

## 셀룰라 이동통신 환경에서의 트래픽 모델링

正會員 林錫鳩\*, 張喜善\*\*, 柳濟勳\*\*, 李允周\*\*

### Traffic Modeling in Cellular Mobile Communications

Seog Ku Lim\*, Hee-Seon Jang\*\*, Jea Hoon Yoo\*\*, Yoon-Ju Lee\*\* Regular Members

#### 要 約

본 논문에서는 이동통신 환경에서 고려되는 호의 종류를 새로운 호와 핸드오버 호로 분류하여 셀에서의 채널할당방식이 고정채널할당방식이고, 핸드오버 기능 요청을 결정하는 변수로는 이동가입자와 기지국 사이의 거리를 이용하는 경우 이동통신 환경에서의 트래픽 모델을 설정하고 이를 분석한다. 새로운 호와 핸드오버 호의 핸드오버 확률 및 호당 평균 핸드오버 횟수를 산출하며, 채널점유시간의 분포함수 및 평균 그리고 이동가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간인 핸드오버 지속시간에 대한 분포함수 및 평균 등을 유도한다. 수치분석 결과 평균채널점유시간은 셀 크기가 증가함에 따라 평균통화시간에 수렴하며, 핸드오버 지속시간은 셀 크기에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

#### ABSTRACT

A traffic model and analysis for cellular mobile communications systems are described. Fixed channel assignment is considered. We also regard the distance between mobile station and base station as the criterion recognizing the handover. For a new call or a handover call, probability requiring handover and average number of handover per call are computed. The distribution function and expected value for the channel holding time and the handover duration time are evaluated. The numerical computations for the traffic parameters are performed. These show that the average channel holding time converges the average conversation time as cell size increases, and the handover duration time increases in proportion to the increase in cell size.

\*韓國航空大學校 航空電子工學科  
Department of Avionics Engineering, Hankuk  
Aviation University

\*\*韓國電子通信研究所 移動交換研究室  
Mobile Switching Section, ETRI  
論文番號 : 94334-1124  
接受日字 : 1994年 11月 24日

## I. 서 론

최근 전자기술과 전기통신기술의 발달에 의한 고도정보사회의 진전에 따라 정보교환의 역할이 증대되고 있다. 특히 복잡, 다양화되는 사회속에서 인간의 이동성이 높아지고 그 결과 이동중인 단말기들 사이의 정보의 교류를 가능하게 하는 이동통신 분야의 중요성이 증대되고 있다.

셀룰라 이동통신 시스템에서 서비스 영역은 셀이라는 작은 영역들로 분할되어 서비스 영역내에서 주파수 채널을 반복하여 사용함으로써 한정된 주파수 채널을 효율적으로 이용하고 있다.<sup>(1)</sup>

이동통신시스템에서 고려되는 호의 종류로는 새로운 호(new call)와 핸드오버 호(handover call)가 있다. 새로운 호는 이동가입자가 발신 또는 착신하는 경우와 같이 새로운 무선채널을 할당하는 경우를 의미하고, 임의의 셀에서 호가 설정된 후 이동가입자와 기지국 사이의 무선채널의 통화품질을 계속 유지시키기 위해 열화된 무선채널을 양호한 무선채널로 교체해주는 과정을 핸드오버라 하며 이러한 핸드오버를 요구하는 호를 핸드오버 호라 한다.

임의의 셀에서 새로운 호가 발생했을때, 셀에 할당된 무선채널중 하나가 이동가입자에게 할당되는데 셀에 할당된 모든 무선채널이 사용중일때 발생하는 새로운 호는 블러킹된다. 또한 호가 설정된후 이동가입자가 인접셀로 핸드오버하는 경우 인접셀에서 핸드오버 호에게 새로운 무선채널을 할당할 수 없다면 핸드오버 호는 블러킹된다. 핸드오버 호의 블러킹은 통화중에 호가 설단되는 것이므로 이동가입자가 느끼는 불편함은 새로운 호의 블러킹보다 훨씬 크게 느껴지므로 가능한 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 많은 방식들이 제시되었는 바 여러 문헌에서 핸드오버 호를 위한 예약채널(reservation channel)을 두는 방법과 핸드오버 호를 위한 큐(queue)를 두는 방법등이 거론되었다.<sup>(1)(2)(3)</sup>

본 논문에서는 셀에서의 채널할당 방식이 고정채널할당방식이고, 핸드오버 기능 요청을 결정하는 변수로는 이동가입자와 기지국 사이의 거리를 이용하는 경우 셀룰라 이동통신 환경에서의 트래픽을 정량적으로 분석하였다. 서론에 이어 II장에서는 이동통신시스템에서의 새로운 호와 핸드오버 호의 트래픽 모델을 설정하고 각각의 호에 대한 핸드오버 확률등을 산출하며 또한 호당 평균

핸드오버 횟수를 산출한다. III장에서는 채널점유시간(channel holding time)의 분포함수를 유도하여 이를 토대로 특정 셀에서의 운반트래픽을 산출한다. IV장에서는 이동가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간인 핸드오버 지속시간에 대한 분포함수 및 평균값을 산출하고, V장에서는 셀 반지름 또는 이동가입자의 속도등과 같은 시스템 파라메타가 변화할때의 성능 결과를 제시하며, 끝으로 VI장에서는 결론을 내린다.

## II. 호 발생 모델

셀룰라 이동통신 시스템에서 서비스 영역은 셀이라는 작은 영역들로 분할되어 서비스 영역내에서 주파수 채널을 반복하여 사용함으로써 한정된 주파수 채널을 효율적으로 이용하고 있다. 서비스 영역의 기본 요소인 셀의 형태는 원의 모양, 정육각형의 모양, 사각형의 모양 그리고 실제 지형의 전파특성을 고려한 다양한 모양등으로 모델링된다. 서비스 영역이 평지인 경우 전파의 특성상 셀의 형태는 이상적으로는 원형이지만 셀간 겹쳐지는 부분이 있기 때문에 이를 고려한 정육각형의 셀 모형을 셀의 형태로 가정하여 모델링한다. 본 논문에서는 셀의 모양을 반지름이  $R_H$ 인 정육각형과 면적이 동일한 반지름이  $R$ 인 원으로 가정하며 이를 기초로 모든 해석을 수행한다. 여기서 정육각형의 반지름인  $R_H$ 는 셀의 중심에서 경계까지의 거리중 가장 긴 거리, 즉 정육각형의 한변의 길이를 의미한다.

셀룰라 이동통신에서 호의 종류는 새로운 호와 핸드오버 호로 분류된다. 기지국(base station)의 관점에서 보면 특정 셀에서 발신 또는 착신하는 호에 새로운 무선채널을 할당해야 하는데 이러한 이동가입자의 트래픽을 새로운 호라 한다. 이동가입자가 기지국으로 부터 하나의 통화채널을 할당받아 호가 설정된후 통화중에 인접셀로 이동하였을때 이동통신교환기는 진행중인 호를 계속 유지시키기 위하여 현재 이동가입자가 위치해 있는 셀을 관찰하는 기지국을 통하여 통화채널을 재할당하여야 하는데 이와같이 통화채널을 교체하여 주는 과정을 핸드오버라고 하며 이러한 핸드오버를 요구하는 호를 핸드오버 호라 한다.

이동통신 서비스영역내에서 새로운 호의 발생율은 전체 서비스 영역내에서 균일하게 분포한다고 가정하며, 단위면적당 새로운 호의 발생율을  $\lambda_0$ 라고 하면 반지름이

$R_H$ 인 정육각형내에서 발생하는 새로운 호의 트래픽은 식(1)과 같이 주어진다.

$$\lambda_n = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_H^2 \lambda_a \quad (1)$$

임의의 셀내의 이동가입자는 호를 시도한 후 통화채널을 할당받아 통화시간(conversation time)동안 호를 유지한다. 이동가입자당 통화시간을 나타내는 확률변수를  $T_M$ 이라 하고,  $T_M$ 의 분포를 평균이  $1/\mu_M$ 인 지수분포로 가정할때 확률밀도함수와 누적분포함수는 각각 식(2)와 식(3)과 같다.

$$f_{T_M}(t) = \mu_M e^{-\mu_M t} \quad (t \geq 0) \quad (2)$$

$$F_{T_M}(t) = \int_0^t f_{T_M}(t) dt = 1 - e^{-\mu_M t} \quad (t \geq 0) \quad (3)$$

1. 새로운 호의 트래픽

단위시간 동안에 반지름이  $R_H$ 인 특정 셀에서 발생하는 새로운 호의 트래픽을  $\lambda_n$ 이라 하면,  $\lambda_n$ 중 일부는 제한된 통화채널 때문에 블리킹된다. 새로운 호의 블리킹 확률을  $P_{Bn}$ 이라 하면  $\lambda_n(1-P_{Bn})$  만큼은 새로운 무선채널을 할당 받아 통화가 이루어 진다. 블리킹 되지 않은 새로운 호들은 발생한 셀내에서 호가 종료되거나 또는 인접 셀로 핸드오버 한다. 확률변수  $T_n$ 을 새로운 호가 발생한 순간에서 인접 셀로 핸드오버 할때까지 셀내에서 머무르는 시간으로 정의하면  $T_n$ 은 그림 1과 같이 이동가입자가 발생한 지점에서 그 셀의 경계까지 이동하는

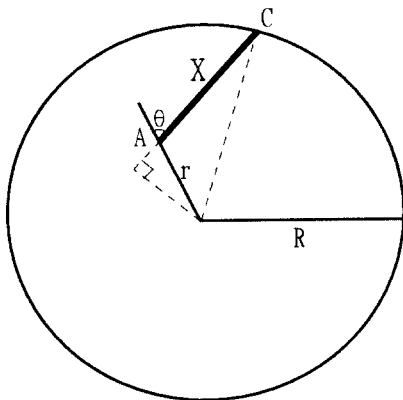


그림 1. 새로운 호가 인접 셀로 핸드오버 하는 경우의 이동거리  
Fig. 1. Traveling distance of a new call requiring hand-over

데 걸리는 시간과 같으며 이동가입자의 속도, 방향 그리고 셀의 반지름에 따라 다르다. 그림 1에서 셀의 반지름  $R$ 은 반지름이  $R_H$ 인 정육각형의 면적과 같은 원의 반지름을 의미한다. 즉  $R$ 과  $R_H$ 는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$R = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}} R_H \approx 0.91 R_H \quad (4)$$

새로운 호가 인접 셀로 핸드오버 하는 경우 이동가입자가 셀내의 임의의 지점 A에서 발생한후 그 셀의 경계인 C로 이동할때까지의 거리 X는 식(5)와 같은 확률밀도함수를 갖는 확률변수이다<sup>(1)</sup>. 실제 이동가입자는 셀내에서 도로위를 이동하므로 이동거리는 그림 1과 같은 직선은 아니지만 분석의 용이함을 위하여 직선으로 근사화시킨다.

$$f_X(x) = \frac{2}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{x}{2}\right)^2} \quad (0 \leq x \leq 2R) \quad (5)$$

따라서 이동가입자의 속도가  $V$ (Km/시간)로 일정하다고 할때,  $T_n = X/V$ 이므로  $T_n$ 에 대한 확률밀도함수와 누적분포함수는 이동거리  $X$ 의 분포로부터 각각 식(6)과 식(7)과 같이 유도할 수 있다.

$$f_{T_n}(t) = \frac{2v}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2} \quad \left(0 \leq t \leq \frac{2R}{v}\right) \quad (6)$$

$$F_{T_n}(t) = 1.0 - \frac{2}{\pi} \text{Cos}^{-1}\left(\frac{vt}{2R}\right) + \frac{1}{\pi} \sin\left[2\text{Cos}^{-1}\left(\frac{vt}{2R}\right)\right] \quad \left(0 \leq t \leq \frac{2R}{v}\right) \quad (7)$$

임의의 셀내에서 발생한 새로운 호가 핸드오버할 확률은 호의 통화시간을 나타내는 확률변수  $T_M$ 이 새로운 호가 셀내에서 머무르는 시간을 나타내는 확률변수  $T_n$ 보다 클 확률이다. 따라서  $T_M$ 과  $T_n$ 의 분포로부터 셀내에서 새로운 호가 핸드오버할 확률  $P_N$ 은 식(8)과 같이 산출할 수 있다.

$$P_N = \text{Pr}\{ T_M > T_n \} = \int_0^{\infty} [ 1 - F_{T_n}(t) ] f_{T_M}(t) dt = \frac{2v}{\pi R^2} \int_0^{\frac{2R}{v}} e^{-\mu_M t} \sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2} dt \quad (8)$$

2. 핸드오버 호의 트래픽

단위시간 동안에 특정 셀에서 발생하는 핸드오버 호의 트래픽을  $\lambda_h$ 라 하면,  $\lambda_h$ 중 일부는 제한된 통화채널 때문에 블러킹된다. 핸드오버 호의 블러킹 확률을  $P_{Bh}$ 라 하면  $\lambda_h(1-P_{Bh})$  만큼은 새로운 무선채널을 할당 받아 통화가 중단되지 않고 계속된다. 블러킹 되지 않은 핸드오버 호들은 핸드오버한 셀내에서 호가 종료되거나 또 다른 인접 셀로 핸드오버 한다. 핸드오버 호의 트래픽 특성을 규명하기 위해서는 핸드오버를 이미 성공한 호가 또 다시 핸드오버 할 확률등을 산출해야 한다.

확률변수  $T_h$ 를 핸드오버 호가 핸드오버한 순간부터 또 다시 인접 셀로 핸드오버 할때까지 셀내에서 머무르는 시간으로 정의하면  $T_h$ 는 그림 2와 같이 이동가입자가 핸드오버한 지점에서 그 셀의 경계까지 이동하는 데 걸리는 시간과 같으며 이동가입자의 속도, 방향 그리고 셀의 반지름에 따라 다르다.

핸드오버 호가 인접 셀로 또 다시 핸드오버 하는 경우 이동가입자가 셀의 경계지점 A에서 그 셀의 또 다른 경계인 C로 이동할때까지의 거리 Y는 식(9)과 같은 확률 밀도함수를 갖는 확률변수이다<sup>(1)</sup>.

$$f_Y(y) = \frac{1}{\pi\sqrt{R^2 - \left(\frac{y}{2}\right)^2}} \quad (0 \leq y \leq 2R) \quad (9)$$

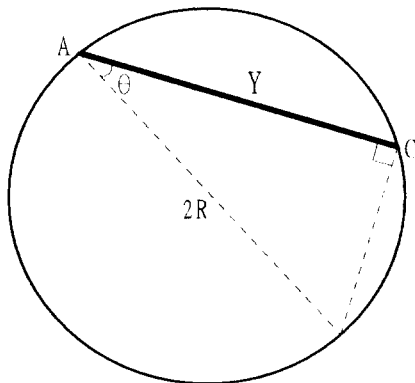


그림 2. 핸드오버 호가 또 다시 인접 셀로 핸드오버하는 경우의 이동거리  
Fig. 2. Traveling distance of a handover call requiring another handover

따라서 이동가입자의 속도를  $V(Km/시간)$ 로 일정하다고 할때,  $T_h=Y/V$ 이므로  $T_h$ 에 대한 확률밀도함수와 누적분포함수는 이동거리 Y의 분포로부터 각각 식(10)과 식(11)과 같이 유도할 수 있다.

$$f_{T_h}(t) = \frac{v}{\pi\sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2}} \quad (0 \leq t \leq \frac{2R}{v}) \quad (10)$$

$$F_{T_h}(t) = 1.0 - \frac{2}{\pi} \text{Cos}^{-1}\left(\frac{vt}{2R}\right) \quad (0 \leq t \leq \frac{2R}{v}) \quad (11)$$

핸드오버 호가 또 다시 인접 셀로 핸드오버할 확률은 호의 통화시간을 나타내는 확률변수  $T_M$ 이 핸드오버 호가 셀내에서 머무르는 시간을 나타내는 확률변수  $T_h$ 보다 클 확률이다. 여기서 지수 분포의 memoryless property때문에 핸드오버 이후, 호의 지속시간은 동일한 지수분포를 따른다. 따라서 핸드오버 호에 대한 채널 점유시간  $T_M$ 과  $T_h$ 의 분포로부터 핸드오버한 호가 또 다시 핸드오버할 확률  $P_H$ 는 식(12)와 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_H &= \text{Pr}(T_M > T_h) \\ &= \int_0^{\infty} [1 - F_{T_M}(t)] f_{T_h}(t) dt \\ &= \frac{v}{\pi} \int_0^{\frac{2R}{v}} \frac{e^{-\mu vt}}{\sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2}} dt \end{aligned} \quad (12)$$

이동통신 서비스영역내에서 새로운 호의 발생율이 전체 영역에서 균일하게 분포한다고 가정하면 특정 셀에서 발생한 호가 인접 셀로 핸드오버하는 호의 갯수는 인접 셀에서 핸드오버하여 특정 셀로 들어오는 호의 갯수와 평균적으로 같다고 볼 수 있다. 이러한 흐름보존의 법칙(flow conservation law)에 의하여 새로운 호와 핸드오버 호는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\lambda_h = \lambda_n(1 - P_{Bn}) P_{N+} + \lambda_h(1 - P_{Bh}) P_H \quad (13)$$

식(13)의 좌변은 인접 셀들로 부터 특정 셀로 핸드오버하는 핸드오버 호의 트래픽을 의미하고, 우변은 특정 셀에서 인접셀들로 핸드오버 하는 트래픽을 의미한다. 특정 셀에서 인접 셀들로 핸드오버 하는 트래픽은 2가지 종류가 있는데, 특정 셀에서 발생하여 인접 셀로 핸드오버 하는 트래픽(식(13) 우변의 첫번째항)과 인접 셀들로 부터 성공적으로 핸드오버 하여 특정 셀을 경유하여

또 다시 인접 셀들로 핸드오버 하는 트래픽(식(13) 우변의 두번째항)이 있다. 따라서 식(13)을  $\lambda_h$ 에 대해서 정리하면 다음과 같은 핸드오버 호의 트래픽을 얻을 수 있다.

$$\lambda_h = \frac{\lambda_n(1 - P_{Bn})P_N}{1 - (1 - P_{Bh})P_H} \quad (14)$$

따라서 핸드오버 트래픽은 새로운 호의 블러킹 확률과 핸드오버 호의 블러킹 확률 그리고 이동가입자의 이동속도, 셀의 반지름, 새로운 호의 트래픽등에 의하여 결정된다.

### 3. 호당 핸드오버 횟수

셀룰라 이동통신 서비스 영역은 셀의 크기에 비해 매우 크므로 이동 가입자가 호를 진행중인 상태에서 서비스 영역을 벗어나는 경우는 없다고 가정할 수 있다. 확률변수  $K$ 를 통화시간 동안 블러킹되지 않은 호의 핸드오버 횟수라고 정의하면 핸드오버가 한번도 일어나지 않을 확률 즉,  $K=0$ 일 확률은 식(15)와 같다. 이 식에서 우변의 첫번째항은 새로운 호가 핸드오버 하지 않을 확률(새로운 호가 발생한 셀내에서 종료될 확률)이며, 두번째항은 새로운 호가 핸드오버를 요구했는데 실패할 확률을 의미한다.

$$\Pr\{K=0\} = (1-P_N) + (P_N P_{Bh}) \quad (15)$$

또한 전체 통화시간 동안에  $k(k \geq 1)$ 번의 핸드오버가 일어날 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Pr\{K=k\} = P_N(1-P_{Bh})\{P_H(1-P_{Bh})\}^{k-1}(1-P_H + P_H P_{Bh}) \quad (k=1, 2, \dots) \quad (16)$$

식(16)의 우변의 첫번째항은 새로운 호가 발생한 셀내에서 핸드오버할 확률( $P_N$ )이고 두번째항은 첫번째 핸드오버가 성공할 확률( $1-P_{Bh}$ )이며, 세번째항은 그 이후에  $(k-1)$ 번의 핸드오버가 성공하고( $\{P_H(1-P_{Bh})\}^{k-1}$ ), 네번째항은  $(k+1)$ 번째 핸드오버가 일어나기 전에 호가 종료되거나( $1-P_H$ ),  $(k+1)$ 번째의 핸드오버가 실패하는 경우( $P_H P_{Bh}$ )를 의미한다. 따라서 식(15)와 식(16)을 이용하여 호당 평균 핸드오버 횟수를 산출하면 식(17)과 같다.<sup>(1)</sup>

$$\begin{aligned} \bar{K} &= \sum_{k=0}^{\infty} k \Pr\{K=k\} \\ &= \frac{P_N(1 - P_{Bh})}{1 - P_H(1 - P_{Bh})} \end{aligned} \quad (17)$$

### III. 채널점유시간(Channel Holding Time)

통화시간은 이동가입자 측면에서 보는 개념이며, 채널 점유시간은 셀의 관점에서 보는 개념이다. 이동가입자는 통화시간 동안 호를 유지하는데 발신한 셀내에서 호를 종료하거나 인접 셀로 핸드오버를 하여 핸드오버한 셀에서 호를 종료하기도 하며, 여러 셀로 핸드오버를 한 후, 호를 종료하기도 한다. 이러한 상황을 고려하여 셀의 관점에서 본 채널점유시간은 이동가입자의 통화시간( $T_M$ ), 새로운 호가 인접 셀로 핸드오버 할 때까지 셀내에서 머무르는 시간( $T_n$ ), 그리고 핸드오버 호가 또 다시 인접 셀로 핸드오버 할 때까지 셀내에서 머무르는 시간( $T_h$ )으로 부터 산출할 수 있다. 임의의 셀에서 발생한 새로운 호가 채널을 점유했을때 그 호는 할당된 무선채널을 발신한 셀내에서 호가 종료될 때까지 또는 인접 셀로 핸드오버 할때까지 채널을 점유한다. 따라서 새로운 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{Hn}$ 은  $T_M$ 과  $T_n$ 의 최소값으로 결정된다.

$$T_{Hn} = \min(T_M, T_n) \quad (18)$$

식(18)로 부터  $T_{Hn}$ 의 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{Hn}}(t) = F_{T_M}(t) + F_{T_n}(t) (1 - F_{T_M}(t)) \quad (19)$$

따라서 식(19)로 부터  $T_{Hn}$ 의 평균을 구하면 다음과 같다.

$$\bar{T}_{Hn} = \int_0^{\infty} [1 - F_{T_{Hn}}(t)] dt = \frac{1 - P_N}{\mu_M} \quad (20)$$

핸드오버 호는 핸드오버한 셀내에서 종료되거나 또 다른 인접 셀로 핸드오버 할때까지의 시간동안 채널을 점유한다. 지수 분포의 memoryless property때문에 핸드오버 이후 호의 지속시간은 동일한 지수분포를 따른다. 따라서 핸드오버 호의 채널점유시간을 나타내는  $T_{Hh}$ 는  $T_M$ 과  $T_h$ 의 최소값으로 결정된다.

$$T_{Hh} = \min(T_M, T_h) \quad (21)$$

식(21)로 부터  $T_{Hh}$ 의 누적분포함수(cdf)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{T_{Hh}}(t) = F_{T_M}(t) + F_{T_h}(t)(1 - F_{T_M}(t)) \quad (22)$$

따라서 식(22)로 부터  $T_{Hh}$ 의 평균을 구하면 다음과 같다.

$$\overline{T_{Hh}} = \int_0^{\infty} [1 - F_{T_{Hh}}(t)] dt = \frac{1 - P_{Hh}}{\mu_M} \quad (23)$$

새로운 호중 블리킹되지 않은 새로운 호를  $\lambda_{ns} = \lambda_n(1 - P_{Bn})$ 이라 하고 핸드오버 호중 블리킹되지 않은 핸드오버 호를  $\lambda_{hs} = \lambda_h(1 - P_{Bh})$ 라고 하면 채널점유시간에 대한 누적분포함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{T_{ch}}(t) &= \frac{\lambda_{ns}}{\lambda_{ns} + \lambda_{hs}} F_{T_{ns}}(t) + \frac{\lambda_{hs}}{\lambda_{ns} + \lambda_{hs}} F_{T_{hs}}(t) \\ &= \frac{1}{1 + \gamma} F_{T_{ns}}(t) + \frac{\gamma}{1 + \gamma} F_{T_{hs}}(t) \\ &= F_{T_M}(t) + \frac{1}{1 + \gamma} (1 - F_{T_M}(t)) \\ &\quad (F_{T_{ns}}(t) + F_{T_{hs}}(t)) \quad (24) \end{aligned}$$

여기서  $\gamma = \lambda_{hs} / \lambda_{ns}$ 이며 이 값은 임의의 셀내에서의 핸드오버 호중 블리킹되지 않은 호의 수를 해당 셀에서의 블리킹되지 않은 새로운 호의 수로 나누어 준 값이므로 식(17)에서 구한 호당 평균 핸드오버 횟수를 나타낸다. 이는 식(14)에서 산출한 핸드오버 트래픽을 이용하여  $\gamma$ 에 관한 식에 대입하면 쉽게 알 수 있다. 즉,

$$\gamma = \frac{\lambda_h(1 - P_{Hh})}{\lambda_n(1 - P_{Bn})} = \frac{P_N(1 - P_{Hh})}{1 - P_{Hh}(1 - P_{Bh})} = \bar{K} \quad (25)$$

식(3)을 식(24)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 채널점유시간에 대한 누적분포함수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{T_{ch}}(t) &= 1 - e^{-\mu_M t} + \frac{e^{-\mu_M t}}{1 + \gamma} (F_{T_{ns}}(t) \\ &\quad + F_{T_{hs}}(t)) \quad (t \geq 0) \end{aligned} \quad (26)$$

따라서 식(26)을 이용하여 채널점유시간의 평균을 산출하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{T_{CH}} &= \int_0^{\infty} [1 - F_{T_{ch}}(t)] dt \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\mu_M t} dt - \frac{1}{1 + \gamma} \int_0^{\infty} e^{-\mu_M t} F_{T_{ns}}(t) dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\gamma}{1 + \gamma} \int_0^{\infty} e^{-\mu_M t} F_{T_{ns}}(t) dt \\ &= \frac{1}{\mu_M} - \frac{1}{1 + \gamma} \frac{P_N}{\mu_M} - \frac{\gamma}{1 + \gamma} \frac{P_{Hh}}{\mu_M} \\ &= \frac{(1 + \gamma) - P_N - \gamma P_{Hh}}{\mu_M(1 + \gamma)} \quad (27) \end{aligned}$$

평균채널점유시간  $\overline{T_{CH}} (= 1/\mu_{CH})$ 은 셀의 설계시 중요한 파라메타로서 특정 셀에서의 운반 트래픽(carried traffic)은 다음과 같이 산출된다.

$$\rho_c = \frac{\lambda_{ns} + \lambda_{hs}}{\mu_{CH}} = \frac{\lambda_{ns}(1 - P_N) + \lambda_{hs}(1 - P_{Hh})}{\mu_M} \quad (28)$$

#### IV. 핸드오버 지속시간

일반적으로 이동가입자가 기지국으로 부터 멀어지면 수신전력은 낮아지고, 수신전력이 핸드오버 임계값보다 낮아지면 통화중인 호는 핸드오버를 요구하게 된다. 핸드오버 영역은 이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오버 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역으로서 정의된다. 셀의 형태가 그림 3에서와 같이 한변의 길이가  $R_{Hh}$ 인 정육각형 셀과 동일한 면적을 갖는 반지름이  $R$ 인 원이라고 가정하면 기지국에서의 전파 특성상 두 셀간에 겹쳐지는 영역을 핸드오버 영역이라고 볼 수 있다.

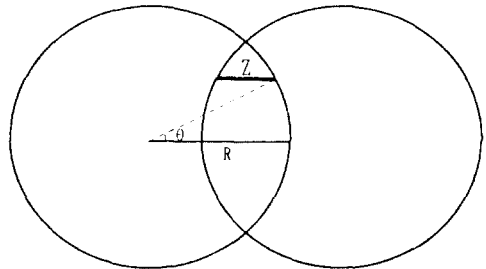


그림 3. 호가 인접 셀로 핸드오버하는 경우 핸드오버 영역의 이동거리  
Fig. 3. Traveling distance in handover area

핸드오버 호에 우선순위를 주기 위해 큐를 두는 경우 핸드오버 호는 셀내에 사용 가능한 채널이 없다면 큐에 존재하게 되는데, 큐에 존재하는 핸드오버 호는 핸드오버 영역을 벗어나기 이전에 셀내에서 통화중인 호가 완료되어서 새로운 무선 채널을 할당받아 성공적으로 핸드오버 되는 경우나 또는 수신전력이 수신기 임계값보다 낮아질때까지 새로운 무선 채널이 할당되지 않아서 시스템에서 강제로 종료되는 경우가 있다. 이동가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간을 핸드오버 지속시간으로 정의하며 이 시간은 이동가입자의 속도, 방향 그리고 셀의 반지름에 따라 다르다. 확률변수  $Z$ 를 이동가입자가 핸드오버 영역을 이동하는 거리라고 하면  $Z$ 의 확률밀도함수는 식(29)와 같이 산출된다. 여기서 이동가입자의 이동방향은 분석의 편의상 셀의 경계를 수직인 방향으로만 이동한다고 가정하였다.

$$f_Z(z) = \frac{3}{\pi R \sqrt{1 - \left(\frac{z}{2R} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}} \quad (29)$$

$$(0 < z < R(2 - \sqrt{3}))$$

이동가입자의 속도를  $V$ (Km/시간)로 일정하고  $T_{HO}$ 를 핸드오버 지속시간을 나타내는 확률변수라고 하면  $T_{HO} = Z/V$ 이므로  $T_{HO}$ 에 대한 확률밀도함수는 식(30)과 같이 유도된다.

$$f_{T_{HO}}(t) = \frac{3v}{\pi R \sqrt{1 - \left(\frac{vt}{2R} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}} \quad (30)$$

$$\left(0 < t < \frac{R(2 - \sqrt{3})}{v}\right)$$

따라서 식(30)을 이용하여 핸드오버 지속시간의 평균을 산출하면 다음과 같다.

$$\overline{T_{HO}} = \frac{R}{\pi v} (6 - \sqrt{3}\pi) \quad (31)$$

입의 호가 핸드오버를 요구했을때 핸드오버한 셀에서 새로운 무선채널을 할당할 수 없을때, 핸드오버 호를 큐에 두는 경우 평균적으로 식(31)과 같은 핸드오버 지속시간내에 새로운 무선채널을 할당할 수 있으면 그 핸드오버 호는 블러킹되지 않으나 그렇지 않은 경우는 블러킹된다.

### V. 성능 특성

일반적으로 핸드오버 호의 블러킹은 통화중에 호가 절단되는 것이므로 이동가입자가 느끼는 불편함은 새로운 호의 블러킹보다 훨씬 크게 느껴지므로 가능한 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 많은 방식들이 제시되었다. 본 논문에서는 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 방식은 논의하지 않으며 단지 새로운 호의 블러킹 확률은  $P_{Bn} = 10^{-2}$ , 핸드오버 호의 블러킹 확률은  $P_{Bh} = 10^{-3}$ 인 이동통신시스템을 가정하였다. 또한 호당 통화시간은 평균이  $\overline{T_M} = 1/\mu_M = 100$ (초)인 지수분포를 따르고, 이동가입자의 속도는  $V = 10$ (Km/시간)로 일정하다

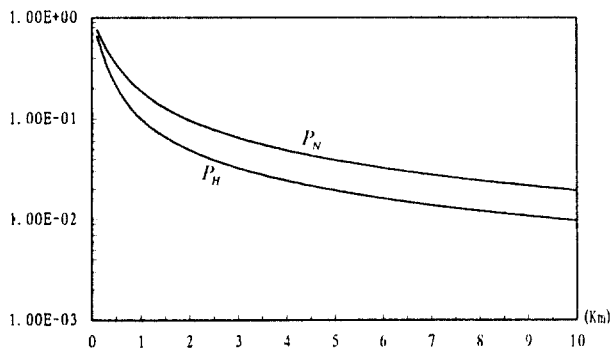


그림 4.  $R_H$ 의 변화에 대한  $P_N$ 과  $P_H$ 의 변화  
Fig. 4. Effect of cell size on probability requiring handover

고 가정하였으며,  $\lambda_a=1000$ (호/시간)로 가정하였다.

그림 4는 이동가입자의 속도가  $V=10$ (Km/h)이고 정 육각형 셀의 반지름인  $R_H$ 가 변화할때 새로운 호가 핸드 오버할 확률  $P_N$ 과 핸드오버 호가 또 다시 핸드오버할 확률  $P_H$ 의 변화를 나타낸다.

셀의 크기가 증가함에 따라  $P_N$ 과  $P_H$ 는 감소함을 알 수 있으며 셀의 크기가 작은 부분에서의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있다. 또한  $P_N$ 이  $P_H$ 보다 항상 확률값이 큰데 이는 새로운 호가 셀의 경계까지 이동한 거리를 나타내는 확률변수  $X$ 가 핸드오버 호가 셀의 경계까지 이동한 거

리를 나타내는 확률변수  $Y$ 보다 작기 때문인 것으로 판단된다. 식(5)와 식(9)를 이용하여  $X$ 와  $Y$ 의 평균값을 구하면 다음과 같다. 예를들어  $R_H = 0.5$ (Km)인 경우  $\bar{X} = 0.386$ (Km)이고,  $\bar{Y} = 0.579$ (Km)이다.

$$\bar{X} = \int_0^{\infty} x f_X(x) dx = \int_0^{2R} \frac{2x}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - \left(\frac{x}{2}\right)^2} dx = \frac{8R}{3\pi} \quad (32)$$

$$\bar{Y} = \int_0^{\infty} y f_Y(y) dy = \int_0^{2R} \frac{y}{\pi \sqrt{R^2 - \left(\frac{y}{2}\right)^2}} dy = \frac{4R}{\pi} \quad (33)$$

그림 5는 이동가입자의 속도가  $V=10$ (Km/h)이고 정

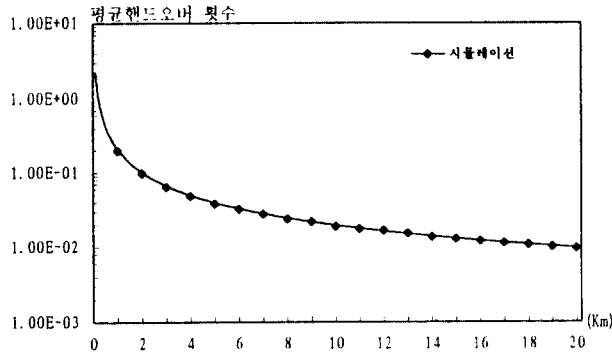


그림 5.  $R_H$ 의 변화에 대한  $\bar{K}$ 의 변화  
Fig. 5. Effect of cell size on average number of handover per call

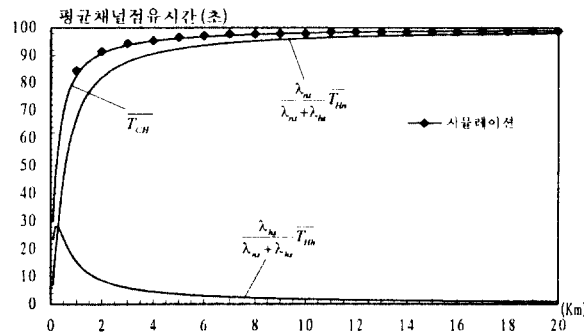


그림 6. 셀의 반지름  $R_H$  변화에 대한  $\bar{T}_{CH}$ 의 변화  
Fig. 6. Effect of cell size on average channel holding time in a cell



육각형 셀의 반지름인  $R_H$ 가 변화할때 호당 평균 핸드오버 횟수인  $\bar{K}$ 의 변화를 나타낸다. 셀의 크기가 증가함에 따라  $\bar{K}$ 는 감소함을 알 수 있으며 셀의 크기가 작은 부분에서의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있다. 그 이유는 그림 4에서 알 수 있듯이 셀의 크기가 작은 부분에서  $P_N$ 과  $P_H$ 의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만하기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6은 이동가입자의 속도가  $V=10(\text{Km/h})$ 이고 정육각형 셀의 반지름인  $R_H$ 가 변화할때 평균 채널점유시간인  $\bar{T}_{CH}$ 의 변화를 나타낸다. 셀의 크기가 증가함에 따라  $\bar{T}_{CH}$  증가하여 통화시간의 평균값인  $\bar{T}_M$  100(초)에

수렴하며, 셀의 크기가 작은 부분에서  $\bar{T}_{CH}$ 의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있다. 또한 그림 6으로부터 호당 평균 채널점유시간  $\bar{T}_{CH}$  새로운 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{Hn}$ 과 핸드오버 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수  $T_{Hh}$  그리고 블러킹되지 않은 새로운 호의 트래픽  $\lambda_{ns}$  및 핸드오버 호의 트래픽  $\lambda_{hs}$ 에 의해 결정됨을 알 수 있다. 셀 반지름의 증가에 따라 확률변수  $T_{Hn}$ 과  $T_{Hh}$ 의 평균값은 통화시간  $\bar{T}_M$  접근하고,  $\lambda_{ns}$ 는 동일한 블러킹 확률하에서 셀 반지름의 제곱에 비례하여 증가한다. 반면에  $\lambda_{hs}$ 는 셀 반지름이 증가할때 이동가입자의 이동성이 감소 즉,  $P_N$ 과  $P_H$  확

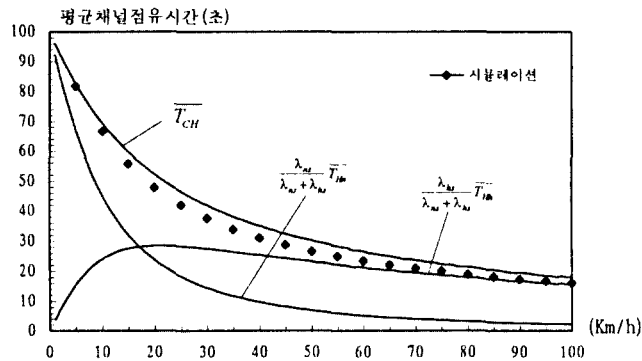


그림 7. V의 변화에 대한  $\bar{T}_{CH}$ 의 변화  
 Fig. 7. Effect of mobile speed on average channel holding time in a cell

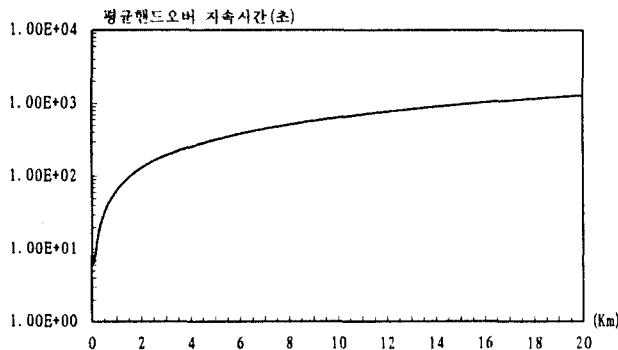


그림 8. RH의 변화에 대한  $\bar{T}_{HO}$ 의 변화  
 Fig. 8. Effect of cell size on average handover duration time

를값의 감소로 인하여  $\lambda_{ns}$ 에 비해 감소함을 알 수 있다.

그림 7은 정육각형 셀의 반지름이  $R_H=0.5(Km)$ 이고 이동가입자의 속도  $V$ 가 변화할때 평균 채널점유시간인  $\bar{T}_{CH}$ 의 변화를 나타낸다. 속도  $V$ 가 증가함에 따라  $\bar{T}_{CH}$ 는 완만하게 감소함을 알 수 있다. 또한 이동가입자의 속도의 증가에 따라 확률변수  $T_{Hn}$ 과  $T_{Hb}$ 의 평균값은 각각  $T_n$ 과  $T_b$ 의 평균값에 접근하며  $\lambda_{ns}$ 는 동일한 블러킹 확률하에서 속도와 무관하게 일정하다. 반면에  $\lambda_{ns}$ 는 이동가입자의 속도가 증가할때 이동가입자의 이동성이 증가 즉,  $P_N$ 과  $P_H$  확률값의 증가로 인하여  $\lambda_{ns}$ 에 비해 증가함을 알 수 있다.

그림 8은 이동가입자의 속도가  $V=10(Km/h)$ 이고 정육각형 셀의 반지름인  $R_H$ 가 변화할때 평균 핸드오버 지속시간인  $\bar{T}_{HO}$ 의 변화를 나타낸다. 셀의 크기가 증가함에 따라  $\bar{T}_{HO}$ 는 증가하며, 셀의 크기가 작은 부분에서  $\bar{T}_{HO}$ 의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있다.

## VI. 결 론

최근 이동통신 시스템에 대한 수요의 급격한 증가에 따라 한정된 주파수 채널을 효율적으로 이용하기 위해 전체 서비스 영역을 셀로 나누어 주파수 채널을 반복하여 사용한다. 특히 개인휴대통신으로 발전함에 따라 셀의 반지름이 200~300(m)인 microcell 또는 picocell을 사용하여 주파수 재사용 빈도를 높임으로써 주어진 대역에서 보다 많은 이동가입자를 수용한다. 셀의 반지름이 작아짐에 따라 통화중 상태에서 셀을 벗어나는 이동가입자들에 대해 통화를 지속시켜 주는 핸드오버 트래픽은 증가하여 이동통신시스템 설계시 중요한 변수가 되고 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 셀에서의 채널 할당방식이 고정채널할당방식이고, 핸드오버 기능 요청을 결정하는 변수로는 이동가입자와 기지국 사이의 거리를 이용하는 경우 이동통신 환경에서의 트래픽 모델을 설정하고 이를 분석하였다.

먼저 호의 종류를 새로운 호와 핸드오버 호로 분류하여 각각의 호에 대한 핸드오버 확률 및 평균등을 산출하였으며 또한 호당 핸드오버 횟수를 산출하였다. 셀의 크기가 증가함에 따라 새로운 호의 핸드오버 확률  $P_N$ 과 핸드오버 호가 또 다시 핸드오버 할 확률  $P_H$ 는 감소하

는데 셀의 크기가 작은 부분에서의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있었다. 또한 셀의 크기가 증가함에 따라 호당 핸드오버 횟수는 감소함을 알 수 있었다. 또한 셀의 관점에서의 채널점유시간의 누적분포함수와 평균채널점유시간을 유도하였으며, 이를 토대로 특정 셀에서의 운반트래픽을 산출하였다. 셀의 크기가 증가함에 따라 평균채널점유시간은 증가하여 통화시간의 평균인  $\bar{T}_M$ 에 수렴하며, 셀의 크기가 작은 부분에서 평균채널점유시간의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있었다. 그러나 이동가입자의 속도  $V$ 가 증가함에 따라서 평균채널점유시간은 전반적으로 완만하게 감소함을 알 수 있었다. 마지막으로 이동가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간인 핸드오버 지속시간에 대한 분포함수 및 평균값을 산출하였는데, 셀의 크기가 증가함에 따라 평균 핸드오버 지속시간은 증가하며, 셀의 크기가 작은 부분에서의 변화율은 급격한 반면 셀의 크기가 큰 부분에서의 변화율은 완만함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. D. Hong and S.S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. VT-35, No. 3, August, 1986.
2. E.C. Posner and R. Guerin, "Traffic polices in cellular radio that minimize blocking of hand-off calls," *ITC 11*, 2. 4B-2-1, November, 1985.
3. R. Guerin, "Queueing-blocking system with two arrival streams and guard channels," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 36, No. 2, pp.153-163, February, 1988.
4. V. K. Rohatgi, *An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics*, John Wiley & Sons, 1990.
5. William C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1990.



林 錫 鳩(Seog Ku Lim) 정회원

1983年 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)

1987年 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1987年~1992年 : 금성정보통신(주)

1992年~1994年 : 한국전자통신연구소

1994年~現在 : 주성전문대학 전자과 전임강사

한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정

※주관심 분야 : 디지털 신호처리, 트래픽 엔지니어링, 시스템 성능분석



張 喜 善(Hee Seon Jang) 정회원

1990年 : 울산대학교 산업공학과(공학사)

1992年 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)

1992年~現在 : 한국전자통신연구소 연구원

※주관심 분야 : 이동통신시스템 성능분석



柳 濟 勳(Jea Hoon Yoo) 정회원

1980年 : 건국대학교 전자공학과(공학사)

1982年 : 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1980年~現在 : 한국전자통신연구소 책임연구원

※주관심 분야 : 개인휴대통신서비스 망 구조 및 성능분석 연구



李 允 周(Yoon Ju Lee) 정회원

1974年 : 송실대학교 전자공학과(공학사)

1989年 : 송실대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1993年~現在 : 송실대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1975年 : 민성전자(주)

1977年 : 대한통신(주)

1979年~現在 : 한국전자통신연구소 책임연구원

※주관심 분야 : 디지털통신, 개인통신