

## 다층셀 구조를 갖는 이동통신환경에서의 핸드오버 성능분석

임석구<sup>1\*</sup>

### Performance Analysis for the Handover in Mobile Communication Environment with Multilayered Cell Structure

Seog-Ku Lim<sup>1\*</sup>

**요약** 본 논문에서는 마이크로 셀과 매크로 셀이 중첩된 구조를 갖는 이동통신 환경에서 핸드오버의 성능을 분석하였다. 제안한 모델에서는 고속으로 이동하는 가입자를 마이크로 셀로 핸드오버하지 않고 매크로 셀로 핸드오버하는 경우의 성능을 분석하였다. 분석의 용이함을 위해 마이크로 셀과 매크로 셀의 모양은 원형이라고 가정하였다. 마이크로 셀에는 저속의 핸드오버 호를 위하여 큐를 두는 방식과 매크로 셀에는 고속의 핸드오버 호를 위하여 예약채널 할당방식을 적용하였다. 해석적인 분석결과, 제안한 방식에서 새로운 호의 블러킹 확률의 증가는 미비하면서 핸드오버 실패 확률은 중첩되지 않은 셀 구조를 갖는 시스템에 비해 상대적으로 낮음을 알 수 있었다.

**Abstract** This paper analyzes the performance of the handover in an overlaid micro/macro cellular system suited for mobile communication environments. In proposed model, it is analyzed the performance of case that subscriber who move with high speed does handover to a macrocell instead of doing handover by microcell. For an easy analysis, a circle shaped cell model are assumed both in microcell and macrocell. The reservation channel scheme is adopted in microcell for a low-speed mobile while a scheme using queue is used in macrocell for a high-speed mobile. The analytic results show that the proposed scheme provides a lower handover failure relatively than in a non-overlaid cellular system with slightly increased new call blocking probability.

**Key Words** : 핸드오버, 다층 셀 구조, Handover

### 1. 서론

이동통신 시스템에서 전체 서비스 영역은 무선 자원의 효율적인 사용을 위해 셀(Cell)이라는 영역으로 분할되고, 트래픽이 증가함에 따라 셀은 점점 소형화되어 마침내 반경이 수백 m인 마이크로 셀(Micro cell) 및 피코셀(Pico cell)이 등장할 것으로 예측된다. 임의의 셀에서 호가 설정된 후 이동가입자와 기지국 사이의 무선채널의 통화품질을 계속 유지시켜 주기 위해 열화된 무선채널을 양호한 무선채널로 교체해주는 과정을 핸드오버(Handover)라 하며[1], 이는 이동통신 시스템에서 필수적으로 제공해주어야 하는 기능이다.

그러나 셀의 반지름이 작아짐에 따라 셀 내에 있는 이동가입자는 통화중에 셀의 경계를 넘어설 확률이 높아지므로 핸드오버 트래픽이 증가한다. 이를 위하여 현재까지 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮출 수 있는 많은 제어방식들이 제시되어 왔는데, 핸드오버만을 위하여 예약채널을 두는 방식(RCS: Reservation Channel Scheme)[2],[3]과 핸드오버 호만을 위하여 큐를 이용하는 방식[4], 이동가입자의 수신전계강도를 이용하여 핸드오버 호를 처리하는 MBPS (Measurement Based Prioritization Scheme)방식[5],[6] 등이 있다. 또한 최근에는 고속으로 이동하는 가입자와 저속으로 이동하는 가입자를 동시에 수용하기 위하여 다수의 마이크로 셀을 하나의 매크로 셀이 중첩되는 구조에서 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 방법들이 제시되기도 하였다[7],[8],[9]. 그러나 이러한 연구에서는 마이크로 셀과 매크로 셀에서 핸드오버 호의

<sup>1</sup>백석대학교 정보통신학부

\*교신저자: 임석구(sklim@bu.ac.kr)

블러킹 확률을 낮추기 위해 RCS 방식만을 적용하였다.

본 논문에서는 저속의 이동가입자는 셀 반경이 작은 마이크로 셀로 핸드오버하지만 고속으로 이동하는 가입자는 셀 반경이 큰 매크로 셀로 핸드오버함으로써 고속으로 이동하는 가입자에 의한 핸드오버 호의 핸드오버 확률을 낮추기 위한 방안을 해석적인 방법으로 분석한다.

이를 기초로 마이크로 셀에서는 핸드오버 호를 위하여 실제 가장 많이 사용하고 있는 예약채널을 이용하는 방식과 매크로 셀에는 큐를 이용하는 방식을 적용한 경우를 분석한다. 제안한 방식의 효율성을 입증하기 위해 다층 셀이 아닌 단일 셀에서의 성능과 매크로 셀에 우선순위가 없는 경우와도 비교한다. 성능 파라미터로는 블러킹 확률과 새로운 호 요구가 성립되지 않거나 통화중인 호가 완료 전에 시스템에 의하여 강제로 종료될 확률인  $P_{nc}$  그리고 운반 트래픽 등을 고려하였다.

## 2. 다층 셀의 구조 및 트래픽 발생

### 2.1 셀 구조 및 트래픽 종류

마이크로 셀과 매크로 셀이 중첩된 이동통신환경에서의 셀 구성은 그림 1과 같이 1개의 매크로 셀에  $N_M$  개의 마이크로 셀이 중첩된 경우를 고려한다. 여기서 마이크로 셀의 모양은 한 변의 길이가  $r_H$ 인 정육각형으로 가정하며, 매크로 셀은 반지름이  $R$ 인 원의 모양을 가정한다.

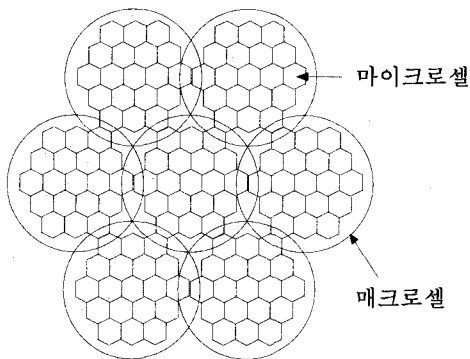


그림 1. 중첩된 셀 구조

이동통신환경에서 호의 종류는 새로운 호(New Call)와 핸드오버 호(Handover Call)로 분류되며, 이동가입자의 이동속도에 따라 휴대폰과 같은 저속(Low Mobility) 가입자와 카폰과 같은 고속(High Mobility) 가입자로 분류할 수 있다. 마이크로 셀과 매크로 셀이 중첩된 서비스 영역 내에 있는 이동가입자의 호설정은 마이크로 셀에서

시작하는데, 이동가입자는 마이크로 셀 내의 채널을 할당받아 접속된 후, 인접 마이크로 셀로 핸드오버를 요구한다. 이때 고속으로 이동하는 가입자는 많은 핸드오버를 요구하므로 이러한 고속 이동가입자는 핸드오버 요구 시 매크로 셀로 핸드오버를 수행하는 방법이 땅에 미치는 부하를 절감하는 방법이 된다. 따라서 이동가입자가 마이크로 셀의 경계지역을 벗어나 핸드오버를 요구하면 마이크로 셀 내의 기지국은 이동가입자의 속도를 측정하여 고속으로 이동하는 가입자는 매크로 셀로 핸드오버를 수행하고 저속으로 이동하는 가입자인 경우는 마이크로 셀로 핸드오버를 수행한다.

단위시간 동안에 마이크로 셀에서 발생하는 새로운 호의 종류는 저속인 이동가입자에 의한  $\lambda_n$ 과 고속인 이동가입자에 의한  $\lambda_n^H$  그리고  $\lambda_n$ 중에서 블러킹되지 않은 저속 이동가입자에 의한 핸드오버 트래픽인  $\lambda_h$ 가 있다. 반면에 매크로 셀에서는 2종류의 핸드오버 트래픽만이 존재한다. 이것은 마이크로 셀에서 발생하여 고속으로 이동하는 가입자에 의한 트래픽  $\lambda_n^H$ 중에서 블러킹되지 않고 매크로 셀로 핸드오버되는 트래픽인  $\Lambda_n$ 과  $\Lambda_n$ 중에서 인접 매크로 셀로 핸드오버하는 트래픽을 의미한다. 이를 기초로 각 계층 셀에서의 트래픽 흐름을 나타내면 그림 2와 같다.

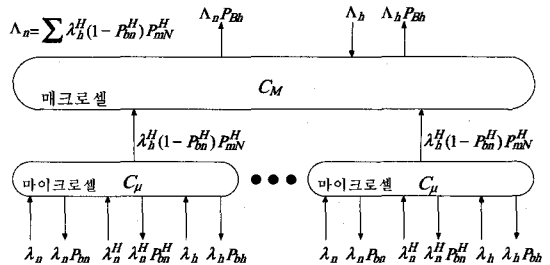


그림 2. 다층 셀에서의 트래픽 흐름도

### 2.2 마이크로 셀의 트래픽 모델

#### (1) 새로운 호의 트래픽

이동가입자는 호시도 후 통화 채널을 할당받아 통화시간(Conversation Time)동안 호를 유지하는데, 이동가입자의 통화시간을 나타내는 확률변수를  $T$ 라 하고,  $T$ 의 분포를 평균이  $1/\mu$ 인 지수분포로 가정할 때, 확률밀도함수와 누적분포함수는 각각 식(1), 식(2)와 같다.

$$f_T(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (t \geq 0) \quad (1)$$

$$F_T(t) = \int_0^t f_T(t) dt = 1 - e^{-\mu t} \quad (t \geq 0) \quad (2)$$

확률변수  $T_{mn}$ 을 새로운 호가 발생된 순간에서 핸드오버 할 때까지 마이크로 셀 내에서 머무르는 시간으로 정의하면  $T_{mn}$ 은 이동가입자가 발생한 지점에서 그 마이크로 셀의 경계까지 이동하는 데 걸리는 시간과 같으므로  $T_{mn}$ 에 대한 확률밀도함수는 식(3)과 같이 유도할 수 있다[4]. 여기서  $r$ 은 한 번의 길이가  $r_H$ 인 정육각형의 면적과 같은 원의 반지름을 의미하며, 이동가입자의 속도는  $v_L$ 로 일정하다고 가정하였다.

$$f_{T_{mn}}(t) = \frac{2v_L}{\pi r^2} \sqrt{r^2 - \left(\frac{v_L t}{2}\right)^2} \quad (0 \leq t \leq \frac{2r}{v_L}) \quad (3)$$

고속으로 이동하는 가입자가 마이크로 셀에서 머무르는 시간인  $T_{mn}^H$ 에 대한 확률밀도함수는 식(3)에서  $v_L$ 대신에  $v_H$ 를 대입하면 된다. 마이크로 셀 내에서 발생한 새로운 호가 핸드오버 할 확률은 호의 통화시간을 나타내는 확률변수  $T$ 가 새로운 호가 셀 내에서 머무르는 시간을 나타내는 확률변수  $T_{mn}$ 보다 클 확률이다. 따라서 마이크로 셀 내에서 저속의 새로운 호가 핸드오버 할 확률  $P_{mN}$ 은 식(4)와 같이 산출할 수 있다.

$$P_{mN} = \Pr[T > T_{mn}] \quad (4)$$

$$= \frac{2v_L}{\pi r^2} \int_0^{\frac{2r}{v_L}} e^{-\mu t} \sqrt{r^2 - \left(\frac{v_L t}{2}\right)^2} dt$$

마찬가지로 속도가  $V_H$ 인 고속의 이동가입자가 마이크로 셀 내에서 발생하여 셀의 경계에 도달하여 매크로 셀로 핸드오버 할 확률  $P_{mN}^H$ 은 식(4)에서  $v_L$ 대신에  $v_H$ 를 대입하면 된다.

## (2) 핸드오버 호의 트래픽

마이크로 셀에서 핸드오버 호의 트래픽은 인접 마이크로 셀에서 넘어오는 저속의 핸드오버 호인  $\lambda_h$ 인데, 블러킹 되지 않은 핸드오버 호들은 핸드오버한 셀 내에서 호가 종료되거나 또 다른 인접 마이크로 셀로 핸드오버한다. 확률변수  $T_{mh}$ 를 핸드오버호가 핸드오버한 순간부터 또 다시 인접 셀로 핸드오버 할 때까지 셀 내에서 머무르는 시간으로 정의하면  $T_{mh}$ 에 대한 확률밀도함수는 식(5)와 같이 유도할 수 있다[4].

$$f_{T_{mh}}(t) = \frac{v_L}{\pi \sqrt{r^2 - \left(\frac{v_L t}{2}\right)^2}} \quad (0 \leq t \leq \frac{2r}{v_L}) \quad (5)$$

핸드오버호가 또 다시 인접 마이크로 셀로 핸드오버할 확률은 호의 통화시간을 나타내는 확률변수  $T$ 가 핸드오버 호가 마이크로 셀 내에서 머무르는 시간을 나타내는 확률변수  $T_{mh}$ 보다 클 확률이다. 여기서 지수 분포의 무기억성(memoryless property) 때문에 핸드오버 이후, 호의 지속시간은 동일한 지수분포를 따르므로 핸드오버한 호가 또 다시 핸드오버할 확률  $P_{mH}$ 은 식(6)과 같이 산출할 수 있다.

$$P_{mH} = \Pr[T > T_{mh}] \quad (6)$$

$$= \frac{v_L}{\pi} \int_0^{\frac{2r}{v_L}} \frac{e^{-\mu t}}{\sqrt{r^2 - \left(\frac{v_L t}{2}\right)^2}} dt$$

서비스영역 내에서 새로운 호의 발생율이 전체 영역에서 균일하게 분포한다고 가정하면 특정 마이크로 셀에서 발생한 호가 인접 마이크로 셀로 핸드오버하는 호의 개수는 인접 셀에서 핸드오버하여 특정 마이크로 셀로 들어오는 호의 개수와 평균적으로 같다고 볼 수 있으므로 다음과 같은 마이크로 셀에서의 핸드오버 호의 트래픽을 얻을 수 있다.

$$\lambda_h = \frac{\lambda_n (1 - P_{bn}) P_{mN}}{1 - (1 - P_{bn}) P_{mH}} \quad (7)$$

여기서  $P_{bn}$ 은 저속으로 이동하는 새로운 호의 블러킹 확률을 의미하고,  $P_{bh}$ 은 저속으로 이동하는 핸드오버 호의 블러킹 확률을 의미한다.

## (3) 마이크로 셀에서의 채널점유시간

임의의 셀에서 발생한 저속의 새로운 호가 채널을 점유했을 때 그 호는 할당된 무선채널을 발신한 셀 내에서 호가 종료될 때까지 또는 인접 셀로 핸드오버 할 때까지 채널을 점유한다. 따라서 저속인 새로운 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{mHn}$ 은  $T$ 와  $T_{mn}$ 의 최소값으로 결정되므로  $T_{mHn}$ 의 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{mhh}}(t) = F_T(t) + F_{T_{mhh}}(t)(1 - F_T(t)) \quad (8)$$

마찬가지로 마이크로 셀에서 발생한 고속의 새로운 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{mhh}^H$  은  $T$ 와  $T_{mhh}^H$  의 최소값으로 결정되므로  $T_{mhh}^H$  의 누적분포함수도 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{mhh}^H}(t) = F_T(t) + F_{T_{mhh}^H}(t)(1 - F_T(t)) \quad (9)$$

또한 핸드오버 호의 채널점유시간을 나타내는  $T_{mhh}$  는  $T$ 와  $T_{mh}$  의 최소값으로 결정되므로  $T_{mhh}$  의 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{mhh}}(t) = F_T(t) + F_{T_{mh}}(t)(1 - F_T(t)) \quad (10)$$

새로운 호중 블러킹되지 않은 저속인 새로운 호를  $\lambda_{ns}$ , 블러킹되지 않은 고속인 새로운 호를  $\lambda_{ns}^H$ 라 하고, 핸드오버 호중 블러킹되지 않은 저속인 핸드오버 호를  $\lambda_{hs}$ 라고 하면 마이크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{T_m}(t) &= \frac{\lambda_{ns}}{\lambda_T} F_{T_{mhh}}(t) + \frac{\lambda_{ns}^H}{\lambda_T} F_{T_{mhh}^H}(t) + \frac{\lambda_{hs}}{\lambda_T} F_{T_{mh}}(t) \\ &= F_T(t) + \{1 - F_T(t)\} \\ &\quad \times \left\{ \frac{\lambda_{ns}}{\lambda_T} F_{T_{mhh}}(t) + \frac{\lambda_{ns}^H}{\lambda_T} F_{T_{mhh}^H}(t) + \frac{\lambda_{hs}}{\lambda_T} F_{T_{mh}}(t) \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $\lambda_T = \lambda_{ns} + \lambda_{ns}^H + \lambda_{hs}$ 이다. 식(2)를 식(11)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 마이크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 누적분포함수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{T_m}(t) &= 1 - e^{-\mu t} + e^{-\mu t} \\ &\quad \times \left\{ \frac{\lambda_{ns}}{\lambda_T} F_{T_{mhh}}(t) + \frac{\lambda_{ns}^H}{\lambda_T} F_{T_{mhh}^H}(t) + \frac{\lambda_{hs}}{\lambda_T} F_{T_{mh}}(t) \right\} (t \geq 0) \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)를 이용하여 마이크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 평균값을 산출하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{T}_m &= \int_0^\infty \{1 - F_{T_m}(t)\} dt \\ &= \frac{1}{\mu} \left\{ 1 - \frac{\lambda_{ns}^L}{\lambda_T} P_{mN}^L - \frac{\lambda_{ns}^H}{\lambda_T} P_{mN}^H - \frac{\lambda_{hs}^L}{\lambda_T} P_{mH}^L \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

본 논문에서는 마이크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 분포를 평균이  $\bar{T}_m$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다.

### 2.3 매크로 셀의 트래픽 모델

#### (1) 핸드오버 호의 트래픽

마이크로 셀과는 달리 매크로 셀에서는 2종류의 핸드오버 트래픽만이 존재한다. 마이크로 셀에서의 새로운 호와 동일한 개념으로 볼 수 있는  $\Lambda_n$ 은 가입자의 관점에서 보면 이미 호가 진행 중인 상태인 핸드오버 호로 취급되므로 고속 이동가입자에 의한 인접 매크로 셀간 핸드오버 트래픽인  $\Lambda_h$ 와 동일한 우선순위를 갖도록 제어해야 한다. 본 논문에서는 분석의 편의상  $\Lambda_n$ 의 발생은 지수분포를 따른다고 가정한다.

$\Lambda_n$ 은 마이크로 셀에서 발생하여 고속으로 이동하는 가입자에 의한 트래픽  $\lambda_n^H$ 중에서 블러킹되지 않고 매크로 셀로 핸드오버하는 트래픽을 의미하므로 식(14)와 같이 표현된다. 여기서  $N_M$ 은 1개의 매크로 셀에 중첩된 마이크로 셀의 개수를 의미한다.

$$\Lambda_n = N_M \lambda_n^H (1 - P_{mN}^H) P_{mN}^H \quad (14)$$

$\Lambda_n$ 이 매크로 셀 내에 균일하게 분포한다고 가정하고 확률변수  $T_{Mh}$ 을 호가 발생된 순간에서 인접 매크로 셀로 핸드오버 할 때까지 매크로 셀 내에서 머무르는 시간으로 정의하면 매크로 셀 내에서 발생한 호가 핸드오버할 확률  $P_{MN}$ 은 식(15)와 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{MN} &= \Pr[T > T_{Mh}] \\ &= \frac{2v_H}{\pi R^2} \int_0^{2R} v_H e^{-\mu t} \sqrt{R^2 - \left(\frac{v_H t}{2}\right)^2} dt \end{aligned} \quad (15)$$

확률변수  $T_{Mh}$ 를 핸드오버호가 핸드오버한 순간부터 또 다시 인접 매크로 셀로 핸드오버 할 때까지 매크로 셀 내에서 머무르는 시간으로 정의하면 핸드오버한 호가 또 다시 핸드오버할 확률  $P_{MH}$ 는 식(16)과 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{MH} &= \Pr[T > T_{Mh}] \\ &= \frac{v_H}{\pi} \int_0^{2R} \frac{e^{-\mu t}}{\sqrt{R^2 - \left(\frac{v_H t}{2}\right)^2}} dt \end{aligned} \quad (16)$$

서비스영역 내에서 마이크로 셀에서 매크로 셀로 넘어 오는 새로운 호의 발생율이 전 영역에서 균일하게 분포한다고 가정하면 특정 매크로 셀에서 발생한 호가 인접 매크로 셀로 핸드오버하는 호의 개수는 인접 매크로 셀에서 핸드오버하여 특정 매크로 셀로 들어오는 호의 개수와 평균적으로 같다고 볼 수 있으므로 다음과 같은 매크로 셀간 핸드오버 호의 트래픽을 얻을 수 있다.

$$A_h = \frac{\Lambda_n (1 - P_{Bn}) P_{MN}}{1 - (1 - P_{Bh}) P_{MH}} \quad (17)$$

**(2) 매크로 셀에서의 채널점유시간**

마이크로 셀에서의 경우와 동일하게 매크로 셀에서 발생하는 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{Mh}$  과 핸드오버 호의 채널점유시간을 나타내는  $T_{MH}$  의 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{Mh}}(t) = F_T(t) + F_{T_{Mn}}(t)(1 - F_T(t)) \quad (18)$$

$$F_{T_{MH}}(t) = F_T(t) + F_{T_{Mn}}(t)(1 - F_T(t)) \quad (19)$$

마이크로 셀에서 매크로 셀로 넘어오는 고속의 핸드오버 호 중에서 블러킹되지 않은 호를  $\Lambda_{ns}$ , 핸드오버 호중 블러킹되지 않은 핸드오버 호를  $\Lambda_{hs}$  라고 하면 매크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서  $\gamma_M = \Lambda_{hs} / \Lambda_{ns}$  이다.

$$F_{T_M}(t) = \frac{\Lambda_{ns}}{\Lambda_{ns} + \Lambda_{hs}} F_{T_{Mn}}(t) + \frac{\Lambda_{hs}}{\Lambda_{ns} + \Lambda_{hs}} F_{T_{Mh}}(t) \quad (20)$$

$$= F_T(t) + \frac{1}{1 + \gamma_M} [1 - F_T(t)] \times [F_{T_{Mn}}(t) + \gamma_M F_{T_{Mh}}(t)]$$

식(2)를 식(20)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 매크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 누적분포함수를 얻을 수 있다[2].

$$F_{T_M}(t) = 1 - e^{-\mu t} + \frac{e^{-\mu t}}{1 + \gamma_M} \times \{F_{T_{Mn}}(t) + \gamma_M F_{T_{Mh}}(t)\} \quad (21)$$

따라서 식(21)을 이용하여 매크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 평균값을 산출하면 다음과 같다.

$$\bar{T}_M = \int_0^\infty \{1 - F_{T_M}(t)\} dt \quad (22)$$

$$= \frac{(1 + \gamma_M) - P_{MN} - \gamma_M P_{MH}}{\mu(1 + \gamma_M)}$$

본 논문에서는 매크로 셀에서의 채널점유시간에 대한 분포를 평균이  $\bar{T}_M$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다.

**3. 핸드오버 호 제어방식**

다중셀 구조에서 각 셀에 어떤 핸드오버 호 제어방식을 적용하는가에 따라서 성능이 달라지므로 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 핸드오버 제어방식의 선택은 성능과 복잡도간에 상호 보완관계를 고려하여야 한다. 현재까지 다중셀 구조에서 핸드오버 호를 제어하기 위하여 제안된 방식으로는 마이크로 셀에 RCS 방식을 매크로 셀에서는 NPS(No Priority Scheme) 방식인 경우를 분석하였는데[10], 본 논문에서는 마이크로셀에 RCS 방식을 매크로 셀에서는 큐를 이용하는 방식인 경우를 분석한다. 여기서 NPS 방식은 새로운 호와 핸드오버 호간에 우선순위가 없는 방식으로서 Erlang-B 공식을 이용하여 산출 할 수 있다.

**3.1 마이크로 셀에서의 핸드오버 호 제어**

RCS 방식은 셀에 할당된  $C_\mu$  개의 무선 채널들 중  $C_h$  개를 핸드오버 호만을 위하여 할당함으로써 핸드오버 호에 우선순위를 부여한다. 상태  $E_j$ 가 현재 사용 중인 채널수가  $j$ 개임을 나타낼 때, 상태천이도는 그림 3과 같다. 여기서  $\lambda_1 = \lambda_n + \lambda_n^H + \lambda_h$  이다.

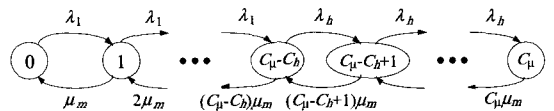


그림 3. RCS 방식의 상태천이도

평형상태에 도달했을 때 시스템의 상태가  $j$ 일 확률  $P_j$ 는 birth-death 프로세스에 의해 구하면 식(23)과 같다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{\rho^j}{j!} P_0 & (1 \leq j \leq C_\mu - C_h) \\ \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^{C_\mu - C_h} \frac{\rho_h^j}{j!} P_0 & (C_\mu - C_h + 1 \leq j \leq C_\mu) \end{cases} \quad (23)$$

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^{C_\mu - C_h} \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{k=C_\mu - C_h + 1}^{C_\mu} \left( \frac{\rho}{\rho_h} \right)^{C_\mu - C_h} \frac{\rho_h^k}{k!} \right]^{-1}$$

$$\rho = \frac{\lambda_1}{\mu_m}, \rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu_m} \text{이다.}$$

새로운 호의 블러킹 확률  $P_{bn} (= P_{bn}^H)$ 는 사용 중인 채널수가  $C_\mu - C_h$  이상이 될 확률들의 합과 같으며, 핸드오버 호의 블러킹 확률  $P_{bh}$ 는 사용 중인 채널수가  $C_\mu$ 일 확률이므로 식(24)와 같다.

$$P_{bn} = P_{bn}^H = \sum_{k=C_\mu}^{C_\mu} P_k, \quad P_{bh} = P_{C_\mu} \quad (24)$$

### 3.2 매크로 셀에서의 핸드오버 호 제어

큐를 이용하는 방법은 핸드오버시 셀 내에 사용 가능한 채널이 없으면 핸드오버 호를 큐에 두었다가 핸드오버 지속시간 이내에 새로운 무선채널이 생기면 성공적으로 핸드오버 되거나 그렇지 않으면 블러킹시키는 방법이다. 분석의 편의상 핸드오버 지속시간을 나타내는 확률변수  $T_Q$ 는 평균이  $1/\mu_Q$ 인 지수 분포를 따른다고 가정한다. 큐의 크기를 무한대, 큐에서의 서비스 방법은 FCFS(First Come First Service)라고 할 때, 상태천이도는 그림 4와 같다.

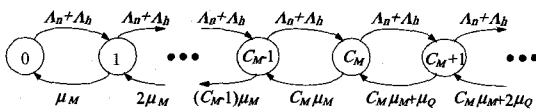


그림 4. 큐를 이용하는 방식의 상태천이도

평형상태에 도달했을 때 시스템의 상태가  $j$ 일 확률  $P_j$ 는 birth-death 프로세스에 의해 구하면 식(25)와 같다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{(A_n + A_h)^j}{j! \mu_M^j} P_0 & (1 \leq j \leq C_M) \\ \frac{(A_n + A_h)^j}{C_M! \mu_M^{C_M} \prod_{i=1}^{j-C_M} (C_M \mu_M + i \mu_Q)} P_0 & (C_M + 1 \leq j) \end{cases} \quad (25)$$

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^{C_M} \frac{(A_n + A_h)^k}{k! \mu_M^k} + \sum_{k=C_M+1}^{\infty} \frac{(A_n + A_h)^k}{C_M! \mu_M^{C_M} \prod_{i=1}^{k-C_M} (C_M \mu_M + i \mu_Q)} \right]^{-1}$$

핸드오버 호의 블러킹 확률  $P_{bh}$ 는 큐에 들어간 핸드

오버 호가 무선 채널을 할당 받지 못하고 큐에서 벗어날 확률이므로 다음과 같이 유도된다.

$$P_{bh} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{C_M+k} P_{bh|k} \quad (26)$$

여기서 현재 큐에  $k$ 개의 핸드오버 호가 대기 중일 때  $(k+1)$ 번째 큐에 도착한 핸드오버 호가 블러킹될 확률  $P_{bh|k}$ 는 식(27)과 같다[2].

$$P_{bh|k} = 1 - \left[ \prod_{i=1}^k \left\{ 1 - \left( \frac{\mu_Q}{C_M \mu_M + \mu_Q} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^i \right\} \right] \times \frac{C_M \mu_M}{C_M \mu_M + \mu_Q} \quad (27)$$

## 4. 성능 분석

### 4.1 가정 사항

해석적인 모델에 대한 수치계산을 위하여 다음과 같은 트래픽 환경을 가정하였다. 마이크로 셀에서 발생하는 새로운 호는 포아송(Poisson) 분포를 따르고, 저속의 이동가입자와 고속의 이동가입자가 7 : 3의 비율로 발생하며, 또한 이동속도는 저속인 경우 2.7(Km/hour)이고, 고속인 경우는 50(Km/hour)이다. 호당 통화시간은 평균이 100(초)인 지수분포를 따르고 매크로 셀에서 핸드오버 지속시간은 평균이 10(초)인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 그리고 1개의 매크로 셀 내에는 25개의 마이크로 셀이 중첩되어 있으며, 마이크로 셀의 반지름( $r_H$ )은 200(m)이고, 매크로 셀의 반지름( $R$ )은 1(Km)이고 마이크로 셀 당 통화 채널의 수는 10개이고, 이 중에서 10%를 예약채널로 사용하며, 매크로 셀은 채널수가 50개인 분석모델을 가정하였다.

### 4.2 성능평가 파라메타

이동통신 시스템에서 셀의 반지름이 커지면 통화시간 동안에 셀의 경계를 넘어설 확률은 작아지며 이러한 경우 새로운 호가 블러킹될 확률은 성능 평가의 척도로서 중요하다. 반면에 셀 반지름이 작아지면 통화시간 동안에 셀의 경계를 넘어설 확률은 커지므로 핸드오버 호가 실패할 확률도 또한 성능평가의 중요한 척도가 된다.

또 다른 성능평가 파라메타로서 새로운 호 요구가 성립되지 않거나 통화중인 호가 완료 전에 시스템에 의하

여 강제로 종료될 확률인  $P_{nc}$ 를 들 수 있는데 저속이나 고속으로 이동하는 가입자에 대한  $P_{nc}$ 는 각각 식(28), 식(29)와 같이 표현된다[11]. 또한 마이크로 셀에서 발생하는 새로운 호 중에서 고속 가입자의 비율을  $\alpha$ 라고 할 때 이를 고려한 최종적인  $P_{nc}$ 를 식(30)에 나타내었다.

$$P_{nc}^L = P_{bn}^L + P_F^L(1 - P_{bn}^L) = P_{bn}^L + \frac{P_{mN}^L P_{bh}^L(1 - P_{bn}^L)}{1 - (1 - P_{bh}^L)P_{mH}^L} \quad (28)$$

$$P_{nc}^H = P_{bn}^H + (1 - P_{bn}^H) \times \left[ P_{mN}^H P_{Bn} + \frac{P_{mN}^H P_{MN} P_{Bh}(1 - P_{Bn})}{1 - (1 - P_{Bh})P_{MH}} \right] \quad (29)$$

$$P_{nc} = (1 - \alpha)P_{nc}^L + \alpha P_{nc}^H \quad (30)$$

핸드오버 호의 블러킹 확률의 감소는 새로운 호의 블러킹 확률의 증가를 초래하므로 셀 내에 할당된 채널에 대한 운반 트래픽의 관점도 고려하여야 한다. 하나의 매크로 셀에는 다수의 마이크로 셀이 중첩되어 있으므로 마이크로 셀과 매크로 셀 모두를 고려한 총 운반 트래픽을 식(33)에 나타내었다.

$$\rho_m = [\lambda_n^L(1 - P_{bn}^L) + \lambda_n^H(1 - P_{bn}^H)\lambda_h^L(1 - P_{bn}^L)] \bar{T}_m \quad (31)$$

$$\rho_M = [A_n(1 - P_{Bn}) + A_h(1 - P_{Bh})] \bar{T}_M \quad (32)$$

$$\rho_T = N_M \rho_m + \rho_M \quad (33)$$

### 4.3 결과 분석

마이크로 셀에는 RCS 방식을 적용하고 매크로 셀에는 큐를 이용하는 방식을 적용하는 경우의 성능을 그림 5~그림 8에 나타내었다.

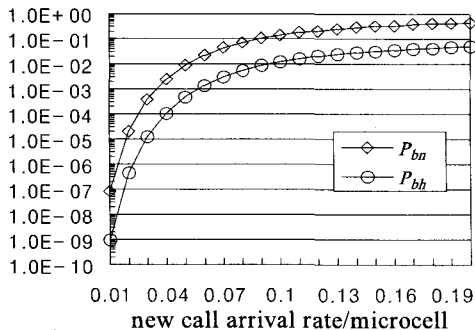


그림 5. 마이크로셀에서 호의 블러킹 확률

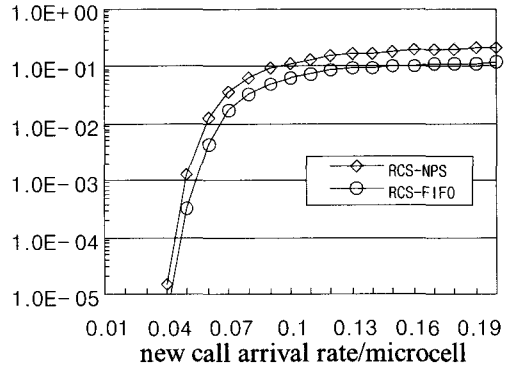


그림 6. 매크로셀에서 핸드오버호의 블러킹 확률

그림 5에는 RCS 방식을 적용한 마이크로 셀에서의 새로운 호와 핸드오버호의 블러킹 확률의 변화를 나타내었는데, 핸드오버 호의 블러킹 확률은 새로운 호의 블러킹 확률에 비해서 매우 작음을 알 수 있으며, 예약채널수가 증가함에 따라 새로운 호의 블러킹 확률은 급격히 증가하므로 예약채널수를 적절하게 정할 필요가 있다. 그림 6에는 매크로 셀에서의 핸드오버 호 블러킹 확률의 변화를 나타내었는데, 비교분석을 위하여 마이크로 셀과 매크로 셀에 RCS방식과 NPS(Erlang-B)방식을 각각 적용한 경우의 블러킹 확률도 함께 나타내었다. 그림 6의 결과에 의하면 매크로 셀에 큐를 이용하는 방식은 NPS방식에 비하여 성능개선 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 7에는 새로운 호 요구가 성립되지 않거나 통화중인 호가 완료 전에 시스템에 의하여 강제로 종료될 확률인  $P_{nc}$ 의 변화를 나타내었는데, 매크로 셀에서 큐를 이용하는 방식의  $P_{nc}$ 가 RCS 방식의  $P_{nc}$ 보다 작는데, 이유는 매크로 셀에서 핸드오버 요구 시 비어있는 채널이 없을 경우에는 그 핸드오버 호를 큐에 대기시키는 데, 큐에서 대기하는 시간동안 새로운 채널이 생기면 대기 중인 호에게 채널을 할당하기 때문에 핸드오버호의 블러킹 확률이 감소하기 때문이다. 또한 그림에는 다중셀이 아닌 단일셀 구조에서의 결과도 함께 나타내었는데, 입력트래픽이 증가함에 따라  $P_{nc}$ 도 증가하다가 감소함을 알 수 있다.

그림 8은 총 운반트래픽의 변화를 나타내었는데 매크로 셀에 큐를 이용하는 방식에서의 운반 트래픽은 NPS 방식에 비해서 큰데, 이는 매크로 셀에 큐를 이용하는 방식의 핸드오버호 블러킹 확률이 매우 작기 때문인 것으로 분석할 수 있다.

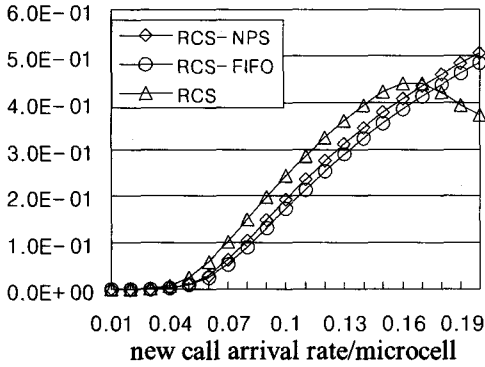


그림 7.  $P_{nc}$  변화

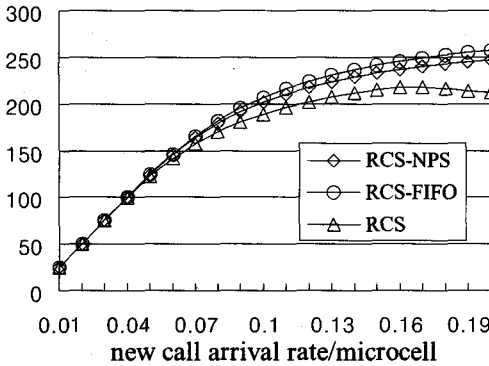


그림 8. 총 운반 트래픽의 변화

### 5. 결론

본 논문에서는 고속과 저속으로 이동하는 가입자를 동시에 수용하기 위하여 다수의 마이크로 셀을 하나의 매크로 셀이 중첩되는 다층셀 구조를 갖는 이동통신 환경에서의 트래픽 특성과 핸드오버 제어방식을 분석하였다.

현재 실제의 응용분야에서 가장 많이 적용되고 있는 RCS 방식은 낮은 핸드오버 호의 블러킹 확률과 높은 새로운 호의 블러킹 확률을 갖는 방식이며, 큐를 이용하는 방식은 적절한 수준의 새로운 호와 핸드오버호의 블러킹 확률 그리고 높은 운반 트래픽의 특성이 나타나는 방식이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 마이크로 셀에는 RCS 방식을 또한 매크로 셀에는 큐를 이용하는 방식을 적용한 경우의 성능을 블러킹 확률과 총 운반트래픽 등의 관점에서 분석하였다. 분석 결과 제안한 방식은 낮은 블러킹 확률과 새로운 호 요구가 성립되지 않거나 통화 중인 호가 완료 전에 시스템에 의하여 강제로 종료될 확률인  $P_{nc}$  그리고 높은 운반트래픽의 성능을 갖고 있으

므로 다층셀 구성을 갖는 환경에서는 매우 적절한 핸드오버 제어방식이라고 분석할 수 있었다.

앞으로는 마이크로 셀의 모양을 정육각형이 아닌 실제 도심의 모양을 고려한 수화적인 분석이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] ITU-T, "Public Land Mobile Network Mobile Application Part and Interfaces(Blue Book)," Q.1051- Q.1063, Nov. 14-25, 1988.
- [2] D. Hong and S.S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-35, No.3, pp.77-92, August 1986.
- [3] R. Guerin, "Queuing-blocking system with two arrival streams and guard channels," IEEE Tans. on Comm., Vol. 36, No.2, Feb. 1988.
- [4] 임석구, 장희선, 유재훈, 이윤주, "셀룰라 이동통신 환경에서의 트래픽 모델링," 한국통신학회논문지, 제 20권, 제6호, 1995.
- [5] S. Tekinay and B. Jabbari, "A Measurement-Based Prioritization Scheme for Handovers in Mobile Cellular Networks," IEEE Communication Magazine, Vol 29., No. 11, Nov. 1991.
- [6] D. K. Anvekar, P. Agrawal and B. Narendran, "A Traffic-Driven Channel Reservation Scheme for Handovers in Mobile Cellular Networks," The 6th International Conference on Wireless Communications, Calgary Canada, July 1994.
- [7] M. Inoue, H. Morikawa, M. Mizumachi, "Performance Analysis of Microcellular Mobile Communication Systems," 44th IEEE VTC, pp135-139, June 1994.
- [8] S. El-Dolil, W. Wong and R. Steele, "Teletraffic Performance of Highway Microcells with Overlay Macrocell," IEEE J. Select. Area Commun., Vol. 7, No. 1, pp. 71-18, Jan. 1998.
- [9] K. Maheshwari and A. Kumar, "Performance Analysis of Microcellization for Supporting Two Mobility Classes in Cellular Wireless Networks," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 49, pp. 321-333, Mar. 2000.
- [10] R. Steele and M. Nofal, "Teletraffic Performance of Microcellular Personal Communication Networks," IEE



Proc. I, Vol. 139, No. 4, pp.448-461, Aug. 1992.

- [11] D. Hong and S.S. Rappaport, "Priority Oriented Channel Access for Cellular Systems Serving Vehicular and Portable Radio Telephones, "IEE Proc. I, Vol. 136, No. 5, pp.339-346, Aug. 1989.

---

**임 석 구(Seog-Ku Lim)**

[정회원]



- 1983년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 전자 중앙연구소

- 1992년 2월 ~ 1994년 2월 : 한국전자통신연구원
- 1994년 3월 ~ 2001년 2월 : 주성대학
- 1994년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 부교수

<관심분야>

트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 이동통신시스템 성능분석, BCN