

## 주파수 비선택성 레일리 페이딩 채널에서 적응형 섹터 안테나의 성능분석

<sup>0</sup> 이 주 형, <sup>\*</sup> 강 찬 구, <sup>\*\*</sup> 최 충 열, <sup>\*</sup> 오 창 현, <sup>\*\*\*</sup> 조 성 준

<sup>\*</sup> 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과  
<sup>\*\*</sup> SK 텔레콤 중앙연구원  
<sup>\*\*\*</sup> 한국기술교육대학교 정보통신공학과

## Performance Analysis of Adaptive Sector Antennas in Frequency Non-selective Rayleigh Fading Channels

<sup>0</sup> Ju-Hyung Lee, <sup>\*</sup> Chan-Goo Kang, <sup>\*\*</sup> Chung-Yul Choi, <sup>\*</sup> Chang-Heon Oh, <sup>\*\*\*</sup> Sung-Joon Cho

<sup>\*</sup> Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.  
<sup>\*\*</sup> SK Telecom. Central R&D Lab.  
<sup>\*\*\*</sup> Dept. of Inform. & Comm. Eng., Korea University of Tech. & Edu.

### 요 약

본 논문에서는 사용자의 분포에 따라 섹터의 크기가 가변되는 안테나의 섹터 형성과 오율성능 개선을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 섹터의 크기가 가변적이기 때문에 사용자의 분포에 따라 섹터별 부하의 차이를 줄일 수 있어 간섭제거 효과를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 결과 가우스 분포를 하는 사용자 수에 따라 섹터의 크기가 가변됨을 확인할 수 있었고, 고정된 섹터 시스템에 비해 동일한 SNR에 대해 오율성능이 개선됨을 알 수 있었다. 채널 환경으로는 가우스 잡음, 레일리 페이딩 및 다중 사용자 간섭을 고려하였고 변복조 시스템은 BPSK로 하였다.

### I. 서 론

최근 몇 년 사이에 이동통신은 우리 생활의 일부분이 될 정도로 보편화되었고 3세대 이동통신의 도입과 함께 더욱 가속화될 것이다. 이러한 이동통신에 대한 지속적인 수요 증가에 대응하기 위해서는 제한된 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 대한 연구가 필요하다. 주파수 이용 효율을 높이기 위한 여러 가지 방안들 중 안테나를 이용해서 다른 사용자의 간섭을 줄이는 방안이 대한 연구가 국내외로 활발히 진행 중에 있다.

안테나를 이용하는 방법 중 기존에 사용하고 있는 방식은 고정된 지향성 안테나를 사용하는 것이다. 그러나 고정된 지향성 안테나는 안테나의 지향성이 바뀌지 않기 때문에 이동통신 시스템에 적용할 때 최적의 방안이라고 할 수 없다[1]. 다음으로 스마트 안테나를 생각할 수 있다. 스마트 안테나의 빔을 형성하는 방법에는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 각 사용자가 셀 안에서 이동할 때 개별적인 빔으로 각 사용자를 추적하는 적응 배열 방식과 이동국의 위치에 따라서 미리 형성된 여러

개의 고정된 빔 중에서 하나를 선택하는 선택 빔 방식이 있다[2],[3].

적응 배열 형태의 스마트 안테나는 CDMA 용량을 개선하는데 있어 가장 최적의 접근방식이지만 셀 내의 모든 이동국에 대해서 추적을 하는 구조를 필요로 한다. 이에 반해 선택 빔 또는 다중 빔 안테나는 복잡한 빔 형성 네트워크를 필요로 하지 않기 때문에 현재의 셀룰러 시스템에 쉽게 적용할 수 있다[3]. 또한, 섹터의 크기를 가변할 경우 셀 안의 사용자 분포에 따라 각 섹터의 크기를 조절하여 섹터에 가해지는 부하를 최대한 동일하게 만들 수 있어 보다 효과적인 간섭제거를 할 수 있다 [4].

본 논문에서는 현재 운용중인 기지국 안테나에 쉽게 적용할 수 있고 사용자의 분포에 따라 섹터의 크기를 가변시킬 수 있는 다중 빔 안테나의 빔 패턴을 시뮬레이션을 통해서 형성시키고 주파수 비선택성 레일리 페이딩 환경에서 오율성능 개선을 확인한다.

### II. 적응형 섹터 안테나

현재 서비스 중에 있는 기지국의 셀은 일반적으로 기지국을 중심으로 360도의 coverage를 가진다. 그렇기 때문에 안테나의 배열을 180도의 coverage를 가지는 linear 배열보다는 circular 배열을 선택하는 것이 타당하다. 최근 연구 결과에 의하면 안테나를 장방형으로 배열하여 360도의 coverage를 가지는 방식도 제안되었지만 이 경우, 안테나간 거리가 좁아지기 때문에 coupling 현상이 발생해서 안테나 이득이 감소하는 단점이 있다[1]. 본 논문에서는 안테나 요소간의 간격이 0.5λ를 유지하는 circular 배열을 사용한다. 안테나 요소간에 0.5λ의 간격을 유지하기 때문에 coupling 현상은 발생하지 않는다고 가정할 수 있다.

본 논문에서 고려한 기지국의 안테나 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 기지국 안테나는 버틀러 행렬, 빔 형성 네트워크의 두 부분으로 나눌 수 있다. 버틀러 행렬은 여러 개의 연결된 위상 천이기를 사용하는 구조이다. 버틀러 행렬은 비교적 간단하기 때문에 구현하기가 쉽고 버틀러 행렬로 빔을 형성했을 경우, 송수신 모두에서 동일한 안테나 이득을 얻을 수 있다[5]. 버틀러 행렬에 의해서 만들어진 빔은 가장 폭이 좁은 빔이고 총 N개의 빔이 형성된다. 본 논문에서는 32개의 빔이 버틀러 행렬에 의해서 형성되는 경우를 가정한다.

다음으로 빔 형성 네트워크가 있다. 여기서는 버틀러 행렬에 의해 만들어진 빔을 원하는 지향 각도와 폭을 가진 섹터로 구성한다. 본 논문에서는 총 6개의 빔 형성 네트워크를 사용해서 하나의 셀 내에 6개의 섹터를 형성한다.

적용형 섹터 안테나를 수식으로 표현하면 다음과 같다. 안테나는 다이폴 안테나일 경우로 가정하였다[6].

$$E(\phi) = \sum_{k=1}^N \left[ \sum_{m=-N/2+1}^{N/2} w_m \exp\left(j \frac{2\pi \cdot km}{N}\right) \right] A(\phi - \alpha_k) \cdot \exp\left(j \frac{2\pi \cdot R \cos(\phi - \alpha_k)}{\lambda}\right), \quad (1)$$

$$w_m = B_m \exp(j\beta_m). \quad (2)$$

여기서,

N : 형성되는 빔의 수,

$\alpha_k$  : k번째 안테나 element가 지향하고 있는 각도,

R : 안테나 배열의 반지름,

$A(\phi) = 0.5 + 0.5 \cos(\phi)$  : circular 배열에서 각도에 따른 다이폴 안테나 패턴,

$\lambda$  : 신호의 파장,

$w_m$  : 빔 형성 네트워크에서의 weight

$B_m$  : side-lobe를 감소시키는 진폭 taper,

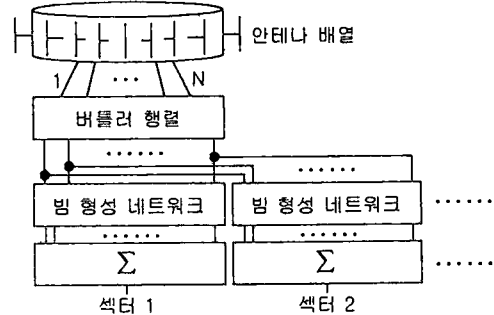


그림 1. 적용형 섹터 안테나의 구조

$\beta_m$  : 0도에서 co-phase 패턴에 요구되는 고정 위상천이 값.

빔 형성 네트워크에서 빔의 지향각도를  $M \cdot 2\pi/N$ 로 바꿀 경우 빔 형성 네트워크에서의 weight는 다음과 같다 [6].

$$w_m = B_m \exp(j\beta_m) \exp(jMm \cdot 2\pi/N). \quad (3)$$

마지막으로 빔의 폭을  $M \cdot 2\pi/N$ 에서  $(M+P) \cdot 2\pi/N$ 까지 할 경우 식 (3)은 다음과 같이 바뀐다[4].

$$w_m = B_m \exp(j\beta_m) \exp(jMm \cdot 2\pi/N) \left[ \sum_{i=0}^{P-1} \exp(jim \cdot 2\pi/N) \right]. \quad (4)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용해서 섹터의 크기와 섹터의 지향 각도를 조절할 경우, 사용자 수신 신호의 각도 분포에 따라 섹터의 크기를 최적으로 조절할 수 있다. 사용자 분포에 따라 섹터의 크기를 조절할 경우 부하의 양이 분산이 되기 때문에 사용자가 많이 있는 섹터에서의 다중 사용자 간섭이 감소하여 성능이 개선된다. 즉, 부하 분산에 의해 전체시스템의 성능 및 용량의 개선을 얻을 수 있다.

### III. 시뮬레이션

본 논문에서는 적용형 섹터 안테나에 대해 두 가지 측면에서 시뮬레이션을 수행한다.

첫 번째로 셀 내의 사용자 분포에 따라 최적의 섹터 크기를 계산해서 섹터를 형성하는 시뮬레이션을 수행한다. 사용자 분포는 0도를 중심으로 가우스 분포를 한다고 가정하고 하나의 셀내에 총 6개의 섹터가 형성되게 한다. 셀 내의 전체 사용자 수는 90명으로 한다.

다음으로 BER 측면에서 적용형 섹터 안테나를 통한

성능개선을 시뮬레이션을 통해 확인한다. 가우스 잡음, 레일리 페이딩, 다중 사용자 간섭이 존재하는 무선채널을 고려한다. 변복조 시스템은 BPSK 방식으로 설정하였고 DOA (Direction-of-Arrival)는 완벽하게 수신기가 알고 있다고 가정한다. 셀 내의 전체 사용자의 수는 90명이고 0도를 중심으로 분산이 1인 가우스 분포를 한다고 가정한다. 성능분석은 -60도에서 60도 사이에서 수신된 신호에 대해서 성능을 분석한다.

#### IV. 검토 및 결론

본 논문에서는 사용자 분포밀도에 따라 섹터의 크기가 가변되는 적응형 섹터 안테나의 섹터 형성과 오율성능 개선을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

사용자는 셀 내에 0도를 중심으로 가우스 분포를 한다고 가정하였고, 그림 2와 같이 사용자 분포함수가 다를 경우 분산 값에 따라 다른 크기의 섹터가 형성됨을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 그림 3은 사용자가 균일한 분포를 했을 경우의 섹터화이다. 모든 섹터의 크기가 거의 동일함을 알 수 있다. 그림 4와 그림 5와 같이 사용자 분포밀도의 분산이 1인 경우와 0.3인 경우를 비교했을 때, 0.3인 경우가 1인 경우보다 사용자가 더 많이 분포하는 0도 중심에서 섹터의 크기가 좁게 형성된다. 또한 사용자의 밀도가 낮은 각도에 대해서는 크기가 큰 하나의 섹터가 형성된다. 셀 내에 90명의 사용자가 있고 사용자 분포 함수의 분산이 1일 때, 적응형 섹터 시스템에서 각 섹터별로 약 13~17명의 사용자가 존재함을 알 수 있었다.

그림 5는 3가지 종류의 안테나 시스템에 대해서 오율성능을 시뮬레이션을 통해 계산한 결과이다. 본 논문에서는 고정 3 섹터, 고정 6 섹터와 적응형 6 섹터 시스템에 대해 비교하였다. 채널 모델로는 잡음 환경과 레일리 페이딩 환경의 두 모델을 설정하였고 -60도에서 60도 사이에서 수신된 사용자의 신호에 대한 오율을 시뮬레이션하였다. 셀 내의 전체 사용자 수가 90명이고 가우스 분포의 분산값이 1인 경우, -60도에서 60도 사이의 사용자 수는 62명이었고 각 시스템이 -60도에서 60도 사이에 형성하는 섹터 수는 1개, 2개, 5개였다. 시뮬레이션 결과 적응형 6 섹터 안테나가 다른 고정 섹터 안테나에 비해서 오율성능이 개선됨을 알 수 있었다. 잡음 환경에서  $10^{-3}$ 을 기준 오율로 하였을 때 약 3 dB 가량 개선되었다. 주파수 비선택성 레일리 페이딩 환경에서는 2~10 dB의 신호전력으로는  $10^{-3}$ 의 오율을 달성하지는 못했지만 고정 섹터 안테나 시스템에 비해서 오율성능이 개선됨은 확인할 수 있었다. 이는 섹터 크기 조절로 인해 사용자가 많은 각도에서의 섹터 수가 증가한 결과 효과적인 간섭제거가 가능했기 때문이다. -60도에서 60도의 범

위에서 적응형 6 섹터 시스템에서 각 섹터별 사용자 수는 약 11~14명이었다.

시뮬레이션 결과로부터 사용자 분포에 따른 적응형 섹터 형성을 확인하였고 이를 통해 각 섹터별 부하가 분산되어 오율성능이 개선과 아울러 전체 시스템의 성능이 개선됨을 확인하였다. 본 논문에서 고려한 안테나 시스템은 구조가 간단하기 때문에 현재 서비스 중인 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며 차세대 이동통신 시스템에도 적용되리라고 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] Z. Feng and Yu Yang, "Multibeam plane array using modified Butler matrix circuits," *Microwave Conf.*, vol. 1, pp. 103-106, Dec. 1999.
- [2] D. Shim and S. Choi, "Should the smart antenna be a tracking beam array or switching beam array?," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, Ottawa, May 1998.
- [3] J. H. Winters, "Smart antennas for wireless systems," *IEEE Personal Comm.*, vol. 5, pp. 23-27, Feb. 1998.
- [4] M. Mahmoudi, E. S. Sousa, and H. Alavi, "Adaptive sector size control in a CDMA system using Butler matrix," in *Proc. VTC'99*, vol. 2, May 1999.
- [5] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice Hall PTR, 1999.
- [6] B. Sheleg, "A matrix-fed circular array for continuous scanning," in *Proc. IEEE*, vol. 56, no. 11, Nov. 1968.

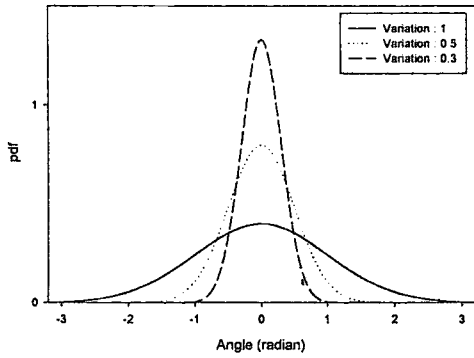


그림 2. 분산에 따른 사용자 분포밀도 함수

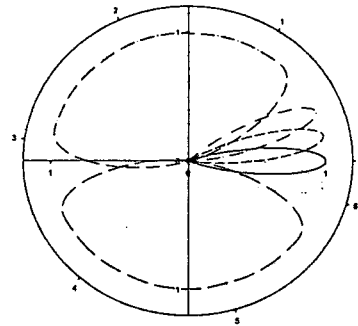


그림 5. 사용자 분포밀도의 분산이 0.3인 경우의 섹터 형성

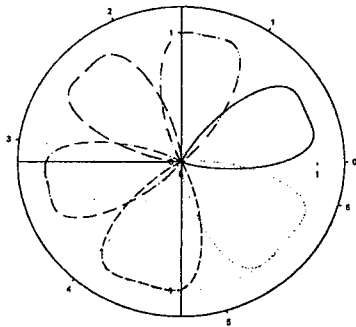


그림 3. 사용자가 균일하게 분포할 경우의 섹터 형성

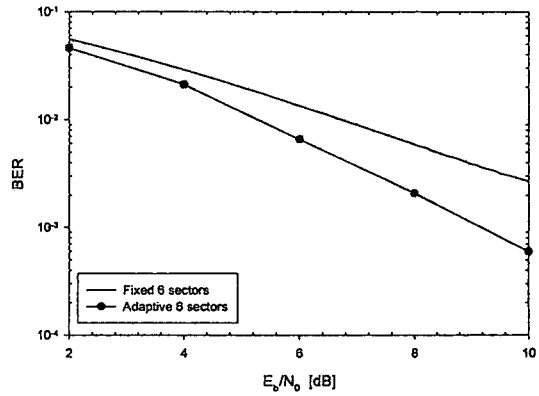


그림 6. 가우스 잡음과 다중 사용자 간섭이 고려된 환경에서의 BER 성능 비교

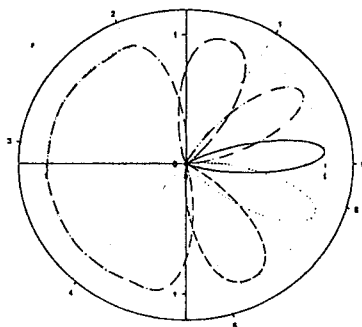


그림 4. 사용자 분포밀도의 분산이 1인 경우의 섹터 형성

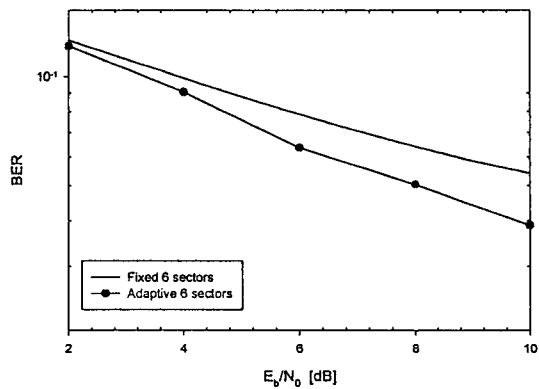


그림 7. 가우스 잡음, 다중 사용자 간섭, 레일리 페이딩이 고려된 환경에서의 BER 성능 비교