

분산된 Ad Hoc 센서 네트워크의 협력 빔포밍

정희원 양 미 선*, 김 중 빈**, 김 동 우***

Collaborative Beamforming for Ad Hoc Sensor Networks

Mi-Sun Yang*, Jung-Bin Kim**, Dongwoo Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 반지름이 정해진 2차원 디스크 내부에 랜덤하게 분포된 다수개의 노드들이 존재하는 수신 그룹을 고려하여, 각각의 수신 노드들이 수신하는 평균 빔패턴을 도출하였다. 수치적 실험으로부터 송신단의 디스크의 반지름이 빔패턴이 빔폭(beamwidth)를 결정하며, 송신 노드의 수가 sidelobe의 평균에 영향을 주는 것을 볼 수 있었다. 또한 이러한 모델을 더욱 일반화 하여, 다수의 센서 노드들로 구성된 K 개의 수신그룹들과, K 개의 수신그룹으로 서로 다른 신호를 전송하기 위해 송신단을 K 개의 그룹으로 나누어 빔포밍 하는 시스템을 고려하였다. 이 경우, 각 수신그룹간에 간섭신호가 발생하게 되는데, 본 논문에서 유도한 평균 빔패턴을 이용하여 각각의 수신 노드에서의 수신 SINR(signal-to interference-plus-noise ratio)을 도출하였다. 마지막으로, 수신단간의 빔패턴과 간섭신호가 시스템의 성능에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 성능의 지표로 각각의 수신 노드들의 용량(capacity)을 더한 총용량(sum capacity)를 사용하였고, 두 개의 수신 그룹을 고려할 때, 보다 좋은 성능을 갖게 되는 빔패턴을 갖도록 하는 각 그룹의 송신단 노드의 수를 수치적 실험으로부터 유도하였다.

Key Words : collaborative beamforming, beampattern, distributed beamforming, ad hoc sensor networks

ABSTRACT

In this paper, we derive the average received beampattern at each receive node which is randomly distributed within a disk when considering a collaborative beamforming between transmission nodes which are randomly distributed within another disk for ad hoc sensor network. Numerical results show that the radius of disk at the transmitter determines the beamwidth of mainbeam, and the sidebeam is affected by the number of transmitter nodes. We also consider K receive groups and divide the transmit sensor modes into K groups to support each receive group using beamforming, and derive the SINR at each receive node. Finally, we investigate the effects of beampattern and interference on total sum capacity among all receive node, and numerically determine the number of transmit nodes for each group which can achieve the maximal sum capacity.

I. 서 론

최근의 기술의 진보는, 적은 파워를 소모하는 값싼 마이크로 센서의 생산을 가능케 하여, 분산형(distributed) 센서 네트워크분야의 새 장을 열고 있

다^{[1][2]}. 이러한 센스 네트워크 기술의 출현은, 과거에는 불가능하게 여겨졌던 다양한 응용(application)을 가능케 하였다. 이러한 응용의 한 종류로, ad hoc 센서 네트워크에서의 공간 통신(space communication)을 들 수 있다. 특정 지역에 랜덤하

* This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD), (KRF-2008-314-D00274)

** 삼성전자 (ms615.yang@samsung.com), ** 한양대학교 전자전기제어계측공학과 이동통신망연구실 (jbkim@wnl.hanyang.ac.kr)

*** 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수 (dkim@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-466, 접수일자 : 2008년 10월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 28일

게 분포된 센서들이 서로 협력하여 수집한 정보를 아주 멀리 떨어진 하나의 수신기로 송신 할 때, 빔포밍(beamforming) 기법을 이용하여, 에너지 효율을 높이는 방법이 공간 통신이다. N 개의 송신 센서 노드들이 선형 배열(linear array)을 이루어 협력하여 송신 할 경우, 선형 랜덤 배열(linear random array)이론으로부터 N 의 다이버시티 차수(diversity order)를 얻을 수 있음이 알려져 있다 [3]. 최근 [4]에서는, 협력 송신 센서 노드들이 2차원 디스크 내부에 랜덤하게 분포되어 있고, 아주 멀리 떨어진 하나의 수신기로 송신 할 때, 하나의 수신노드에 수신되는 평균 빔패턴을 연구하였고, 랜덤하게 분포된 노드들의 빔포밍 기법 또한 송신노드 개수에 해당하는 다이버시티 차수를 얻을 수 있음을 보였다.

본 논문에서는 [4]를 확장하여, 반지름이 정해진 2차원 디스크 내부에 랜덤하게 분포된 다수개의 센서 노드들이 존재하는 수신 그룹을 고려하여, 각각의 수신 노드들이 수신하는 평균 빔패턴을 도출할 것이다. 수치적 실험으로부터 송신단의 디스크의 반지름이 빔패턴이 빔폭(beamwidth)를 결정하며, 송신 노드의 수가 sidelobe의 평균에 영향을 주는 것을 볼 수 있었다. 또한 이러한 모델을 더욱 일반화 하여, 다수의 센서 노드들로 구성된 k 개의 수신그룹들과, K 개의 수신그룹으로 서로 다른 신호를 전송하기 위해 송신단을 K 개의 그룹으로 나누어 빔포밍 하는 시스템을 고려할 것이다. 이 경우, 각 수신그룹간에 간섭신호가 발생하게 되는데, 본 논문에서 유도한 평균 빔패턴을 이용하여 각각의 수신 노드에서의 수신 SINR을 도출할 것이다. 마지막으로, 수신단간의 빔패턴과 간섭신호가 시스템의 성능에 어떠한 영향을 미치는지 살펴볼 것이다. 성능의 지표로 각각의 수신 노드들의 용량(capacity)을 더한 총용량(sum capacity)를 사용할 것이며, 두 개의 수신 그룹을 고려 할 때, 보다 좋은 성능을 갖게 되는 빔패턴을 갖도록 하는 각 그룹의 송신단 노드의 수를 수치적 실험으로부터 유도할 것이다. 수치적 실험으로부터, 빔은 송신단의 노드의 수와 송신 노드가 분산되어 있는 형태에 따라 달라지므로, 송신단의 노드를 적당하게 분배하여 빔을 형성함으로써 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 이러한 성능은 송신노드의 개수의 분배뿐만 아니라, 송신노드가 분배되어 있는 반지름, 송신 SNR(signal-to-noise ratio)등과 관련이 있음을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템

모델을 설명하고, III장에서는 일양분포(uniformly distributed)된 센서 네트워크의 빔패턴에 대하여, 기존의 논문[4]을 토대로 다수의 수신단이 있을 경우에 대하여 확장시켜 정리하고, 빔패턴에 영향을 미치는 파라미터를 알아본다. IV장에서는 많은 노드로 구성되어 있는 다수의 수신그룹에서 빔패턴을 이용하여 성능 분석을 하며, V장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 시스템 모델

기존의 논문 [4]에서는 분산된 N 개의 노드로 이루어진 송신그룹에서 하나의 수신단으로의 빔패턴에 대하여 연구되었다. 본 논문에서는 이를 확장시켜 K 개의 수신그룹이 있을 때 좋은 성능을 얻을 수 있는 빔패턴을 형성할 수 있도록 하는 환경에 대하여 알아보고자 한다. 이를 위한 시스템 모델에서 [4]와 유사한 가정을 사용한다. 아래의 그림은 분산된 N 개의 분산된 노드로 이루어진 송신단과 각각 M_k 개의 수신노드로 구성되어 있는 K 개의 그룹의 기하학적 형태를 나타낸 것이다. 여기서 모든 송신단의 협력 센서 노드는 x - y 평면에 위치되어 있고, 송신단의 중심을 원점으로 하며 원점에서 r_k 만큼 떨어져 있고, x 축으로부터 ψ_k 의 각을 유지하는 k 번째 노드의 위치는 구면좌표계를 사용하여 (r_k, ψ_k) 로 나타낼 수 있다. i 번째 수신단의 중심은 (A_i, ϕ_i) 로 나타낼 수 있으며, $\phi_i \in [-\pi, \pi]$ 는 방위각(azimuth direction)를 나타낸다. 수신단은 M 개의 노드로 구성되어 있고, i 번째 수신단의 m 번째 노드는 구면좌표계로 $(a_m^{(i)}, \varphi_m^{(i)})$ 에 위치해 있다. 해석의 편의를 위해 다음과 같이 가정한다.

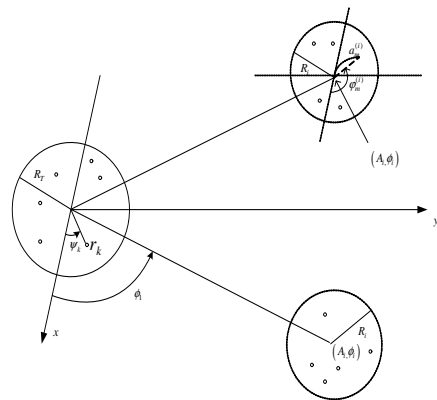


그림 1. 분산된 센서 네트워크의 기호 표기

- 1) 각 송신단 노드의 위치는 불규칙하여 선택되며, 반지름 R_T 인 디스크 안에, 수신단의 경우는 반지름 R_i 의 디스크 안에 일양 분포로 이루어진다.
- 2) 각 노드는 하나의 이상적인 정방향성 안테나를 가지고 있다.
- 3) 모든 센서 노드는 이상적인 에너지를 송신하고, 모든 노드의 거리 감쇄(path loss)는 없다고 가정한다.
- 4) 신호의 반사(reflection)나 신호 번짐(scattering)은 없다. 그러므로 다중경로 페이딩(multipath fading)이나 세도잉(shadowing)은 일어나지 않는다.
- 5) 노드들은 충분한 거리로 떨어져 있기 때문에 상호간의 커플링 효과는 무시할 수 있다.
- 6) 송신단 노드는 N_i 의 K 개의 그룹으로 나누어져 각 수신단으로의 빔패턴을 형성한다.

또한, 모든 노드는 동기가 맞으며, 그러므로 주파수 오프셋(frequency offset) 또는 페이즈 지터(phase jitter)가 일어나지 않는다.

송신단으로부터 수신단 i 의 m 번째 노드에서 수신되는 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$y_m^{(i)}(\phi_m, t) = \sqrt{P_i(\phi_m)}x_i(t) + \sum_{j=1, j \neq i}^K \sqrt{P_j(\phi_m)}x_j(t) + \sigma_N \quad (1)$$

여기서 $x_i(t)$ 는 i 번째 수신그룹에 송신하는 신호이며, 이 신호의 평균 파워는 $E[|x_i|^2] = P$ 로 정의되며, $p_i(\phi_m)$ 는 i 번째 수신단으로의 빔패턴을 뜻하며, j 는 간섭을 일으키는 다른 수신단을 의미한다. 따라서, 수신 신호의 첫 번째 부분은 수신하고자 하는 신호이며, 두 번째 부분은 간섭을 나타내고, 마지막 부분은 잡신호를 나타낸다. 이 식으로 수신 SINR를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_{y_m^{(i)}} = \frac{P_i(\phi_{mi}) \cdot P \cdot N_i}{\sum_{j=1, j \neq i}^K P_j(\phi_{mi}) \cdot P \cdot N_j + \sigma_N^2} \quad (2)$$

III. 일양 분포(uniformly distributed)를 가지는 송신 노드의 빔패턴

송신단의 분산되어있는 노드가 일양 분포를 따른

다고 할 때의 빔패턴을 구하는 방법은 [4]에서의 빔패턴을 구하는 과정을 이용하여 쉽게 확장 시킬 수 있다. 먼저 송신단의 k 번째 노드와 i 번째 수신단의 초점사이의 유클라디언 거리(Euclidean distance) $d_k^{(i)}$ 와 k 번째 노드와 i 번째 수신단의 m 번째 노드 사이의 유클라디언 거리(Euclidean distance) $D_{km}^{(i)}(A_m^{(i)}, \phi_m)$ 를 구한다.

$$d_k^{(i)}(\phi) = \sqrt{A_i^2 + r_k^2 - 2A_i r_k \cos(\phi - \psi_k)} \quad (3)$$

$$D_{km}^{(i)}(A_m^{(i)}, \phi_m) = \sqrt{(A_m^{(i)})^2 + r_k^2 - 2A_m^{(i)} r_k \cos(\phi_m - \psi_k)} \quad (4)$$

여기서 $A_m^{(i)}$ 과 ϕ_m 는 다음과 같다.

$$A_m^{(i)} = \sqrt{A_i^2 + (a_m^{(i)})^2 - 2A_i a_m^{(i)} \cos(\pi - \phi_i^* + \phi_m^{(i)})} \quad (5)$$

$$\phi_m = \phi_i^* - \cos^{-1} \left(\frac{A_i^2 + (A_m^{(i)})^2 - (a_m^{(i)})^2}{2A_i (A_m^{(i)})} \right) \quad (6)$$

λ 를 무선주파수(radio frequency) 캐리어의 파장(wavelength)이라 하자. 만약, 노드 $k \in \{1, 2, \dots, N\}$ 의 초기 페이즈가 다음과 같이 되어 있다면,

$$\begin{aligned} \psi_k &= -\frac{2\pi}{\lambda} D_{mk}^{(i)}(A_i^*, \phi_i^*) \\ &= -\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(A_i^*)^2 + r_k^2 - 2r_k A_i^* \cos(\phi_i^* - \psi_k)} \end{aligned} \quad (7)$$

주어진 위치에 해당하는 $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N] \in [0, R]^N$ 과 $\Psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N] \in [-\pi, \pi]^N$ 의 배열 요소(array factor)는 다음과 같다.

$$F_m^{(i)}(\phi) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{j\Psi_{km}^{(i)}} e^{j\frac{2\pi}{\lambda} D_{km}^{(i)}(A_m^{(i)}, \phi_m^{(i)})} \quad (8)$$

이 논문에서, far-field region 의 beampattern 에 관심이 있기 때문에, far-field 조건 $A_i \gg r_k$ 을 가정한다. Far-field 조건에 의해 거리에 관한 파라미터 들은 다음과 같이 간략화된다.

$$\Psi_{km}^{(i)} = -\frac{2\pi}{\lambda} \left(A_i^* - r_k \cos(\phi_i^* - \psi_k) \right) \quad (9)$$

$$D_{km}^{(i)} \left(A_m^{(i)}, \phi \right) = A_{mi} - r_k \cos(\phi - \psi_k) \quad (10)$$

$$A_m^{(i)} = A - a_m^{(i)} \cos(\pi - \phi_i^* + \varphi_m^{(i)}) \quad (11)$$

위의 식들을 사용하여, 배열요소는 다음과 같이 정리 된다.

$$\begin{aligned} F_i(\phi) &= \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(A_i^* - r_k \cos(\phi_i^* - \psi_k))} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(A_m^{(i)} - r_k \cos(\phi - \psi_k))} \\ &= \frac{1}{N_i} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(A_i^* - A_m^{(i)})} \sum_{k=1}^{N_i} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(r_k \cos(\phi_i^* - \psi_k) - r_k \cos(\phi - \psi_k))} \\ &= \frac{1}{N_i} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(A_i^* - A_m^{(i)})} \sum_{k=1}^{N_i} e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R \sin\left(\psi_i - \frac{\phi + \phi_i^*}{2}\right) \sin\left(\frac{\phi - \phi_i^*}{2}\right) r_k} \\ &= \frac{1}{N_i} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(A_i^* - A_m^{(i)})} \sum_{k=1}^{N_i} e^{j4\pi \tilde{R} \sin\left(\frac{\phi - \phi_i^*}{2}\right) z_k} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $\tilde{R} = R/\lambda$ 를 나타내고 z_k 은 다음과 같다.

$$z_k = \tilde{r}_k \sin\left(\psi_k - \frac{\phi + \phi_i^*}{2}\right) \quad (13)$$

r_k 과 ψ_k 가 일양 분포 되어 있다고 가정할 때, pdf(probability density function)가 다음과 같이 주어지므로,

$$f_{r_k}(r) = \frac{2r}{R^2}, \quad 0 < r < R \quad (14)$$

$$f_{\psi_k}(\psi) = \frac{1}{2\pi}, \quad -\pi \leq \psi < \pi \quad (15)$$

z_k 의 pdf는 다음과 같다^[4].

$$f_{z_k}(z) = \frac{2}{\pi} \sqrt{1-z^2}, \quad -1 \leq z \leq 1 \quad (16)$$

Far-field 빔패턴은 다음과 같이 정의된다 [4].

$$p_i(\phi | z) \propto |F(\phi_i | z)|^2 = F(\phi_i | z) F^*(\phi_i | z)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{N_i^2} \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{\ell=1}^{N_i} \exp \left\{ j4\pi \tilde{R} \sin\left(\frac{\phi - \phi_i^*}{2}\right) z_k \right. \\ &\quad \left. - j4\pi \tilde{R} \sin\left(\frac{\phi - \phi_i^*}{2}\right) z_\ell \right\} \\ &= \frac{1}{N_i^2} \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{\ell=1}^{N_i} \exp \left\{ j4\pi \tilde{R} \sin\left(\frac{\phi - \phi_i^*}{2}\right) [z_k - z_\ell] \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

(17)식으로부터 z 로의 평균을 취하여 평균 빔패턴을 다음 식과 같이 정의 한다.

$$p_{av}^{(i)}(\phi) \propto E_z \{ p_i(\phi | z) \} \quad (18)$$

(16)을 이용하여 (17)로부터 평균 빔패턴을 구하면 다음 식과 같다.

$$p_{av}^{(i)}(\phi) = \frac{1}{N_i} + \left(1 - \frac{1}{N_i} \right) \left| 2 \frac{J_1(\alpha(\phi))}{\alpha(\phi)} \right|^2 \quad (19)$$

여기서 $\alpha(\phi) = 4\pi \tilde{R} \sin(\phi/2)$ 를, $J_n(x)$ 은 n th-order Bessel function of the first kind를 나타낸다.

$J_1(x)/x$ 는 진동함수를 나타내고, x 가 증가함에 따라 진동하는 최고값이 줄어든다. 첫 번째 부분은 sidelobe의 평균 파워 레벨을 나타내고, 두 번째 부분은 mainlobe에 연관 있는 부분이다. 이 평균 빔패턴에 대한 그래프는 그림 2와 같다. 그림 2로부터 송신단의 디스크의 반지름이 빔패턴의 빔폭 (beamwidth)를 결정하며, 송신 노드의 수가 sidelobe의 평균에 영향을 줄 수 있다.

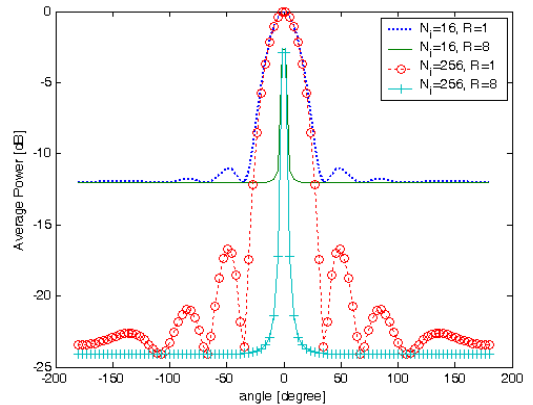


그림 2. 평균 빔패턴

IV. 빔과 성능과의 관계

이 논문에서는 성능 평가를 평균 총용량으로 한다. 두개의 수신단을 가정할 때, 총용량은 다음과 같이 정의된다.

$$C_{total} = \sum_{m=1}^{M1} \log_2(1 + \gamma_m^{(1)}) + \sum_{m=1}^{M2} \log_2(1 + \gamma_m^{(2)}) \quad (20)$$

여기서 $\gamma_m^{(i)}$ 는 수신단 i 의 m 번째 노드의 SINR로, 앞에서 정리된 식 (2)를 사용한다. 총용량의 첫 번째 부분을 'capacity1'이라 하고 이는 첫 번째 수신 그룹의 총용량을, 두 번째 부분을 'capacity2'라 하고 이는 두 번째 수신그룹의 총용량이라고 한다.

먼저 각 수신단의 노드를 두 그룹으로 나눌 때, 노드의 수의 분배에 따른 총용량의 관계를 살펴보겠다. 이를 위해 총 송신 노드 수 $N=16$ 에서 N_1 의 수를 1에서 15로 증가시키며 총용량을 구한다. \bar{R}_1, \bar{R}_2 과 \bar{R} 은 8, $\bar{A} = A_i/\lambda$ 은 100, $M_1 + M_2 = 32$ 를 유지 하며 M_1 의 수를 8, 12, 16, 20, 24의 순서로 개 수를 늘일 경우를 각각 계산하면 그림 3과 표 1의 결과를 얻을 수 있다. 이와 유사하게 세 개의 수신 단이 있을 때에는 그림 4와 표 2의 결과를 얻을 수 있다. 위의 결과로 최대 성능을 얻을 수 있는 노드 의 분배 $N_i^{(opt)}$ 는 식 (21)과 같이 수신단의 노드 의 수의 비율에 비례하여 증가시키는 것이 좋은 성능

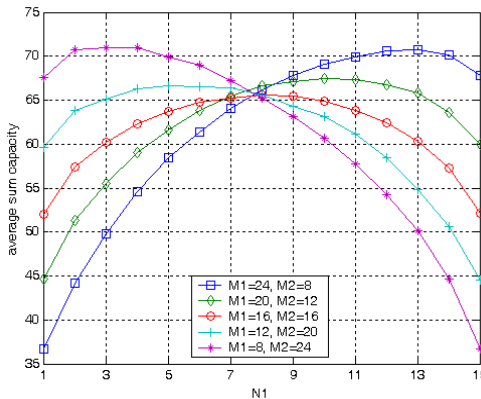


그림 3. 수신단이 있을 때, 송신단의 노드의 분배에 따른 성능 비교 ($M_1 + M_2 = 32$, $N = 16$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R} = 8$, $A_1 = A_2 = 100m$, iteration=400, $\phi_1^* = 0^\circ$, $\phi_2^* = 180^\circ$)

표 1. $M_1 + M_2 = 32$ 일 때의 M_1 에 따른 최대 성능을 얻을 수 있는 노드의 수 $N_i^{(opt)}$

M_1	24	20	16	12	8
$N_i^{(opt)}$	13	10	8	6	3

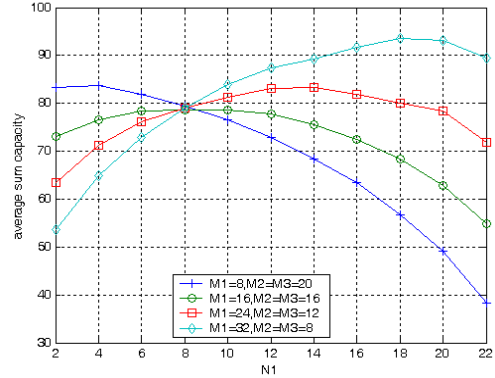
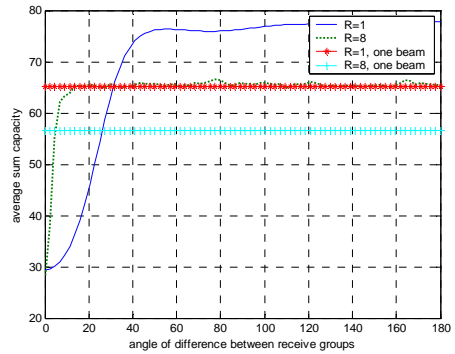


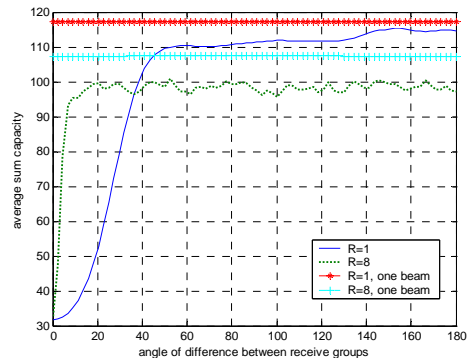
그림 4. 세개의 수신단이 있을 때, 송신단의 노드의 분배에 따른 성능 비교 ($M_1 + M_2 + M_3 = 48$, $N = 24$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R}_3 = 8$, $A_1 = A_2 = A_3 = 100m$, iteration=400, $\phi_1^* = 0^\circ$, $\phi_2^* = 120^\circ$, $\phi_3^* = 240^\circ$)

표 2. $M_1 + M_2 + M_3 = 48$ 일 때의 M_1 에 따른 최대 성능을 얻을 수 있는 노드의 수 $N_i^{(opt)}$

M_1	8	16	24	32
$N_i^{(opt)}$	4	8	12	18

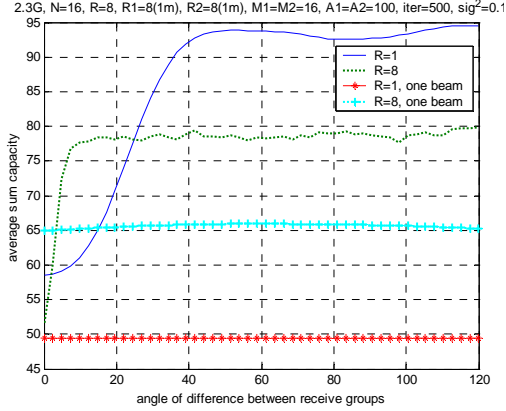


(a) 송신 SNR이 0dB인 경우 ($N = 16$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = 8$, $M_1 = M_2 = 16$, $A_1 = A_2 = 100m$, $\sigma^2 = 1$, iteration=500)

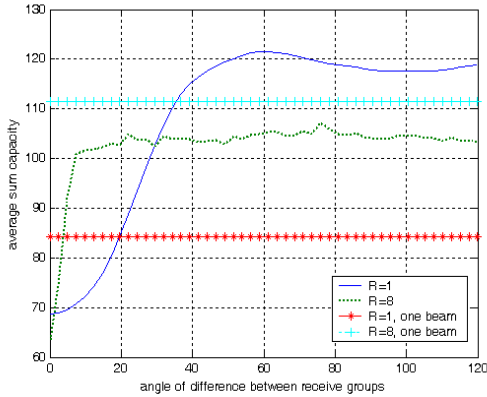


(b) 송신 SNR이 10dB인 경우 ($N = 16$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = 8$, $M_1 = M_2 = 16$, $A_1 = A_2 = 100m$, $\sigma^2 = 0.1$, iteration=500)

그림 5. 두 개의 수신 그룹이 이루는 각에 따른 성능 비교



(a) 송신 SNR 10dB인 경우 ($N=16$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R}_3 = 8$, $M_1 + M_2 + M_3 = 16$, $A_1 = A_2 = A_3 = 100m$, $\sigma^2 = 1$, iteration=500)



(b) 송신 SNR 10dB인 경우 ($N=24$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R}_3 = 8$, $M_1 + M_2 + M_3 = 16$, $A_1 = A_2 = A_3 = 100m$, $\sigma^2 = 0.1$, iteration=500)

그림 6. 세 개의 수신 그룹이 이루는 각에 따른 성능 비교

을 얻을 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

$$N_i^{(opt)} \approx NM_i / \sum_{j=1}^2 M_j \quad (21)$$

$M_1 + M_2 = 32$ 일 때의 그림 3의 그래프와 표 1의 $N_i^{(opt)}$ 은 식(21)의 값과 큰 오차 없이 맞는다는 것을 알 수 있다. 하지만, M_i 의 수가 커짐에 따라 오차가 커지는 것을 볼 수 있다.

그림 4. 세개의 수신단이 있을 때, 송신단의 노드의 분배에 따른 성능 비교 ($M_1 + M_2 + M_3 = 48$, $N=24$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R}_3 = 8$, $A_1 = A_2 = A_3 = 100m$, iteration=400, $\phi_1^* = 0^\circ$, $\phi_2^* = 120^\circ$, $\phi_3^* = 240^\circ$)

그림 5, 그림 6은 두 수신 그룹이 이루는 각에 따른 성능 비교를 나타낸 것이다. 이를 위해 수신단

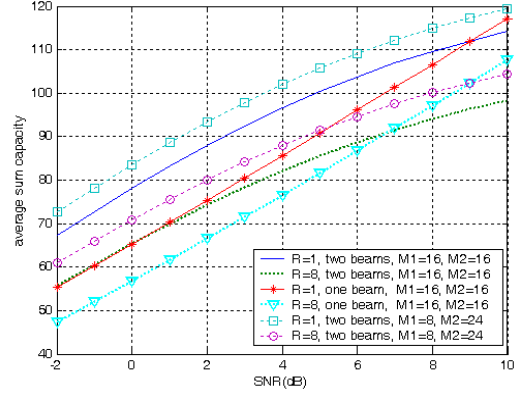


그림 7. 두 개의 수신단에서 SINR에 따른 평균 총용량 ($N=16$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = 8$, $A_1 = A_2 = 100m$, iteration=400, $\phi_1^* = 0^\circ$, $\phi_2^* = 180^\circ$)

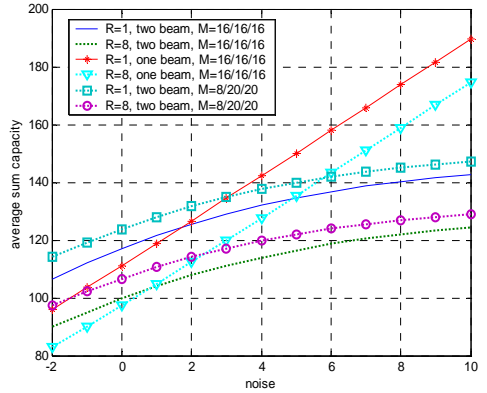


그림 8. 세 개의 수신단에서 SNR에 따른 평균 총용량 ($N=24$, $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = \bar{R}_3 = 8$, $A_1 = A_2 = A_3 = 100m$, iteration=500, $\phi_1^* = 0^\circ$, $\phi_2^* = 120^\circ$, $\phi_3^* = 240^\circ$)

그룹의 반지름과 송신단의 반지름 \bar{R}_1, \bar{R}_2 은 8, $\bar{A} = A_i/\lambda$ 은 100, M_1, M_2 는 16으로 고정시킨 경우, 송신단에서 수신단에 이루는 각의 차이를 0° 에서 180° 까지 변화시켰을 때를 나타낸 그래프이다. 위의 그래프로 두 그룹이 이루는 각은 수신단의 그룹 반지름인 \bar{r} 과 관계있다는 것을 알 수 있으며 즉, \bar{r} 은 mainlobe의 빔폭과 상관관계가 있는 것으로 미루어 그와 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 위의 그래프에서 수신단이 이루는 각이 작을 때, 즉, 서로 인접해 있을 때는 총용량이 매우 작은 것을 볼 수 있다. 또한 빔패턴의 sidelobe로 인해 각의 차이에 따른 평균 용량의 값이 진동하는 것을 알 수 있다. 이러한 진동 값은 많은 샘플 발생으로 진동의 폭을 줄일 수 있을 것이라 예상된다. 또한, 이

그래프로 수신단이 모든 노드 N 를 사용하여, 하나의 수신단으로 보내는 경우와 비교해 볼 수 있다. 위 그래프에서 점선으로 나타나는 값은 첫 시간축으로 첫 번째 수신단으로 보내고, 두 번째 시간축으로는 두 번째 수신단으로 신호를 보내는 경우의 평균으로 구한 것이다. 이 그래프로부터, 송신 SNR이 10dB로, 큰 경우는 하나의 빔을 형성하여 각각 송신하는 것이 성능이 더 좋은 것으로 평가할 수 있다. 반면에, 송신 SNR이 0dB로 작은 경우는 두 수신단이 떨어져 있을 때에는, 송신 노드를 분배하여 한번에 두 빔을 형성하여 송신하는 것이, 두 수신단이 가까울 때에는, 두 시간 축을 사용하여 각각 빔을 형성하여 송신하는 것의 성능이 더 좋음을 알 수 있다. 이와 같이 송신 SNR의 따른 평균 총용량의 특성은 그림 7로 알 수 있다. 그림 8은 세 개의 수신단에서의 송신 SNR에 따른 평균 총용량을 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 분산된 무선 Ad Hoc 센서 네트워크가 다수개의 수신단에 빔포밍을 하는 경우 보다 좋은 성능을 얻도록 하는 빔형성의 방법에 대하여 살펴 보았다. 빔은 송신단의 노드의 수와 송신 노드가 분산되어 있는 형태에 따라 달라지므로, 송신단의 노드를 적당하게 분배하여 빔을 형성함으로써 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 이러한 성능은 송신노드의 개수의 분배뿐만 아니라, 송신노드가 분배되어 있는 반지름, 송신 SNR등과 관련이 있음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 분산된 노드가 일양 분포를 따를 경우의 결과이므로, 다른 형태의 노드 분포에 따른 성능의 분석을 할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] K. Yao, R. E. Hudson, C. W. Reed, D. Chen, and F. Lorenzelli, "Blind beamforming on a randomly distributed sensor array system," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol.16, No.10, pp.1555-1567, Oct. 1998.

[2] J. C. Chen, L. Yip, J. Elson, J. Wang, D. Maniezzo, R. E. Hudson, K. Yao, and D. Estrin, "Coherent acoustic array processing and localization on wireless sensor networks," *Proc.*

IEEE, Vol.91, No.8, pp.1154-1162, Aug. 2003

[3] Y. T. Lo, "A mathematical theory of antenna arrays with randomly spaced elements," *IRE Trans. Antennas Propag.*, Vol.AP-12, pp.257-268, May. 1964.

[4] H. Ochiai, P. Mitran, H. V. Poor and V. Tarokh, "Collaborative beamforming for distributed wireless Ad Hoc sensor networks," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol.53, No.11, Nov. 2005.

양 미 선 (Mi-Sun Yang)

정회원



2005년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업
2007년 2월 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사
2007년 3월~현재 삼성전자 <관심분야> MIMO 채널 모델링, 이동 협력형 릴레이 시

스템 채널 모델링

김 중 빈 (Jung-Bin Kim)

정회원



2004년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업
2006년 2월 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사
2006년 3월~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정

<관심분야> 협력형 릴레이, 다중 사용자 다중 안테나 시스템, 다중 사용자를 위한 적응전송기술

김 동 우 (Dongwoo Kim)

정회원



1994년~2000년 Shinsegi Telecom 선임과장
2000년~현재 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 부교수
<관심분야> 이동통신채널 용량 증대 방법