 코드북의  $i$ 번째 가중치 벡터이고  $W_i$ 는  $n \times 1$  행렬이다.  $W_i$ 의 집합을 코드북  $C$ 라 하고,  $j$ 는 식(4)를 만족한 경우 eNB로 피드백되는 코드북 인덱스를 나타낸다. eNB는 피드백 받은 코드북 인덱스를 통해 해당 노드에게 빔 형성을 할 수 있다.

다중 섹터 상황에서 노드가 섹터 경계로 이동하게 되면, 주빔과 부빔이 다른 섹터에도 영향을 주게 된다. 따라서 다른 섹터 내 노드의 SIR은 낮아지게 되고 이는 데이터 전송 속도 저하로 나타나게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 각 섹터의 피드백 받은 코드북 인덱스를 종합한 뒤, 코드북  $C$ 를 이용해 섹터 간 간섭을 예측하고 감소시키는 빔 형성을 통해 노드의 throughput을 향상시키며 다중 노드의 QoS를 보장하는 방법을 제안한다.

### III. 다중 섹터 내 간섭예측 및 빔 선택방법

#### 3.1 코드북 인덱스 피드백을 이용한 SIR추정 및 SIR 항상 빔 선택

eNB에서 코드북을 이용해 빔을 형성할 경우  $L$ 개의 섹터로 구성된 eNB는 각 섹터의 노드로부터 피드백 받은 코드북 인덱스에 해당하는 가중치 벡터로 빔을 형성한다.

가중치 벡터를  $W_i$ 라 하고  $W_i$ 가  $I$ 개로 이루어진 코드북을  $C$ 라 하면  $C$ 는  $I \times 1$ 인 행렬로 나타낼 수 있다. 이 코드북을 이용하여 eNB에서  $L$ 개의 섹터에 형성 가능한 모든 빔 패턴의 조합은 섹터의 개수  $L$ 값을 열로 갖고 섹터마다 사용하는  $W_i$ 의 조합 개수  $I^L$ 값을 행으로 갖는  $I^L \times L$ 행렬로 나타낼 수 있다. 이 행렬을 이용하여  $m$ 번째 행에서  $l$ 번째 섹터의 코드북 SIR값  $s_m^l$ 은 아래 식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$s_m^l = \frac{P_l}{\sum_{k \neq l} J_k}, \quad (k, l = 1 \sim L, m = 1 \sim I^L) \quad (5)$$

여기서  $P_l$ 은  $l$ 번째 섹터의 주빔 이득,  $J_k$ 는  $l$ 번째 섹터의 주빔 범위 내에서 인접한 섹터들의 간섭을 나타낸다. 코드북 SIR값  $s_m^l$ 를 이용하여, 각 섹터의 SIR값을 예측하는 행렬  $S$ 를 나타낼 수 있으며 아래 식(6)과 같이 표시할 수 있다.

$$S = \begin{bmatrix} s_1^1 & s_1^2 \cdots s_1^{(L-1)} & s_1^L \\ s_2^1 & & s_2^L \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{(I^L-1)}^1 & & s_{(I^L-1)}^L \\ s_{I^L}^1 & s_{I^L}^2 \cdots s_{I^L}^{L-1} & s_{I^L}^L \end{bmatrix} \quad (6)$$

따라서 eNB에서  $C$ 를 이용하여 빔 형성을 할 경우  $S$ 를 이용하여 피드백 받은 코드북 인덱스의 조합을 통해 노드의 SIR을 예측할 수 있다.

식(6)의  $S$ 를 통해 SIR을 예측할 수 있지만,  $S$ 의 크기는  $I^L \times L$ 로 섹터의 개수와 코드북 크기에 따라 기하급수적으로 커지게 된다. 이러한 경우 섹터 간 노드가 인접하지 않은 나머지 섹터들은 간섭으로 인한 영향이 적기 때문에 간섭을 고려할 필요가 없다. 따라서  $S$ 의 크기를 줄이기 위해 섹터 간 노드가 인접하지 않은 나머지 섹터는 고려하지 않고, 서로 다른 두 노드가 같은 섹터 경계로 이동하여 주빔이 다른 섹터에 큰 간섭으로 작용하는 인접한 2개의 섹터에 한하여 SIR을 예측한다.  $I$ 개의 코드북  $C$ 에서 노드가 인접 섹터로 이동함에 따라 상호간 큰 간섭으로 작용하는 코드북의 빔 형성 벡터 개수를  $x$ 라 하면, 코드북 SIR행렬  $S$ 의 크기는  $x \times x$ 로 감소하게 된다.

노드가 섹터 경계로 이동하여 SIR이 낮아지는 범위에서 노드의 SIR을 향상시키기 위해 아래의 식을 만족하는 빔을 선택해야 한다.

$$s_m^{l'} > s_m^l \quad (7)$$

그러나 기존 코드북은 최대 빔 형성을 고려하여 설계되었기 때문에 노드들이 섹터 경계에 인접한 경우 상호 간섭을 줄이기 어렵다. 만일 노드에게 최대 빔 형성 이득을 주지 않더라도 인접 섹터의 간섭을 고려

하여 노드간의 SIR이 더 우수한 빔 형성을 할 수 있는 새로운 코드북  $C'$ 을 가지고 있다면 노드간의 SIR을 더욱 향상시킬 수 있다. 이 경우  $C$ 와  $C'$ 을 이용하여 코드북 SIR 행렬  $S$ 와  $S'$ 을 구한 경우 식(7)을 만족하는 빔 형성 벡터를 선택함으로써 SIR을 향상시킬 수 있다.

이와 같이 SIR을 고려한 빔 형성을 하면 섹터 간 상호 간섭이 줄어들게 되므로 섹터 내 노드의 데이터 속도를 향상시킬 수 있다. 그러나 이 알고리즘은 SIR만 고려하기 때문에 노드의 QoS는 보장하지 않는다. 그러므로 본 논문에서는 노드의 QoS를 보장하기 위해 스케줄링을 적용한 코드북 기반 빔 선택 방법을 제안한다.

### 3.2 QoS 기반 SIR 향상 빔 선택

eNB는 모든 노드의 QoS를 보장해야 하고, 이를 위해 스케줄링을 한다. QoS를 보장하기 위해서 eNB는 노드의 정확한 채널 정보를 알고 있어야 하지만, eNB는 채널 정보를 가지고 있지 않다.

그러므로 본 논문에서는 앞서 제안한 SIR을 고려한 코드북  $C'$ 와 피드백된 CQI를 이용하여 노드의 QoS를 보장하는 빔 형성 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 그림 2와 같다.

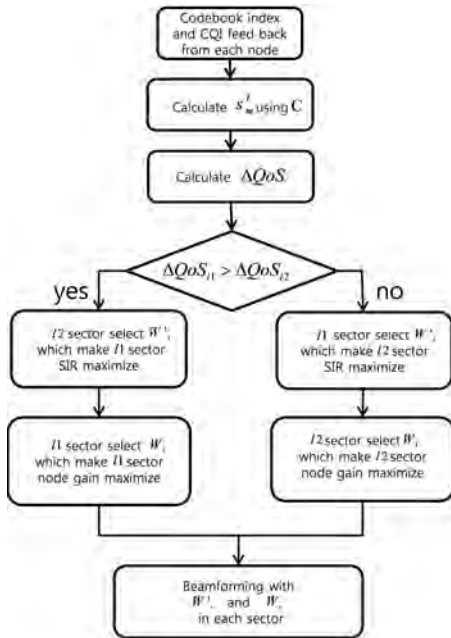


그림 2. QoS 기반 SIR 향상 빔 선택 알고리즘 흐름도  
Fig. 2. SIR increasing algorithm flow chart considering QoS

그림 2에서 마주한 섹터  $l1$ 과  $l2$ 내의 노드들이 섹터경계에서 인접한 경우  $\Delta QoS_{l1}$ 은  $l1$ 번째 섹터 노드에서 eNB가 보장해야 하는 QoS와 현재 시간  $t$ 에서 노드가 받는 QoS의 차이이다. eNB는  $t$ 에서 노드의 QoS를 CQI를 통해 추정된 채널이득과 코드북 SIR 값  $s_m^l$ 으로부터 예측 할 수 있다.

만일  $\Delta QoS_{l1}$ 이  $\Delta QoS_{l2}$ 보다 크다면  $l1$ 번째 섹터 노드가  $l2$ 번째 섹터 노드에 비해 자원 할당을 더 받아야 된다는 것을 의미한다. 따라서  $\Delta QoS_{l1}$ 이  $\Delta QoS_{l2}$ 보다 클 경우  $l2$ 섹터는  $l1$ 섹터 노드의 SIR을 우선시하는 새로운 가중치 벡터  $W_i'$ 를 SIR을 고려한 코드북  $C'$ 에서 찾아  $l1$ 번째 섹터 노드의 SIR을 향상시키는 빔 형성을 한다.

본 논문에서는 모든 노드에게 균등한 평균데이터 전송량을 보장하기 위해 비례공평 스케줄링을 적용하였다. 비례공평 스케줄링은 우선순위 계수  $pf$  (Prioritization coefficients)에 따라 노드의 평균 데이터 전송량이 균등해 지도록 자원을 할당하는 기법이다.  $pf$ 를 구하기 위해  $l$ 번째 섹터가 시간  $T$ 동안 전송한 누적 데이터 양, eNB가 노드로부터 피드백 받은 코드북 인덱스와 CQI, 그리고  $l$ 번째 섹터의 코드북 SIR값  $s_m^l$ 을 이용하여 비례공평 스케줄링에 필요한  $pf$ 를 구한다.

eNB는  $l$ 번째 섹터의 코드북 SIR값  $s_m^l$ 과 피드백 받은 CQI에 따라 현재 전송률  $r$ 을 구한다.  $R$ 은 시간  $T$ 동안 누적 전송률로  $l$ 번째 섹터의 우선순위 계수  $pf_l$ 은  $r/R$ 로 구할 수 있고, 이 값을 이용하여 비례공평 스케줄링을 적용한다.  $pf_l$ 이 크다는 것은 상대적으로 누적 전송률  $R$ 이 작고 현재 섹터의 채널이득이 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 따라서  $l$ 번째 섹터에서  $pf_l$ 이 최대가 되는 경우  $l$ 번째 섹터는 주빔이득이 최대가 되는  $W_i$ 를 이용 빔을 형성한다. 이때  $pf_l$ 가 최대가 되는 섹터는 아래 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$l_m = \arg \max \frac{r_l}{R_l} \quad (8)$$

우선순위 계수가 최대가 되는  $l_m$ 번째 섹터를 제외 한 나머지 인접 섹터들은  $l_m$ 번째 섹터의 SIR이 최대

가 되는  $W_i'$ 을 선택하여  $l_m$  번째 섹터 노드의 QoS를 보장해준다.

#### IV. 전산 모의 실험

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크환경 내에서 노드와 eNB가 LOS환경인 경우, 제안된 알고리즘의 성능을 보이고 실험의 간편성을 위해 그림 1의 4개의 섹터 중 노드가 인접한 2개의 섹터만 고려한다. 섹터 간 노드가 인접하지 않은 나머지 섹터는 간섭으로 인한 영향이 적기 때문에 간섭을 고려할 필요가 없다. 따라서 섹터 간 노드가 인접하지 않은 나머지 섹터들은 고려하지 않고, 노드가 섹터 경계에서 인접한 2개의 섹터만 고려한다.

eNB는 16개의 원형배열 패치 안테나로 빔을 형성하고 각 섹터는 4개의 패치 안테나를 독립적으로 운영한다. 섹터 내의 노드는 하나만 존재하며, 실험의 편의를 위하여 반지름이 1.5km인 단위원을 따라 움직이도록 하였고, 섹터 내의 노드가 인접섹터 노드로부터 겪는 간섭효과를 보이기 위해 간섭 크기가 큰 섹터 경계 25~45° 내에서만 이동하도록 하였다. 아래 표 1에 실험에 사용된 환경 변수 값을 보였다.

본 논문에서 제안한 SIR 향상 빔 선택 알고리즘과 QoS기반 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 적용한 경우

그리고 노드의 빔 이득을 최대한 하도록 설계된 코드북을 적용한 경우에 대해 각 섹터 노드의 평균 데이터 전송량을 비교하여 제안된 알고리즘의 성능을 비교분석 하였다.

각 섹터는 4개의 안테나를 사용하므로,  $W_i$ 는  $1 \times 4$ 인 행렬이다. 코드북 C는 LOS환경이라 가정하였기 때문에 섹터의 각도별 5°마다 노드에서 빔 이득이 최대가 되는 가중치 벡터  $W_i$  19개로 구성된다. 섹터 경계25~45°내에서 노드가 이동하기 때문에 주빔의 범위는 25~45°로 가정한다.

C'은 C보다 주빔의 이득이 줄어들더라도 인접 섹터의 SIR이 커지도록 설계되어야하기 때문에 C'는 인접 섹터의 주빔의 범위25~45°에서 식(7)을 만족해야한다.

그림 3은 섹터 1의 노드가 25°부근에서 최대 이득을 갖는 C와 SIR을 고려한 C'의 빔 패턴의 예를 보였다.

표 2와 3은 각각 기존의 C를 통해 구한 코드북 SIR 값 S와 C' 통해 구한 코드북 SIR값 S'를 나타내었다. 노드가 각 섹터의 35°에 위치할 경우 eNB에서 양 섹터 모두에게 C를 이용하여 빔을 형성하면 노드의 SIR은 6.2dB이다. 그러나 C'을 이용하여 빔을 형성 할 경우 SIR은 10.3dB로 4.1dB증가하였다. C를 이용한 경우 섹터 경계 범위에서 노드의 평균 SIR은 7.1dB이지만, C'을 사용한 경우 평균 SIR은 10.6dB

표 1. 전산 모의 실험 환경  
Table 1. Simulation environment

Parameter	Value
Cell layout	Single cell(4 sector)
Pathloss model	Two-ray model
Shadowing	10dB, autocorrelation1
Carrier frequency	2.2Ghz
Node distribution	1 node per sector uniform distribution
eNB Tx antenna configure	20W
	16 patch ant (4 ant per sector)
	Gain 14.5dBi
	Height 30m
Node Rx antenna configure	Gain 0dBi
	Ant gain 1.5m
Feedback configure	Feedback with out error
	1 per subframe
AWGN density	-174dBm

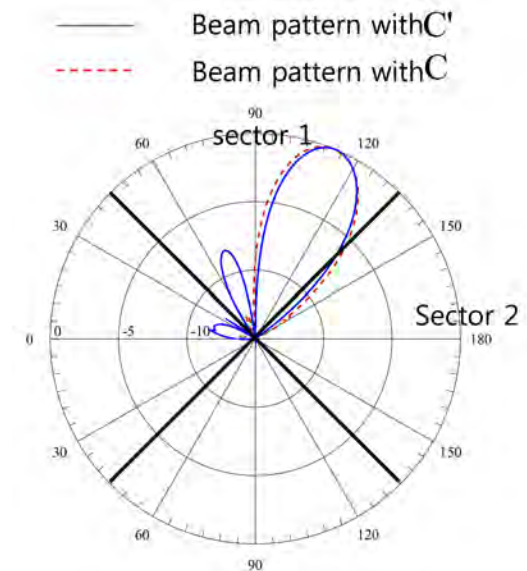


그림 3. 25°에서 C와 C'의 빔패턴  
Fig. 3. Beam patterns of Cand C' at 25°

표 2. C를 이용한 코드북 SIR값  
Table 2. Codebook SIR value with C

Node1 \ Node2	45'	40'	35'	30'	25'
45'	0.0	1.0	2.3	3.8	5.4
40'	1.1	2.6	4.4	6.2	8.3
35'	2.3	4.1	6.2	7.4	9.8
30'	5.2	8.1	11.7	13.4	17.9
25'	5.9	8.6	11.7	12.9	15.9

표 3. C'를 이용한 코드북 SIR값  
Table 3. Codebook SIR value with C'

Node1 \ Node2	45'	40'	35'	30'	25'
45'	0.0	3.1	6.3	7.9	11.3
40'	2.5	5.3	8.7	10.6	14.3
35'	4.0	6.8	10.3	12.3	16.1
30'	5.7	8.9	12.9	14.8	18.5
25'	7.0	10.8	16.3	20.7	29.5

로 약 3.5dB 증가하였다.

표 1의 환경에서 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 적용한 경우 각 섹터 노드의 평균 데이터 전송량과 SINR 측정 값을 전산 모의 실험을 통해 아래 표 4와 5에 각각 보였다.

표 4에서 보듯이 SIR 향상 빔 선택 알고리즘의 경우 기존의 코드북 선택 방법을 사용하였을 때보다 eNB의 평균 데이터 전송량이 2.31Mbps 향상된 것을 확인 할 수 있다.

다음으로 SIR 향상 빔 선택 알고리즘과 QoS기반 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 적용한 경우 그리고 노드의 빔 이득을 최대 하도록 설계된 코드북을 적용한 경우에 대해 평균 데이터 전송량을 비교하여 그림 4의 그래프로 나타내었다. QoS기반 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 적용한 경우 eNB에서 섹터 1의 노드와 섹터 2의 노드에게 보장해야 하는 평균 데이터 전송량이 같도록 설정하고 모의 실험을 진행하였다.

표 4. 평균데이터 속도 전산 모의 실험 결과  
Table 4. simulation result of Average data rate

	Existing C	SIR codebook C'
Node1	6.34Mbps	8.65Mbps
Node2	5.58Mbps	7.90Mbps
Average	5.96Mbps	8.27Mbps

표 5. SINR 전산 모의 실험 결과  
Table 5. simulation result of SINR

	Existing C	SIR codebook C'
Node1	6.41dB	11.91dB
Node2	5.49dB	8.83dB
Average	5.95dB	10.37dB

그림 4에서 보듯이 QoS기반 SIR 향상 빔 선택 방법의 경우 비례공평 스케줄링을 적용하였기 때문에 평균 데이터 전송량이 6.98Mbps로 SIR 향상 빔 선택 알고리즘을 사용하였을 때보다 1.29Mbps 감소하지만 기존의 코드북만을 사용하였을 때보다 1.02Mbps만큼 좋아진 것을 확인 할 수 있다.

비례공평 스케줄링을 적용하여 각 섹터의 노드들의 QoS를 보장 한 경우 섹터 1 노드의 평균데이터 전송

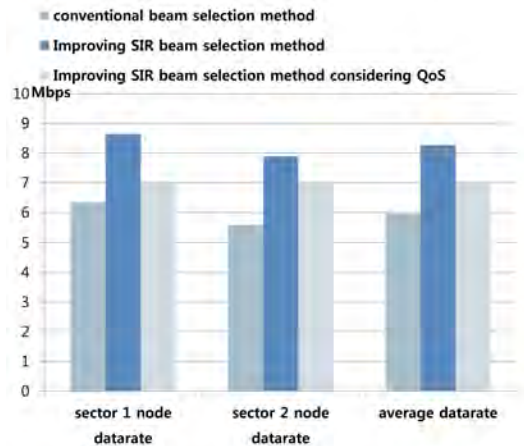


그림 4. 빔 선택 방법에 따른 평균 데이터 속도  
Fig. 4. Average data rate of beam selection method

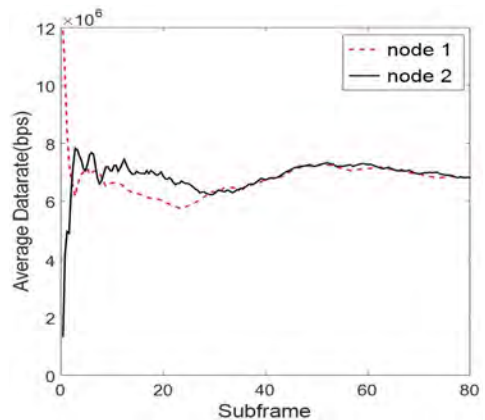


그림 5. 시간의 따른 각 노드의 평균 데이터 속도  
Fig. 5. Each nodes average data rate on time

량이 6.98Mbps 였으며, 섹터 2 노드의 평균데이터 전송량 또한 6.98Mbps로 비례공평 스케줄링에 의해 같아진 것을 확인할 수 있다.

시간에 따른 노드의 평균 데이터 속도를 그림 5에 그래프로 나타내었다. 그림 5와 같이 초기에는 섹터 1의 노드와 섹터 2의 노드의 데이터 전송률에 차이가 있지만 시간이 지남에 따라 노드의 평균 데이터 전송률이 같은 점으로 수렴하며 각 섹터 노드들의 QoS가 보장되는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서 제안한 빔 선택 알고리즘은 섹터 경계에서 노드간의 상호 간섭을 줄이고 SIR 향상을 얻기 위해 피드백 되는 코드북 인덱스 조합에 따라 상호간 SIR을 최대화하는 빔 선택 방법과 QoS를 보장하는 방법에 대해 제안하였다. 전산 모의 실험을 통해 상호간 SIR을 최대화하는 빔 선택 방법이 기존의 코드북 선택 방법보다 4.42dB 우수함을 보였다. 스케줄링을 적용할 경우 상호간 SIR을 최대화하는 빔 선택 방법보다 2.27dB감소하지만 기존의 코드북 선택 방법을 사용하였을 때 보다 1.70dB만큼 우수함을 보였다.

### References

[1] I. Ahmed, A. Mohammed, and H. Alnuweiri, "On the fairness of resource allocation in wireless mesh networks: a survey," *J. Wirel. Netw.*, vol. 19, no. 6, pp. 1451-1468, Aug. 2013.

[2] S. Park, C. Park, H. Kim, and J. Chung, "Antenna selection and power control method for uniform circular array," *J. The Korea Inst. Intell. Transport Syst.*, vol. 14, no. 1, pp. 68-76, Feb. 2015.

[3] S. Chakraborty, S. Sharma, and S. Nandi, "MAC layer channel access and forwarding in a directional multi-interface mesh network," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 14, no. 3, pp. 565-578, May 2014.

[4] A. Alkhateeb, O. El Ayach, G. Leus, and R. W. Heath, "Channel estimation and hybrid precoding for millimeter wave cellular systems," *J. IEEE Signal Process.*, vol. 8, no. 5, pp. 831-846, Oct. 2014.

[5] G. Xu, W. Ma, Y. Ren, K. Zhang, X. Su, and S. Chen, "Three dimensional beamforming and limited feedback precoding for future LTE-Advanced systems with large-scale antenna arrays," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.(VTC Spring)*, pp. 1-6, Glasgow, UK, May 2015.

[6] Y.-G. Lim and C.-B. Chae, "Limited feedback precoding for correlated massive MIMO systems," *J. KICS*, vol. 39, no. 7, pp. 431-436, Jul. 2014.

[7] I. Choi, H. Nho, and C. Lee, "A codebook generation and search scheme for FDD downlink massive MIMO systems," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 704-711, Aug. 2013.

[8] 3GPP, *Evolved universal terrestrial radio access,(E-UTRA);Physical layer procedures*, 3GPP TS 36.213 v12.5.0(2015), Retrieved May 7, 2015, from [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/36.213/36213-c50.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.213/36213-c50.zip)

[9] W. Cui and Y. Lu, "Adaptive beamforming for arbitrary array by particle swarm optimization," in *Proc. IEEE. Int. Conf. Civil Eng. Materials*, pp. 79-80, Hong Kong, Feb. 2015.

[10] S. Sun, Q. Gao, Y. Peng, Y. Wang, and L. Song, "Interference management through CoMP in 3GPP LTE-advanced networks," *J. IEEE Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 1, pp. 59-66, Feb. 2013.

[11] M.-S. Kim and C. Lee, "Coordinated precoding with vector codebook for cell boundary users of MIMO interference channel," *J. IEK*, vol. 49, no. 10, pp. 54-59, Oct. 2012.

안 종 민 (Jongmin Ahn)



2015년 2월 : 인하대학교 전자  
공학과 졸업  
2015년 3월~현재 : 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 빔포밍,  
Beyond 4G

김 한 나 (Hanna kim)



2008월 2월 : 영남대학교 전자  
공학과 졸업  
2010년 2월~현재 : 영남대학교  
정보통신공학과 석사  
2010년 7월~현재 : 한국전자통  
신연구원 무선 응용연구부  
연구원  
<관심분야> OFDM 기반 시스템

이 동 규 (Dongkyu Lee)



2014년 2월 : 인하대학교 전자  
공학과 졸업  
2014년 3월~현재 : 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 빔포밍,  
Beyond 4G

정 재 학 (Jaehak Chung)



1988월 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 학사 졸업  
1990년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 석사 졸업  
2000년 : University of Texas  
at Austin 전기전산 학과 박  
사 졸업

2000년~2001년 : Post doctoral fellow, University  
of Texas at Austin

2001년~2005년 : 삼성종합기술원 수석연구원

2005년~현재 : 인하대학교 정교수

<관심분야> Cognitive radio, 차세대 무선 이동 통  
신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer 설계

박 철 (Chul Park)



2007년 12월 : WiBro시스템 개  
발 및 표준화 연구  
2013년 6월 : LTE-Advance 및  
관련 응용 연구  
현재 : 이동형 무선메쉬 백홀  
기술 연구(한국전자통신연구  
원 선임연구원)

<관심분야> 전자공학, 통신공학