

도심 무선채널의 실측데이터를 이용한 적응 섹터 셀 시스템의 성능분석

A Performance Analysis of an Adaptive Sector Cell System using the Measured Urban Wireless Channel Data

고 학 림* · 박 병 훈** · 이 중 현***

Hak-Lim Ko* · Byeong-Hoon Park** · Jong-Heon Lee***

요 약

본 논문에서는 섹터의 트래픽 부하를 균일하게 유지시킴으로써 기지국 시스템의 전체 용량을 효과적으로 활용하기 위한 적응 섹터 셀 시스템의 성능을 실제 이동통신 채널환경에서 측정된 채널 데이터를 이용하여 분석하였다.

측정은 채널 환경이 다른 여러 지점에서 1.95GHz의 QPSK 신호를 전송하였고, 높은 건물이 많은 대도시 환경의 건물옥상에 8x4 배열 안테나를 설치하여 전송된 신호를 수신하였다. 또한 수신된 데이터를 분석하여 각 사용자 신호의 도달각 분산 및 시간 지연 분산과 전체 사용자에 대한 공간 분포 확률을 추정하였으며, 이를 결합하여 실제의 전파 환경과 유사한 벡터 채널 모델링을 제안하였다. 우리는 제안한 공간 분포 모델링을 이용하여 적응 섹터 셀 시스템 사용 시의 호 차단율의 개선정도를 분석하였으며, 컴퓨터 모의실험 결과 적응 섹터 셀 시스템의 호 차단율이 고정 섹터 셀 시스템의 비해 크게 낮음을 알 수 있었다. 그리고 고정 섹터 셀 시스템의 경우에는 사용자 신호의 공간 분포 밀집도가 높을수록 호 차단율이 크게 증가하는데 비해, 적응 섹터 셀 시스템의 경우 호 차단율의 변화는 크지 않음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper we analyze the performance of an adaptive sector cell system, which is adopted to maintain the traffic balance between sectors and to utilize the cell resources effectively, using the data collected from real channel environments. In the data measurements, we transmitted the QPSK modulated signal with carrier frequency of 1.95GHz and received the signals using the 8x4 array antenna equipped on the top of buildings in the urban area. We analyzed the angular distribution and the delay spread of a user signal and analyzed angular distribution of mobile users in a cell using the collected data. Also, we propose the vector channel modeling using the estimated pdf(probability distribution function) of the analyzing results.

Through the proposed channel modeling the improvement of the call blocking rate was analyzed when using the adaptive sector cell system, and computer simulations show that the call blocking rate of the adaptive sector cell system was much lower than that of the fixed sector cell system. Additionally, it shows that the call blocking rate increases severely in the fixed sector cell system while the difference of the call blocking rate was smaller in the adaptive sector cell system, as the user density of the spatial distribution increases.

Keywords : adaptive sector cell system, array antenna, DOA, time delay profile, call blocking rate

1. 서 론

DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템은 같은 주파수를 공유하는

다른 다중접속 간섭(MAI : Multiple Access Interference)에 의해 시스템의 성능과 용량이 제한된다[1]. 이러한 다중접속 간섭을 줄여 용량을 확대하는 방안으로 기지국에 섹터 안테나를 사용한다. 즉, 기지국이 담당하는 셀을 고정된 몇 개의 섹터로 나누어 서비스를 함으로써 다중접속 간섭을 줄여 시스템의 성능을 향상시키고 있다[2,3]. 향후 IMT-2000에서는 셀을 더 많은 섹터로 나누어 서비스함으로써 기지국의 용량을 증대시키려 하고 있다. 하지만, 일반적으로 섹터의 수가 증가하면 빈번한 핸드오프와

* 호서대학교 정보통신공학부

** 인덕대학교 컴퓨터전자과

*** SK텔레콤

논문 번호 : 2007-3-2

접수 일자 : 2007. 5. 25

심사 완료 : 2007. 10. 15

파일럿 신호 오염(pilot pollution)과 같은 문제가 발생되며[4], 또한 각 섹터에 대한 트래픽 부하가 균일하지 않으면 트래픽 부하가 적은 섹터에서는 서비스를 제공하기 위한 충분한 수용 용량의 여유분을 확보하고 있는데 반해, 트래픽 부하가 몰려있는 섹터에서는 수용용량 초과로 심지어 서비스를 제공하지 못하는 부하 불균형으로 그 셀의 수용용량을 효과적으로 활용할 수 없을 것이다. 이러한 비효율적인 문제를 해결하기 위해서 부하가 큰 섹터에 새로운 주파수를 할당할 수도 있지만, 이는 인접 섹터와 인접 셀의 시스템에도 새로운 주파수를 할당해야만 하기 때문에 주파수 재활용 측면에서 고려하기 어려운 방안이다. 다른 방법으로 섹터 크기가 고정된 셀 섹터 시스템 대신에 셀 내에 트래픽 부하량에 따라 섹터의 크기를 적응적으로 조절함으로써 섹터간의 트래픽 부하를 균일하게 유지하게 하는 적응 섹터 셀 시스템이 제안되었다[5].

본 연구에서는 이와 같은 적응 셀 섹터 시스템의 성능을 실제 도심의 무선채널 환경에서 분석하였다. 성능분석의 신뢰도를 높이기 위해 전형적인 도심의 여러 위치에서 QPSK 변조한 송신신호를, 제작된 기지국용 8 x 4 배열 안테나를 이용하여 채널 데이터를 취득하여 활용하였다. 취득한 채널 데이터는 제안된 비균일 공간분포 모델링과 결합하여 실제와 가까운 사용자 신호를, 실제 제작한 배열 안테나와 아날로그 빔 형성기의 출력 빔 패턴을 이용하여 컴퓨터 모의실험을 통하여 얻어진 호 차단율을 근거로 성능을 분석하였다.

II. 신호의 공간분포 모델

실제의 전파환경에서 기지국에 수신되는 사용자 신호의 도달 각 분포는 셀 내의 사용자 분포, 건물 분포 및 도로 등에 의해 영향을 받는다[6,7]. 즉 기지국에 수신되는 신호는 주로 도로 등을 통해 전파되어 수신되기 때문에 사용자가 셀 안에 균일하게 분포되어 있다고 하더라도 기지국에 수신되는 신호의 도달 각 분포는 도로 방향에 더 큰 확률 값을 갖는다. 따라서 셀 내의 사용자 분포를 균일 함수로 보지 않고, 어느 일정 방향에 더 많이 집중된 비균일 분포모델이 있다.

이 모델에서는 사용자의 분포를 기지국과 이동국 사이의 거리 r 과 기지국에서의 방향 ϕ 를 사용하여 $f(r, \phi)$ 의 극좌표로 정의한다. 따라서 한 셀에서의 사용자에 대한 사용자 분포 함수는 아래와 같다[2].

$$f(r, \phi) = K \cdot \left(\cos \frac{\phi - \phi_0}{2}\right)^q \cdot r \quad (1)$$

여기서 K 는 셀 당 전체 사용자이며 ϕ_0 는 그 사용자들의 주된 분포 방향을 나타낸다. 그리고 q 는 각 분산의 정도를 조절해주는 값으로 q 가 클수록 사용자는 ϕ_0 부근에 밀집하게 된다. 또한 완벽한 전력제어를 가정하면 r 은 1

로 정규화 시킬 수 있다. 본 모델에서 q 값의 변화에 따른 사용자의 분포함수가 그림1에 보여진다.

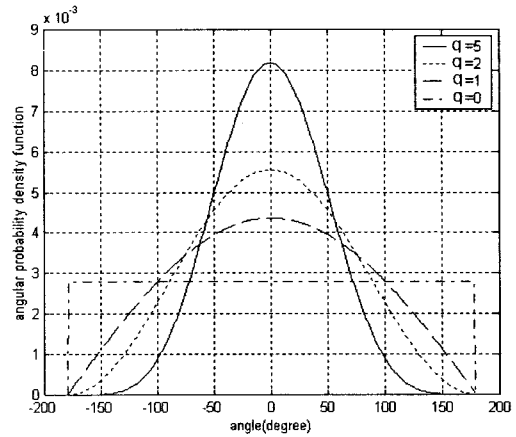


그림 1. q값에 따른 공간분포 확률밀도함수

Fig. 1. The pdf of the mobile distribution by q

실제의 전파 환경에서는 복수개의 도로를 통하여 사용자의 신호가 수신된다. 예를 들어 그림 2에서와 같이 사거리에서 신호가 수신되고 신호가 도로를 통하여 주로 수신된다면 (기지국은 사거리의 중간에 위치 한다고 가정), 신호의 도달 각 분포에 대한 확률 밀도함수는 도로 방향에서 큰 값을 갖을 것이다[8]. 따라서 이를 이용하여 확률밀도 함수를 구하면 복수 개의 피크를 갖는 비 균일 분포 함수가 될 것이다. 즉, 이 경우 그림 1에서의 peak 값은 네 개가 될 것이다[6,8].

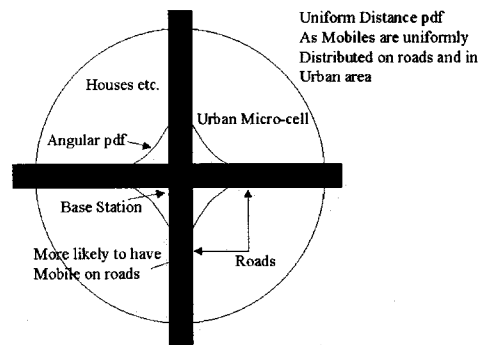


그림 2. 일반적인 도심지의 마이크로 셀 환경에서 사용자 분포의 확률 밀도 함수 모형

Fig. 2. The model of pdf of the mobile distribution in a urban micro cellular system

따라서 본 모델을 적용할때 한 셀에서 수신되는 사용자 분포의 확률 밀도 함수는 다음과 같다[8].

$$p(\phi_0) = \frac{1}{A_{norm}} \left[1 + \sum_{l=1}^{N_{road}} \rho_l \left[\text{rect} \left(\frac{\omega_l \phi_0}{\pi} - \zeta_l \right) + \text{rect} \left(\frac{\omega_l \phi_0}{\pi} - \zeta_l - 2\pi \right) \right] \times \cos^2(\omega_l \phi_0 - \zeta_l) \right]$$

$$0 \leq \phi_0 \leq 2\pi \quad (2)$$

여기서 A_{norm} 은 $\int_0^{2\pi} p(\phi_0) d\phi_0 = 1$ 을 만족시키기 위한 정규화인자(normalize factor)이며, N_{peak} 는 확률밀도 함수에서 집중적으로 수신되는 방향의 수로써 사용자 신호의 수신 분포 확률이 높은 도로 나 고층 건물의 수를 의미한다. 또한, ζ_i 은 신호가 밀집되어 수신되는 방향 (즉, N_{peak} 의 방향)을 나타내고, 밀집되어 수신되는 방향에 대한 확률의 크기는 ρ_i 에 의해서 결정된다. 그리고 ω_i 은 밀집되어 수신되는 i 번째 방향의 확률분포 폭을 조절해주는 변수로써 식 (3)과 같이 $rect$ 함수를 이용하여 조절한다.

$$rect(x) = \begin{cases} 1 & |x| < \frac{1}{2} \\ 0 & |x| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (3)$$

따라서 이 분포함수에서는 어느 한 도로 방향이 정해지면 그 방향 (예, θ 방향)과 또한 그 방향의 반대방향 (예, $\theta + \pi$ 방향)에서 peak가 형성된다. 그림 3은 그림 2의 전파환경에 대한 사용자 분포의 확률 밀도 함수의 예이다.

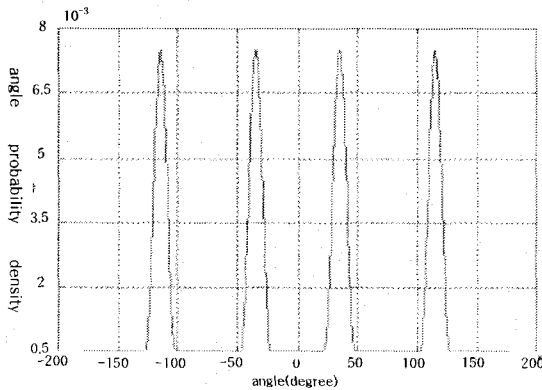


그림 3. 사용자 공간 분포 밀도함수의 예

Fig. 3. Example pdf of the angular distribution of mobiles

하지만 이 모델에서는 식 2에서의 q 값을 항상 2로 정해 줌으로써, 각 ζ_i 방향 부근에서의 사용자 분포 확률을 일정하게 하였다. 이는 각 도로 방향에 대한 사용자 분포 모델을 일정하게 함으로써 실제의 전파 환경과는 차이가 있으며, 비 도로 방향 (예를 들어, 백화점 등) 으로부터 수신되는 사용자 신호의 공간분포 모델에 대해서도 고려가 되지를 않았다.

본 연구에서는 사용자가 밀집되어 있는 방향에 대한 확률 분포 모델을 서로 다르게 정의해 주고, 또한 사거리가 아닌 지역이나 사용자가 밀집되어 있는 건물 등에 대한 공간 분포 모델링도 정의해 주기 위하여 식(4)와 같은 공간 분포 모델링을 정의하여 시뮬레이션을 수행한다.

$$p(\phi_0) = \frac{1}{A_{norm}} \left[1 + \sum_{i=1}^{N_{peak}} \rho_i \left[rect\left(\frac{1}{\omega_i}(\phi_0 - \zeta_i)\right) \times \cos^{q_i}\left(\frac{1}{\omega_i}(\phi_0 - \zeta_i)\right) \right] \right] \quad 0 \leq \phi_0 \leq 2\pi \quad (4)$$

식 (4)에서 q_i 은 해당 방향에 대한 사용자의 밀집 정도를 나타내는 값으로, 본 공간분포 모델링에서는 q_i 값을 서로 다르게 설정함으로써 밀집되어 수신되는 신호 군에 대한 확률밀도함수가 서로 다르게 설정될 수 있게 함으로써 실제 전파환경과 유사한 공간 분포 모델링을 수행하였다. 그림 4에 본 연구에서 사용한 사용자의 공간 분포 모델의 한 가지 예가 보여진다.

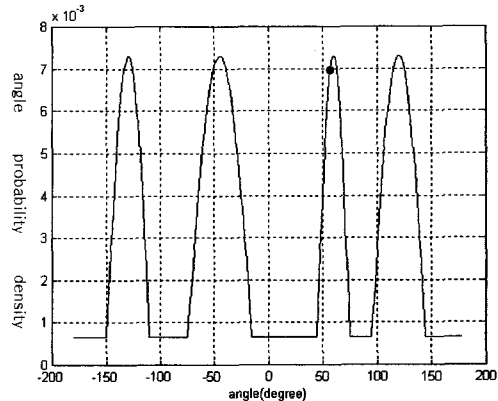


그림 4. 신호의 공간 분포 모델에 대한 확률밀도함수
Fig.4. The pdf of the angular distribution of mobiles using spatial distribution model of received signal

III. 무선채널 모델링

무선채널 환경에서 사용자의 신호는 시간지연, 도달각 및 신호 크기가 서로 다른 다중경로 신호로 수신된다. 우리는 실제 도심의 전파환경에서 측정된 데이터를 이용하여 사용자 수신 신호의 도달 각 분산 및 지연분산에 대한 연구를 수행하였으며 이 결과를 이용하여 무선채널 모델링을 수행하였다.

또한 신뢰성 있는 적응 섹터 셀 시스템의 성능 분석을 위하여 식(4)의 공간분포 모델로 사용자의 신호가 수신될 때, 각 사용자의 신호에 대한 도달각 분산 및 시간지연 분산을 고려하였다. 각 사용자 신호에 대한 도달각 분산 및 시간지연 분산의 한 예가 그림 5(a)에 나타나 있다. 그림에서 x 축은 수신된 신호의 각분포로 각도를 나타내고, y 축은 수신된 신호의 시간지연으로 y축의 1은 본 측정의 샘플링 주기(샘플링 주파수는 19.2Msample /sec)로 52ns를 나타낸다. 따라서 그림에서의 등고선은 해당각도와 시간지연을 갖는 다중경로 군을 의미한다.

그림 5(a)에서의 각-지연 프로파일(angle-delay profile)은 서울 논현동의 일부지역에서 측정된 데이터를 분석하

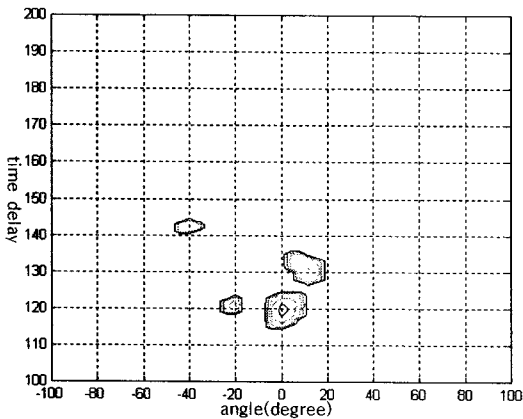


그림 5 (a). 실측한 채널데이터로부터 추정된 각지연 프로파일

Fig. 5(a). The estimated angle delay profile using measured channel data

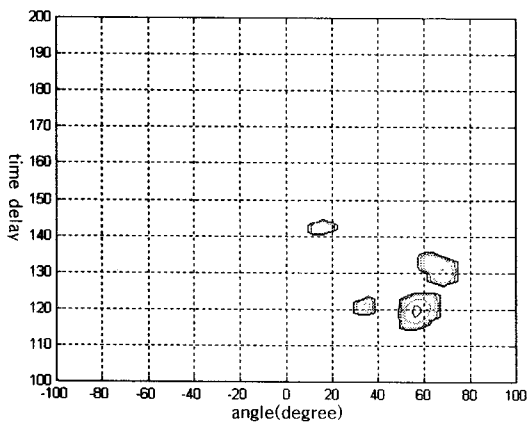


그림 5 (b). 그림 4의 공간분포에 대한 확률밀도 함수에 의해 결정된 경로방향으로 이동된 각지연 프로파일
Fig. 5(b). The angle delay profile moved to the mobile signal direction determined by pdf of Fig. 4

여 추정된 결과이다. 채널데이터 측정은 3.84 Mcps의 데이터를 1.95 GHz의 반송주파수로 QPSK 변조한 후에 도심의 해당 지역의 여러 지점을 옮겨 다니면서 전송하고, 수신단은 일반 이동통신 기지국 안테나가 설치된 건물에 8 x 4 배열 안테나를 설치하여 RF신호를 수신하고, 저주파 변환한 후에 이를 디지털 데이터로 변환하고 변환된 디지털 데이터를 이용하여 해당 신호에 대한 무선채널 환경을 추정한 것이다. 우리는 측정 지역 내의 여러 지점에서 신호를 송신하고 이를 수신하여, 각 지점에 대한 무선채널 환경 각-지연 프로파일을 데이터 파일로 저장하였다. 따라서 본 연구에서의 채널 모델링 방식은 식(4)의 공간분포 확률 밀도함수에 의해 사용자 신호의 주된 수신 방향을 결정하고, 측정된 여러 지점에서의 각-지연 프로파일 중 하나인 그림 5(a)와 같은 무선채널 모델을 선정하고, 그림 5(b)에서 보이는 바와 같이 해당 각-지연

프로파일이 공간분포 확률밀도함수에서 결정된 방향(이 예에서는 그림 4에 돛드로 표시된 사용자 방향)만큼 이동시켜서, 그림 5(b)와 같은 시간지연 분산 및 도달 각 분산을 갖는 신호를 발생시켰고 이 채널분석 결과를 활용하여 적응 섹터 셀 시스템의 성능분석을 수행하였다.

IV. 적응 섹터 셀 시스템

그림 6에 본 연구에서 사용한 적응 섹터 셀 시스템의 구조도가 보여진다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 적응 섹터 셀 시스템에서는 배열 안테나에 입력된 신호를 아날로그 빔 형성기를 사용하여 셀을 미리 여러 개의 빔 방향으로 나누어 놓는다. 또한, 빔 컨트롤러에서는 아날로그 빔 형성기에서 빔 형성이 수행된 각 빔 방향 신호의 트래픽 부하를 추정하고, 각 섹터의 트래픽 부하를 균일하게 하기 위해서는 어느 빔 방향 신호들을 섹터 신호로 결합시킬 것인가를 결정하고 이 정보를 빔 결합기에 제공한다.

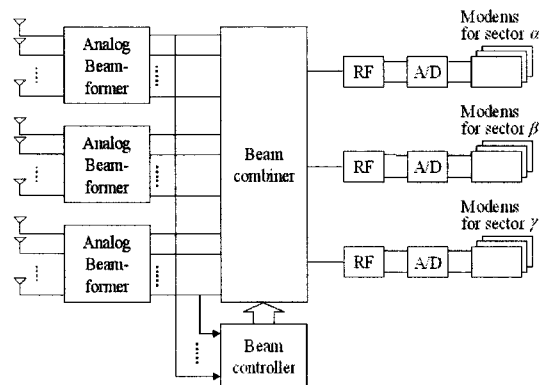


그림 6. 적응 섹터 셀 시스템의 구조도
Fig. 6. Adaptive sector cell system

본 연구에서는 빔 컨트롤러에서 각 빔 방향의 트래픽 부하를 추정하게 하기 위한 방식으로는 각 빔 방향의 역방향 링크의 전력을 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indication) 방식을 사용하였다. 그리고 빔 결합기에서는 빔 컨트롤러로부터의 정보를 이용하여 빔 방향 신호를 섹터 신호로 결합함으로써 각 섹터간의 트래픽 부하가 균일해 지도록 하며, 결합된 각 섹터의 신호는 해당 모뎀 군으로 전송되어 역 확산이 수행된다.

우리는 적응 섹터 셀 시스템의 성능을 신뢰성 있게 검증하기 위하여 제작한 배열 안테나와 아날로그 빔 형성기의 출력 빔 패턴을 이용하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 그림 7에 아날로그 빔 형성기의 출력 빔 패턴으로서 12개의 빔이 나타나 있다. 또한 빔 컨트롤러에서 섹터간의 트래픽 부하를 균일하게 하기 위한 빔 결합 방식이 정해지면, 빔 결합기에서는 이 정보를 이용하여 각 섹터 신호에 대한 빔 신호를 결합한다. 예를 들어 그림 7

에서와 같이 12개의 빔으로 나누어진 셀을 부하량이 균
 잉한 3개의 섹터로 만든다면 왼쪽 빔부터 1, 2, 3번의 빔
 을 α 섹터로, 4, 5, 6, 7, 8번 빔을 β 섹터로, 9, 10, 11,
 12번 빔을 γ 섹터로 결합되어 각 섹터의 빔 패턴은 그림
 8과 같다.

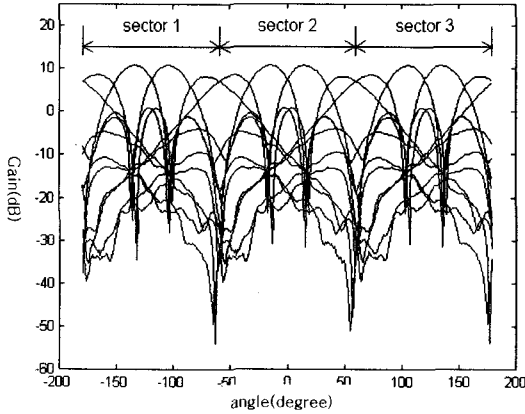


그림 7. 한 셀을 12개의 빔으로 분할시킨 빔 패턴
 Fig. 7. The beam patterns of a cell divided by 12

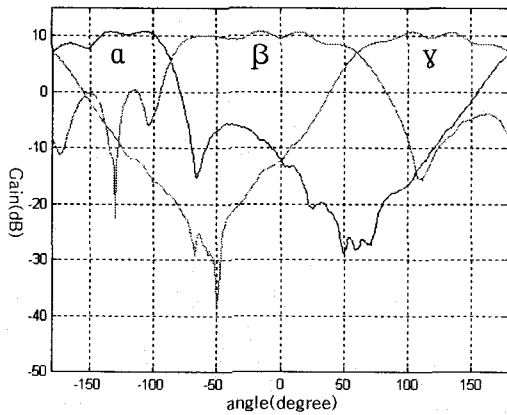


그림 8. 결합된 섹터 빔 패턴의 예
 Fig. 8. Example of coupled sector's beam patterns

V. 성능 분석 결과

적응 섹터 셀 시스템의 성능 비교분석에 사용할 호 차
 단율 (call blocking rate)은 식(5)와 같이 역 방향 링크
 에서 서비스를 원하는 전체 사용자의 수에 대한 통화 서
 비스를 제공받지 못하는 사용자의 비율로 표현된다[9].

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^S (K_i - C_s)}{T} \quad (5)$$

여기서 S 는 섹터의 수이고, K_i 는 i 번째 섹터에서 서
 비스를 원하는 사용자의 수이며, T 는 셀 내의 전체 사
 용자의 수이고, C_s 는 한 섹터에서 통신 서비스가 제공

가능한 사용자의 수로써 완벽한 전력제어를 가정할 때
 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$C_s = \frac{G_p}{(E_b/I)_{req} v} + 1 \quad (6)$$

여기서 G_p 는 처리이득이고, $(E_b/I)_{req}$ 는 통화 성능을
 보장하기 위하여 요구되는 신호 대 간섭 비이며, v 는
 음성 활성화율이다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 셀의 한 방향으로부터 만
 신호가 집중되어 수신되는 경우와, 그림 4에서와 같이 네
 방향으로부터 신호가 집중되어 수신되는 경우에 대한 적
 응 섹터 셀 시스템의 성능을 호 차단율을 사용하여 분
 석하였다.

그림 9는 그림 1에서 보이는 공간분포 모델과 같이 한
 방향으로부터만 신호가 밀집되어 수신되는 경우에 사용
 자 신호의 공간분포 집중도에 따른 성능 비교를 나타낸
 것이다. 그림 1의 공간분포 확률밀도함수에서 q 값은 사
 용자 신호의 공간분포에 대한 밀집도를 나타낸다. 즉, q
 값이 증가할수록 수신되는 신호군의 밀집도는 증가한다.
 그림 9에 그림 1의 공간분포에서 q 값의 변화에 대한 적
 응 섹터 셀 시스템의 성능이 보여진다. 그림 9의 모의실
 험에서는 섹터 당 $(E_b/I)_{req}$ 는 4dB로 하였으며, $q=1,$
 $2, 5$ 인 공간 분포 모델을 사용하였다. 그림 9에서 보이는
 바와 같이 적응 섹터 셀 시스템의 호 차단율이 고정 섹
 터 셀 시스템에 비해 사용자의 공간분포 밀집도에 관계
 없이 크게 낮아서 사용자 수가 40, $q=5$ 기준으로 보면 호
 차단율이 약 10% 정도 낮음을 알 수 있다. 또한 10%의
 호 차단율을 고려할 때 적응 섹터 셀 시스템이 고정 섹
 터 셀 시스템에 비해 약 6-8명에 대한 추가 서비스가 가
 능함을 알 수 있다. 그리고 고정 섹터 셀 시스템은 사용
 자 신호의 공간 분포 밀집도가 높을수록 호 차단율이 증
 가하여 약 7-8% 정도의 편차를 보이는 반면, 적응 섹터
 셀 시스템의 경우는 공간 분포 밀집도에 따라 호 차단율
 의 편차가 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 적응 섹터 셀
 시스템을 사용하는 경우 고정 섹터 셀 시스템에 비해 셀
 에 분포된 사용자의 공간 분포 밀집도에 의한 영향이 적
 으므로 기지국 시스템의 성능이 상대적으로 안정적일 수
 있다.

그림 10에는 그림 4의 공간분포 모델에 대한 호 차단
 율을 나타낸 것이다. 이 결과에서 보는 바와 같이 셀 내
 의 사용자가 비 균일하게 분포하여 신호가 여러 방향으
 로부터 밀집되어 수신된다면, 이미 각 섹터에 대한 통화
 부하량이 분산된 상태이기 때문에 적응 섹터 셀 시스템
 의 사용에 의한 기지국 시스템의 성능 향상은 크지 않다.
 그러나 만약 밀집되어 수신되는 방향의 수보다 배열 안
 테나에 의해 생성할 수 있는 섹터 수가 더 많다면, 적응
 섹터 셀 시스템의 사용에 의한 기지국 시스템의 용량은
 증가할 것이다.

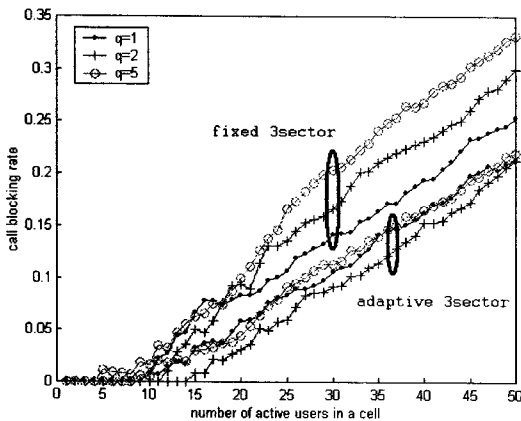


그림 9. 사용자 신호의 공간분포지수 q 에 따른 호차단율
 Fig. 9. Call blocking rates by spatial distribution index q of user signal

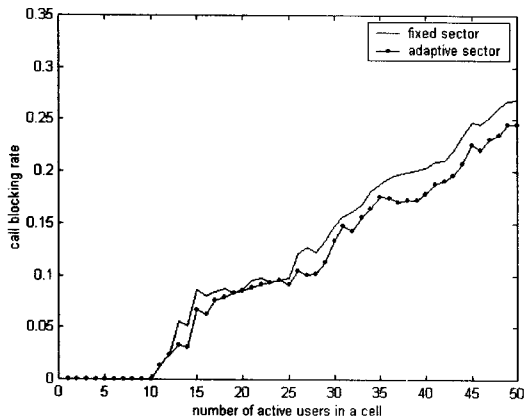


그림 10. 그림 4의 공간분포모델에 대한 호차단율
 Fig. 10. Call blocking rates for spatial distribution model of Fig. 4

VI. 결론

본 연구에서는 도심 환경에서 측정된 채널 데이터를 분석하여 적응 섹터 셀 시스템용 공간분포 모델링을 제안하고, 이를 측정된 데이터와 결합하여 무선채널 모델링을 수행하였다. 또한 제안된 무선채널 모델링과 아날로그 빔형성기를 제작하여 측정된 빔 패턴을 이용하여 적응 섹터 셀 시스템에 대한 성능을 호 차단율 관점에서 분석하였다.

그 결과, 적응 섹터 셀 시스템의 호 차단율이 고정 섹터 셀 시스템의 비례 크게 낮았다. 그리고 고정 섹터 셀 시스템의 경우에 사용자 신호의 공간 분포 밀집도가 높을수록 호 차단율이 크게 증가하는데 비해, 적응 섹터 셀 시스템의 경우 호 차단율의 변화는 크지 않았다. 그리고 사용자의 신호가 여러 방향에서 밀집되어 수신되는 경우

에는 이미 각 섹터에 대한 통화 부하량이 분산된 상태이므로 적응 섹터 셀 시스템의 호 차단율에 대한 성능 향상은 크지 않았다. 그러나 만약 밀집되어 수신되는 방향의 수보다 섹터의 수가 더 많다면, 적응 섹터 셀 시스템의 사용에 의한 기지국 시스템의 용량은 증가할 것이다.

향후의 광대역 CDMA 시스템에서는 비트 오류율이 낮은 고속의 데이터 서비스가 요구된다. 따라서 동일 주파수를 사용하는 다른 사용자의 신호에 의한 다중접속 간섭 잡음을 최소화시키는 공간 필터링 시스템의 사용이 매우 신중하게 검토되어야 한다.

일반적으로 적응 빔 안테나 시스템과 같은 공간 필터링 시스템은 고가이므로 모든 기지국에 적용하기는 어렵다. 그러나 이동통신 시스템에 사용자의 신호가 한개 내지 두개의 방향으로만 밀집되어 수신되는 채널 환경에는 적응 섹터 셀 시스템을, 그 이상의 여러 방향으로 밀집되는 채널 환경에서는 스위칭 빔 안테나 시스템을, 그리고 사용자의 신호가 셀에 균일하게 분포되어 수신되는 채널 환경에서는 적응 빔 안테나 시스템을 사용하는 등, 각 셀의 전파환경과 사용자의 수에 대한 통계적 수치를 고려하여 기지국을 설치한다면 비용을 줄이면서 각 셀의 특성에 가장 적합한 시스템 성능을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, A.J. Vitervi, et al., "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. VT-40, pp. 303-312, May. 1991.
- [2] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, "Analytical Results for Capacity Improvements in CDMA," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. 43, No. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [3] A. F. Naguib, A. Paulraj and T. K. Kailath, "Capacity Improvement with Base-Station Antenna Arrays in Cellular CDMA," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. 43, No. 3, pp. 691-698, Aug. 1994.
- [4] M. Mostafa, A. Kumar, A.S. Elmaghraby, "Pilot pollution interference cancellation in CDMA systems," *Wireless Communications & Mobile Computing*, pp.743-757, 2003
- [5] M. Mahmoudi, E. S. Sousa and H. Alavi, "Adaptive Sector Size Control in a CDMA System Using Butler Matrix", *Proc. of the 49th VTC*, Vol. 2, pp. 1355-1359, Hoston, USA, May. 1999.
- [6] 오제호, 김원택, 이종현, 고희림, "측정 데이터를 이용한 대도시 환경에서의 무선채널 환경 분석," *마이크로파 및 전파 학술대회*, Vol. 23, No. 1, pp. 437-440, May 2000.

- [7] 김원택, 오재호, 이종현, 고태림, "IMT-2000용 스위칭 빔 안테나 시스템의 성능 분석," *마이크로파 및 전파 학술대회*, Vol. 23, No. 1, pp. 474-477, May 2000.
- [8] M.P. Lotter, P.V. Rooyen, "Cellular channel modeling and the performance of DS-CDMA systems with antenna array," *IEEE Jour. on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, No.12, pp.2181-2196, Dec. 1999.
- [9] M. Mahmoudi, E. S. Sousa and H. Alavi, "Adaptive Sector Size Control in a CDMA System Using Butler Matrix," *IEEE VTC'99*, pp.1355-1359, 1999.



고 학 림(Hak-Lim Ko)

1983년 2월 숭실대학 전자공학과(공학사)
 1986년 8월 Fairleigh Dickson Univ.
 Electrical Eng. (공학석사)
 1995년 8월 North Carolina State Univ.
 Electrical & Computer
 Eng.(공학박사)

1996년 3월 ~ 현재 호서대학교 정보통신공학과 부교수
 ※주관심분야 : 배열 신호처리, 스마트 안테나 시스템, 이동통신



박 병 훈(Byeong-Hoon Park)

1986년 2월 연세대학 전기공학과(공학사)
 1988년 2월 연세대학 전기공학과(공학석사)
 1999년 8월 연세대학 전기컴퓨터공학과
 (공학박사)

1988년 3월 ~ 1994년 2월 삼성종합기술원 선임연구원
 2000년 3월 ~ 현재 인덕대학 컴퓨터전자과 부교수
 ※주관심분야 : 스마트 안테나 시스템, 이동통신



이 종 현(Jong-Heon Lee)

1985년 2월 경희대학 전자공학과(공학사)
 1987년 2월 경희대학 전자공학과(공학석사)
 1993년 2월 경희대학 전자공학과(공학박사)

1993년 1월~ 1995년 12월 Univ. of British Columbia
 (Post Doctoral Fellow)

1996년 1월 ~ 현재 SK텔레콤 부장
 ※주관심분야 : 이동통신, 스마트 안테나 시스템