

# SIR 향상 다중 노드용 UCA 빔 형성 전력 할당 방법

박 성 호\*, 박 철\*, 김 한 나\*, 정 재 학°

## Beamforming Power Allocation Method of Multiple Nodes with UCA for Increasing SIR

Seongho Park\*, Chul Park\*, Hanna Kim\*, Jaehak Chung°

### 요 약

본 논문에서는 원형 배열 안테나를 사용한 무선 메쉬 네트워크 LOS 환경에서 다중 노드 빔 형성을 위한 SIR 향상 빔 형성 전력 할당 기법을 제안한다. 제안된 방법은 다중 노드 접속을 위한 다중 노드 빔 형성 시 존재하는 전력 제한 조건을 만족시키며 송신 전력이 최대화되는 다중 빔 전력 할당 기법이다. 전산 모의 실험을 통하여 제안 한 빔 형성 전력 할당을 적용하였을 때 UCA 안테나에서 기존의 방법보다 다중 노드의 SIR이 향상됨을 확인 하였다.

**Key Words** : Wireless mesh network, uniform circular array, beamforming, power allocation, SIR

### ABSTRACT

This paper proposes a power allocation method for multiple node beamforming with uniform circular array antennas to increase SIR of nodes in wireless mesh network. The proposed method calculates beamforming power allocation vectors that maximizes SIR satisfied with power constraint of HPA. The simulation results demonstrate the proposed method achieves the enhanced SIR of nodes than that of beamforming method.

### 1. 서 론

이동하는 노드에 대해 네트워크를 구성할 때 무선 메쉬 네트워크를 이용하여 노드 간 동적으로 정보를 전달 할 수 있는 망을 구성할 수 있다. 무선 메쉬 네트워크는 무선 노드 간 다중 경로를 구성할 수 있기 때문에 무선 링크가 단절되어도 다른 링크로 우회할 수 있으며 재난 상황이나 전시 상황과 같은 환경에서 사용될 수 있다.<sup>[1-4]</sup> 이와 관련해 IEEE 802.11s, IEEE 802.16 mesh/j 등의 표준에 무선 메쉬 네트워크 기술이 채택되어 있다<sup>[5]</sup>.

무선 메쉬 네트워크에서 다중으로 노드 접속 시 각 무선 링크의 전송률을 올리기 위한 방법이 연구되어 왔다<sup>[6]</sup>. 각각의 노드들이 주변 노드들과 접속하여 링크 성능을 올리는 방법은 물리 계층 문제이며 다중 안테나를 이용한 빔 형성 기술은 링크 성능을 올리기 위해 많이 사용되는 기술 중 하나이다<sup>[7]</sup>.

무선 메쉬 네트워크를 이루는 다중 노드들은 전 방위에 위치하고 있기 때문에 균등한 빔 형성 기법을 적용하기 위해서는 패치 안테나가 사용된 원형 배열 안테나를 사용하는 것이 좋다<sup>[8]</sup>. 단일 노드 빔 형성 기술을 통해 배열 이득을 얻을 수 있지만 유사한 위치에

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

♦ First Author : Inha University Department of Electronic Engineering, pshdaniel@gmail.com, 학생회원

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

\* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2014-07-284, Received July 29, 2014; Revised September 25, 2014; Accepted December 8, 2014

있는 다수의 노드를 향해 빔을 형성할 때는 상호 노드 간에 간섭이 발생한다. 무선 메쉬 네트워크에서 간섭으로 인한 성능 저하를 개선하기 위해 신호 대 간섭 비율(SINR : Signal to interference and noise ratio) 최대화 빔 형성 기법을 사용할 수 있다<sup>9)</sup>. 그러나 다중 노드로 구성된 무선 메쉬 네트워크에서 모든 노드를 위한 빔을 형성할 때 발생할 수 있는 다중 빔에 의한 SIR을 최대화하고 인접한 노드의 빔 형성을 위해 할당되는 전력이 안테나의 고출력 증폭기(HPA : High power amplifier)의 최대 출력을 고려한 연구가 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 다중 노드를 위해 원형 배열 안테나를 사용할 때 각 노드의 SIR을 향상시키며 전체 접속되는 노드에 대해 안테나의 HPA 최대 출력 조건을 만족시키는 전력 할당 방법을 제안한다. 본문의 구성은 다음과 같다. II장에서 다중 노드 빔 형성 모델에 대해 설명하고 III장에서 LOS(line of sight) 환경에서 HPA 최대 출력이 고려된 다중 노드 빔 형성을 위한 전력 할당 기법을 제안한다. IV장에서는 제안한 전력 할당 기법을 적용하여 다중 노드 빔 형성에 적용하였을 때 각 노드의 SIR이 향상됨을 보인다. V장에서 결론을 맺는다.

## II. 논문 인용의 예

### 2.1 다중 빔 형성

본 장에서는 다중 노드 빔 형성을 위해 빔 형성 벡터를 모델링한다. 그림 1은 LOS 환경에서 원형 배열 안테나를 사용하여  $M$ 개의 수신 노드를 위해 빔을 형

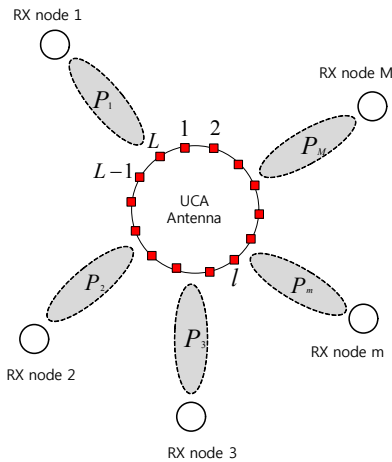


그림 1. UCA 안테나를 사용한 다중 노드 빔형성 시나리오  
Fig. 1. Multi node beamforming scenario using UCA antennas

성하는 상황을 나타낸다. 무선 메쉬 네트워크에서 각 수신 노드들은 중앙의 노드를 기준으로  $360^\circ$  전 방위에 존재하기 때문에 각 노드에 균일한 성능을 제공하기 위해서 중앙 노드는 균일 원형 배열(UCA - uniform circular array) 안테나를 사용한다.

그림 1에서 중앙의 노드는 빔 형성을 위해  $L$ 개의 패치 안테나로 구성된 UCA 안테나를 사용하며 수신 노드  $1, 2, \dots, m, \dots, M$ 에 빔형성을 한다. 이때 중앙 노드에서 수신 노드들로 출력하는 신호  $Y$ 은 식 (1)과 같다.

$$Y = \text{diag}((P \circ W)S) \quad (1)$$

$$= [y_1 \ y_2 \ y_3 \dots y_M]^T,$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1L} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ & & p_{ml} & \\ p_{M1} & p_{M2} & \dots & p_{ML} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1L} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ & & w_{ml} & \\ w_{M1} & w_{M2} & \dots & w_{ML} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \dots & s_M \\ s_1 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & s_m & & \\ s_1 & s_2 & \dots & s_M \end{bmatrix}, \quad (4)$$

식 (1)에서  $\circ$  는 Hadarmad 곱으로 두 행렬  $A, B$ 에 대하여  $(A \circ B)_{i,j} = A_{ij} \times B_{ij}$ 의 연산을 의미하며  $A_{ij}$ 는 행렬  $A$ 의  $i$ 행  $l$ 열 성분이다.  $\text{diag}$ 는 정방행렬의 대각 성분으로 이루어진 열벡터를 나타낸다. 예를 들어  $n \times n$ 크기의 행렬  $A$ 에 대하여  $\text{diag}(A)$ 를 식 (5)과 같이 정의한다.

$$\text{diag}(A) = [A_{11}, A_{22}, \dots, A_{mm}]^T, \quad (5)$$

식 (2)에서  $P$ 는 각 안테나에 빔 형성을 위한 전력 할당 행렬이며  $p_{ml}$ 은 노드  $m$ 을 위해 중앙 노드의  $l$ 번째 안테나에 할당되는 전력을 의미한다. 식 (3)의  $W$ 는 빔 형성 위상 행렬로서  $w_{ml}$ 은 노드  $m$ 을 위한 빔을 형성하기 위해  $l$ 번째 안테나에 할당되는 전력  $p_{ml}$ 에 곱해지는 위상값을 의미한다. 식 (4)의 행렬  $S$ 는 각 노드에 송신되는 신호이다.

다중 노드의 UCA 안테나를 이용한 다중 노드 빔 형성 시, 안테나가 전송할 수 있는 최대 전력은  $P_{max}$  를 넘지 않아야 하며 각 안테나에 할당되는 전력을  $p_{ml}$ 이라 할 때, 행렬  $P$ 는 식 (6), (7)을 만족해야 한다.

$$\sum_{m=1}^M p_{ml} \leq P_{max}, \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L p_{ml} = P_{total}, \quad (7)$$

식 (6)에서  $P_{max}$  는 안테나와 연결된 HPA의 최대 허용 출력으로써  $l$  번째 안테나에서  $M$ 개의 노드를 위해 빔을 형성하기 위해 할당된 총 전력이 안테나의 HPA 최대 출력을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 식 (7)에서  $P_{total}$ 은 하나의 노드를 위해 전력을 할당할 경우 빔 형성 벡터 중 최대값을 가지는 안테나를  $P_{max}$  로 하고 나머지 다른 안테나 전력을  $P_{max}$  기준으로 정규화한 뒤에 합한 값이다.

### 2.2 간섭 제거 빔 형성 알고리즘

$M$ 개의 다중 노드 빔 형성 시 노드들은 유사한 위치에 존재할 수 있다. 이 경우 목표 수신 노드를 위해 형성된 빔이 인접한 노드에는 간섭으로 작용하게 되어 다중 빔 간 상호 간섭으로 인한 성능 저하가 발생한다. 이러한 성능 저하를 개선하기 위해 다양한 간섭 제거 빔 형성 알고리즘을 적용하여 빔을 형성할 수 있다. 일반적인 간섭 신호 제거를 위한 빔 형성 기법으로 null-steering 기법과 MVDR(Minimum variance distortionless response) 빔 형성 기법 등이 있다<sup>[10]</sup>.

Null-steering 빔 형성 기법은 신호와 빔 형성 벡터와의 연산이 단위 파워가 나오도록 하며, 간섭 신호의 크기가 0이 되도록 한다. MVDR 빔 형성 기법은 출력 신호의 크기를 일정하게 유지하면서 간섭 신호와 잡음 신호의 성분을 최소화시킴으로써 출력 SINR을 최대화 한다.

간섭 제거 기법이 UCA 안테나의 다중 노드 빔 형성을 위해 사용되었을 경우 다중 빔 형성 벡터에 의한 송신 전력이 안테나에 중첩되어 할당될 수 있다. 중첩된 전력이 안테나의 최대 송신 전력을 넘는 경우에 처음에 구한 빔 형성 전력을 제대로 할당하지 못하여 빔 형성이 변형되며 새로운 간섭이 발생된다. 이러한 경우 모든 빔 형성 벡터의 전력을 전체적으로 낮추어 안테나 한 개에 할당되는 전력이 최대 허용 전력을 넘지

않도록 하면 된다. 그러나 이 방법은 전체적인 전력 크기가 줄어들어 각 노드가 수신하는 전력이 줄어들게 되므로 빔 형성 이득을 최대로 얻지 못하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 LOS 환경에서 UCA 안테나에서 간섭 제거 빔 형성 기법 사용 시 안테나의 최대 허용 전력을 넘지 않으면서 빔 형성에 의한 배열 이득을 얻는 안테나 전력 할당 방법을 제안한다.

### III. 다중 노드를 위한 빔 형성 기법

본 장에서는 앞에서 언급한 UCA 안테나를 사용할 때 인접 노드 간에 발생하는 새로운 간섭으로 인한 성능 저하를 개선하기 위해 다중 노드의 SIR 향상을 위한 빔 전력 할당 방식에 대해 설명한다. 이 방식은 중첩된 안테나에 대한 전력을 효율적으로 할당함으로써 각 노드의 송신 출력을 최대화하여 노드 인접 상황에서의 SIR을 향상시키는 방식이다.

UCA 안테나의 빔 형성 행렬은 II장에서 제안한 빔 형성 모델을 이용하였고, 노드  $m$ 의 SIR을 의미하는  $SIR_m$ 을 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SIR_m = \frac{\sum_{l=1}^L h_{ml} p_{ml} w_{ml}}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L h_{ml} p_{ml} w_{ml} - \sum_{l=1}^L h_{ml} p_{ml} w_{ml}}, \quad (8)$$

여기서  $h_{ml}$ 은 송신 노드의  $l$ 번 안테나에서 수신 노드  $m$ 으로 방사될 때의 안테나 패턴과 경로 손실이 고려된 채널 값을 나타낸다. 본 논문에서는 LOS 환경에서 안테나 간의 상관값이 높아 1이 되는 경우를 가정하였으며 이 경우 각 안테나 간의 채널은 독립적이지 않으며 경로손실의 차이는 없다고 가정한다.

다중 노드를 위한 빔 형성 시 각 노드의 SIR을 최대화하려면 행렬  $P$ 를 SIR 관점에서 구성하는 것이 필요하다. UCA 안테나 배열에서 SIR을 최대화하려면 식 (9)를 만족해야 한다.

$$P_{opt} = \arg \max_P \left( \sum_{m=1}^M SIR_m \right). \quad (9)$$

식 (9)는 식 (6)과 (7)을 동시에 만족하면서 식 (9)에 의한 각 노드의 SIR을 최대로 하는 행렬  $P_{opt}$ 의 결정 조건을 나타낸다.  $P_{opt}$ 을 구하기 위하여 모든  $P$ 의 원소가 식 (7)을 만족해야 하기 때문에 간단하게 풀

수 없다. 그러므로 본 장에서는 다중 노드를 위한 빔을 형성할 때 식 (6), (7)의 전력 제한 조건을 만족하고 송신단의 출력 전력을 최대화하여 각 노드의 SIR 향상을 위한 순차적 빔 형성 전력 할당 기법을 제안한다. 식 (9)에서 나타난 행렬  $P_{opt}$ 를 구하기 위해 두 단계의 과정으로 전력을 할당한다.

첫 번째로 간섭 제거 빔 형성 방법을 이용하여 빔 형성 벡터를 생성한다. 그리고 빔 형성된 벡터의 원소 중 최대값을 가지는 원소를  $P_{max}$ 로 하여 나머지를  $P_{max}$ 로 정규화한다. 만일 다른 노드를 위해 빔을 형성해야 하는 안테나가 있다면 그 안테나에 중첩된 전력을 할당한다. 이때 중첩 할당된 안테나에 전력이  $P_{max}$ 를 넘는지 확인하기 위해 행렬  $P$ 의 모든 열에 대하여 식 (6)을 만족하는지 확인한다. 식 (6)을 만족하지 않은  $l$  번째 열이 존재한다면  $l$ 열에 대하여  $P_{max}$ 를 만족하도록 각 노드에 할당된 전력 비율로 정규화시켜서  $\hat{p}_{ml}$ 을 식 (10)과 같이 구하고 이를 식 (11)과 같이 새로운 전력 할당 값인  $p_{ml}$ 로 대체한다.

$$\hat{p}_{ml} = \frac{P_{ml}}{\sum_{m=1}^M P_{ml}} \times P_{max}, \quad (10)$$

$$p_{ml} = \hat{p}_{ml}, \quad (11)$$

전력 재할당에 의해 노드  $m$ 에 대한 전력이 감소되어 할당되기 때문에 노드  $m$ 에 대해 최초 할당된 전력이  $P_{total}$ 보다 감소된다.

두 번째 단계는 이전 단계에서 감소된 전력으로 인해 발생한 여분의 전력을 노드  $m$ 의 다른 안테나에 추가로 할당하는 과정이다. 먼저 첫 번째 단계를 통해 할당된 노드  $m$ 에 할당된 전력인  $P_{total}$ 에 대하여 잉여 전력  $P^*$ 를 식 (12)을 통해 계산한다.

$$P^* = P_{total} - \sum_{l=1}^L p_{ml}, \quad (12)$$

잉여 전력  $P^*$ 은 첫 번째 단계에서 노드  $m$ 에 대해  $P_{max}$ 를 넘은 안테나를 제외한 안테나들에 대하여 이미  $p_{ml}$ 로 할당된 전력의 비율로  $P^*$ 의 전력을 추가 할당한다. 잉여 전력  $P^*$ 을 비율에 따라  $m$  번째 행의  $l$  번째 안테나  $p_{ml}$ 에 추가로 할당하여 새로운 전력  $p_{ml}^*$ 를 계산하는 과정은 식 (13)에 나타난다.

$$p_{ml}^* = p_{ml} + \frac{P_{ml}}{L - n(K_m)} \times P^*, l \notin K_m \quad (13)$$

식 (13)에서  $K_m$ 은 노드  $m$ 의 빔 형성 안테나 중 첫 번째 단계에서 전력이  $P_{max}$ 를 넘은 안테나의 집합이며,  $n(K_m)$ 은 집합  $K_m$ 의 원소의 개수다. 식 (13)의 과정을 통해 기존에 할당되었던 전력의 비율을 유지한 채로 잉여 전력을 모두 할당하게 된다.

두 번째 과정을 통해 모든 안테나에 대하여 식 (6)을 만족하게 된다. 그러나 임의의 노드  $m$ 에 대해  $P_{total}$ 인 식 (7)을 만족시키지 않는 행이 새롭게 발생될 수 있다. 이 경우 처음부터 반복하여 전력을 다시 할당한다. 이러한 과정을 통해 계산된 행렬  $P$ 를 이용하여 각 노드에 빔을 형성하기 위한 전력을 안테나에 할당한다.

추가로 할당된 전력이 기존 할당된 전력의 비율만큼 증가하기 때문에 원래의 빔 패턴에 영향을 적게 주게 된다. 그리고 노드  $m$ 에 가장 근접한 안테나에 할당된 전력 값이 크므로 노드  $m$ 에 대한 빔의 전력이 크게 되고 상대적으로 다른 노드에 미치는 간섭이 적게 된다. 다중 빔 형성 벡터로 이루어진 초기 행렬  $P$ 는 다양한 빔 형성 기법을 적용할 수 있고 본 논문에서 제안한 전력 할당 방법을 추가로 적용할 수 있다.

IV장에서는 전산 모의 실험을 통해 제안한 빔 형성 방식을 적용한 다중 노드 빔 형성 전력 할당 기법이 기존의 빔 형성 전력 할당 기법과 비교하여 노드의 SIR을 향상시킬 수 있음을 보인다.

#### IV. 전산 모의 실험

본 장에서는 UCA 안테나를 사용한 다중 노드 빔 형성에 제안한 빔 형성 벡터 연산 기법을 적용하였을 때 각 노드의 SIR을 비교 분석하였다. 그림 1에서와 같이 16개의 패치 안테나로 구성된 UCA를 사용하였다. 실험을 위해 그림 2에서 나타난 4개의 노드를 가지는 3가지 다중 노드 빔 형성 시나리오에 대한 빔 형성 실험을 진행하였다. 본 논문에서는 LOS 환경에서의 빔 형성을 가정하였으며 이 경우 송신기와 수신기 사이의 거리가 멀기 때문에 송신기에서 전송된 신호가 평면파를 이룬다. 채널 측정 오류는 20dB, UCA와 노드 간 채널 이득은 모두 1로 가정하며 안테나 간의 채널은 독립적이지 않기 때문에 경로 손실의 차이는 없다고 가정한다. 단일 노드의 빔 형성을 위한 안테나

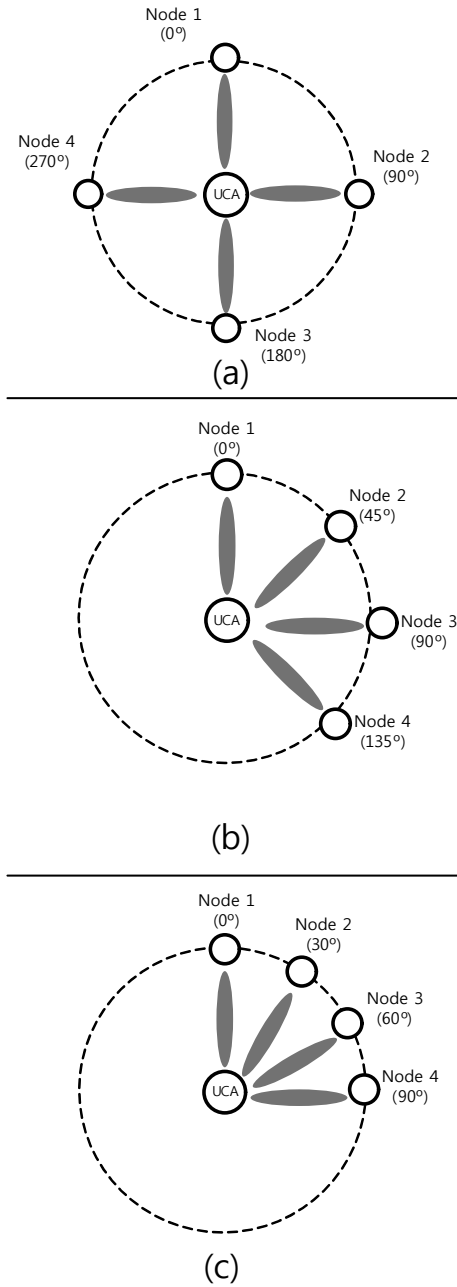


그림 2. 다중 노드 빔형성 시나리오  
 Fig 2. Multiple nodes beamforming scenario  
 (a) 노드 간격 : 90도  
 (b) 노드 간격 : 45도  
 (c) 노드 간격 : 30도

개수를 빔 폭에 의한 인접 노드 간섭의 성능 변화를 보기 위해 4, 6, 8개로 증가시켜 실험하였으며, 각 노드의 빔 형성을 위해 패치 안테나를 사용하였다.

제안된 방식의 성능 비교를 위해 기존의 전력 할당

방식은 다중 빔 형성을 위해 안테나에 할당되는 전력이 HPA 최대 출력을 초과하는 경우 모든 안테나의 할당 전력을 최초로 할당된 전력의 비율을 유지하고 중첩된 전력의 합이  $P_{max}$  이하가 되도록 다른 안테나에 할당된 전력을 줄이는 방식을 사용하였다. 기존의 전력 할당 방식에 의한 빔 형성 행렬  $P$ 는  $\Pi$ 장에서 언급한 바와 같이 중첩된 각 안테나 전력의 합이  $P_{max}$ 가 넘지 않도록 균일하게 정규화하였다.

표 1~3은 그림 2의 시나리오에 대해 안테나 개수를 4, 6, 8개로 증가시켜가며 기존의 빔 형성 기법과 제안한 빔 형성 전력 할당 기법을 적용했을 때 각 노드의 SIR을 비교하여 나타낸 것이다. 표 1은 그림 2의 시나리오 (a)에 대한 실험 결과이다. 8개의 안테나를 사용하였을 때, 기존 방식에 비해 제안된 방식은 노드 1의 경우 19.79 dB에서 34.01 dB로 약 15 dB의 SIR이 향상되었으며 다른 노드들의 SIR도 약 9~12 dB 증가되었다. 표 2는 그림 2의 시나리오 (b)에 대한 빔 형성 실험 결과이다. 제안한 전력 할당 방식의 SIR은 4개의 안테나를 사용한 경우 약 9~18 dB, 6개의 안테나를 사용한 경우 약 16~21 dB, 8개의 안테나를 사용한 경우 약 16~17 dB 향상되었다. 표 3은 그림 2의 시나리오 (c)에 대한 빔 형성 실험 결과이다. 각 노드의 SIR은 제안한 기법을 사용 시 모든 경우에 대하여 증가하였으며, 6개의 안테나를 사용했을 때 노드 2의 SIR은 11.20 dB에서 33.34 dB로 약 22 dB가 증가하였으며 가장 큰 성능 향상을 보였다. 위의 실험 결과로부터 그림 2의 세 가지 시나리오에 대하여 제안한 전력 할당 기법을 적용하여 전력을 할당했을 때, 각 노드의 SIR이 향상됨을 확인하였다.

표 1. 빔 형성 안테나 개수에 대한 그림 2-(a)의 네 노드의 신호 대 간섭 비(dB)

Table. 1. SIR of four nodes for Fig. 2-(a) with the number of beamforming antennas

(a) Conventional beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	17.39	17.39	17.39	17.39
6	20.39	20.39	20.39	20.39
8	19.79	21.55	20.60	20.79

(b) Proposed beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	29.27	29.27	29.27	29.27
6	27.47	27.47	27.46	27.47
8	34.01	30.08	32.15	31.73

표 2. 빔 형성 안테나 개수에 대한 그림 2-(a)의 네 노드의 신호 대 간섭 비(dB)

Table. 2. SIR of four nodes for Fig. 2-(a) with the number of beamforming antennas

(a) Conventional beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	14.62	12.01	12.01	14.62
6	16.42	12.08	12.08	16.42
8	17.04	12.09	12.09	17.04

(b) Proposed beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	23.56	30.04	30.02	23.56
6	32.95	33.39	33.40	32.93
8	34.57	28.18	28.18	34.56

표 3. 빔 형성 안테나 개수에 대한 그림 2-(c)의 네 노드의 신호 대 간섭 비(dB)

Table. 3. SIR of four nodes for Fig. 2-(c) with the number of beamforming antennas

(a) Conventional beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	14.92	10.88	10.88	14.91
6	16.36	11.20	11.21	16.36
8	14.18	10.19	10.19	14.18

(b) Proposed beamforming method

Num. of antenna	Node1	Node2	Node3	Node4
4	19.96	24.69	24.70	19.96
6	32.89	33.34	33.43	32.91
8	28.42	26.04	26.04	28.42

단일 노드를 위한 빔 형성 안테나 개수에 따른 SIR 변화는 안테나 개수가 증가함에 따라 빔 폭이 줄어들어 SIR 값이 증가됨을 볼 수 있었다. 그러나 UCA 안테나를 사용하기 때문에 16개 중에 8개를 사용하는 경우에는 빔의 방향에서 멀리 있는 안테나 2개는 전력 할당이 잘 안되어 6개나 8개 안나 개수의 SIR 성능 변화가 크지 않음을 알 수 있었다. 위 실험으로부터 제안한 빔 형성 기법을 이용해 물리 계층에서 무선 메쉬 네트워크를 구성하는 다중 노드에게 향상된 SIR 성능을 제공할 수 있음을 알 수 있었다.

## V. 결론

본 논문에서는 LOS 환경에서 UCA 안테나를 사용

한 다중 노드 접속을 위한 다중 노드 빔 형성 시 SIR을 최대화하는 빔 형성 전력 할당 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 다중 노드를 위한 빔 형성 시 안테나의 HPA 최대 출력 조건을 만족시키며 각 노드의 빔 형성 위해 할당되는 송신 전력을 최대로 하여 빔 형성 시 각 노드의 SIR을 향상시키는 방식이다. 전산 모의 실험을 통해 제안한 빔 형성 전력 할당 기법이 기존의 빔 형성 전력 할당 기법과 비교해 각 노드의 SIR을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## References

- [1] I. Akylidiz and X. Wang, "A survey on wireless mesh networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 9, pp. 23-30, Sept. 2005.
- [2] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," in *Proc. ACM MobiCom '04*, pp. 114-128, Sept. 2004.
- [3] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks," *ACM SIGCOMM '04*, vol. 34, no. 4, pp. 133-144, Aug. 2004.
- [4] Y. Cho, H. Jeong, D. Kim, and K. Ryu, "Trajectory information-based routing protocol for mobile mesh router in wireless mesh networks," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, 2011.
- [5] IEEE P802.11-2007, *Information technology – telecommunications and information exchange between systems – local and metropolitan area networks – specific requirements – part 11: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) Specifications*, Jun. 2007.
- [6] K. Sakaguchi, and F. Ono, "Multiple Access Interference Cancellation and Link Multiplexing for MIMO Mesh Network," in *Proc. IEEE ICCCN*, pp. 1028-1033, Aug. 2007.
- [7] R. Ramanathan, "On the performance of Ad Hoc Networks with Beamforming Antennas," *2nd ACM Int. Symp. Mob. Ad Hoc Netw. & Comput. (MobiHoc '01)*, pp. 95-105, Oct. 2001.
- [8] C. P. Mathews and M. D. Zoltowski, "Eigen-Structure Techniques for 2-D Angle of Arrival with Uniform Circular Arrays," *IEEE Trans.*

*Signal Process.*, vol. 43, no. 9, pp. 2395-2407, Sept. 1994.

- [9] Y. Lebrun, Y. Ramon, A. Bourdoux, S. Pollins, F. Horlin, and R. Lauwereins, "Maximum SINR-Based beamforming for MISO OFDM interference channel," *IEEE ICC*, pp. 1-5, May 2010.
- [10] F. B. Gross, *Smart Antennas for Wireless Communications*, McGrawHill, 2005.

**김 한 나 (Hanna kim)**



2008월 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업  
2010년 2월~현재 : 영남대학교 정보통신공학과 석사  
2010년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 무선 응용연구부 연구원

<관심분야> OFDM 기반 시스템

**박 성 호 (Seongho Park)**



2013월 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업  
2013년 3월~현재 : 인하대학교 전자 공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 빔포밍, Beyond 4G

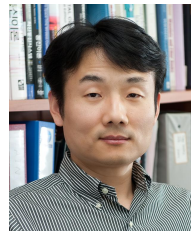
**박 철 (Chul Park)**



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

<관심분야> 전자공학, 통신공학

**정 재 학 (Jaehak Chung)**



1988월 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사 졸업  
1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사 졸업  
2000년 : University of Texas at Austin 전기전산 학과 박사 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 통신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer 설계