

중첩구조 셀룰라 시스템에서의 채널관리 개선 방안

정회원 김덕년*, 이청희**

An Improved Channel Management Technique in the Hierarchical Cellular Radio Systems

Doug Nyun Kim*, Chung Hee Lee** *Regular Members*

요 약

Yeung은 중첩구조 셀룰라 시스템에서 사용자의 mobility model에 적합한 효과적인 채널관리 방안을 제시하였다^[10]. 이 방안은 기존의 중첩구조 셀룰라 시스템의 채널할당방식을 개선하여 사용자의 mobility를 추가로 고려하였으며 사용자를 저속사용자와 고속 사용자로 구분하여 각각 마이크로, 매크로셀에 호를 할당하는 방법이다. 본 논문에서는 Yeung의 시스템을 개선한 방식을 제안하여 Yeung의 시스템과 기존 시스템과의 성능을 비교해 보았다. 블로킹 확률을 비교하기 위해 큐잉모델 분석을 하였고, 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다. 그 결과 본 논문에서 제시한 방법이 좀 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Yeung suggested[10] efficient channel management technique suitable for the mobility model in the hierachical cellular system. It improved the existing channel allocation techniques by additionally considering the user's mobility, allocating the channel of microcell to low-speed mobiles, and the channels of macrocell to high-speed mobiles. In this paper, we have suggested new channel management technique, which is directly compared with those of Yeung's system and existing model. Blocking probabilities for each model are found through the queuing analysis and we have shown that our proposed system outperforms the both.

I. 서론

현재 셀룰라 시스템은 용량 면에서 한계를 보이고 있다. 통화량이 급증함에 따라 제한된 스펙트럼을 가지고는 양질의 QoS(Quality of Service)를 제공하기가 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 제한된 스펙트럼으로 기존의 셀룰라 시스템의 서비스를 개선할 수 있는 방안이 여러 각도에서 연구되고 있다. 예를 들어 cell splitting, cell sectoring, cell overlaying 같은 주파수를 재사용하는 방법과, 셀간 트래픽밀도의 차이를 보상하기 위해 인근셀로부터

채널차입을 하는 channel borrowing 방법 등이 있다. Cell splitting 방법은 셀을 쪼개는 방법으로서 많은 hot-spot cell이 있을 때 효과적이기는 하나 비용이 많이 드는 단점이 있다^{[1][2]}. Cell sectoring 방법은 셀을 sector로 나누는 방법으로서 상업용으로 사용중이며, 채널재사용이 증가하지만 sector사이에도 핸드오버를 고려해야 하는 단점이 있다^[3]. Cell overlaying 방법은 현실적으로 많은 논문에서 연구되는 방법으로서, 부가적인 핸드오버가 필요하다^[4]. Channel borrowing 방법은 이웃셀의 트래픽이 적을 때 이웃셀에서 채널을 빌려오는 방법으로서 비용이 적게 소요되나 셀간의 간섭을 많이 고려해야 한다

* 명지대학교 전자정보통신공학부 부교수(dnkim@wh.myongji.ac.kr)

** 명지대학교 정보통신공학과(chung@ice.myongji.ac.kr)

논문번호 : 99208-0528 접수일자 : 1999년 5월 28일

※ 본 결과는 정보통신부의 정보통신 우수시범학교 지원사업에 의하여 수행된 것입니다.

[5][6]. 그리고 전통적으로 중첩셀구조를 도입하여 이동체의 속도에 따라 발생하는 빈번한 핸드오버를 줄임으로서 주파수자원의 활용도를 높이고 제어신호의 낭비를 줄이려는 시도가 많이 연구되어 왔다 [7][10]. 대표적으로 마이크로 셀, 매크로 셀 그리고 메가(위성)셀로 구성되는 계층구조 셀룰라 시스템에서 통화량이 적은 영역에서는 매크로 셀만을 설치하고, 통화량이 밀집된 영역에서는 매크로셀과 마이크로셀을 같이 설치하며, 통화량이 넓게 산재되어 있는 영역에는 위성 셀만을 설치하여 서비스를 제공하는 방법과[8], 사용자의 속도를 기준으로 해서 저속사용자는 마이크로셀에 채널을 할당하고, 고속사용자는 매크로셀에 호를 할당하는 방법등이 있다 [9][10]. 이 중에서 Yeung은 그림 1과 같이 육각형셀 구조를 가진 중첩셀 구조를 바탕으로 하는 시스템을 제안한 바 있다[10].

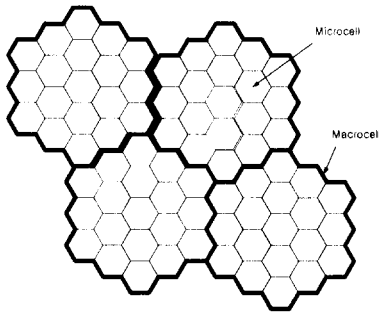


그림 1. 중첩구조셀

중첩셀구조는 하나의 매크로셀이 여러개의 마이크로셀을 포함하고 있는 구조이다. 매크로셀은 고속도로나 큰 도로의 트래픽 등 고속사용자에 주로 사용되는 반면에, 마이크로셀은 도시 중심가의 트래픽이 밀집된 지역 등 저속사용자에 주로 사용된다. 지금까지 알려진 중첩셀구조 시스템의 채널관리기법중에서 이동체의 속도를 직접적으로 고려하지 않고 제안된 방안은 크게 두가지 측면에서 연구되어 왔다.

- 모든 새로운 호는 처음에 마이크로셀에 할당된다. 만약 마이크로셀에 가용채널이 있으면 계속 서비스 되고, 없으면 매크로셀로 핸드오버 된다. 매크로셀에 가용채널이 없으면 호는 블록킹된다 [7]. 이 방안은 사용자의 속도에 의한 빈번한 핸드오버정도를 고려하지 않음으로서 제어비용의 증가를 가져오게 되며 채널관리 측면에서 비효율적이다. 앞으로 이 시스템을 G시스템이라 정

의하겠다.

- 모든 새로운 호는 처음에 마이크로셀에 할당된다. 핸드오버호 발생시까지의 사용자의 채널점유 시간 이 시스템에 미리 정의된 값 (τ)보다 크면 호는 이웃 마이크로셀에 핸드오버되고, 작으면 호는 매크로셀로 핸드오버된다. 이 방안은 저속 사용자가 핸드오버지역 가까운 곳에서 새로운 호를 발생하게 될 때 매크로셀로 잘못 할당될 경우가 생길 수 있다는 것이 단점이다[9].

Yeung은 중첩구조 셀룰라 시스템에서 사용자의 mobility model에 적합한 효과적인 채널관리 방안을 제안함으로써 위에서 제시된 잘못된 할당문제와 비효율적인 채널관리측면에 대해 개선할 수 있음을 제시하였다[10]. 이 방안은 호를 저속사용자와 고속사용자로 구분하여 각각을 마이크로셀과 매크로셀에 할당하여서 잦은 핸드오버로 인한 채널자원의 낭비를 줄임으로서 채널을 효과적으로 관리할 수 있고, mobility model을 이용하여 사용자의 평균 속도 (V)를 이용하기 때문에 잘못된 할당문제를 해결할 수 있다. 그러나 Yeung은 마이크로셀과 매크로셀간의 상호핸드오버는 없다고 가정하였다. 앞으로 Yeung의 시스템을 Y시스템이라 정의하겠다. 본 논문에서 제안한 시스템은 Y시스템의 알고리즘을 바탕으로 하되, 매크로셀과 마이크로셀간의 상호핸드오버는 없다고 가정한 Y시스템을 개선하여, 마이크로셀에서 블록킹되면 매크로셀로 핸드오버됨을 가능하게 설정하였다. 매크로셀에서 마이크로셀로의 핸드오버는 가정하지 않았다.그리고 이를 Y시스템에서 접근했던 방법과 다른, 새로운 방법을 사용하여 분석하였고, 같은 조건하에서 본 논문의 시스템이 Y시스템과 G시스템보다 성능면에서 우수함을 보여주었다. II장에서는 Y시스템과 mobility model을 구현하는 방법에 대해 알아보았고, III장에서는 큐잉 모델을 사용하여 본 논문에서 제안한 시스템을 구현하였다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 결과를 그래프로 나타내었다.

II. Yeung의 시스템

1. 개요

Y의 시스템은 트래픽밀도가 변하는 곳에서 제한된 스펙트럼으로 상황에 따라 능동적으로 대처할 수 있도록 제안된 시스템이다. 이 방안은 호를 고속사용자와 저속사용자로 구분하여, 새로운 호 신청시

고속 사용자는 매크로셀에 할당되게 하였고 저속 사용자는 마이크로셀에 할당되게 하였다. 고속 사용자와 저속 사용자를 구분하기 위하여 mobility model을 제안하였고 임계값(V_0)과 비교하였다. V_0 라고 표기하는 이 임계값은 시스템에 미리 설정되어 있는 값으로서 이 값과 mobility model에서 알 수 있는 사용자의 평균 스피드(V)를 비교하여, $V_0 > V$ 이면 저속사용자로 간주하여 호를 마이크로셀에 할당하였고, $V_0 < V$ 이면 고속사용자로 간주하여 호를 매크로셀에 할당하였다. V_0 는 실시간에서 유동적으로 변할 수 있으며, 트래픽이 적을 때는 V_0 를 낮게 설정하여 결과적으로 호를 주로 매크로셀로 할당하여 핸드오버를 적게 하고, 트래픽이 늘어나면 V_0 을 높게 설정하여 호를 주로 마이크로셀로 할당함으로써 QoS(Quality of Service)를 높일 수 있다.

2. Mobility model 구현방법

Y 의 시스템에서는 저속사용자와 고속 사용자를 구별하기 위하여 V_0 와 사용자의 평균 스피드 V 를 비교하였다. V 를 구하기 위하여 제시된 mobility model분석은 사용자의 지금까지의 호 사용시간, 핸드오버 횟수등의 자료를 바탕으로 하며, 이를 위해 다음과 같은 가정을 하였다¹⁰⁾.

- 셀은 반지름 R 을 가진 원이다.
- 이동체는 시스템에서 고르게 분포하고 있다.
- 이동체의 운동방향은 $[0, 2\pi)$ 에서 uniform 분포를 가지고 일직선상으로 움직인다.

1) 초기셀에서의 체류시간

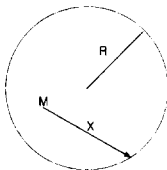


그림 2. 초기셀의 체류시간 모형

그림2는 새로운 호가 발생한 셀에서의 mobility model을 분석하기 위한 모델로서, M 은 호가 시작된 지점을 나타내고 X 는 사용자가 움직인 거리를 나타낸다. 사용자는 셀내의 임의의 지점에서 $[0, 2\pi)$ 사이에 uniform 분포를 가진 임의의 방향으로 움직인다고 가정하고, 사용자의 스피드 V 의 확률밀도 함수를 $f(v)$ 라고 가정하면 이 셀에서의 사용자의

체류시간 T_X 의 분포는 다음과 같다.

$$f_{T_X}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |v| f_X(tv) f(v) dv$$

$$= \int_0^{2R/t} \frac{2v}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - (\frac{tv}{2})^2} f(v) dv \quad \text{for } t \geq 0$$

$$F_{T_X}(t) = \int_0^t f_{T_X}(s) ds$$

$$= \int_0^t \int_0^{2R/s} \frac{2v}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - (\frac{sv}{2})^2} f(v) dv ds \quad \text{for } t \geq 0$$

위 식은 먼저 사용자가 움직인 거리 X 의 확률밀도 함수를 구하여 $f(v)$ 와 Jacobian 함수를 이용하여 시간에 관한 확률밀도 함수 $f_{T_X}(t)$ 로 변환한 것으로서, $f_X(tv)$ 는 변환하는 과정에서 생기는 파라미터이다.

2) 진행중인 셀에서의 체류시간

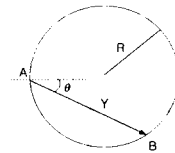


그림 3. 진행셀의 체류시간 모형

그림 3에서 사용자는 A점을 거쳐서 인근셀로부터 핸드오버하여 현 진행셀에서 Y방향으로 따라 움직이며 B에서 다시 인근셀로 핸드오버된다고 하면, A점에서 사용자가 움직이는 방향은 $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 에서 nonuniform 분포를 취하고, θ 는 사용자가 진행하는 방향과 원점과의 이루는 각도를 나타낸다. 진행셀에서 사용자의 체류시간 T_Y 의 분포는 사용자 속도 V 의 PDF인 $f_V(v)$ 를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{T_Y}(t) = \int_0^{\infty} v f_Y(tv) f_V(v) dv$$

$$= \int_0^{\infty} \frac{v^2 t}{2R \sqrt{4R^2 - (tv)^2}} \frac{v f(v)}{E[V]} dv$$

$$= \frac{1}{2RE[E[V]]} \int_0^{2R/t} \frac{v^3 t}{\sqrt{4R^2 - (tv)^2}} f(v) dv \quad \text{for } t \geq 0$$

$$F_{T_Y}(t) = \int_0^t \int_0^{2R/s} \frac{v^3 s}{\sqrt{4R^2 - (sv)^2}} f_V(v) dv ds \quad \text{for } t \geq 0$$

위 식도 1)에서와 마찬가지로 θ 를 이용하여 사용자가 움직인 거리 Y 의 확률밀도 함수 $f_Y(y)$ 를 먼저 구하여 $f(v)$ 와 Jacobian 함수를 이용하여 시간에 관한 확률밀도 함수 $f_{T_Y}(t)$ 로 변환한 것이다. $f(v)$ 는

셀내에서의 속력에 관한 확률밀도함수이고, $f^*(v)$ 는 사용자가 셀경계면을 지날때의 속력에 관한 확률밀도함수로서 관계는 다음과 같다^[10].

$$f^*(v) = \frac{v f(v)}{E[V]}$$

III. 본 논문에서 제안한 시스템의 수학적 모델구현 및 분석

Y의 시스템은 마이크로셀에서 서비스 받는 호가 셀간 경계면에서 핸드오버에 실패할 경우 매크로셀로 핸드오버되지 않고 마이크로셀에서 블록킹된다고 가정하였다. 하지만, 본 논문에서는 마이크로셀에서 호가 블록킹되는 경우 매크로셀로 핸드오버됨을 가능하게 하여 Y의 시스템보다 더 좋은 성능을 가진 시스템을 보이코자 하는 것이다. 매크로셀에서 마이크로셀로의 핸드오버는 가정하지 않았다. 이를 분석하기 위하여 다음과 같이 정의하였다.

- 하나의 매크로셀안에 c개의 마이크로셀이 있는 중첩구조이다.
- 매크로셀의 모든 영역은 마이크로셀로 분할되어 있다.
- 매크로셀은 크기가 커서 핸드오버는 일어나지 않는다.

1. 큐잉 모델

일반적으로 중첩셀구조의 큐잉모델은 매크로셀과 마이크로셀의 사용중인 채널을 시스템상태로 정의하여 2차원모델에서 상태전이를 이용한 접근방식이 알려져 있다. 여기에서는 일단 매크로셀에 할당된 호는 마이크로셀에 영향을 주지 않으므로 두셀의 상태전이를 분리하여 고려한다.

1) 매크로셀의 경우

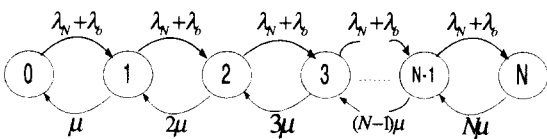


그림 4. 매크로셀의 큐잉모델

그림 4와 같이 매크로셀 트래픽의 경우 매크로셀에 할당된 새로운 호(λ_n)와 마이크로셀에서 블록킹되어 매크로셀로 핸드오버된 호(λ_o)가 있다. λ_n, λ_o

는 Poisson distribution 특성을 갖고, μ 는 exponential distribution 특성을 갖는다. 매크로셀 채널의 개수는 N개이고 가드채널은 없다고 가정하였다.

$\rho_N = \frac{\lambda_N}{\mu}, \rho_o = \frac{\lambda_o}{\mu}$ 라고 할 때 매크로셀의 시스템상태 확률 ($P_{Mi}, i=1,2,3,\dots$) 관계식은 다음과 같다.

$$P_{Mi} = P_{MO} \frac{(\rho_N + \rho_o)^i}{i!} \tag{1}$$

$$P_{MO} = \left[\sum_{i=0}^N \frac{(\rho_N + \rho_o)^i}{i!} \right]^{-1} \tag{2}$$

매크로셀에서 새로 발생한 호 ρ_n 의 블록킹 확률을 P_{B1} , 마이크로셀에서 매크로셀로 핸드오버된 호 ρ_o 의 블록킹확률을 P_{B2} 라 할 때 P_{B1}, P_{B2} 는 다음과 같다.

$$P_{B1} = P_{MN} = P_{MO} \frac{(\rho_N + \rho_o)^N}{N!} \tag{3}$$

$$P_{B2} = P_{MN} = P_{B1} \tag{4}$$

2) 마이크로셀의 경우

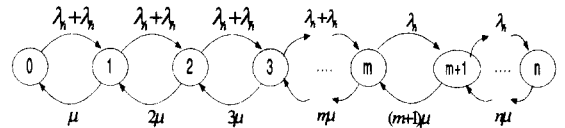


그림 5. 마이크로셀의 큐잉모델

그림 5와 같이 마이크로셀 트래픽의 경우는 마이크로셀에 할당된 새로운 호(λ_n)와 이웃셀에서 온 핸드오버호 (λ_h)가 있다. 마이크로셀 채널의 개수는 n개이고, (n-m)개의 가드채널을 두어 핸드오버호만 약제스가 가능하도록 가정하였다. 여기서도 λ_n, λ_h 는 Poisson distribution 특성을 갖고 μ 는 exponential distribution 특성을 갖는다.

$\frac{\lambda_n}{\mu} = \rho_n, \frac{\lambda_h}{\mu} = \rho_h$ 라 할 때 마이크로셀에서의 시스템 상태확률 ($P_{mj}, j=1,2,3,\dots$) 관계식은 다음과 같다.

$$P_{mj} = \begin{cases} \frac{P_{mo}(\rho_n + \rho_h)^j}{j!} & j \leq m \\ \frac{P_{mo}(\rho_n + \rho_h)^m \rho_h^{j-m}}{j!} & m < j \leq n \end{cases} \tag{5}$$

$$P_{m0} = \left[\sum_{j=0}^m \frac{(\rho_n + \rho_h)^j}{j!} + \sum_{j=m+1}^{\infty} \frac{(\rho_n + \rho_h)^m \rho_h^{j-m}}{j!} \right]^{-1} \quad (6)$$

마이크로셀내에서의 새로운 호의 블록킹확률을 P_{mb1} 이라하고, 핸드오버호 블록킹 확률을 P_{mb2} 라 할 때 P_{mb1}, P_{mb2} 는 다음과 같다.

$$P_{mb1} = \sum_{m=0}^{\infty} P_{m1} \quad (7)$$

$$P_{mb2} = P_{m2} \quad (8)$$

마이크로셀에서 새로운 호가 핸드오버를 요청할 확률을 P_{h1} , 진행중인 호가 핸드오버를 요청할 확률을 P_{h2} 라 한다면

$$P_{h1} = P(t_d > t_{m1}) = \int_0^{\infty} \int_0^{2R/t} \frac{2v}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{tv}{2}\right)^2} f(v) \int_0^{\infty} \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} dt dv dt \quad (9)$$

$$P_{h2} = P(t_d > t_{m2}) = \int_0^{\infty} \frac{1}{2RE[V]} \int_0^{2R/t} \frac{v^3 t}{\sqrt{4R^2 - (tv)^2}} f(v) \int_0^{\infty} \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} dt dv dt \quad (10)$$

이다. 위식에서 t_d 는 call duration time으로서 평균 값 T_m 을 갖는 exponential distribution 이고 t_{m1}, t_{m2} 는 각각 초기셀과 진행셀에서의 cell sojourn time으로서 이의 확률밀도함수는 위에서 제시한 $f_{T_1}(t), f_{T_2}(t)$ 와 같다.

마이크로셀에서 호가 블록킹되면 마크로셀로 핸드오버된다. 이 경우의 트래픽밀도를 ρ_o 라고 할 때 ρ_o 는 다음과 같은 트래픽으로 구성된다.

$$\rho_o = (\rho_{o1} + \rho_{o2} + \rho_{o3}) * c$$

c 는 하나의 마크로셀이 포함하는 마이크로셀의 갯수이다. 여기에서

ρ_{o1} : 마이크로셀에 새로운 호가 할당될 때 그 셀에 가용한 채널이 없어 마크로셀로 핸드 오버되는 트래픽.

ρ_{o2} : 새로운 호가 시작된 초기셀에서 이웃셀로 핸드오버를 요청할 때 이웃셀에 가용한 채널이 없어 마크로셀로 핸드오버되는 트래픽.

ρ_{o3} : 진행중인 셀에서 핸드오버를 요청할 때 이웃셀에 가용한 채널이 없어 마크로셀로 핸드 오버되는 트래픽의 평균값.

$$\rho_{o1} = \rho_n \cdot P_{mb1}$$

$$\rho_{o2} = \rho_n \cdot P_{h1} \cdot P_{mb2}$$

$$\rho_{o3} = \rho_n \frac{(1 - P_{mb1})(1 - P_{mb2})P_{h1}}{(1 - P_{h2} + P_{h2}P_{mb2})} \quad (11)$$

이다. 마이크로셀에 할당된 새로운 호가 완전히 블록킹될 확률을 P_{b1} 이라 하고 핸드오버호가 완전히 블록킹될 확률을 P_{b2} 라 할 때 각각은 먼저 마이크로셀에서 블록킹된 후 마크로셀계층으로 핸드오버되어 마크로셀에서 다시 블록킹될 경우이므로 다음과 같다.

$$P_{b1} = P_{mb1} P_{b2} = P_{mb1} P_{B1} \quad (12)$$

$$P_{b2} = P_{mb2} P_{b2} = P_{mb2} P_{B1} \quad (13)$$

2. 전체 시스템에서 호의 평균 블록킹 확률 (mean P_B) 구하는 과정.

본 논문에서는 전체 시스템에서의 새로운 호의 평균 블록킹확률 (mean P_{BN})과 핸드오버호의 블록킹확률 (mean P_{BH})을 구하여 같은 조건하에서 Y시스템과 시스템에서의 mean P_{BN} , mean P_{BH} 와 비교하였다. G시스템의 특징은 일단 모든 새로운 호는 마이크로셀에 할당되고, 마이크로셀에 가용한 채널이 없을 경우 마크로셀에 할당되는 시스템으로서 사용자의 속도를 고려하지 않았기 때문에 채널관리 측면에서 비효율적이라고 볼 수 있다. 본 논문의 시스템뿐만 아니라 Y 시스템과 G시스템의 경우에서도 핸드오버호는 마크로셀에서는 발생하지 않고 마이크로셀에서만 일어난다고 가정하였다. 그리고, 마이크로셀에서 진행중이던 호가 블록킹되어 마크로셀로 overflow되기까지를 핸드오버호로 가정하였다. 평균 블록킹확률 (mean P_B)을 구하는 과정을 다음과 같이 제시하였다.

1) 시스템의 총트래픽밀도를 ρ 라고 할 때 제시된 $f(v)$ 에 의해 마크로셀의 새로운호 트래픽밀도 (ρ_n)와 하나의 마이크로셀의 새로운 호 트래픽 밀도 (ρ_m)는 다음과 같이 구해진다. c 는 하나의 마크로셀에 포함된 마이크로셀의 개수이다.

$$\rho_N = \rho \int_{V_0}^{\infty} f(v) dv \quad (14)$$

$$\rho_n = \frac{\rho - \rho_N}{c} \quad (15)$$

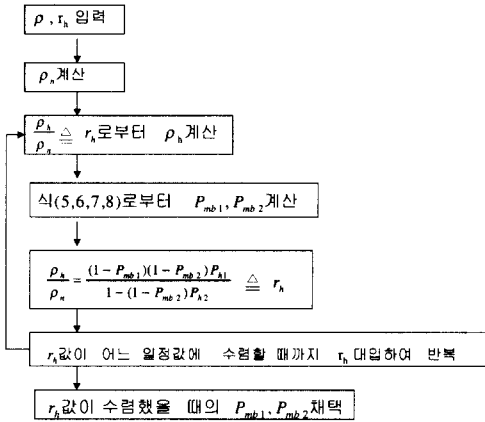
2) 마이크로셀에서의 핸드오버호 트래픽밀도 ρ_h 는 순환방식을 이용하여 구한다^[13]. 이 과정에서 P_{mb1}, P_{mb2} 가 구해진다. 순환방식은 다음과 같다.

3) 식(11)을 이용하여 ρ_0 를 구하고 $P_{b1}, P_{b2}, P_{E1}, P_{E2}$ 를 구한다.

4) $mean P_{BN}, mean P_{BH}$ 는 다음과 같다.

$$mean P_{BN} = \frac{\rho_n \cdot c}{\rho} P_{b1} + \frac{\rho_N}{\rho} P_{E1} \quad (16)$$

$$mean P_{BH} = P_{mb2} P_{E2} = P_{mb2} P_{E1} \quad (17)$$



3. 시스템의 임계값 V_0 구하는 과정

하나의 마이크로셀의 새로운 호의 트래픽밀도 (ρ_n)와 하나의 매크로셀의 새로운 호의 트래픽밀도 (ρ_h)를 구하기 위해서는 이 시스템에 설정된 속도의 임계값(V_0)을 먼저 결정하여야 한다. Y의 시스템에서는 $f(v)$ 와 전체 트래픽밀도(Λ)를 이용하여 결정하였다. $f(v)$ 는 그림(6)에서 주어진 것과 동일하고 V_0 는 다음과 같이 구할 수 있다^[10]. 여기서 ρ_{m0} 는 매크로셀의 블로킹확률이 0.02가 될 때의 트래픽 밀도값으로서 이 값을 기준으로 V_0 를 유동적으로 변화시켰다.

$$V_0 = \begin{cases} 0 & \Lambda \leq \rho_{m0} \\ 10\sqrt{2(1 - \frac{\rho_{m0}}{\Lambda})} & \rho_{m0} < \Lambda < 2\rho_{m0} \\ 20 - 10\sqrt{\frac{2\rho_{m0}}{\Lambda}} & \Lambda > 2\rho_{m0} \end{cases}$$

하지만 위 방법은 매크로셀 채널의 개수를 달리 할 때마다 V_0 에 관한 식을 다시 계산해야 하므로, 본 논문에서는 새로운 방법을 제안하고자 한다. $f(v)$ 에 따라 V_0 를 1부터 20까지 0.3씩 증가시키면서 그때마다 각각 $mean P_{BN}, mean P_{BH}$ 를 구하고, 그중 $mean P_{BN}, mean P_{BH}$ 이 가장 최소일 때의 V_0 값을 취하도록 하였다. 이 방법은 $f(v)$ 와 매크로셀 채널의 개수에 따라 식을 다시 계산하지 않아도 되기 때문에 다양한 환경하에서도 쉽게 임계값을 설정할 수 있다.

IV. 분석 및 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 구하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 하나의 매크로셀은 4개의 마이크로셀로 구성되어 있고 하나의 마이크로셀의 채널의 개수는 5개이다. 마이크로셀의 지름(R)은 200m 이고, 매크로셀의 지름은 2km이다
- $f(v)$ 는 그림(6)과 같은 삼각형구조와, 그림(7)과 같은 Truncated Gaussian구조를 취하여 각각의 경우의 $mean P_{BN}, mean P_{BH}$ 값을 비교해 본다.
- 매크로셀 채널의 개수가 15, 25 일 때의 각각의 $mean P_{BN}, mean P_{BH}$ 를 구한다.

Truncated Gaussian구조의 $f(v)$ (그림 7)는 다음과 같이 표현할 수 있다^[14].

$$k \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx = 1$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{a} z^a e^{-z^2} [1 + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{z^i}{(a+1)\dots(a+i)}]}$$

(18)

$$f_v(v) = \begin{cases} k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(v-m)^2}{2\sigma^2}} & v \geq 0 \\ 0 & v < 0 \end{cases} \quad (19)$$

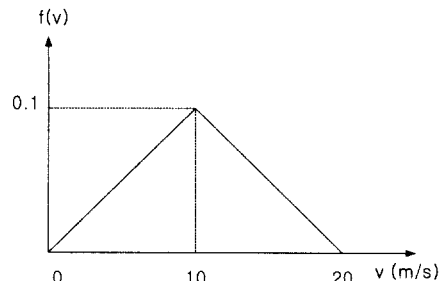


그림 6. 삼각형구조의 트래픽모델

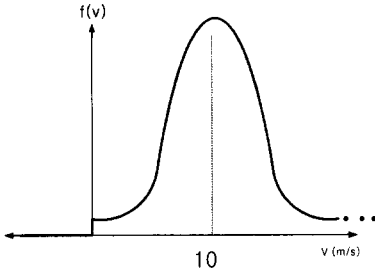


그림 7. Truncated Gaussian구조의 트래픽 모델

다음은 결과 그래프이다. 그림 (8), (9) 는 삼각형 구조(그림 (6))의 $f(v)$ 를 취했을 때의 $meanP_{BN}$ 이고, 그림 (10),(11)은 이 경우의 $meanP_{BH}$ 이다.

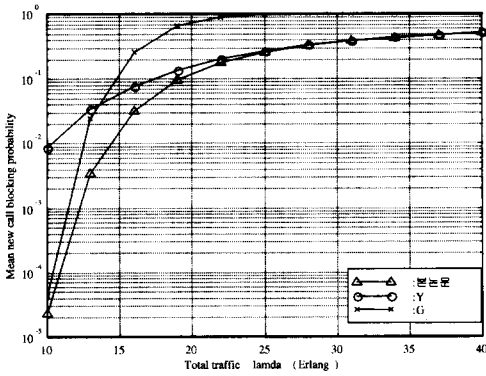


그림 8. 마크로셀 채널의 개수 15

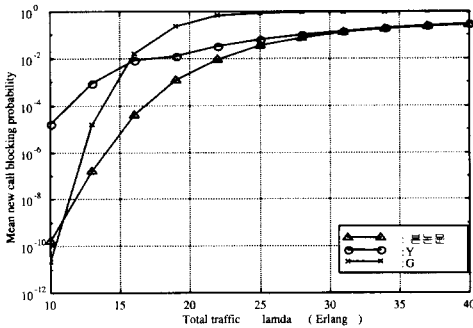


그림 9. 마크로셀 채널의 개수 25

그림 (8),(9),(10),(11)은 마크로셀의 개수가 각각 15, 25 일 때의 블록킹확률 ($mean P_{BN}$, $mean P_{BH}$) 을 나타내었다. 그래프에서 보면 알 수 있듯이 논문에서 제안한 시스템의 블록킹확률이 Y의 시스템과 G 시스템의 블록킹확률보다 좀 더 낮음을 알 수 있었다. 그리고 총 트래픽밀도가 증가할수록 블록킹 확률이 높아지고 마크로셀 채널의 개수가 늘어날수록 낮아짐도 알 수 있었다.

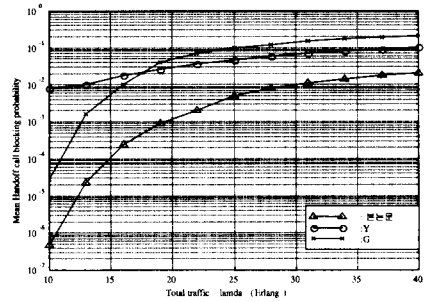


그림 10. 마크로셀 채널의 개수 15

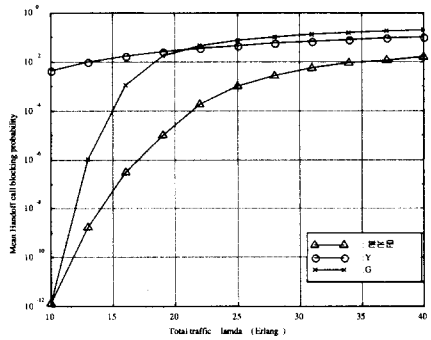


그림 11. 마크로셀 채널의 개수 25

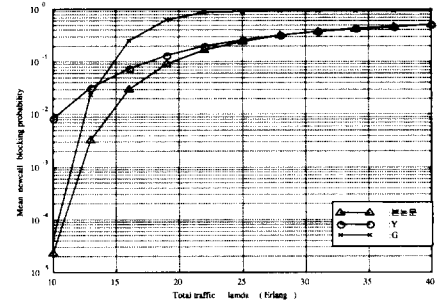


그림 12. 마크로셀 채널의 개수 15

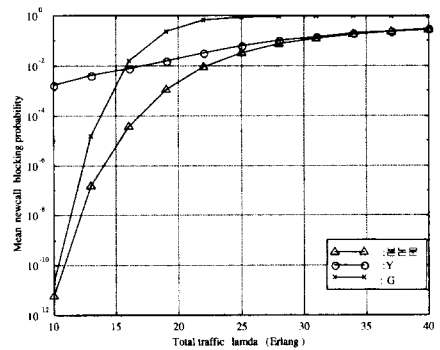


그림 13. 마크로셀 채널의 개수 25

다음은 그림 7과 같은 Truncated Gaussian 구조의 $f(v)$ 를 취했을 때의 결과 그래프이다. 그림 (12), (13)은 마크로셀 채널의 개수가 각각 15, 25일 때의 $mean P_{BH}$ 이고, 그림(14), (15)는 이 경우의 $mean P_{BH}$ 이다. 이 경우에서도 본 논문에서 제안한 시스템의 블로킹 확률이 Y의 시스템과, G 시스템의 블로킹 확률보다 좀 더 낮음을 알 수 있다

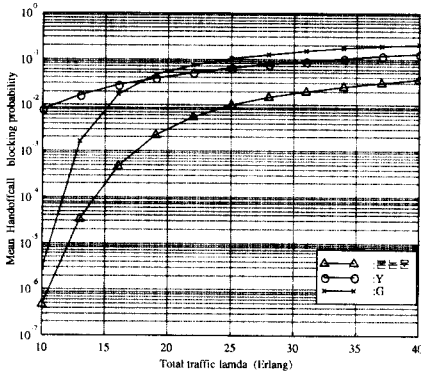


그림 14. 마크로셀 채널의 개수 15

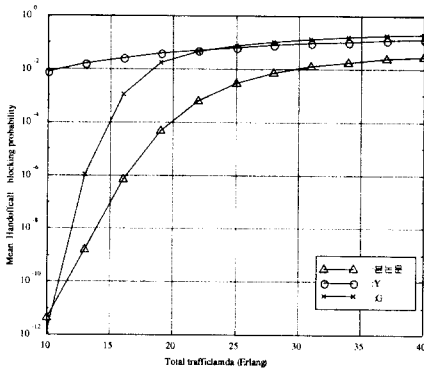


그림 15. 마크로셀 채널의 개수 25

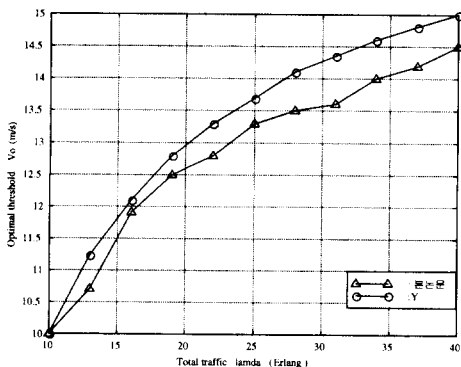


그림 16. 임계값 V_0

그림 (16)은 임계값 V_0 를 비교한 그래프이다. 본 논문에서는 V_0 를 0에서부터 20까지 0.3씩 증가시키면서 그때마다 평균블로킹확률 $mean P_B$ 를 구하여 $mean P_B$ 가 가장 작을때의 임계값을 채택하는 방식을 사용하였다. 마크로셀의 개수를 10으로 했을 때 Y시스템과 본 논문의 시스템 방식을 비교해 본 결과 큰 차이는 없는 것을 볼 수 있었다. 트래픽 밀도가 증가할수록 임계값 또한 증가되어 결과적으로 호가 마이크로셀에 많이 할당되어진다는 것을 알 수 있었다.

V. 결론

Y의 시스템은 마크로셀, 마이크로셀로 구성된 계층구조 셀룰라 시스템에서 mobility model을 이용하여 호의 잘못된 할당을 줄이고, 사용자의 속도개념을 도입하여 효과적으로 시스템의 스펙트럼관리를 하는 방안을 제시하였다. 사용자를 저속사용자와 고속사용자로 구분하여 저속사용자는 마이크로셀에 우선 접속하고 고속사용자는 마크로셀에 우선 접속한다고 가정하였다. 마이크로셀에서 마크로셀로의 핸드오버는 가정하지 않았다. 본 논문에서는 Y시스템의 기본적인 알고리즘을 바탕으로, 시스템의 호 손실률 개선을 위해 마이크로셀에서 마크로셀로의 핸드오버를 가정하였고, Y시스템에서 제시한 삼각형 구조의 $f(v)$ 와 Truncated Gaussian 구조의 $f(v)$ 를 각각 제시하여 Y의 시스템과 G시스템을 본 논문과 비교해 보았고, 새로운 임계값 V_0 설정방법을 제시하여 새롭게 분석하였다. 그 결과 본 논문에서 개선하여 새롭게 분석한 시스템이 Y의 시스템과 G시스템에 비해 좀 더 좋은 성능을 보임을 볼 수 있었다. 하지만 마크로셀 채널의 개수가 점점 적어질수록, 그리고 트래픽밀도가 증가할수록 시스템간의 차이는 줄어드는 경향이 나타났다. 또한 삼각형구조와 truncated gaussian구조를 가지는 사용자속도분포에 대해서 블로킹확률이 별 차이가 없음을 볼 수 있었고, 임계값 또한 Y시스템과 본 논문의 시스템이 별 차이가 없음을 볼 수 있었다. 이는 다양한 환경에서 본 논문의 시스템이 Y시스템보다 쉽게 임계값을 설정할 수 있음을 제시하는 것이다.

참고 문헌

[1] R. H. Frenkiel, "A High-Capacity Mobile

