

계층적 CDMA 셀룰러 시스템에서 순방향 링크에 대한 자원 공유 방식의 용량 분석

정회원 이상문*, 이영용**, 최형균***, 최형진**

Capacity of Resource Sharing Schemes for Forward Link in Hierarchical CDMA Cellular Systems

Sang Mun Lee*, Young Yong Lee**, Hyung Kyun Choi***, Hyung Jin Choi**

Regular Members

요 약

본 논문에서는 계층적 구조를 가진 CDMA 셀룰러 시스템에서 여러 가지 자원 공유 방식들 중 주파수 공유 방식과 주파수 분할 방식의 용량을 순방향 링크에 대해 분석 비교하였다.

용량 분석은 마이크로셀 반경 및 마이크로셀 클러스터의 위치 및 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력 비를 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 시뮬레이션 결과로부터 각각의 자원 공유 방식들에 대해 이러한 영향들을 분석하였고, 일반적인 설계 접근방식을 제시하였다. 또한 자원공유방식들의 성능을 용량평면도를 통해 비교하였다. 결과를 요약하면, 계층적 구조를 가진 CDMA 셀룰러 시스템에서 스펙트럼 공유 방식을 적용할 경우 순방향 링크의 용량을 최대로 하기 위해서는 마이크로셀 클러스터가 매크로셀의 중심으로부터 멀리 배치하고, 마이크로셀의 반경을 작게 하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze and compare capacities of both spectrum sharing and orthogonal sharing schemes for forward link in hierarchical CDMA cellular systems.

Capacity analysis is performed through MonteCarlo simulation by considering microcell radius, location of microcell cluster, and transmission power ratio of microcell site to macrocell site. From the simulation results, we analyzed these effects and derived a general design approach. In addition, the performance of resource sharing schemes is compared in the capacity plane.

In summary, The spectrum sharing scheme has the flexibility to accommodate imbalance of traffic between layers and handoffs. In order to maximize the capacity of forward link in hierarchical CDMA cellular systems using spectrum sharing scheme it is desirable to distance the microcell cluster from the center of macrocell and to reduce the microcell radius.

I. 서론

마이크로셀룰러 시스템은 많은 트래픽 량을 효과적으로 처리할 수 있다. 일반적으로 셀룰러 시스템

에서 주파수 재사용 효율의 증가는 셀의 크기를 줄임으로서 가능하다. 그러나 고속 이동국이 마이크로셀을 통과하게 되면 몇 가지 문제점 즉, 빈번한 핸드오프, 호 끊김의 증가, 고속 스위칭의 필요성 등

* 문경대학 정보통신과 ** 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 *** 한국통신 M.COM
논문번호 : 00391-1016, 접수일자 : 2000년 10월 16일

※ 본 논문은 (주)한국통신 M.COM 위탁과제 "IMT-2000 다중셀 구조에서의 무선망 설계"의 수행 일부로서 얻어진 결과임을 밝히고 저원에 감사드립니다.

이 발생하게 된다. 또한 지역에 따라 트래픽 량의 불균형이 생길 수도 있다. 이러한 경우에 비 혼잡지역에 마이크로셀을 배치하는 것은 시스템의 효율을 낮추게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 계층적인 셀룰러 시스템(Hierarchical Cellular System)이 대두되었다^{[1]-[4]}. 계층적 셀룰러 형태의 대표적인 것이 매크로/마이크로 셀룰러 시스템인데, 이것은 매크로셀과 마이크로셀이 같은 지역에서 중첩된 형태를 갖는 것으로, 매크로셀은 주로 비 혼잡지역의 고속 이동국을 대상으로 하며, 마이크로셀은 혼잡지역에서 저속 이동국을 대상으로 한다.

계층적 구조에서 주파수 자원을 효율적으로 이용하는 방법은 시스템 설계 시에 매우 중요하다. 일반적으로 계층간에 자원을 공유 방식에는 3가지 방법 즉, 스펙트럼 공유(spectrum sharing)와 스펙트럼 분할(orthogonal sharing) 및 동적 공유(dynamic sharing) 방식이 있다^[5-6]. 본 논문에서는 이들 방식들 중에서 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식에 대한 용량을 계층적 CDMA(Code Division Multiple Access) 셀룰러 시스템에 대해 살펴보고자 한다.

먼저 스펙트럼 공유 방식은 계층적 구조에서 매크로셀 과 마이크로셀이 동일한 확산이득을 가지고 하나의 반송파 주파수를 재사용 하는 것으로 계층간 트래픽 변화에 대해 유연성을 가질 수 있다. 그러나 매크로셀과 마이크로셀 사이의 상호 간섭은 중요한 문제가 되는데, 특히 높은 송신전력을 가진 매크로셀의 기지국으로부터의 간섭은 마이크로셀의 이동국에 대해 통신품질의 열화를 일으키게 된다. 이 방식에서 시스템 용량을 결정하는 지배적인 요소는 계층간의 송신 전력비가 된다.

그리고 스펙트럼 분할 방식은 문헌[7]에서 F/CDMA(Frequency Division CDMA)로서 언급된 바 있으며, 전체 확산이득을 분할하여 계층간에 완전히 다른 반송파 주파수를 사용하도록 하는 것으로, 분할된 주파수 대역은 스펙트럼 공유 방식보다 줄어들게 된다. 그러나 이 방식은 스펙트럼 공유 방식에서 발생하는 계층간의 상호 간섭은 발생하지 않으며 매크로셀 과 마이크로셀은 각각 독립적으로 셀 관리를 할 수 있다. 이러한 경우에 매크로셀과 마이크로셀의 용량은 각 계층에 할당된 주파수 대역의 폭에 따라 결정된다. 그러나 트래픽 량의 변동이 어느 한 쪽으로 바이어스(bias) 될 경우 바이어스된 트래픽을 적응적으로 조절할 수 있는 유연성이 부족하다. 한편 매크로셀과 마이크로셀 간에는

간섭이 존재하지 않기 때문에 간섭에 대응하기 위한 마이크로셀의 전력증가를 필요로 하지 않는다. 한편 자원 공유 방식에 대한 용량 분석은 여러 문헌에서 언급된 바 있으나 대부분 TDMA(Time Division Multiple Access)와 관련하여 다루었다^{[6][8]}. 문헌[9,10]에서는 계층적 셀룰러 구조에서 CDMA 시스템에 대해 자원 공유 방식으로 스펙트럼 공유 방식만을 언급하였으며 역 방향 링크만을 고려하였다. 그리고 문헌[11]에서는 CDMA 시스템에서 자원 공유 방식으로 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식을 역 방향 링크에 대해서 고려하였다. 이와 같이 계층적인 CDMA 셀룰러 시스템에 대한 자원 공유 방식의 분석은 주로 역 방향에 집중되어 있는 편이고 순방향 링크에 대한 비교분석은 아직 미흡한 편이다.

따라서 본 논문에서는 계층적인 CDMA 셀룰러 시스템의 순방향 링크에 대해 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식에 대해 여러 가지 파라미터를 고려하여 시스템 용량을 분석하고 비교하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 계층적 셀룰러 구조의 모델 및 전파 모델에 대해 기술하였으며 3절에서는 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식에 대한 순방향 링크의 시스템 용량에 대해 다루었으며, 4절에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고 자원 공유 방식을 비교 분석하였다. 마지막으로 5절에서 결론은 맺는다.

II. 계층적 셀룰러 구조 및 전파 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 매크로셀내에 7개의 마이크로셀의 클러스터(cluster)가 존재하는 경우를 고려한다.

마이크로셀의 경우 마이크로셀의 클러스터의 중앙의 셀을 기준 셀(reference cell)로 정의한다. 기준 매크로셀의 기지국으로부터 기준 매크로셀내의 기준 마이크로셀의 기지국까지의 거리를 D 로 나타내고 매크로셀의 반경은 R_M , 마이크로셀의 반경은 R_m 로 표시한다. 전파모델은 주로 long-term 페이딩에 의한 신호 감쇠를 고려하고, short-term 페이딩은 본 논문에서는 고려하지 않기로 한다. 이때 기지국으로부터 거리 r 위치의 이동국에 의해 수신되는 신호는 다음과 같이 주어진다^[9].

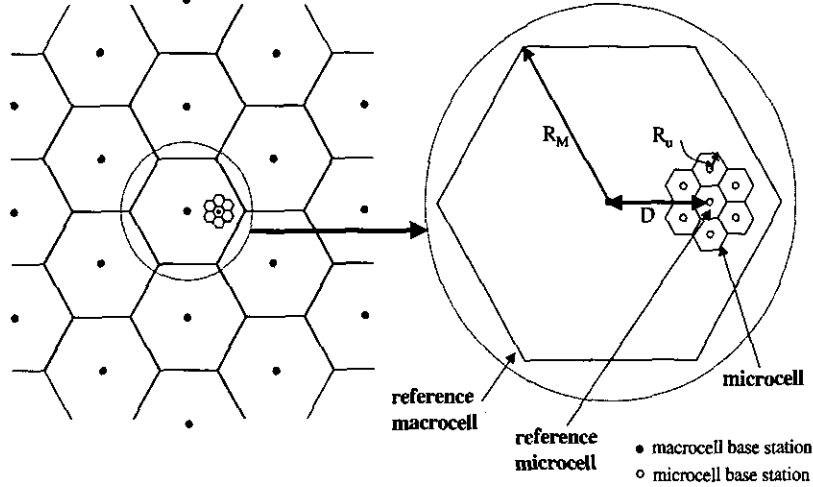


그림 1. 계층적 셀룰러 구조

$$P_r = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 P_t r^{-\gamma} 10^{-\zeta} & r \leq z \\ (h_{bs} h_m)^2 P_t r^{-\gamma} 10^{-\zeta} & r > z \end{cases} \quad (1)$$

여기서 λ 는 반송파 주파수의 파장을 의미하고, γ 는 감쇠 상수이며, P_t 는 기지국의 송신전력이다. 그리고 h_{bs} 는 기지국 안테나 높이이고, h_m 은 이동국의 안테나 높이를 의미하며, ζ 는 long-term 페이딩에 의한 랜덤변수이다. 또한 z 는 break point를 의미하는 것으로 다음과 같이 결정된다.

$$z = \frac{4\pi h_{bs} h_m}{\lambda} \quad (2)$$

기지국으로부터 이동국까지의 지상거리를 d 라고 하면 실제 경로상 거리 r 는 다음과 같이 결정된다.

$$r = \sqrt{d^2 + (h_{bs} - h_m)^2} \quad (3)$$

$$z = \sqrt{r_b^2 + (h_{bs} - h_m)^2} \quad (4)$$

여기서 r_b 는 break point에 대응하는 지상 거리이다. 이들 관계식은 적절한 파라미터를 사용하여 매크로셀과 마이크로셀 모두에 적용된다.

한편 long-term 페이딩 성분 ζ 는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 분포를 가지는 확률변수로서 매크로셀과 마이크로셀에 대해 다른 값을 가진다. 그런데 다른 셀로부터의 간섭은 두 개 이상의

기지국으로부터 수신되는 경로손실을 비교하여야 하기 때문에 각 기지국으로부터 동일한 이동국까지 경로 손실에 대한 상관관계가 고려되어야 한다. i 번째 기지국으로부터 이동국이 수신하는 신호는 기지국과 이동국 사이의 지형지물에 의해 결정되는데 이에 따른 상관성을 고려하면 i 번째 기지국에 대한 dB손실의 랜덤성분은 다음과 같이 주어진다^[13].

$$\xi_i = a\xi + b\xi_i \quad (5)$$

여기서 $a\xi$ 는 이동국의 근처의 성분이고, $b\xi_i$ 는 기지국에 관련된 성분이다. 상수 a 와 b 는 $a^2 + b^2 = 1$ 의 관계를 가지며, 기지국간의 상관도는 50%이면, $a^2 = b^2 = 1/2$ 이다. 식 (5)의 랜덤 변수들은 다음과 같은 특성을 가진다.

$$\begin{aligned} E(\xi_i) &= E(\xi) = E(\xi_i) = 0, \\ \text{Var}(\xi_i) &= \text{Var}(\xi) = \text{Var}(\xi_i) = \sigma^2 \quad \forall i, \\ E(\xi_i \xi_j) &= 0 \quad \forall i, \\ E(\xi_i \xi_j) &= 0 \quad \forall i, j, i \neq j. \end{aligned} \quad (6)$$

III. 순방향 링크에 대한 시스템 용량

순방향 링크의 구현과 성능은 역 방향 링크와 상당히 다르다. 그 이유는 주로 다음 3가지에 근거한다^[12]. 첫째, 다대일 대신에 일대다의 접속형태이며

둘째, 동기와 동기 검파는 공통 파일럿 신호에 의존하며 셋째, 간섭은 많은 분산된 작은 송신전력을 가진 이동국으로부터가 아닌, 몇 개의 큰 송신전력을 가진 기지국으로부터 수신된다. 다른 기지국으로부터 간섭을 많이 수신하는 경우 이동국에 대해 순방향 링크 전력을 더욱 커야 한다. 물론 경계지점에서의 이동국은 소프트 핸드오프상에 있을 수 있다. 그러한 경우에 이동국들은 2개 이상의 기지국으로부터 신호 전력을 수신한다. 본 논문에서는 소프트 핸드오프의 고려하지 않고 하나의 기지국으로부터 원하는 신호를 수신하는 것을 고려하기로 한다.

계층적 셀룰러 구조에서 계층간의 전력비만 다르고, 계층별 모든 기지국들의 평균 송신전력은 모두 같고, 주어진 매크로셀내의 여러 이동국들은 그들의 상대적인 필요에 따라 다른 전력레벨로 할당 받는다고 가정한다. 이러한 절차를 전력제어라기 보다는 순방향 전력할당으로서 언급된다^[13].

이와 같은 개념을 기초로 하여 본 절에서는 자원 공유 방식으로 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식에 대한 용량을 분석하기 위한 outage율에 대해 살펴보고자 한다.

3.1 스펙트럼 공유 방식

매크로셀 기지국 1에 의해 제어되는 매크로셀 이동국 i 가 J 개의 매크로셀 기지국들로부터 간섭전력을 수신한다고 가정한다. 매크로셀 이동국 i 에 의해 수신되는 매크로셀의 기지국 j 로부터의 전체 전력을 P_{rj} 이라 하고, 모든 $j \neq 1$ 에 대하여 $P_{rj} > P_{ri}$ 라 하자. 왜냐하면 매크로셀 이동국은 항상 가장 강한 수신 신호를 가지는 매크로셀 기지국과 교신하여야 하기 때문이다. 이제 어떤 셀에 의해 송신되는 전체 전력의 일부분 $(1-\beta)$ 는 파일럿 신호에 할당된다. 나머지 부분 β 는 매크로셀내의 k^M 개의 매크로셀 이동국에게 할당된다. 따라서 i 번째 매크로셀 이동국은 송신전력의 $\beta\phi_i$ 를 수신한다. 이때 ϕ_i 는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^{k^M} \phi_i \leq 1 \quad (7)$$

한편 마이크로셀 기지국으로부터 매크로셀 이동국 i 가 수신하는 신호는 모두 간섭신호로서 고려된다. 따라서 배경잡음을 N_0 , 대역폭을 W , 이동국의 데이터 속도를 R 이라고 할 때, i 번째 매크로셀 이동국에 대한 신호대 간섭비는 다음 식(8)과 같이 표

현될 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_M \geq \frac{\beta\phi_i P_{ri}^M / R}{\left(\sum_{j=1}^{k^M} P_{rj}^M + \sum_{j=1}^{k^M} P_{rj}^u + N_0 W\right) / W} \quad (8)$$

여기서 P_{rj}^M (P_{rj}^u)는 i 번째 매크로셀 이동국이 j 번째 매크로셀(마이크로셀) 기지국으로부터 수신하는 전력을 의미하고, J_M (J_u)은 매크로셀(마이크로셀) 기지국 수를 의미한다. 식 (8)에서 분모의 첫 번째항에 P_{rj}^M 의 일부분인 $\beta\phi_i$ 만큼은 포함되지 않아야 한다. 따라서 식 (8)은 하한 값을 가진다고 볼 수 있다^[12].

이제 셀내의 모든 이동국은 같은 E_b/I_0 를 할당 받는다고 가정하자. 역 방향 링크에서처럼 이동국이 과잉 다중경로를 겪는다면 이 양을 가변적으로 될 수도 있다. 그러나 이 변화는 작고, 해당 이동국에 대해 더 작은 P_{ri} 를 가정함으로써 설명할 수 있다. 이 때, 모든 i 에 대해 $(E_b/I_0)_i = E_b/I_0$ 로 설정하면, i 번째 이동국에 대한 상대적인 할당은 위의 식(8)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\phi_i = \frac{(E_b/I_0)_M}{\beta W R} \cdot \left[1 + \sum_{j=2}^{k^M} \left(\frac{P_{rj}^M}{P_{ri}^M}\right) + \sum_{j=1}^{k^M} \left(\frac{P_{rj}^u}{P_{ri}^M}\right) + \left(\frac{N_0 W}{P_{ri}^M}\right) \right] \quad (9)$$

한편 outage 조건은 식(7)을 만족하지 않을 경우에 일어나는데, 이에 근거한 outage율은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out}^M &= \Pr\left(\sum_{i=1}^{k^M} \phi_i^M > 1\right) \\ &= \Pr\left[\sum_{i=1}^{k^M} a_i^M \left(1 + \sum_{j=2}^{k^M} \frac{P_{rj}^M}{P_{ri}^M} + \sum_{j=1}^{k^M} \frac{P_{rj}^u}{P_{ri}^M} + \frac{N_0 W}{P_{ri}^M}\right) > \frac{\beta W R}{(E_b/I_0)_M}\right] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 a_i^M 는 매크로셀에 대한 음성활성도 ρ^M 를 가진 이항 분포를 따르는 이진 랜덤 변수로서 다음 관계식을 가진다.

$$\rho^M \triangleq \Pr(a_i^M = 1) = 1 - \Pr(a_i^M = 0) \quad (11)$$

일반적으로 배경잡음은 모든 기지국으로부터 수신되는 전체 신호전력에 비해 무시할 만하다. 따라서 식(10)에서 확산이득(processing gain)을 $WR = G_p$ 로 나타내고 배경잡음을 무시하면 다음

과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out}^M = \Pr \left[\sum_{i=1}^{K_u} \alpha_i^M \left(1 + \sum_{j=2}^{K_u} \frac{P_{r_{i,j}}^M}{P_{r_i}^M} + \sum_{j=1}^{K_u} \frac{P_{r_{j,i}}^M}{P_{r_j}^M} \right) > \frac{\beta G_P}{(E_b/I_0)_M} \right] \quad (12)$$

그리고 마이크로셀에 대한 outage율도 적절한 파라미터를 변경시키고, 매크로셀에 대한 outage율을 구한 절차를 따르면 다음 식(13)과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$P_{out}^u = \Pr \left[\sum_{i=1}^{K_u} \alpha_i^u \left(1 + \sum_{j=2}^{K_u} \frac{P_{r_{i,j}}^u}{P_{r_i}^u} + \sum_{j=1}^{K_u} \frac{P_{r_{j,i}}^u}{P_{r_j}^u} \right) > \frac{\beta G_P}{(E_b/I_0)_u} \right] \quad (13)$$

3.2 스펙트럼 분할 방식

매크로셀과 마이크로셀이 동일한 스펙트럼을 공유하는 스펙트럼 공유 방식과는 다르게 스펙트럼 분할 방식은 매크로셀과 마이크로셀간에 서로 다른 스펙트럼을 사용하게 된다. 이 경우 매크로셀과 마이크로셀간의 스펙트럼의 분리가 이상적이라고 가정하면 각 계층간에는 서로 동일 채널 간섭을 일으키지 않는다. 따라서 스펙트럼 분할 방식은 실제로 계층적 구조가 아닌 2개의 평면적 구조로서 고려될 수 있다.

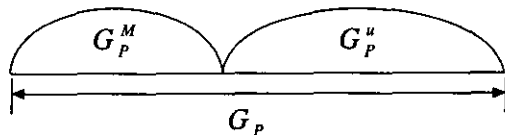


그림 2. 스펙트럼 분할 방식의 개념

본 논문에서는 스펙트럼 공유 방식과의 용량 비교를 위해 스펙트럼 분할 방식의 전체 대역폭 즉, 매크로셀이 차지하는 대역폭과 마이크로셀이 차지하는 대역폭의 합이 스펙트럼 공유 방식의 대역폭과 같다고 가정한다.

그림 2는 스펙트럼 분할 방식에서 매크로셀과 마이크로셀이 각각 다른 확산이득을 가지는 것을 나타낸 것이다. 그림 2에서와 같이 매크로셀과 마이크로셀의 확산이득을 각각 G_P^M 와 G_P^u 로 전체 시스템의 확산이득을 G_P 라고 하면, 이들의 관계는 다음 식(14)와 식(15)와 같다.

$$G_P^M = \eta G_P \quad (14)$$

$$G_P^u = (1 - \eta) G_P \quad (15)$$

여기서 η 는 매크로셀이 가지는 확산이득 비율을 의미하는 것으로 $0 \leq \eta \leq 1$ 의 값을 가진다.

따라서 스펙트럼 분할 방식에서의 outage율은 스펙트럼 공유 방식에서의 outage율의 관계식에서 상호 간섭 항을 제거하면 쉽게 구해진다. 이렇게 하여 구해진 매크로셀의 outage율과 마이크로셀의 outage율은 각각 식(16)과 식(17)과 같이 표현된다.

$$P_{out}^M = \Pr \left[\sum_{i=1}^{K_u} \alpha_i^M \left(1 + \sum_{j=2}^{K_u} \frac{P_{r_{i,j}}^M}{P_{r_i}^M} \right) > \frac{\beta G_P^M}{(E_b/I_0)_M} \right] \quad (16)$$

$$P_{out}^u = \Pr \left[\sum_{i=1}^{K_u} \alpha_i^u \left(1 + \sum_{j=2}^{K_u} \frac{P_{r_{i,j}}^u}{P_{r_i}^u} \right) > \frac{\beta G_P^u}{(E_b/I_0)_u} \right] \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 절에서는 계층적 셀룰러 CDMA 시스템에서 순방향 링크의 용량을 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식에 대해 각각 분석하고, 두 방식간의 시스템 용량을 비교하고자 한다. 시스템 용량은 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 구해진다. 시스템 모델은 그림 1에 보인 것처럼 매크로셀내에 7개의 정육각형 마이크로셀 클러스터가 포함된 셀룰러 망을 고려하기로 한다. 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터는 표 1에 나타내었다.

표 1. 시스템 파라미터들

	매크로셀	마이크로셀
이동국의 안테나 높이	1.5m	1.5m
기지국의 안테나 높이	60m	9m
경로손실 감쇠지수	4, 2	4, 2
shadowing	8 dB	4 dB
셀 반경	10Km	1, 0.75, 0.5, 0.25Km
chip rate	1.2288 Mcps	1.2288 Mcps
data rate	9.6Kbps	9.6Kbps
캐리어 주파수	2GHz	
tier 수	2	1

매크로셀은 2 tier 즉 19개의 셀만을 고려하고 마이크로셀은 1 tier 즉 7개의 셀만을 고려하기로 한다. 신호감쇠 상수는 각 셀에 대해 break point 내부에서는 2, 외부에서는 4로 설정하였다. 또한 shadowing 효과는 매크로셀에 대해 8dB로 설정하였고, 마이크로셀에 대해서는 일반적으로 매크로셀에 비해 덜 심각하므로 4dB로 설정하였다⁹⁾. 그리고 매크로셀 반경은 10Km이고 마이크로셀 반경은 0.25 - 1Km 사이에서 가변 시켰다. 음성활성 계수는 매크로셀과 마이크로셀 모두 3/8로 하였다.

스펙트럼 공유 방식에서 매크로셀과 마이크로셀 간의 전력비는 0.001에서 1까지 변화시켰고, 스펙트럼 분할 방식에서는 0.1 단위로 할당하였다. 본 절에서의 모든 결과에서 마이크로셀의 반경과 위치는 매크로셀의 반경으로 정규화 하였으며, outage율이 0.01인 경우에 대하여 얻었다.

4.1 스펙트럼 공유 방식

그림 3과 그림 4는 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율이 0.01을 만족하는 이동국의 수를 마이크로셀 클러스터의 위치에 따른 영향을 나타낸 것으로 마이크로셀의 반경이 0.1(1 Km)인 경우와 0.05(0.5 Km)인 경우를 각각 보여준 것이다. 이들 그림으로부터 매크로셀의 용량은 모든 전력비에 대해 마이크로셀 클러스터의 위치가 기준 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 감소하며 1인 위치에 있을 경우에는 다시 용량이 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 매크로셀의 이동국이 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 매크로셀 기지국으로부터 받는 수신 신호 전력은 경로손실의 증가로 인해 약해지게 된다. 따라서 D가 커질수록 마이크로셀 클러스터 내에 분포하는 매크로셀 이동국의 경우 마이크로셀 기지국으로부터 받는 간섭량은 상대적으로 증가하게 되어 매크로셀의 용량은 감소하게 된다. 마이크로셀 클러스터의 위치가 1인 경우에 용량이 증가하는 것은 마이크로셀 클러스터가 정육각형 매크로셀의 모서리에 위치함으로써 매크로셀의 이동국이 마이크로셀 클러스터내에 분포할 면적이 상대적으로 줄었으므로 마이크로셀 기지국들로부터 받는 간섭량이 줄어들기 때문이다.

한편 마이크로셀의 용량은 마이크로셀 클러스터의 위치가 기준 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 전력 비에 관계없이 지속적으로 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 마이크로셀의 이동국이 매크로셀의 기지국으로부터 받는 간섭량은 매크로셀

중심부근에서보다 경로손실로 커지므로 상대적으로 간섭량은 줄어들기 때문이다. 그리고 그림 3과 그림 4로부터 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따라 매크로셀의 용량과 마이크로셀의 용량은 서로 상대적임을 알 수 있다. 따라서 순방향 링크에 대해 매크로셀과 마이크로셀의 전체적인 용량을 최대화하기 위해서는 전력비의 선택에 있어서 주의할 사항을 알 수 있다.

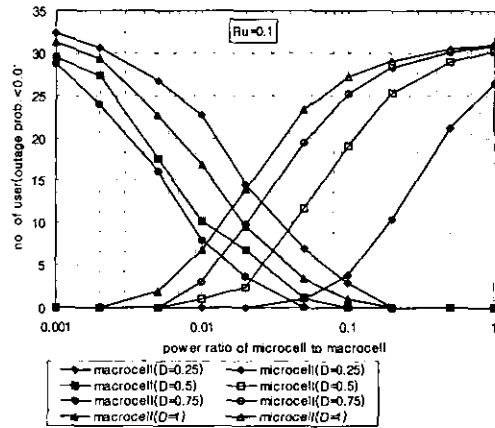


그림 3. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율 ($R_u=0.1$)

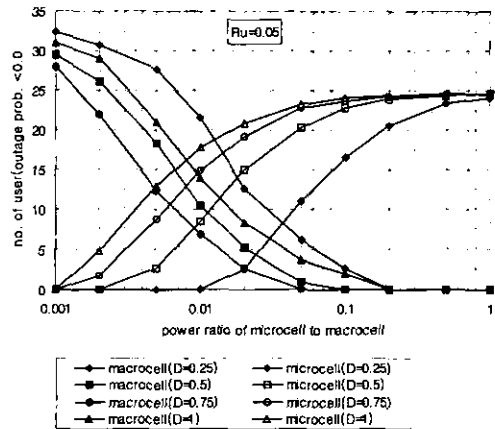


그림 4. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율 ($R_u=0.05$)

그림 5와 6은 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율이 0.01을 만족하는 이동국의 수를 마이크로셀의 반경에 따른 영향을 나타낸 것으로 마이크로셀의 위치가 0.25인 경우와 0.75인 경우를 각각 보여준 것이다.

이들 그림으로부터 매크로셀의 용량은 마이크로셀의 반경에 따라 큰 변화는 없으나 마이크로셀의 용량은 마이크로셀의 반경에 따라 용량 변화가 크고, 마이크로셀의 반경이 작을수록 용량이 커짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 마이크로셀의 반경이 큰 경우는 마이크로셀의 기지국으로부터 원거리에 있는 마이크로셀의 이동국이 수신하는 원하는 신호전력이 상대적으로 작기 때문에 매크로셀로부터의 간섭이 상대적으로 커짐을 의미한다.

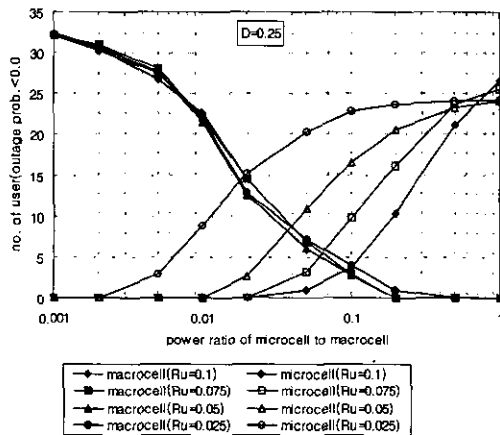


그림 5. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율($D=0.25$)

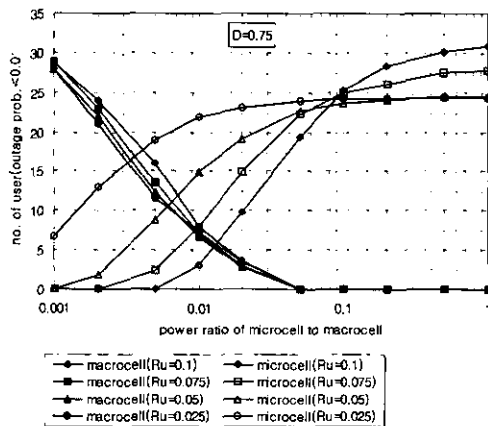


그림 6. 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비에 따른 outage율($D=0.75$)

그림 7은 매크로셀 이동국의 수와 마이크로셀 이동국의 수가 같을 경우에 마이크로셀의 클러스터 위치에 따른 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비

를 보여준 것이다. 마이크로셀의 반경에 관계없이 전반적으로 마이크로셀 클러스터가 기준 매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비는 줄어드는 것을 알 수 있다. 마이크로셀의 반경이 0.1인 경우에는 마이크로셀 클러스터의 위치에 따라 전력비의 편이가 상당히 큼을 알 수 있고, 마이크로셀의 반경이 0.025인 경우에는 전력비의 편이가 다른 반경들보다 작음을 알 수 있다.

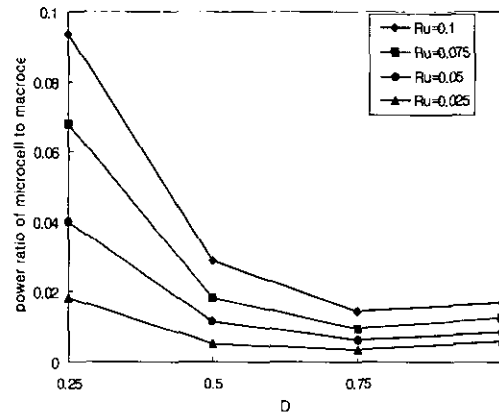


그림 7. 계층간 트래픽이 같을 경우 마이크로셀 클러스터의 위치에 따른 최적의 전력비

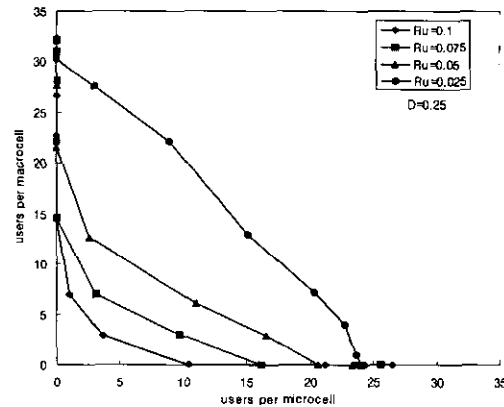


그림 8. 마이크로셀 반경에 따른 용량평면도($D=0.25$)

그림 8과 그림 9는 마이크로셀의 반경에 따른 용량평면도를 마이크로셀 클러스터의 위치가 0.25, 0.75인 경우에 대해 각각 나타낸 것이다. 그림으로부터 셀 위치에 관계없이 마이크로셀의 반경이 작을수록 용량은 커짐을 알 수 있다.

4.2 스펙트럼 분할 방식

그림 10은 스펙트럼 분할 방식에 대해 마이크로셀 반경에 따른 용량 평면도를 나타낸 것이다. 이 경우에는 스펙트럼 공유 방식과는 다르게 마이크로셀의 반경이 커질수록 용량이 증가함을 알 수 있다. 이것은 스펙트럼 분할 방식이 계층별로 다른 주파수 대역을 사용하므로 계층간에는 상호 간섭을 일으키지 않기 때문에 마이크로셀 반경이 커질수록 경로손실로 인한 동일채널 간섭이 상대적으로 작다는 것을 감안하면 쉽게 이해할 수 있다.

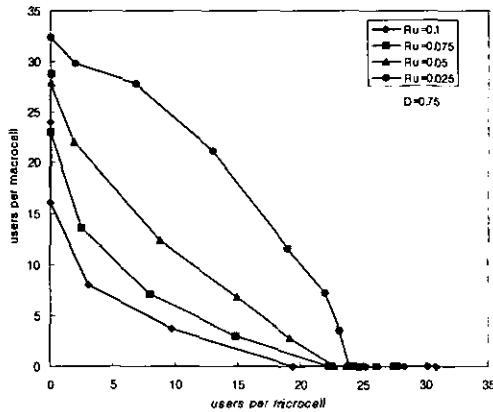


그림 9. 마이크로셀 반경에 따른 용량평면도(D=0.75)

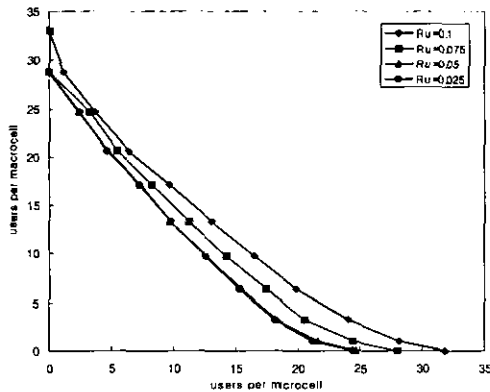


그림 10. 스펙트럼 분할 방식의 마이크로셀 반경에 따른 용량 평면도

4.3 용량 비교

그림 11, 그림 12, 그림 13은 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식을 마이크로셀 클러스터의 위치 별로 비교 한 것이다.

그림 11은 마이크로셀 반경이 0.1인 경우로서 스펙트럼 분할 방식이 스펙트럼 공유 방식보다 더 큰 용량을 가짐을 알 수 있다. 그리고 스펙트럼 공유 방식의 경우 마이크로셀 클러스터의 위치가 기준

매크로셀의 중심으로부터 멀어질수록 용량이 커짐을 알 수 있다. 그림 12는 마이크로셀의 반경이 0.05인 경우로서 마이크로셀 클러스터의 위치가 0.25, 0.5, 0.75인 경우는 스펙트럼 공유 방식이 스펙트럼 분할 방식보다 용량면에서 적으나, 1인 경우에는 오히려 크다는 것을 알 수 있다. 그림 13은 마이크로셀의 반경이 0.025인 경우로서 마이크로셀 클러스터의 위치에 관계없이 스펙트럼 공유 방식이 스펙트럼 분할 방식 보다 용량이 큼을 알 수 있다.

결론적으로 그림 11, 그림 12, 그림 13으로부터 마이크로셀의 반경이 매크로셀 반경의 0.1배인 경우는 스펙트럼 분할 방식이 스펙트럼 공유 방식보다 용량 면에서 작다. 그러나 스펙트럼 공유 방식의 경우는 용량을 최대화하기 위해서는 마이크로셀의 반경을 가능한 한 작게 하고, 마이크로셀의 클러스터가 매크로셀의 중심에서 가능한 한 멀리 배치하게 되면 스펙트럼 분할 방식에 비해 훨씬 많은 용량을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

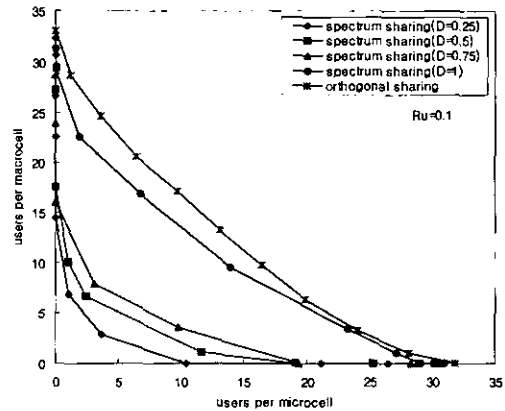


그림 11. 자원 공유 방식의 용량 비교(Ru=0.1)

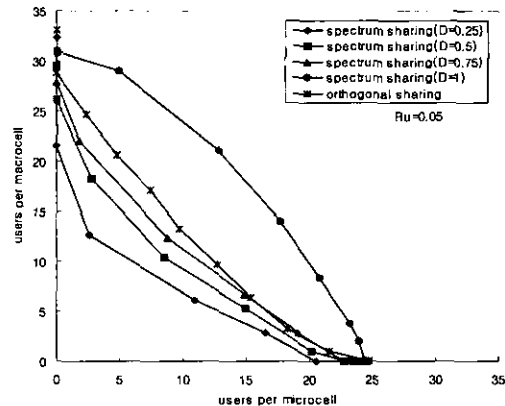


그림 12. 자원 공유 방식의 용량 비교(Ru=0.05)

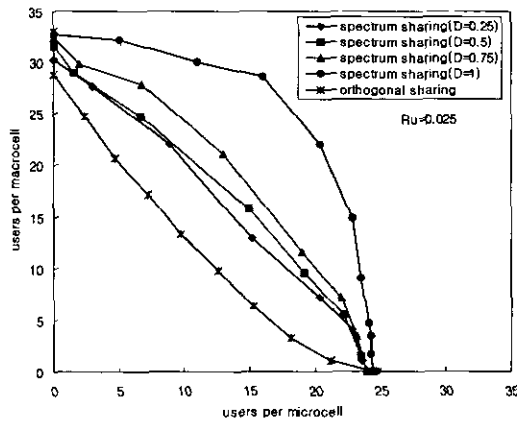


그림 13. 자원 공유 방식의 용량 비교($R_u=0.025$)

V. 결론

본 논문에서는 계층적 구조를 가진 CDMA 셀룰러 시스템에서 여러 가지 자원 공유 방식들 중 스펙트럼 공유 방식과 스펙트럼 분할 방식을 순방향 링크에 대해 용량을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 용량 분석은 마이크로셀 반경 및 마이크로셀 클러스터의 위치 및 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력 비를 고려하였다. 이들 요소들을 고려하여 시뮬레이션을 수행한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

첫째, 스펙트럼 공유 방식에서 계층간에 트래픽 분포가 같을 경우 마이크로셀의 반경이 클수록 마이크로셀 클러스터의 위치에 따른 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비의 편이가 크다. 따라서 마이크로셀 크기가 크면 셀 설계 시에 매크로셀에 대한 마이크로셀의 전력비를 마이크로셀 클러스터 위치에 따라 신중하게 설정해야 함을 알 수 있었다.

둘째, 스펙트럼 공유 방식에서 마이크로셀 클러스터의 위치에 관계없이 마이크로셀의 반경을 작게 하는 것이 계층적 구조에서의 용량을 크게 함을 알 수 있었다. 이것은 매크로셀의 이동국이 마이크로셀 클러스터내에 분포할 확률을 줄이게 되어 마이크로셀 기지국으로부터의 간섭을 적게 받기 때문이다.

셋째, 매크로셀에 대한 마이크로셀 반경의 비가 0.1인 경우에는 스펙트럼 분할 방식이 스펙트럼 공유 방식에 비해 더 큰 용량을 가지고, 0.1이하인 경우에는 마이크로셀의 반경에 따라 스펙트럼 공유 방식이 스펙트럼 분할 방식보다 더 큰 용량을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 현상은 스펙트럼 공유방식

에서 마이크로셀의 반경이 큰 경우는 마이크로셀의 기지국으로부터 원거리에 있는 마이크로셀의 이동국이 수신하는 원하는 신호전력이 상대적으로 작기 때문에 매크로셀로부터의 간섭이 상대적으로 커지게 되어 용량이 감소하며, 반경이 작은 경우는 그 반대의 현상이 일어나게 되기 때문이다.

이와 같은 사항들은 계층적인 셀 설계에 있어서 자원 공유 방식 선정 및 기타 파라미터 선정에 대한 지침으로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

일반적으로 계층간의 트래픽 불균형이 발생하거나 핸드오버 등에 대한 유연성을 가지는 것은 스펙트럼 공유 방식이다. 따라서 계층적 구조를 가진 CDMA 셀룰러 시스템에서 스펙트럼 공유 방식을 적용할 경우 순방향 링크의 용량을 최대로 하기 위해서는 마이크로셀 클러스터가 매크로셀의 중심으로 부터 멀리 배치하고, 마이크로셀의 반경을 작게 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

참고 문헌

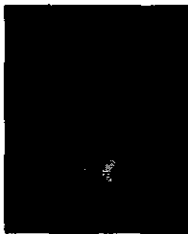
- [1] Hakan Eriksson, "Multiple access options for cellular based personal communications", IEEE Veh. Technol. Conf., May 1993.
- [2] C. Lin, L.J. Greenstein, and R.D. Gitlin, "A microcell/macrocell cellular architecture for low and high mobility wireless users," IEEE J. Select. Areas Comm., Vol.11, No.6, Aug. 1993.
- [3] J. Shapira, "Microcell engineering in CDMA cellular networks," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.43, No.4, Nov. 1994.
- [4] P. Andermo and L. Ewerbring, "A CDMA-based radio access design for UMTS," IEEE Personal Commun. Vol.2, No.1, Feb. 1995.
- [5] X. Lagrange, "Multitier cell design," IEEE Comm. Mag., Aug. 1997.
- [6] I. Bazar and Y. Onozato, "Spectrum resources management on two-tier cellular networks," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E81-A, No.7, July 1998.
- [7] T. Eng and L.B. Milstein, "Comparison of hybrid FDMA/CDMA systems in frequency selective rayleigh fading," IEEE J. Selec. Areas Commun., Vol.12, No.5, June 1994.
- [8] Wu JS, Chung JK, Sze MT, "Analysis of

uplink and downlink capacities for two-tier cellular system," IEE Proceedings-Communications, Vol.144, No.6, pp 405-411, Dec. 1997.

- [9] J. Zhou, Y. Onozato and U. Yamamoto, "On the capacity and outage probability of a CDMA hierarchical mobile system with perfect/imperfect power control and sectorization," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E82-A, No.7, July 1999.
- [10] Wu JS, Chung JK, Yang YC, "Performance study for a microcell hot spot embedded in CDMA macrocell systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.48, No.1, pp 47-59, Jan. 1999.
- [11] Kohji Takeo, "Uplink capacity of macro/spot-microcellular systems infrequency division CDMA," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E80-A, No.7 July 1997.
- [12] A.J. Viterbi, *CDMA principles of Spread Spectrum Communications*, 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995
- [13] K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, and A.J. Viterbi, "On the capacity of a cellular CDMA systems," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.40, No.2, May 1991.

이 상 문(Sang-Mun Lee)

정희원

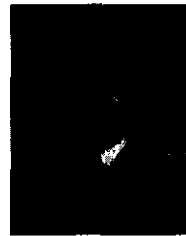


1991년 2월: 성균관대학교
전자공학과(공학사)
1993년 2월: 성균관대학교
대학원 전자공학과
(공학석사)
2000년 8월 현재: 성균관대학교
대학원 전기전자 및
컴퓨터공학부
박사과정 수료

1993년 1월~1998년 1월: LG전자 디지털미디어 연구소 선임연구원
1998년 3월~현재: 문경대학 정보통신계열 전임교수
<주관심 분야> 디지털통신, 이동통신, 통신신호처리

이 영 용(Young-yong Lee)

정희원



1998년 2월: 성균관대학교
전자공학과 졸업
2000년 2월: 성균관대학교
대학원 전기전자 및
컴퓨터 공학부 석사

2000년 3월~현재: 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사과정
<주관심 분야> 이동통신, 무선통신, 동기화 기술

최 형 균(Hyung-Kyun Choi)

정희원

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업
1995년 2월: 연세대학교 산업대학원 전자공학 석사
1991년~1994년: 데이콤
1995년~1996년 4월: 서울이동통신
1996년 4월~현재: 한국통신 M.COM
<주관심 분야> 이동통신, 데이터통신

최 형 진(Hyung-Jin Choi)

정희원



1974년 2월: 서울대학교
전자공학과(공학사)
1976년 2월: 한국과학기술원
전기전자공학과
(공학석사)
1976년 3월~1979년 7월:
(주)금성사 중앙연구소
연구원

1979년 9월~1982년 12월: 미국 University of Southern California 전기공학과 (공학박사)
1982년 10월~1989년 2월: 미국 Lincom Corp. 연구원
1989년 3월~현재: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수
<주관심 분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술