

매크로셀내에 마이크로셀이 중첩된 CDMA 시스템에서 전력제어오차로 인한 마이크로셀의 용량 변화

Capacity Variation of a Microcell due to Power Control Error in an Overlaid Macrocell/Microcell CDMA System

강희곡* · 김영철* · 노재성** · 조성준*

Hee-Gok Kang* · Young-Chul Kim* · Jae-Sung Roh** · Sung-Joon Cho*

요 약

중첩 셀 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 마이크로셀의 서비스 형태(음성, 데이터) 별 전력제어오차(Power Control Error : PCE)의 영향에 의한 BER 성능과 마이크로셀의 용량 변화를 분석하였다. 이때 분석 절차는 다음과 같다. ① PCE에 따른 BER 성능을 구한다. ② 음성 서비스(BER=10⁻³)와 데이터 서비스(BER=10⁻⁵)를 만족하는 최소 SNR을 구한다. ③ 구한 SNR에 따라 마이크로셀과 매크로셀이 가질 수 있는 최대 용량을 계산한다. ④ 최대 용량으로부터 간섭에 의한 영향을 고려하여 마이크로셀에서의 용량을 구하고, 마지막으로 전력제어가 완벽한 경우의 용량과 비교·분석하였다.

그 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다. PCE가 1 dB이면 완벽하게 전력제어 된 경우와 비슷한 성능을 나타내었지만, PCE가 커짐에 따라 BER 성능은 크게 열화되었다. 용량면에서, PCE가 2 dB 이하이면 마이크로셀에서 데이터 서비스를 제공할 때보다 음성 서비스를 제공할 때 PCE의 영향이 컸지만, PCE가 3 dB 이상이면 음성 서비스보다 데이터 서비스를 제공할 때 PCE의 영향을 크게 받았다. 또한, PCE가 2 dB 이하이면 PCE의 영향뿐만 아니라 간섭의 영향도 크게 받았지만, PCE가 3 dB 이상이면 PCE의 영향이 대단히 크므로 간섭에 의한 영향이 거의 무시됨을 알 수 있었다. 따라서, 간섭의 영향으로부터 마이크로셀 용량을 적절히 확보하기 위해서 마이크로셀은 셀 반경비(R_d)가 0.1이고, 기지국간 거리 대 매크로셀 반경비(d)가 0.5 이상에서 위치해야 함을 알았다. 이러한 셀의 배치로부터 전력제어오차(σ)를 2 dB 이내로 조절하면 마이크로셀 최대 용량의 70 % 이상을 확보할 수 있었다.

Abstract

The BER performance and the capacity variation of a microcell due to power control error(PCE) is analyzed on service types(data and voice, respectively) for the reverse link of an overlaid cell CDMA system. The procedure of analysis is followed as: First, we calculate BER performance according to PCE. Next, we find the minimum SNR for voice service, BER=10⁻³, and data service, BER=10⁻⁵. Then, according to the calculated SNR, we find the maximum capacity of a microcell and macrocell and the capacity of a microcell where interference is considered is found and analyzed with that in perfect power control.

We get to the results as follows. The BER performance in 1 dB PCE is similar to that in perfect power control, however, with a increase in PCE, the BER performance is largely degraded. In terms

* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.)

** 강원도립대학교 정보통신공학과(Dept. of Inform. & Comm. Eng., Kangwon Province Univ.)

· 논문 번호 : 991208-02S

· 수정완료일자 : 2000년 1월 14일

of capacity, it is shown that if the PCE is equal or less than 2 dB, the effect of the PCE on voice service is more than that on data service, but if the PCE is equal or more than 3 dB, effect of the PCE on data service is more than that on voice. Besides, if the PCE is equal or less than 2 dB, both PCE and interference should be considered to calculate the capacity of a microcell, but if the PCE is equal or more than 3 dB, interference can be negligible since the effect of PCE is much stronger than that of interference. Therefore, the microcell should be located where R_d , the ratio of a microcell to a macrocell radius, is equal to 0.1, and d , the ratio of the distance between a microcell and a macrocell to the macrocell radius, is equal or more than 0.5, in order to obtain a appropriate microcell capacity against interference. If σ is adjusted to less than 2 dB, we may get equal or more than 70 % of the maximum microcell capacity.

I. 서 론

최근 통신 기술의 급속한 발전과 사회의 다변화로 무선이동통신의 수요가 급격히 증가되고 있다. 그러나, 기존의 셀룰라 시스템은 넓은 지역을 담당할 수 있는 매크로셀 방식을 사용하기 때문에 폭발적으로 증가하는 사용자와 음성 위주의 서비스에서 벗어나 고속의 데이터나 멀티미디어 서비스에 대한 이동통신서비스 사용자들의 요구를 충분히 충족시키는 데에는 한계가 있다. 그리고, '98년 정보통신부에서는 별종통신사업자를 허가하여 대규모 빌딩, 백화점, 터미널 등과 같은 인구 밀집지역에 구내 통신서비스를 제공할 수 있도록 통신사업구조를 변경하였다. 따라서, 향후 주파수 부족과 다수의 통신 사업자의 출현이 예상된다. 이때 한정된 주파수 자원을 다수의 통신사업자에게 할당하여 동일한 주파수 대역을 공유하면 주파수 부족 문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다. 특히, 인구밀집지역에 만족할만한 통신 품질을 보장하기 위해 기간통신사업자가 제공하는 매크로셀내에 별종통신사업자의 구내통신서비스를 위한 마이크로셀 또는 이보다 작은 피코셀 형태가 채용될 것으로 예상되고 있다. 이러한 경우 두 시스템 간의 셀 영역 및 주파수의 중첩이 발생하게 되어 각 시스템의 용량이 감소될 것으로 예측된다.

W-CDMA 셀룰라망은 광대역의 채널을 모든 셀이 공유하므로 자기 셀 및 인접 셀의 이동국과 기지국에 의한 간섭이 시스템의 수용용량을 결정하는 가장 큰 요인이 된다. 이러한 간섭을 줄여 필요한 수용용량을 확보하고, 시스템을 원활하게 동작시키기 위한 가장 기본적인 기능이 전력제어이다. 그러나, 실

제적인 이동무선환경에서 전력제어는 모든 수신 신호 전력을 완전히 일정한 수준으로 유지할 수 없다. 왜냐하면, 이동단말기의 속도변화, 쉐도잉, 빠른 채널 페이딩에서 채널 변동을 빠르게 추적하는 것은 대단히 어렵기 때문이다. 따라서, 불완전한 전력제어는 전력제어오차(PCE: Power Control Error)를 발생시키고, 이러한 랜덤하게 변화하는 PCE에 의해 성능은 열화된다^{[1],[2]}. 전력제어에 관한 기존의 논문들 중 다수는 참고문헌 [3]과 같이 주로 음성서비스 위주의 일반적인 셀룰라 시스템(한가지 형태의 마이크로셀 또는 매크로셀로 이루어진 셀룰라 시스템)에서 전력제어에 의한 영향을 평가하였다. 중첩셀의 경우에는 참고문헌 [4]에서와 같이 음성 서비스 위주에서 전력제어가 완벽하게 이루어진다고 가정하여 성능을 평가하였다.

그러나, 최근에는 음성뿐만 아니라 데이터 서비스에 대한 이용도 크게 증가하고 있으므로 본 논문에서는 음성뿐만 아니라 데이터 서비스를 제공하는 경우도 고려(중첩된 CDMA 시스템에서 해석의 편의상 매크로셀은 전적으로 음성서비스만을 제공하고, 마이크로셀은 음성 또는 데이터 서비스를 제공한다고 가정한다)할 때 PCE의 영향(일반적으로 PCE의 영향은 log-normal 분포의 표준편차로 평가)에 따라 시스템의 BER 성능과 마이크로셀의 용량 변화를 분석한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 DS-CDMA/BPSK 시스템에서 역방향 링크(이동국→기지국) 전송을 가정한다.

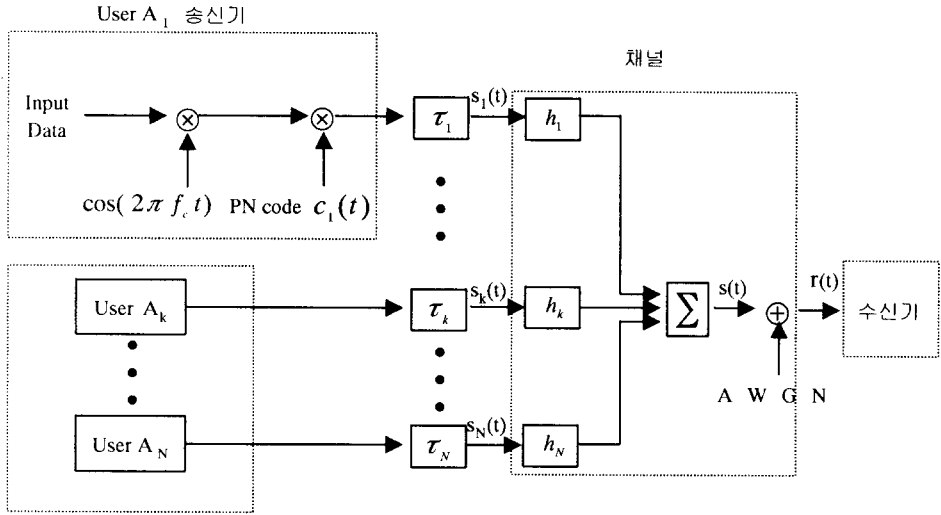


그림 1. DS-SS/BPSK 시스템
Fig. 1. DS-SS/BPSK System.

그림 1에서 다중접속 사용자 수는 N 명($A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_N$) 이고, PN(Pseudo Noise) 코드 길이는 M . 정보 비트 지속시간(time duration)은 T_b 라고 가정한다. 각각의 사용자는 동일한 전력과 서로 다른 PN 코드가 할당된다. 비동기 시스템에서 시간 지연(time delay) τ_k ($k=1, 2, \dots, N$)는 0과 T_b 사이의 임의의 값이다^[5]. 시스템 모델에서 1차 변조된 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 신호는 사용자 고유의 PN 코드에 의해 2차 변조 즉, 확산되어 무선 채널 상으로 전송된다. 수신기의 입력 신호는 PN 코드에 의해 역확산되고 BPSK 복조기에서 복조 과정을 거쳐 정보 비트를 복원한다. 특정 사용자의 신호를 복조할 때 나머지 사용자의 신호는 단지 간섭으로 작용한다.

이때, k 번째 사용자의 DS-SS/BPSK 신호 $s_k(t)$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_k) \quad (1)$$

여기서, P_k 는 k 번째 사용자의 신호 전력을 나타내며, $d_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 1 심볼 구간 동안 보내지는 데이터 비트로 +1 또는 -1의 값을 취한다.

$c_k(t)$ 는 k 번째 사용자에게 주어지는 고유한 PN 코드로서 크기가 +1 또는 -1인 값을 취하는 길이가 M 인 구형 펄스의 시퀀스(sequence)이다. 그리고, f_c 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며, τ_k 와 ϕ_k 는 각각 기준 사용자 신호에 대한 k 번째 사용자 신호의 시간차와 위상 천이를 나타낸다. 기준 사용자가 A_1 일 때, A_1 의 시간차 τ_1 과 위상 천이 ϕ_1 는 완벽한 동기 수신을 가정하여 0으로 놓는다. T_b 는 M 개의 칩을 가지는 심볼의 주기로서 $T_b = M \cdot T_c$ 로 표현된다.

2-1 무선 채널 환경

송신단에서 보내어진 신호는 채널을 통해서 수신단에 도달하게 된다. 이동통신환경의 채널에서는 주위 건물의 표면에 의해서 산란되거나 회절이 발생하여 송수신기 사이에 수많은 경로가 존재하는 다중경로 전파 (Multipath Propagation) 현상이 일어난다. 다중경로 채널 및 신호 모형은 일반적으로 다중경로를 통하여 전파된 수신신호의 페이딩 효과에 대한 특성에 따라 세가지 형태로 분류된다. 첫째, 다중경로파로 인한 수신 신호들의 페이딩 성분이 고정 불변적인 반사 성분만을 가지는 경우이고, 둘째는 순수한 무작위적 산란 성분만을 포함하는 레일리 페이

딩의 경우, 셋째 반사적 성분과 무작위적 산란성분을 포함하는 라이시안 페이딩의 경우로 나눌 수 있다^[6]. 이들 중에서 특히, 라이시안 다중경로 페이딩은 참고문헌 [7]에서의 전파 측정 결과 마이크로셀물라 환경에 적합하다고 알려졌다. 이때 라이시안 페이딩의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$p(R) = \frac{R}{\sigma_R^2} e^{-(R^2+A^2)/2\sigma_R^2} \cdot I_0\left(\frac{AR}{\sigma_R^2}\right) \quad (2)$$

여기서, R 은 수신 신호의 순시 포락선, $\overline{R^2} = A^2 + 2\sigma_R^2$, A 는 직접파 성분의 최대 진폭, $I_0(\cdot)$ 는 변형된 베셀 함수를 의미한다.

식 (2)를 $\gamma (= R^2/2N : \text{순시 신호 대 잡음 전력비})$ 에 대한 확률밀도함수로 나타내면 다음과 같다.

$$p(\gamma) = \frac{(K_r+1)}{\Gamma} \exp\left[-K_r - \frac{\gamma(K_r+1)}{\Gamma}\right] \cdot I_0\left[2\sqrt{\frac{\gamma K_r(K_r+1)}{\Gamma}}\right] \quad (3)$$

여기서, N 은 잡음 전력, K_r 는 직접파 성분 대 반사파 성분 전력비, $\Gamma (= \overline{R^2}/2N)$ 는 평균 신호 대 잡음 전력비를 나타낸다. 특히, $K_r=0$ 이면 직접파 성분이 없는 경우로서 레일리 페이딩에 해당된다. 일반적인 마이크로셀물라 환경에서 K_r 의 값은 6~12 dB의 범위 값을 갖는다.

2-2 MRC 다이버시티 수신 기법

페이딩을 경감시키기는 방법으로 송신 전력을 높이거나, 서로 독립적인 2개 이상의 페이딩 수신파를 이용하는 다이버시티 수신 기법이 사용될 수 있다. 그러나, 전자의 경우는 심각한 간섭 문제를 야기시키므로, 페이딩을 경감시키기 위해서 다이버시티 기법이 주로 사용된다.

라이시안 페이딩을 받은 신호가 MRC 다이버시티로 수신시 신호 대 잡음 전력비에 관한 확률밀도함수는 다음과 같이 알려져 있다^[8].

$$p_{MRC}(\gamma | \Gamma) = \frac{K_r+1}{\Gamma} \cdot \exp\left[-K_r L - \frac{(K_r+1)\gamma}{\Gamma}\right]$$

$$\cdot \left(\frac{(K_r+1)\gamma}{K_r L \Gamma}\right)^{\frac{L-1}{2}} \cdot I_{L-1}\left(2\sqrt{\frac{LK_r(K_r+1)\gamma}{\Gamma}}\right) \quad (4)$$

여기서, γ : 순시 신호 대 잡음 전력비, Γ : 평균 신호 대 잡음 전력비, L : 다이버시티 가지(branch) 수, $I_N(\cdot)$: N 차 1종 변형 베셀 함수이다.

채널에서 라이시안 페이딩을 받은 신호를 MRC 다이버시티로 수신할 때의 BER 성능을 계산하기에 앞서, 우선 AWGN 환경에서의 BPSK의 오율식을 살펴보면 다음과 같다.

$$P_{bpsk}(\gamma) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (5)$$

여기에서, $Q(x)$ 는 다음과 같이 주어지는 함수이다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (6)$$

라이시안 페이딩을 받은 송신 신호를 MRC 다이버시티로 수신할 때의 평균 오율식은 식 (4)의 확률밀도함수를 AWGN에서의 BPSK 오율식 (5)에 적용하여 다음 식과 같이 평균을 취함으로써 얻어진다.

$$P_e = \int_0^\infty P_{bpsk}(\gamma) \cdot p_{MRC}(\gamma/\Gamma) d\gamma \quad (7)$$

식 (7)은 전력제어가 완벽하게 이루어진 경우의 평균 오율식을 나타낸다.

2-3 불완전 전력 제어에 의한 성능

셀물라 CDMA 시스템에서 전력제어는 원근 문제를 최소화하기 위해서 중요한 역할을 한다. 정교한 전력제어를 이루기 위해서는 장구간 페이딩(large scale fading)뿐만 아니라 단구간 페이딩(small scale fading)도 고려해야 한다. 수신신호의 국부 평균 전력(local average power)으로 나타나는 장구간 페이딩은 거리 손실과 웨도윙에 기인하며 상대적으로 느리게 변화한다. 이것은 일반적으로 순방향에서 수신된 평균 전력을 이동국에서 추정하여, 이동국의 송

신전력을 제어함으로써 수행되며, 이와 같은 방식을 개루프 전력제어라고 한다. 다중경로 전파로 인한 단구간 페이딩은 급격히 변화하는 페이딩으로써 역방향과 순방향 채널 사이에는 채널의 동기 대역폭보다 훨씬 넓은 주파수 이격이 있어서 서로간에 상관이 없게 된다. 이동국이 느리게 움직이는(도보 이용자) 다중경로 페이딩에서는 페루프 전력제어에 의해서 채널이 추정되어 전력을 제어할 수 있다. 그러나, 실제적인 이동무선채널 환경에서는 빠르게 변화하는 다중경로 페이딩, 쉐도잉, 사용자의 공간적 분포 변화, 빠르게 이동하는 이동국(차량 이용자) 등으로 완벽한 전력제어를 이루기가 상당히 어렵다.

식 (1)의 송신신호가 다중경로 무선채널을 지나서 수신기에 수신될 때, 전력제어 알고리즘에서 채널의 빠른 변화를 적절히 추정하지 못하여 전력제어 오차(PCE)가 발생한다. PCE는 수신신호의 평균전력 $P_r (= \overline{R^2}/2)$ 이 log-normal 분포를 따르고, PCE의 크기는 표준 편차(σ)로 나타내며, σ 값은 1~4 dB의 범위에서 변화하는 것으로 알려져 있다. 이때, 수신신호의 평균 전력(P_r)에 관한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.^{[1],[9],[10]}

$$p_{PCE}(P_r) = \frac{10 \log(e)}{\sqrt{2\pi} \sigma P_r} \exp \left[-\frac{\left(10 \log \frac{P_r}{P_0}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (8)$$

여기서, P_0 는 전력제어시 기준 수신 전력 레벨을 나타낸다.

식 (8)을 평균 수신 신호 대 잡음 전력비로 변수 변환하면 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$p_{PCE}(\Gamma) = \frac{10 \log(e)}{\sqrt{2\pi} \sigma \Gamma} \exp \left[-\frac{\left(10 \log \frac{\Gamma}{\Lambda}\right)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (9)$$

여기서, $\Gamma (= P_r/N)$ 는 평균 수신 신호 대 잡음 전력비이며, $\Lambda (= P_0/N)$ 는 전력제어시 기준 신호 대 잡음 전력비이다. 따라서, PCE를 고려한 DS/CDMA BPSK의 평균 오류율 전력제어가 완벽한 경우의 평균 오류율식 (7)과 전력제어오차를 나타내는 식 (9) 간에 평균을 취함으로써 얻어진다.

$$P_e = \int_0^\infty \int_0^\infty P_{bbsk}(\gamma) \cdot p_{MRC}(\gamma | \Gamma) \cdot p_{PCE}(\Gamma) d\gamma d\Gamma \quad (10)$$

여기서, σ 가 0 dB이면 완벽하게 전력제어된 경우로 식 (7)로 되돌아간다.

III. 중첩 셀 모델

그림 2는 셀 반경이 R_{ma} 인 매크로셀 내에 셀 반경이 R_{mi} 인 마이크로셀이 중첩된 CDMA 시스템의 구조를 나타낸다. 본 논문에서 고려하는 중첩셀 CDMA 시스템에 있어서 가정은 다음과 같다. ① 매크로셀은 반경이 R_{ma} 인 원형, ② 매크로셀 내부 영역에 반경이 R_{mi} 이고 원형인 하나의 마이크로셀이 중첩, ③ 마이크로셀은 매크로셀의 기지국으로부터 거리가 D 만큼 떨어진 곳에 위치, ④ 매크로셀과 마이크로셀의 사용자들은 각각의 셀 내부에서 일양하게 분포, ⑤ 자기 셀에 속해 있는 이동단말기로부터의 전파 손실(Propagation Loss)은 R^2 이고 타 셀로부터의 전파 손실은 R^4 에 비례한다.^{[4],[11],[12]}

이러한 가정하에서의 마이크로셀 용량은 참고문헌 [13]의 식 (3.15)와 매크로셀 최대 용량 $N_{oma} = \frac{G_{ma}}{\alpha \Gamma_{ma}^B}$ 를 이용하면 다음과 같이 간단히 정리된다.

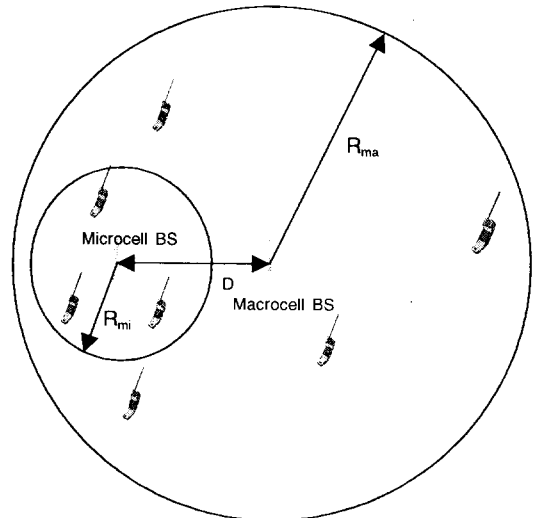


그림 2. 중첩된 매크로셀/마이크로셀 CDMA 시스템
Fig. 2. An Overlaid Macrocell/Microcell CDMA System.

$$\begin{aligned}
 N_{mi} &= \frac{N_{omi}}{1 + \frac{\alpha \Gamma_{ma}^B N_{ma} R_d^2}{2 d^4 (G_{ma} - \alpha \Gamma_{ma}^B N_{ma})}} \\
 &= \frac{N_{omi}}{1 + \frac{N_{ma} R_d^2}{2 d^4 (N_{oma} - N_{ma})}} \\
 &= \frac{N_{omi}}{1 + \frac{R_d^2}{2 d^4 (1/N_{ma_{oma}} - 1)}} \quad (11)
 \end{aligned}$$

여기서, $d = D/R_{ma}$ 는 마이크로셀과 매크로셀 기지국 사이의 정규화된 거리, $R_d = R_{mi}/R_{ma}$ 는 셀 반경비, N_{omi} 은 간섭이 없는 경우의 마이크로셀의 최대 용량, N_{ma} 는 매크로셀의 용량, Γ_{ma}^B 는 매크로셀 기지국에서 수신되는 신호 대 잡음 전력비, G_{ma} 는 매크로셀의 처리이득, α 는 음성활성화율을 나타낸다. 그리고, 중첩셀에서의 서비스 형태는 표 1과 같이 가정한다.

매크로셀내에 마이크로셀이 중첩되어 사용되면 마이크로셀로부터의 간섭으로 인해 매크로셀의 용량은 단일 셀만으로 구성된 매크로셀의 최대 용량보다 감소된다. 그리고, 마이크로셀에서는 매크로셀 용량 중 매크로셀의 서비스를 위한 용량을 제외한 나머지 용량만큼만 할당된다. 그러므로, 마이크로셀에서 데이터 서비스를 제공할 경우에는 음성 서비스용의 매크로셀 용량의 일부를 줄여 마이크로셀에서 데이터 서비스를 위한 용량으로 확보해 주어야 한다.

단일셀(매크로셀 또는 마이크로셀)에서 채널 대역폭, 음성 서비스 전송률, 음성 서비스를 제공하는 데 요구되는 $(E_b/N_0)_{V_{ms}}$, 음성 활성화율을 고려하면 음성 서비스를 제공하는 경우의 용량은 다음과 같다.

$$N_V = \frac{W}{R_V} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{V_{ms}}} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (12)$$

표 1. 중첩 셀에서의 서비스 형태

Table 1. Service types of the overlaid cell.

매크로셀	마이크로셀
음성 서비스	음성 서비스
	데이터 서비스

데이터 서비스를 제공하는 경우에도 채널 대역폭, 데이터 서비스 전송률, 데이터 서비스를 제공하는 데 요구되는 $(E_b/N_0)_{D_{ms}}$ 등을 사용하여 용량을 나타낼 수 있다. 여기에서는 음성 서비스와 달리 음성 활성화율은 고려할 필요가 없다.

$$N_D = \frac{W}{R_D} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{D_{ms}}} \quad (13)$$

따라서, 식 (12)와 식 (13)으로부터 음성 서비스를 제공할 때와 데이터 서비스를 제공할 때의 용량 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$N_D = N_V \cdot \frac{R_V}{R_D} \cdot \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{V_{ms}}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{D_{ms}}} \cdot \alpha \quad (14)$$

여기서, 각 각의 파라미터의 값은 다음과 같다 : 채널 대역폭 W (5 MHz), 음성 서비스 (9.6 kbps)와 데이터 서비스 (14.4 kbps)을 제공하기 위한 서비스의 전송률 R , 음성 서비스 (BER = 10^{-3})와 데이터 서비스 (BER = 10^{-5})의 품질을 만족하기 위해 요구되는 신호 대 잡음 전력비 $(E_b/N_0)_{Req}$ (표 2 참조), 음성 활성화율 α (0.35)이다.

IV. 수치해석 및 검토

본 논문에서는 중첩 셀 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 PCE에 의한 영향을 전력제어가 완벽히 이루어졌을 때와 비교·분석한다. 이때 분석 절차는 다음과 같다. ① PCE에 따른 BER 성능을 구한다. ② 음성 서비스 (BER = 10^{-3})와 데이터 서비스 (BER = 10^{-3})를 만족하는 최소 SNR을 구한다. ③ 구한 SNR에 따라 마이크로셀과 매크로셀이 가질 수 있는 최대 용량을 계산한다. ④ 최대 용량으로부터 간섭에 의한 영향을 고려하여 마이크로셀에서의 용량을 구하고, 전력제어가 완벽한 경우의 용량과 비교·분석한다.

그림 3은 $K_r = 6$ dB인 라이시안 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티를 사용하여 수신할 때 PCE의 표준 편차에 따른 BER 성능을 나타낸다. PCE가 1 dB

이면 완벽하게 전력제어된 경우와 거의 같은 성능을 나타내지만, PCE가 증가할수록 열화가 커짐을 알 수 있다. 특히, PCE 4 dB이면 완벽하게 전력제어되었을 때와 동일한 BER 성능을 얻기 위해서 대략 4~5 dB의 E_b/N_0 가 더 필요하다.

표 2에서 완벽하게 전력제어 된 경우와 전력제어 오차가 4 dB인 경우, BER= 10^{-3} 과 BER= 10^{-5} 을 달성하는데 요구되는 E_b/N_0 의 차를 살펴보면, 각각 4.4 dB와 5.3 dB이다. 이로부터 음성 서비스를 제공

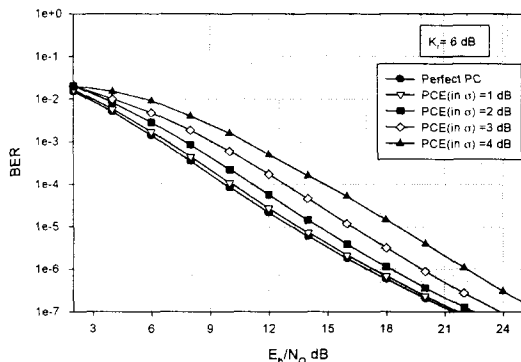


그림 3. 라이시안 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티를 사용할 때 전력제어오차 (PCE)의 크기에 따른 마이크로셀의 BER 성능

Fig. 3. BER performance of a microcell according to the power control error(PCE) when MRC diversity is adopted in Rician fading channel.

표 2. PCE의 영향하에서 음성 서비스(BER= 10^{-3} 을 기준)와 데이터 서비스(BER= 10^{-5} 을 기준)를 제공하는데 필요한 E_b/N_0 dB

Table 2. Required E_b/N_0 dB for voice(BER= 10^{-3}) and data(BER= 10^{-5}) service on influence of PCE.

PCE의 표준편차 σ dB	$K_r = 6$ dB	
	BER= 10^{-3}	BER= 10^{-5}
None	6.4	13.2
1	6.8	13.4
2	7.7	14.5
3	9.1	16.2
4	10.8	18.5

할 때보다 데이터 서비스를 제공할 때가 전력제어오차로 인해서 성능이 약 1 dB 더 나빠짐을 알 수 있다.

그림 4~그림 7은 표 2로부터 얻어진 E_b/N_0 와 마이크로셀 용량식인 식 (11)과 음성과 데이터 서비스에 따른 용량 변화식 (14)를 사용하여 얻어진 결과를 다양한 파라미터로 나타내었다. 여기서, 마이크로셀이 음성 서비스를 제공하는 경우에는 음성 서비스를 제공하는 매크로셀의 용량을 80% 보장하고, 마이크로셀이 데이터 서비스를 제공하는 경우에는 음성 서비스를 제공하는 매크로셀의 용량을 70%

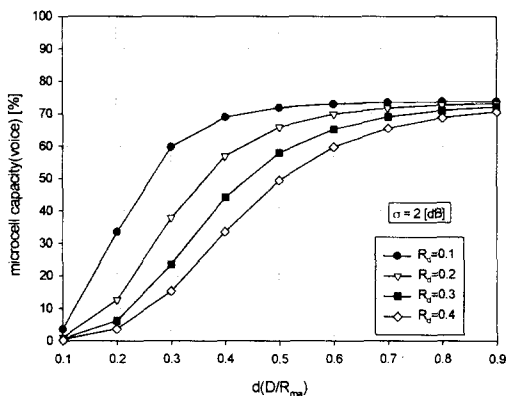


그림 4. 전력제어오차(PCE) 발생시 음성 서비스를 제공하는 마이크로셀의 용량 변화

Fig. 4. Capacity variation of a microcell to provide voice service when PCE occur.

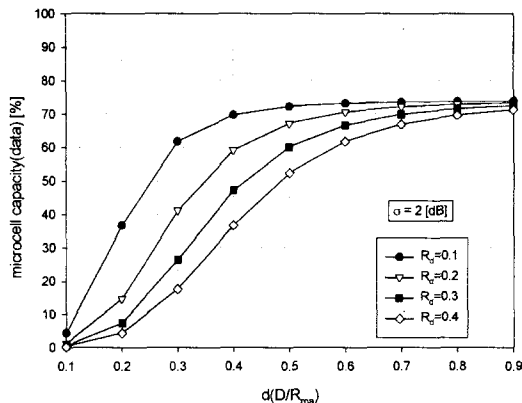


그림 5. 전력제어오차(PCE) 발생시 데이터 서비스를 제공하는 마이크로셀의 용량 변화

Fig. 5. Capacity variation of a microcell providing data service when PCE occur.

보장한다는 가정하에서 PCE의 영향에 따른 마이크로셀의 용량 변화를 나타내었다.

그림 4는 마이크로셀이 음성서비스를 제공하는 경우이고, 그림 5는 마이크로셀이 데이터 서비스를 제공하는 경우이다. 둘 다 전력제어오차가 2 dB일 때 기지국간 거리대 매크로셀 반경비(d)와 셀 반경비(R_d)의 변화에 따른 마이크로셀 용량을 보여준다. 결과를 설명하기에 앞서 d 와 R_d 에 대한 파라미터의 의미를 설명한다. 셀 반경비(R_d)는 마이크로셀이 크기가 매크로셀과 비교해서 얼마만한 크기를

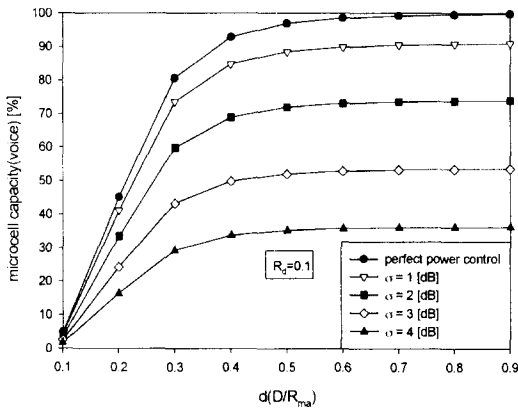


그림 6. 전력제어오차(PCE)에 의한 음성 서비스를 제공하는 마이크로셀의 용량 변화

Fig. 6. Capacity variation of microcell providing voice service by the various PCE.

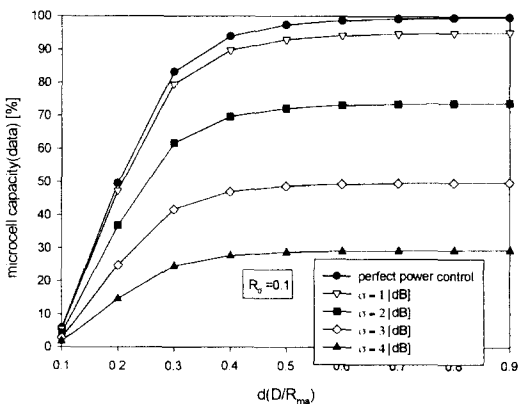


그림 7. 전력제어오차(PCE)에 의한 데이터 서비스를 제공하는 마이크로셀의 용량 변화

Fig. 7. Capacity variation of microcell providing data service by the various PCE.

가지는가를 나타내는 파라미터이다. 수치해석상 사용된 값을 예로 들면, $R_d=0.1$ 이면 매크로셀에 비해서 마이크로셀이 1/10의 크기를 가지는 셀이고, $R_d=0.4$ 이면 매크로셀 크기의 거의 반이 되는 마이크로셀을 의미한다. d 는 매크로셀 기지국으로부터 마이크로셀이 얼마나 멀리 떨어졌는지를 나타내는 파라미터로써, $d=0.1$ 이면 매크로셀 기지국에 근접해 있는 경우이고, $d=0.9$ 이면 매크로셀 경계에 위치함을 의미한다. 결과로써, 그림 4와 5 모두 전력제어오차가 2 dB이면 마이크로셀 최대용량의 최소 약 70%로 줄어든다. 셀 반경비 $R_d=0.1$ 이면, $d=0.5$ 에서 마이크로셀 용량이 더 이상 증가하지 않고 포화되지만, R_d 가 커지면 d 도 더 큰 값에서 마이크로셀 용량이 포화되기 시작함을 알 수 있다. 이것은 마이크로셀 크기가 작을수록, 매크로셀로부터 마이크로셀이 멀리 떨어질수록 매크로셀로부터 유입되는 간섭의 양이 작아지기 때문으로 생각된다.

그림 6, 그림 7은 전력제어오차에 따른 마이크로셀의 용량변화를 나타낸다. 그림 6, 7에서도 $d=0.5$ 이상이 되면 마이크로셀 용량이 거의 일정해짐을 알 수 있다. $d=0.5$ 이상에서 완벽하게 전력제어된 경우에는 마이크로셀이 가질 수 있는 최대 용량에 거의 도달하지만, 전력제어오차 ($\sigma=1, 2, 3, 4$ dB)가 발생함에 따라 각각 (88%, 93%), (72%, 72%), (52%, 49%), (31%, 29%)로 마이크로셀 용량이 크게 줄어들음을 볼 수 있다. 여기에서 (\cdot, \cdot)는 마이크로셀이 각각 (음성, 데이터) 서비스를 제공할 때의 용량을 의미한다.

마지막으로, 표 3으로부터 간섭의 영향과 PCE의 영향을 함께 살펴볼 수 있다. $\sigma=2$ dB 이하에서는 데이터보다 음성이 전력제어의 영향을 많이 받지만, $\sigma=3$ 이상이면 그 반대가 된다. 그리고, 여기에서 주목할 만한 사항은 PCE가 2 dB 이하에서는 PCE의 영향뿐만 아니라 간섭의 영향에 의해서 용량이 크게 감소하지만, 3 dB 이상에서는 PCE의 영향에 의한 용량 감소가 대단히 커서 간섭에 의한 영향은 거의 무시됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 중첩된 매크로셀/마이크로셀 CD-

표 3. PCE로 인한 마이크로셀의 용량 변화

Table 3. Capacity variation of microcell due to PCE.

환경	PCE의 표준편차 σ dB	간섭이 없을 경우의 마이크로셀 용량 (%)		간섭을 받는 경우의 마이크로셀 용량 (%)	
		음성	데이터	음성	데이터
$R_d=0.1$ $d=0.5$	None	100	100	96.98	97.47
	1	91.20	95.50	88.45	93.08
	2	74.13	74.13	71.89	72.26
	3	53.70	50.12	52.08	48.85
	4	36.30	29.50	31.21	28.77

MA 시스템의 역방향 링크에서 마이크로셀의 서비스 형태(음성, 데이터 서비스)별 전력제어오차(PCE)의 영향을 분석·평가하였다.

분석을 위해 사용된 파라미터로서는 RF 채널 대역폭(5 MHz), 서비스 전송율(9.6 kbps 또는 14.4 kbps), 일정 오율을 달성하기 위해 필요한 E_b/N_0 (표 2 참조), 음성활성화율($\alpha = 0.35$), 마이크로셀과 매크로셀 기지국간의 거리비($d=D/R_{ma}$), 마이크로셀과 매크로셀의 반경비($R_d=R_{mi}/R_{ma}$) 등을 선정하였다. 수치계산에 있어서는 마이크로셀이 음성 서비스를 제공할 때는 매크로셀의 용량을 80% 보장하고, 마이크로셀이 데이터 서비스를 제공할 때는 매크로셀의 용량을 70% 보장하는 조건에서 PCE의 크기를 나타내는 표준 편차(σ)의 변화에 따른 마이크로셀의 용량을 구하여 분석하였다.

분석결과, PCE가 1dB이면 완벽하게 전력제어된 경우와 비슷한 성능을 나타내지만, PCE가 커질수록 BER 성능이 크게 열화되었다. 특히, PCE 4dB이면 완벽하게 전력제어 되었을 때와 동일한 BER 성능을 얻기 위해서 대략 4~5dB의 E_b/N_0 가 더 필요하였다. 다음으로 용량 측면에서 살펴보면, 전력제어가 완벽한 경우에는 매크로셀과 마이크로셀의 반경이 10배 정도 차이가 나면 마이크로셀이 가질 수 있는 최대 용량에 거의 근접하지만, 불완전 전력제어에 의해 PCE가 발생하면 이에 따라 마이크로셀 용량은 크게 감소하였다. 특히 PCE가 3dB 이상이 되면 마이크로셀의 용량이 50% 이하로 감소함을 볼 수 있었다. 그리고, PCE가 2dB 이하에서는

마이크로셀에서 데이터 서비스보다 음성 서비스를 제공할 때 PCE의 영향을 더 크게 받았지만, PCE가 3dB 이상이 되면 데이터 서비스가 영향을 더 크게 받았다. 또 하나의 중요한 결과로써, PCE가 2dB 이하에서는 PCE 뿐만 아니라 간섭에 의해서도 마이크로셀의 용량의 감소가 크지만, PCE가 3dB 이상이 되면 PCE의 영향에 의한 용량 감소가 대단해서 간섭에 의한 영향은 거의 무시됨을 알 수 있었다. 그러므로, 중첩셀에서 간섭의 영향으로부터 마이크로셀 용량을 최대로 확보하기 위해서 $R_d=0.1$ 이고, $d=0.5$ 이상이어야 한다. 이러한 셀 배치에서 전력제어 오차(σ)를 2dB 이내로 조절하면 마이크로셀 최대 용량의 70% 이상을 가질 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Camerom and B. Woerner, "Performance analysis of CDMA with imperfect power control," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 44, no. 7, pp. 777-781, July, 1996.
- [2] 이동도, 김동희, 황금찬, "Nakagami 페이딩 채널에서 전력 제어 오차를 고려한 셀룰라 CDMA 네트워크의 성능 분석," *한국통신학회논문지*, vol. 22, no. 1, pp. 1-11, 1997. 1.
- [3] K. Takeo, "Uplink capacity of macro/spot - microcellular systems in frequency division CDMA," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E80-A, no. 7, pp. 1218-1225, July, 1997.
- [4] 손성찬, 노재성, 김수용, 조성준, "매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 W-CDMA 무선가입자망에서 마이크로셀의 용량 산정," *한국통신학회논문지*, 제 23권, 제 9A호, pp. 2153-2164, 1998. 9.
- [5] S. Tachikawa, *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*, Wiley-Interscience Press, 1994.
- [6] 황춘식, "다중경로채널 신호의 새로운 수신방식에 관한 연구," *한국통신학회, 90 전기통신 학술연구과제*, 1991. 3.
- [7] R. J. Bultitude and G. K. Bedal, "Propagation characteristics on microcellular urban mobile

radio channels at 910 MHz." *IEEE, J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-7, pp. 31-39, Jan., 1989.

- [8] E. G. Kim, C. H. Oh, and S. J. Cho, "Performance of 16 QAM signal with optimum threshold detection and MRC diversity reception in Rician fading channel in the presence of cochannel Rayleigh interference," *APCC' 95*, pp. 79-83, June, 1995.
- [9] W. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, A Wiley-Interscience Pub., Second Edition, 1993.
- [10] Sampei, *Applications of Digital Wireless Te-*

chnologies to Global Wireless Communications, Prentice Hall, 1997.

- [11] H. Furukawa and Y. Akaiwa, "Design of underlaid microcells in umbrella cell system," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E81-B, no. 4, pp. 762-769, May, 1998.
- [12] H. Furukawa and Y. Akaiwa, "A microcell overlaid with umbrella cell system," *IEEE VTC*, vol. 3, pp. 1455-1459, June, 1994.
- [13] 강희국, "중첩된 매크로셀/마이크로셀 CDMA 시스템에서 불완전 전력제어로 인한 마이크로셀의 용량 변화," 한국항공대학교 석사학위논문, 1999, 8.

강 희 국



1973년 12월 25일 생
1998년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학사)
1999년 8월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)
1999년 9월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사

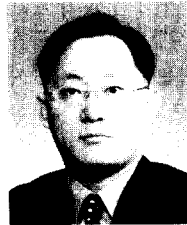
과정 재학중

[주 관심 분야] 무선통신, 이동통신, EMI/EMC, 채널 부호화

김 영 철

1969년 12월 15일 생
1993년 2월: 동신대학교 정보통신공학과(공학사)
1995년 2월: 동신대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사 과정 재학 중
[주 관심분야] 이동통신, 부호화이론, ITS

노 재 성



1967년 11월 13일 생
1990년: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
1992년: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)
1992년~1997년: (주) 한화정보통신 연구소 연구원

1997년 8월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정 재학 중

1999년 3월~현재: 강원도립대학교 정보통신공학과 전임 강사

[주 관심 분야] 무선통신, 이동전파전파, IMT-2000 성능 분석, EMI/EMC

조 성 준



1946년 1월 9일 생
1969년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
1975년 2월: 한양대학교 대학원(공학석사)
1981년 3월: (일본) 오사카대학 대학원 통신공학과(공학박사)

1969년 4월~1972년 7월: 해군기술장교

1972년 8월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수

[주 관심 분야] 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학