

마이크로셀과 마이크로셀에서 수신하는 전력의 비에 따른 시스템 분석

성 홍 석, 임 승 하, 원 영 진
부천대학 전자과
전화 : 032-610-3346 / 핸드폰 : 011-236-9880

The analysis of system by the ratio of power at micro-cell and macro-cell

Hong-Seok Seong, Seung-Ha Lim, Young-Jin Won
Dept. of Electronics, Bucheon College
E-mail : hsseong@bc.ac.kr

Abstract

This paper supposes the perfect power control at micro-cell and macro-cell. Under this supposition, we calculate SIR and decide the call admission by SIR. When we calculate SIR, we use the ratio of the power received the base station of micro-cell and the power received the base station of macro-cell. We analysis the performance of the system by the computer simulation while changing the ratio of power.

I. 서론

무선 통신은 서비스 영역 내에서 통화 용량을 증가시키기 위하여 셀룰라 시스템으로 진화되었다. 그러나 무선 통신의 편리성으로 인하여 빠른 속도로 증가하고 있는 무선 서비스의 수요와 휴대용 단말기의 보급은 셀룰라 무선 통신의 용량 한계에 다다르게 하였다. 따라서 시스템의 용량을 개선하기 위해서 더 작은 셀을 사용하려는 노력이 시도되고 있다. 그러나 셀의 크기를 축소하려면 도심지에서는 안테나 높이를 지붕보다 낮게 조정해야 하는데 이는 전파의 전파 특성을 변화시킨다. 작은 셀의 구성은 많은 유선 기반 시설을 필요로 하며 또한 도심의 밀집지역에 기지국을 설치하는 데는 많은 비용이 소요되므로 장비를 설치할 공간이

없어도 되는 작은 기지국이 필요하다. 위와 같은 여러 문제를 해결하고 셀룰라 시스템의 용량을 증가 시키는 가장 효과적인 방법으로 마이크로 셀을 사용하게 되었다.

마이크로 셀의 잇점으로는 용량을 상당량 증가 시킬 수 있으며 저속의 사용자를 마이크로 셀에서 서비스함으로써 저속의 도보 이동성에 따른 신호 처리가 간단하며, 저 전력으로 인한 단말기와 기지국의 소형화와 가격에서 보다 효과적인 무선 디자인을 할 수 있다. 반면 마이크로 셀은 사용자 밀도가 희박한 영역에서는 잇점이 없으며 셀의 크기가 작음으로 인해 핸드오버가 증가하는 단점이 있다. 따라서 매크로 셀과 마이크로 셀이 중첩된 구조를 갖는 시스템을 사용함으로써 이와 같은 단점을 어느 정도 해결할 수 있다. 즉, 계층 셀룰라 시스템의 사용으로 단위 면적 당 사용자 수를 최대화 하고 망 제어와 핸드오프 율을 작게 하는 것 사이에 균형을 제공할 수 있다.

[1]에서, 마이크로 셀과 중첩된 매크로 셀을 갖는 계층 셀룰라 시스템에서 마이크로 셀에서 서비스되지 못하는 호를 매크로 셀에서 수용하며 매크로 셀에서 서비스되는 호는 마이크로 셀로 핸드오프 요구하지 않은 계층 기법 (Non Reversible Hierarchical)에 따라 동작하는 시스템에 마코브 프로세스에 기초한 분석적 모델을 사용하여 시스템의 성능을 분석하였다. [2]에서는 매크로 셀에서 마이크로 셀로의 핸드오버를 허용하여 시스템의 성능을 개선하였다 (Reversible Hierarchical Scheme). [3]에서는 레벨 n의 셀은 하나

이상의 레벨 n+1 셀을 가질 수 있고 핸드오버는 같은 계층간 또는 상하 계층간만 허용하는 L 계층을 갖는 셀룰라 시스템으로 일반화하였다. [4]에서는 단일 종류의 셀로 이루어진 셀룰라 시스템에서 SIR를 기반으로 하는 호 수락 제어 방법을 제시하고 있다. [5]에서는 2차원 셀룰라 구조 환경에서 가상 클러스터 개념을 이용한 신뢰성 있는 분산 호 수락 제어 기법을 제안하였다.

본 논문은 매크로 셀과 마이크로 셀에서 SIR를 계산하고 이를 이용하여 호 수락 여부를 결정한다. SIR 계산 시 매크로 셀과 마이크로 셀에서의 전력 비를 변화 시키면서 시스템의 성능을 평가한다. 2장에서 계층 구조 셀룰라 시스템의 모델과 SIR를 유도하고 이를 이용하여 호 수락 제어 알고리즘을 설명한다. 3장에서는 호 수락 알고리즘에 대해 언급한다. 4장에서 모의실험에서 사용한 계층 구조 셀룰라 시스템의 환경에 대해 설명하고 모의실험 결과를 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 계층 구조 셀룰라 시스템 및 모델

2.1 계층 구조 셀룰라 시스템

계층 구조 셀룰라 시스템의 동작을 설명하기 위해 그림 1에서 보여 주는 구조를 생각해 하자.

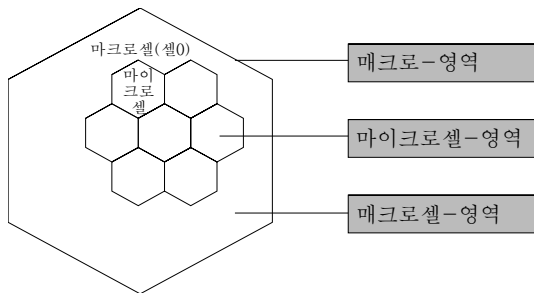


그림 1. 매크로 영역의 구조

계층 구조 셀룰라 시스템은 각각의 매크로 셀에 여러 개의 마이크로 셀로 이루어진다. 그림에서 매크로 셀은 셀 0으로, 마이크로 셀들은 셀 1, 셀 2, ... 으로 표시하였다. 마이크로 셀에 의해서 서비스되는 영역을 마이크로셀-영역이라고 하고, 마이크로셀-영역을 제외한 매크로 셀에 의해서 서비스되는 영역을 매크로셀-영역이라고 한다. 각 매크로 셀에 중첩된 여러 개의 마이크로 셀로 이루어진 영역을 매크로-영역이라고 한다. 따라서 계층 구조 셀룰라 시스템은 여러 개의 마

크로-영역을 서비스할 수 있다.

2.2 신호 대 간섭비 (SIR)

한 기지국에서 수신하게 되는 총 전력은 그 기지국이 있는 셀 내에 존재하는 호의 수와 그 셀의 인접 셀들에 있는 호의 수와 다른 계층의 셀들에 있는 호의 수에 의존한다. 따라서 어떤 셀에서의 SIR은 식 (1)과 같이 된다.

$$SIR_t = \frac{P_t}{I_{intra_cell} - P_t + I_{inter_cell} + I_{inter_layer}} \quad (1)$$

여기서, t 는 매크로 셀 또는 마이크로 셀을 표시하는 셀의 유형을 나타내며, P_t 는 완전한 전력 제어가 이루어진다는 조건 하에서 그 셀 내에 있는 한 호에 의해서 기지국이 수신하는 전력을 나타낸다. I_{intra_cell} 은 한 셀 내에 있는 모든 호에 의해 그 기지국에서 수신되는 총 전력을 나타낸다. I_{inter_cell} 은 그 셀과 인접한 셀에 있는 호에 의해 수신되는 총 전력을 나타내며, I_{inter_layer} 은 다른 계층의 셀에 있는 호에 의해 수신되는 총 전력을 나타낸다.

어떤 기지국에 있는 한 호로부터 그 기지국이 수신하는 전력은 식 (2)와 같이 호와 기지국 사이의 거리에 반비례한다.

$$P_r = AR^{-\alpha} \quad (2)$$

2.3 매크로 셀에서의 SIR

계층 셀룰라 시스템의 매크로 셀에서의 SIR를 계산하면 다음과 같다. 먼저, k 번째 매크로 셀의 기지국이 수신하게 되는 총 수신 전력은 자신의 셀에 있는 호와 이웃 셀에 있는 호로부터 받는 전력으로 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$I(K) = \sum_{h=1}^M \sum_{k=1}^{n_h} I_i(h, k) + \sum_{h=1}^m \sum_{k=1}^{n_h} I_i(h, k) \\ = P_M \cdot n_k + P_M \sum_{h=1}^M \sum_{k=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}} \right)^\alpha + P_m \sum_{h=1}^m \sum_{k=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}} \right)^\alpha \quad (3)$$

여기서, r_{ik} 는 k 번째 매크로 셀의 기지국에서 타 셀(인접 셀 또는 다른 계층의 셀)에 있는 호까지의 거리이다. r_{ih} 은 타 셀(인접 셀 또는 다른 계층의 셀)에 있는 호에서 그 호가 있는 셀의 기지국까지의 거리이다.

$P_M(P_m)$ 은 마크로 셀(마이크로 셀)의 기지국이 자신의 셀에 있는 한 호로부터 수신하는 전력이다. $M(m)$ 은 마크로 셀(마이크로 셀)의 수이며 n_h 는 h 번째 마크로 셀에 있는 호의 수를 나타낸다. 그러면 식 (1)~(3)에 의해 마크로 셀에서의 SIR은 식 (4)처럼 얻을 수 있다.

$$SIR_k = \frac{P_M}{I(k) - P_M} = \frac{1}{n_k - 1 + \sum_{h=1}^M \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha + \frac{P_m}{P_M} \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha} \quad (4)$$

2.4 마이크로 셀에서의 SIR

계층 구조 셀룰라 시스템을 구성하는 마이크로 셀에서도 마크로 셀과 마찬가지로 k 번째 마이크로 셀의 기지국이 수신하게 되는 총 수신 전력은 자신의 셀에 있는 호와 이웃 셀에 있는 호로부터 받는 전력으로 다음 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$I(K) = \sum_{h=1}^M \sum_{i=1}^{n_h} I_i(h, k) + \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^{n_h} I_i(h, k) = P_M \sum_{h=1}^M \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha + P_m \cdot n_k + P_m \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha \quad (5)$$

식 (5)를 식 (1)에 대입하면 마이크로 셀에서의 SIR은 식 (6)처럼 얻을 수 있다.

$$SIR_k = \frac{P_m}{I(k) - P_m} = \frac{1}{\frac{P_M}{P_m} \sum_{h=1}^M \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha + n_k - 1 + \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{r_{ih}}{r_{ik}}\right)^\alpha} \quad (6)$$

III. 호 처리

3.1 호 수락 제어 알고리즘

호 수락 방법은 Liu 방법^[4]을 적용한다. 여기에 그 알고리즘을 간단히 기술하면 다음과 같다.

- 1) k 번째 셀의 기지국에서 SIR_k 를 계산한다.
- 2) 식 (7)과 같이 잔여 용량 (residual capacity) R_k 를 계산한다.

$$R_k = \begin{cases} \left| \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right| & \text{if } \left| \frac{1}{SIR_{TH}} - \frac{1}{SIR_k} \right| > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

3) $R_k > 0$ 이면 신규 호를 수락하고 그 외는 거절한다.

여기서, SIR_{TH} 는 SIR의 문턱값(threshold)이다.

3.2 호의 흐름

전체적인 호 처리 과정은 그림 2와 같다. 마크로셀-영역에서 신규호가 발생하면 그 셀에서의 SIR를 식 (4)에 의해 계산하고, 식 (7)에 의해 서비스를 요청한 호를 수락할 것인지를 결정한다. 수락되지 않으면 마이크로셀-영역에서 발생된 호이면 마이크로셀-영역에서 호 수락여부를 검사한다. 호를 수락할 수 dT으면 그 호는 마이크로셀-영역에서 보류 시간동안 존재하다가 종료된다. 그 호는 차단된다. 마이크로셀-영역에서 신규호가 발생하면 마이크로셀에서의 SIR를 식 (6)에 의해 계산하고, 식 (7)에 의해 서비스 요청 호를 수락할 것인지를 결정한다. 수락되지 않으면 마크로셀-영역에서 수락될 수 있는지 검사하여 마크로셀-영역에서 수락할 수 있으면 마크로셀-영역에서 호를 진행시키고 없으면 그 호는 차단된다. 수락된 호는 보류 시간 동안 존재하다가 종료된다.

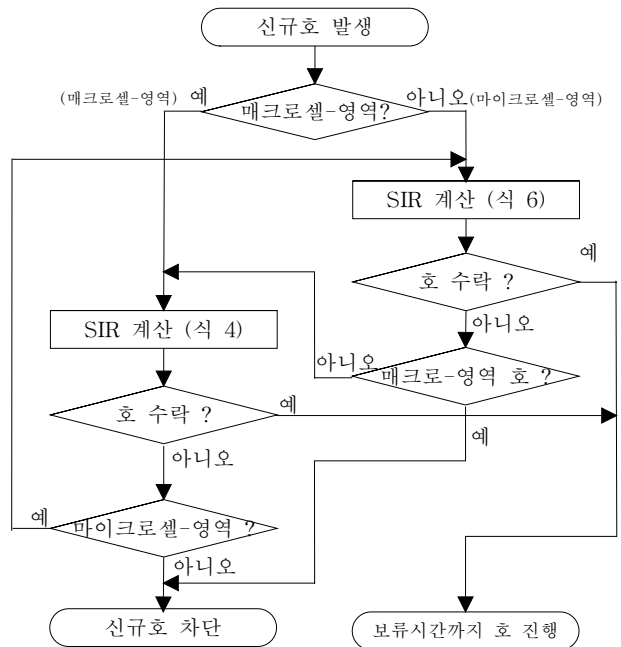


그림 2. 호 처리 흐름도

IV. 모의실험

4.1 환경

모의실험을 위한 계층 구조 셀룰라 시스템의 환경은 19개의 매크로 셀과 중심 매크로 셀에만 7개의 마이크로 셀을 두었다. 즉, 그림 3과 같이 구성되어 있는 계층 구조 셀룰라 시스템 이다.

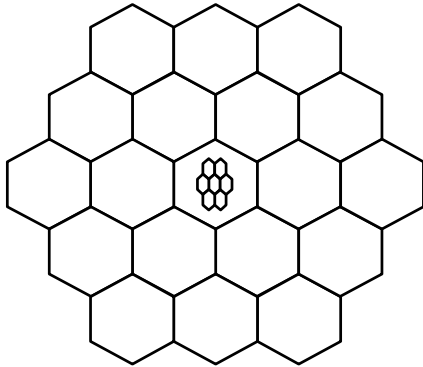


그림 3. 계층 구조 셀룰라 시스템 구조

각 셀에서 호의 발생과 호 지속 시간은 생성-소멸 (birth-death) 프로세스의 이론에 근거하여 다음과 같이 가정한다.

- (1) 셀 k 에서 신규 호의 도착은 평균 호 도착률 λ_k 인 포아송 프로세스를 따른다.
- (2) 한 호의 지속 시간 (holding time)은 부지수 확률 밀도 함수를 가지며 평균이 $1/\mu_k$ 인 랜덤 변수이다.

매크로 셀과 마이크로 셀에서 호의 평균 도착률은 $\lambda_k = 3.817 \cdot 10^{-2} \sim 9.801 \cdot 10^{-2}$ 사이의 값을 사용하였다. 수락된 호가 그 셀에서 머무는 평균 지속 시간은 $1/\mu_k=120$ 초로 하였다. 통신 품질은 $E_b/n_0=10^{-3}$ 으로 기준을 삼았다. 매크로 셀의 대역폭은 1.25MHz로 하였으며 마이크로 셀의 대역폭은 5MHz로 하였다. 데이터 전송율은 9.8kbps로 하였다. 따라서 처리 이득은 매크로 셀에서 21.1dB이고 마이크로 셀에서 27.1dB이다. 이에 따라 매크로 셀에서의 SIR의 threshold는 14.1dB 되고 마이크로 셀에서의 SIR의 threshold는 20.1dB가 된다.

셀의 크기는 매크로 셀의 반지름은 3km, 마이크로 셀의 반지름은 0.6km로 하였으며 중심 매크로 셀의 기지국과 마이크로 셀의 기지국이 같은 위치에 있지 않도록 하였다. 중심 매크로 셀에서의 기지국 배치는 그림 4와 같다.

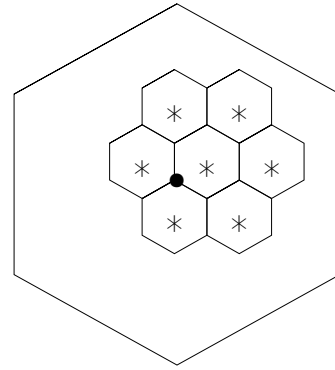


그림 4. 중심 매크로 셀에서의 기지국 배치도

여기서, 검은 점은 매크로 셀 기지국의 위치를 나타내며, 별표는 마이크로 셀의 기지국 위치를 나타낸다.

4.2 실험 결과

호의 도착률을 달리하여 매크로 셀과 마이크로 셀에서의 전력비에 따른 블록킹 확률을 얻었다. 수락된 호는 발생 시점에서 지속 시간 동안 머물다가 해제되며 핸드오버는 고려하지 않았다.

그림 5는 호 도착률이 $3.817 \cdot 10^{-2}$ 일 때의 각 셀에서의 블록킹 확률을 나타내고 있다. 그림에서 중심 매크로 셀은 중심 매크로 셀의 블록킹 확률을 나타내며 인접 매크로 셀은 중심 셀에 인접한 매크로 셀의 블록킹 확률을 나타낸다. 마이크로 셀은 중심 매크로 셀에 있는 마이크로 셀의 블록킹 확률을 나타낸다.

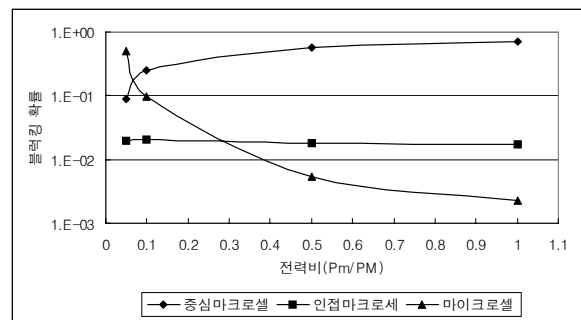


그림 5. 호 도착률이 $3.817 \cdot 10^{-2}$ 일 때의 블록킹 확률

위의 그림에서 알 수 있듯이 전력비가 증가하면 중심 매크로 셀에서의 블록킹 확률도 증가하고 마이크로 셀에서의 블록킹 확률은 감소한다. 전력비가 증가한다는 것은 마이크로 셀에 있는 호의 전력이 매크로 셀에 있는 호의 전력에 가까워짐을 의미하므로 그만큼 마크

로 셀에서는 많은 영향으로 받게 됨으로 블록킹 확률이 증가하고 마이크로 셀에서는 블록킹 확률이 감소한다. 이 두 곡선은 전력비가 0.065 근처에서 서로 교차함을 알 수 있다. 인접 마크로 셀에서의 블록킹 확률은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

그림 6는 호 도착률이 $6.809 \cdot 10^{-2}$ 일때의 각 셀에서의 블록킹 확률을 보이고 있다. 그림 5와 비슷한 경향을 보이고 있다. 단지 호 도착률이 증가함에 따라 전체적으로 블록킹 확률이 증가하였음을 알 수 있다. 마크로셀에서의 블록킹 확률이 증가한 반면 마이크로셀에서의 블록킹 확률은 감소하였다.

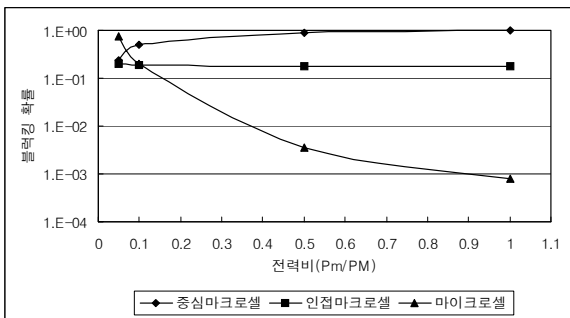


그림 6. 호 도착률이 $6.809 \cdot 10^{-2}$ 일때의 블록킹 확률

그림 7는 호 도착률이 $9.801 \cdot 10^{-2}$ 일때의 각 셀에서의 블록킹 확률을 보이고 있다. 그림 6과 비슷한 경향을 보이고 있다.

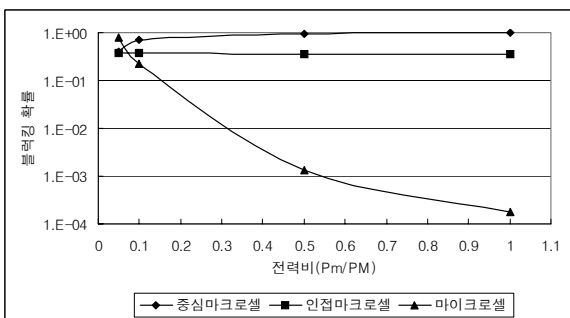


그림 7. 호 도착률이 $9.801 \cdot 10^{-2}$ 일때의 블록킹 확률

이상의 결과로부터 마이크로 셀이 존재하지 않는 인접 마크로 셀에서는 전력비가 변화하여도 블록킹 확률은 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 마이크로 셀이 존재하지 않아 그에 대한 영향을 받지 않기 때문이다. 마크로 셀과 마이크로 셀이 공존하는 곳에서는 전력비가 증가 (즉, 마이크로 셀에서 전력이 증가) 함에 따라 마크로 셀에서는 블록킹 확률이 증가하고 마

이크로 셀에서는 감소하며 전력비가 0.065 근처에서 서로 교차함을 알 수 있다.

그림 8은 전력비가 0.065일 때 호 도착률에 따른 블록킹 확률을 살펴 본 것이다. 호의 도착률이 증가할수록 블록킹 확률은 증가함을 알 수 있으며 중심 마크로 셀에서의 블록킹 확률과 마이크로 셀에서의 블록킹 확률은 거의 겹치는 것을 볼 수 있다. 이것은 앞의 실험 결과로부터 중심 마크로 셀에서의 블록킹 확률 곡선과 마이크로 셀에서의 블록킹 확률의 곡선이 교차하는 곳에서의 전력비를 이용하였기 때문이다.

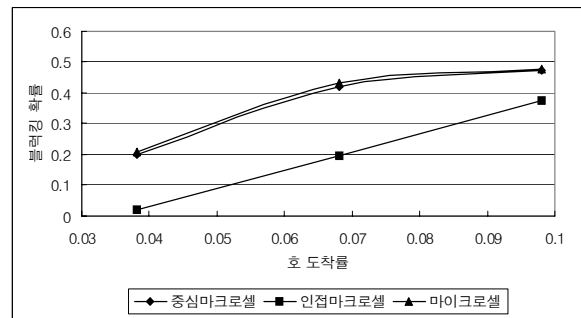


그림 8. 전력비가 0.065일 때 호 도착률에 따른 블록킹 확률

V. 결 론

계층 구조 셀룰라 시스템에서 마크로셀과 마이크로 셀에서 SIR을 계산하는 방법을 알아보고 SIR을 이용한 호 수락 제어알고리즘에 대해 알아보았다. SIR를 계산하기 위해 필요한 마크로 셀과 마이크로 셀의 기지국이 수신하는 한 호의 전력비를 변화시켜 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과에서 전력비를 유추하였고 계층 구조 셀룰라 시스템에서 유추한 전력비로 이용하여 호 도착률에 따른 시스템의 블록킹 확률을 얻었다.

향후 연구 방향으로 핸드오버를 고려한 호 처리 알고리즘, 다양한 종류의 트래픽에 있을 때의 호 처리 알고리즘 등을 들 수 있다.

참고문헌

- [1] S. S. Rappaport, L. Hu, Microcellular Communication Systems with Hierarchical Macrocell Overlays: Traffic Performance Models and Analysis, Proc. IEEE, v. 82, n. 9, pp.

1383-1397, Sep. 1994.

- [2] Beraldi, S. marano, C. Mastroianni, A Reversible Hierarchical Scheme for Microcellular Systems with Overlaying Macrocells, Proc. INFOCOM'96, pp. 51-58, San Francisco, Mar. 1996.
- [3] A Hierarchical Network Scheme for Multilayered Cellular Systems S. Marano, C. Mastroianni, VTC'97, pp 1792-1796, 1997
- [4] Zhao Liu and Magda El Zarki, SIR-Based Call Admission Control for DS-CDMA Cellular Systems, IEEE Journal on Selected Areas in comm., v10. 12, no. 4, May 1994.
- [8] 정일구, 황의석, 이형우, 조충호, “마이크로 셀 환경에서 멀티미디어 서비스를 위한 분산 호 수락 제어 기법,” 정보처리학회논문지 C, v.9 no.6, pp.927-934, 2002.