

계층적 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 큐잉 모델*

A Queueing Model for Mobile Communication Systems with Hierarchical Cell Structure

김 기원**, 김 두용**, 최 덕규***

Ki-Wan Kim, Doo-Yong Kim, Dug-Kyoo Choi

Abstract

The hierarchical cell structure consists of the macrocell and microcells to increase the system capacity and to achieve broad coverage. The hierarchical cell structure provides services for users in different mobility.

In this paper, an analytical queueing model in mobile networks is proposed for the performance evaluation of the hierarchical cell structure. The model for networks with the multiple levels can simplify multi-dimensional ones into one-dimensional queueing model. The computational advantage will be growing as the layers are constructed in multiple levels. The computer simulation is provided for validating the proposed analytical model.

* 본 연구는 1997년도 학술진흥재단의 신진교수지원 과제의 위탁 연구로 수행되었습니다.

** 순천향대학교 전기전자공학부

*** 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부

1. 서론

최근의 통신시스템은 정보를 보다 빠르고 손쉽게 교환하려는 요구에 맞추어 이동 통신의 수요가 급격히 증가하고 있다. 한편, 음성 위주로 서비스되던 아날로그 이동 통신 시스템은 용량이 한계에 직면하게 되었고 한정된 주파수 대역에서 더 많은 가입자에게 보다 양질의 서비스를 제공할 수 있는 디지털 셀룰러 이동 통신 시스템이 수요의 상당 부분을 점유할 것으로 예상된다.

셀룰러 이동 통신 시스템과 PCS(Personal Communication Service) 시스템이 상용으로 서비스되고 있으며 제3세대 미래 공용육상 이동 통신 서비스(Future Public Land Mobile Telecommunication System)인 IMT2000이 2000년대 초 상용서비스를 목표로 개발되고 있다[1]. 이처럼 다양해지는 이동 통신 서비스의 해결해야할 가장 중요한 문제는 보다 양질의 서비스를 제공하고 더 나아가 보다 많은 가입자에게 서비스를 제공하는 것이다. 이에 대한 방안에 하나로 매크로셀에 여러 개의 마이크로셀들을 포함하는 계층적 셀 구조가 제안되고 있다.

일반적으로 이동 통신 시스템의 계층적 셀 구조에서 적은 전송전력과 짧은 안테나를 사용하는 마이크로셀은 가입자의 통화량이 많은 도심 지역을 서비스하고, 매크로셀은 도심 고속화 도로와 같이 상대적으로 통화량이 적고 빠른 속도로 움직이는 가입자에게 서비스를 제공함으로써 이동 통신 시스템의 서

비스 용량을 증가시킨다[2,3].

그러나 이동 통신 시스템에 있어서 가입자 트래픽이 급속히 그리고 랜덤하게 변하는 성질로 인해 오랜 시간동안 시스템이 비정상(nonstationary) 상태에 있을 수 있다는 것이 알려지고 있다. 따라서 이동 통신 시스템의 설계에서는 정상상태의 성능과 비정상상태의 성능이 모두 고려되어야 한다.

한편, 계층적 셀 구조에 관한 성능 분석 모델[2]과 사용자의 이동성에 따라 계층적 셀 구조의 매크로셀과 마이크로셀의 주파수 할당방법[4,5]을 제안하고 있는 모델들은 알고리즘의 복잡성으로 인해 계층이 다단계화 될수록 성능 모델을 분석하기가 어려워지는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 복잡한 성능 분석 방법을 개선하고 정상상태와 비정상상태의 성능을 시간중속 특성을 갖는 큐잉 네트워크 모델을 이용하여 분석한다. 제안한 큐잉 네트워크 모델의 해석적 분석 방법은 위에서 언급한 성능 분석 방법에 비하여 매우 간편하게 분석할 수 있으며, 특히 시스템 모델의 계층이 피코셀을 포함하는 다계층으로 확장될 때 편리하게 적용될 수 있다.

2. 계층적 셀 구조의 성능분석 모델

이동 통신 시스템의 계층적 셀 구조를 그림1에 나타내었다. 이와 같은 계층적 셀 구조에서는 사용자의 이동성이 낮고 통화량이 많으며, 지역적인 전

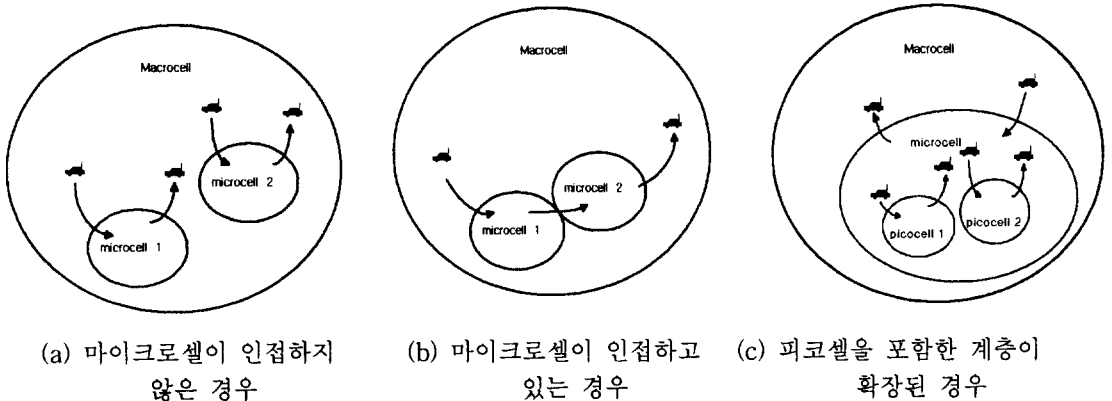


그림 1. 계층적 셀 구조

과 전달 환경과 지형적인 영향으로 인해 전파의 세기가 미약한 지역을 마이크로셀을 통해 서비스한다. 그러나, 사용자의 이동성이 높을 경우 마이크로셀을 통해 서비스를 할 때 많은 핸드오프를 요구함으로써 시스템이 트래픽에 크게 영향을 받는다. 이러한 트래픽의 부담을 줄이기 위해 마이크로셀을 포함하는 매크로셀의 계층적 구조로 이동 통신 시스템의 설계가 요구된다.

계층적 셀 구조에 포함된 마이크로셀은 통화량은 많지만 지형적인 영향으로 전파의 세기가 미약한 지역을 서비스하고, 사무용 빌딩 내에서 이동하는 사용자에게 서비스하는 등 일반적으로 도심지역에서 많이 찾아 볼 수 있는 셀의 형태이다[6].

그림 1의 계층적 셀 구조에서 매크로셀과 마이크로셀을 각각 하나의 큐로 모델링하여 상호 연결된 큐잉 네트워크 모델로 나타낼 수 있다. 각각의 셀 내에서 호의 발생률은 Poisson 분포를 나타내고 호의 서비스율은 지수분포를 갖는다고 가정하면 C개의 채널을 갖는 M/M/C/C 큐잉 손실(loss) 네트워크 모델로 나타낼 수 있다.

시스템의 정상상태와 비정상상태의 성능을 분석하기 위해 시간 종속 특징을 갖는 큐잉 네트워크 모델 i번째 큐가 호의 발생률 λ_i 서비스율 μ_i 채널 수 C를 갖는다고 가정하면 각 큐의 상태를 다음과 같은 Kolmogorov 미분 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dP_{i0}(t)}{dt} &= -\lambda_i(t)P_{i0}(t) + \mu_i(t)P_{i1}(t) \\ &\vdots \\ \frac{dP_{ij}(t)}{dt} &= \lambda_i(t)P_{ij-1}(t) - [\lambda_i(t) + j\mu_i(t)]P_{ij}(t) \\ &\quad + (j+1)\mu_i(t)P_{ij+1}(t) \quad 0 < j < C \\ &\vdots \\ \frac{dP_{iC}(t)}{dt} &= \lambda_i(t)P_{iC-1}(t) - C\mu_i(t)P_{iC}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $P_{ij}(t)$ 는 시간 t에서 i번째 큐잉 시스템에 j개의 호가 서비스될 확률이다. 그리고 시스템에서 셀간의 핸드오프 요구 확률을 나타내는 트래픽 행렬

을 다음과 같이 정의한다. 여기서 r_{li} 는 큐 l에서 큐 i에 대한 핸드오프 요구 확률을 나타내며 $l=i$ 일 때는 0값을 갖는다. 이와 같은 트래픽 행렬을 사용함으로써 다양한 형태의 트래픽 발생시 쉽게 시스템 성능을 분석할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1i} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2i} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{l1} & r_{l2} & \cdots & r_{li} \end{pmatrix} \quad (2)$$

따라서 전체 네트워크의 성능을 평가하기 위하여, 각 큐에서의 평균 호의 발생률을 알아야하므로 큐잉 네트워크의 product form에 사용된 방법을 적용하면 다음 식(3)으로부터 각 큐에 대한 전체 호의 발생률을 구할 수 있다[7].

$$\begin{aligned} \lambda_i(t) &= \lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t) \\ &= \lambda_{0i}(t) + \sum_{j=1}^M \mu_j(t) S_j(t) r_{ji} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $\lambda_i(t)$ = 큐 i에서의 전체 호 발생률

$\lambda_{0i}(t)$ = 큐 i에서의 새로운 호 발생률

$\lambda_{Hi}(t)$ = 큐 i에서의 핸드오프 호 발생률

M = 네트워크에 있는 큐의 개수

$\mu_j(t)$ = 큐 j의 채널당 서비스율

$S_j(t)$ = 큐 j에서의 평균 채널 점유도

$$S_j(t) = \sum_{i=1}^C jP_{ji}(t)$$

r_{li} = 큐 l에서 큐 i에 대한 핸드오프 요구 확률

식의 첫 번째 항은 큐i에 대한 새로운 호의 발생률을 나타내고 두 번째 항은 다른 큐로부터 들어오는 핸드오프 호의 발생률을 나타낸다.

이와 같은 계층적 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 분석을 위해 제 3장에서 새로운 방안을 제시한다. 이 방법을 사용하는 경우 실제로 마코비안 프로세스를 이용하여 성능 분석을 할 경우 보다 매우 간단히 해를 구할 수 있다. 예를 들면 각 C개의 채널을 갖는 M개의 큐로 이루어진 네트워크는 M차원으로 이루어진 상태 방정식을 필요로 한다. 이러한, 상태 방정식으로부터 정확한 해를 구하기 위해서는 $\prod_{i=0}^M (C_i + 1)$ 개의 방정식을 필요로 하므로 실제 계산상에 많은 제약을 갖는다. 그러나, 제안한 방법에 의한 큐잉 네트워크의 성능 분석은 단지 $\sum_{i=1}^M (C_i + 1)$ 개의 방정식만을 필요로 하므로 매우 간편하게 수학적 분석을 할 수 있으며, 시스템 모델의 계층이 확장될 때 더욱 편리하게 적용할 수 있을 것이다.

3. 큐잉 네트워크 모델링

본 장에서는 앞서 제안된 계층적 셀 구조의 성능 분석 방법을 적용하기 위하여 그림 1에 나타난 셀 구조를 사용한다.

3.1 마이크로셀이 인접하지 않은 경우

그림 1(a)과 같은 계층적 셀 구조에서 매크로셀과 마이크로셀 1과 2에서의 새로운 호의 발생률을 각각 $\lambda_M, \lambda_{m1}, \lambda_{m2}$, 매크로셀에서 마이크로셀 1로 핸드오프를 요구할 확률을 p_1 , 마이크로셀 2로 핸드오프를 요구할 확률을 p_2 , 마이크로셀 1에서 매크로셀로 핸드오프를 요구할 확률을 q_1 , 마이크로셀 2에서 매크로셀로 핸드오프 요구 확률을 q_2 , 매크로셀의 서비스률을 μ_M , 마이크로셀 1과 2의 서비스률을 각각 μ_{m1}, μ_{m2} 라 하면 그림2와 같은 큐잉 네트워크로 나타낼 수 있다. 한편, 이곳에서는 큐잉 네트워크의 각 큐의 연관성을 높여 모델의 유효성을 검증하기 위해 사용자의 이동 방향에 관계없이 각각의 목적지 셀로

핸드오프를 요구할 수 있다고 가정한다.

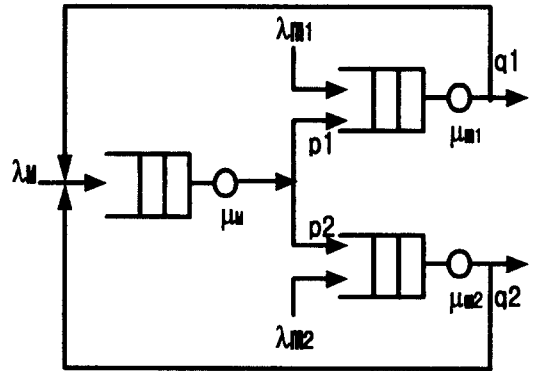


그림 2. 마이크로셀이 인접하지 않은 경우의 큐잉 네트워크 모델

3.2 마이크로셀이 인접하고 있는 경우

그림1 (b)와 같은 계층적 셀 구조에서 매크로셀과 마이크로셀 1, 2에서의 새로운 호의 발생률을 각각 $\lambda_M, \lambda_{m1}, \lambda_{m2}$, 매크로셀에서 마이크로셀 1로 핸드오프 될 확률을 p_1 , 마이크로셀 1에서 마이크로셀 2로 핸드오프 될 확률을 p_2 , 마이크로셀 2에서 매크로셀로 핸드오프 될 확률을 p_3 , 매크로셀의 서비스률을 μ_M , 마이크로셀 1과 2의 서비스률을 각각 μ_{m1}, μ_{m2} 라 하면 시스템을 그림3과 같이 나타낼 수 있다.

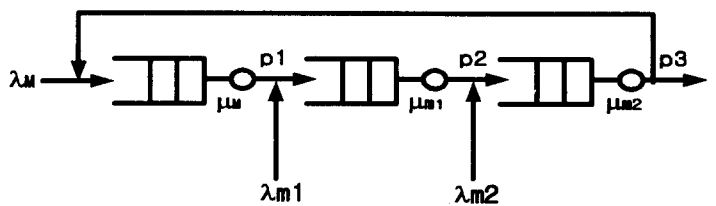


그림 3. 마이크로셀이 인접하고 있는 경우의 큐잉 네트워크 모델

3.3 피코셀을 포함하는 경우

그림1 (c)에서 매크로셀, 마이크로셀, 피코셀1과2에서의 새로운 호의 발생률을 각각 $\lambda_M, \lambda_m, \lambda_{p1}, \lambda_{p2}$, 매크로셀에서 마이크로셀로 핸드오프 요구 확률을 p_1 , 마이크로셀에서 피코셀1과2로 핸드오프를 요구할 확률을 각각 p_2, p_3 라 하고 마이크로셀에서 매크로셀로 그리고 피코셀1,2에서 마이크로셀로 핸드오프를 요구할 확률을 각각 p_4, p_5, p_6 라 하면 다음 그림4와 같은 큐잉 네트워크로 모델링 할 수 있다.

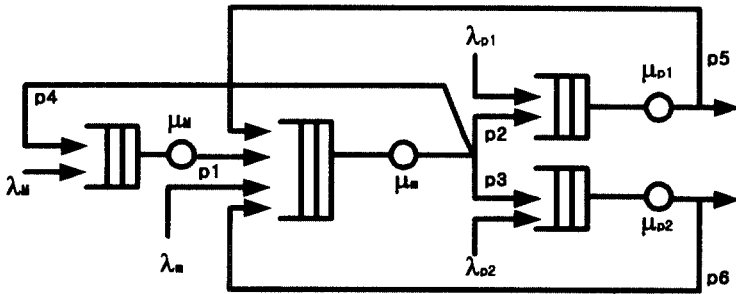


그림4. 피코셀을 포함하는 경우의 큐잉 네트워크 모델

이동 통신 시스템에서 이동하고 있는 사용자의 핸드오프 시도가 실패하여 통화중에 호가 절단되는 경우 사용자는 새로운 호의 블로킹에 의해 통화가 절단되는 것보다 훨씬 큰 불편을 느끼게 될 것이다. 그러므로, 핸드오프 실패확률을 낮추는 것은 통화의 질을 높이는 매우 중요한 일이다[8]. 그러므로 제안한 모델에서는 핸드오프 호에 대한 실패를 줄이기 위해 핸드오프 호만을 서비스하는 채널을 따로 제공

한다.

전체 채널 C 개 중에서 C_H 만큼은 핸드오프 호만을 위하여 할당함으로써 새로운 호가 발생할 때 사용중인 채널수가 $C - C_H$ 보다 작으면 새로운 호는 채널을 할당받을 수 있고 사용중인 채널 수가 $C - C_H$ 와 같거나 클 때는 새로운 호가 블로킹 된다. 반면에 핸드오프 호는 전체 채널 C 개중에 사용하고 있지 않은 채널을 할당받을 수 있다. 그리고 채널이 모두 사용중일 때 핸드오프 호를 위해 대기할 수 있는 버퍼를 허락하는 경우와 그렇지 않는 경우를 고려하여 모델

링한다. 따라서 그림2와 3의 큐잉 네트워크 모델에서 각 셀의 채널개수를 C , 핸드오프 호만을 위한 채널개수를 C_H , 새로운 호 발생률을 λ_{oi} , 핸드오프 호의 발생률을 λ_{hi} , 채널의 서비스를 μ_i , 버퍼에서의 서비스를 μ_Q 라하면 그림5와 6과 같은 상태천이도로 나타낼 수 있다[8,9].

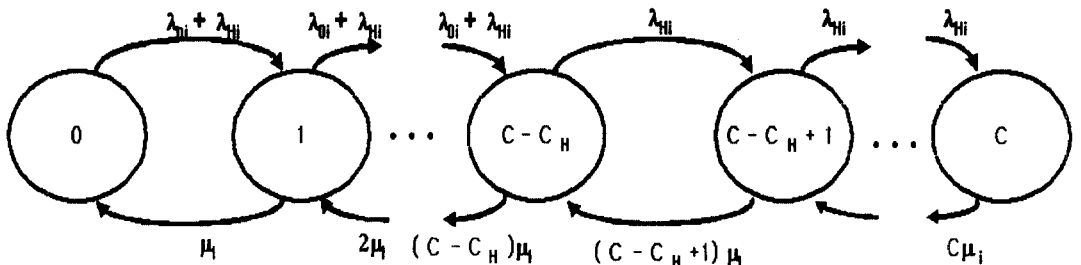


그림 5. 버퍼를 갖지 않는 각 셀에 대한 상태천이도

그림5의 상태천이도에 Kolmogorov 방정식을 적용하면 각 큐에 대한 성능 분석 식을 다음과 같이 얻을 수 있다[10,11,12].

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_{j0}(t)}{dt} &= -[\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t)]P_{j0}(t) + \mu_i(t)P_{j1}(t) \\
 &\vdots \\
 \frac{dP_{iC-C_{H-1}}(t)}{dt} &= -[(\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t)) + (C - C_{H-1})\mu_i(t)]P_{iC-C_{H-1}} \\
 &\quad + (\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t))P_{iC-C_{H-2}}(t) + (C - C_H)\mu_i(t)P_{iC-C_H}(t) \\
 &\vdots \\
 \frac{dP_{iC-C_H}(t)}{dt} &= -[\lambda_{Hi}(t) + (C - C_H)\mu_i(t)]P_{iC-C_H} + (\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t))P_{iC-C_{H-1}}(t) \\
 &\quad + (C - C_H + 1)\mu_i(t)P_{iC-C_{H+1}}(t) \\
 &\vdots \\
 \frac{dP_{iC-1}(t)}{dt} &= -[\lambda_{Hi}(t) + (C - 1)\mu_i(t)]P_{iC-1} + \lambda_{Hi}(t)P_{iC-2}(t) + C\mu_i(t)P_{iC}(t) \\
 \frac{dP_{iC}(t)}{dt} &= -C\mu_i(t)P_{iC}(t) + \lambda_{Hi}(t)P_{iC-i}(t)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 $P_{ij}(t)$ 는 시간 t 에서 j 개의 호가 큐 i 에서 서비스될 확률이다. 위의 미분방정식으로부터 각 상태확률 $P_{ij}(t)$ 를 구하기 위해 4차 Runge-Kutta 수치 해석 알고리즘을 적용한다.

이때, 각 큐에서 구한 상태확률과 함께 식 (3)을 이용하여 다른 목적지 큐에 대한 핸드오프 시도 발생률을 구한다. 그리고 이 결과를 사용하여 해당하는 목적지 셀의 큐에서의 상태확률을 구할 수 있으므로 전체 계층적 셀 구조의 성능을 분석할 수 있다.

한편, 새로운 호에 대한 블로킹 확률 P_B 는 기지국의 채널 상태가 $C-C_H$ 상태와 같거나 클 때의 확률 값이다. 그러므로 P_B 는 식(5)와 같이 표현된다.

$$P_B = \sum_{j=C-C_H}^C P_{ij}(t) \tag{5}$$

각 셀에서 기지국의 채널 상태가 C 상태일 때 핸드오프 실패 확률을 나타내므로 식(6)과 같이 표현된다

$$P_{fh} = P_{iC}(t) \tag{6}$$

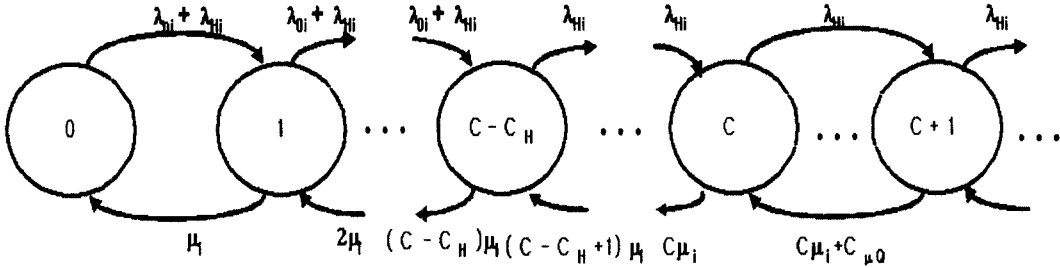


그림6. 버퍼를 갖는 각 셀에 대한 상태천이도

그림6에서 핸드오프 호를 대기시키기 위해 버퍼를 갖는 시스템의 상태천이도에

Kolmogorov 방정식을 적용하면 각 큐에 대한 성능 분석 식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -[\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t)]P_0(t) + \mu_i(t)P_1(t)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{iC-C_H-1}(t)}{dt} = & -[(\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t)) + (C-C_H-1)\mu_i(t)]P_{iC-C_H-1} \\ & + (\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t))P_{iC-C_H-2}(t) + (C-C_H)\mu_i(t)P_{iC-C_H}(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{iC-C_H}(t)}{dt} = & -[\lambda_{Hi}(t) + (C-C_H)\mu_i(t)]P_{iC-C_H} + (\lambda_{0i}(t) + \lambda_{Hi}(t))P_{iC-C_H-1}(t) \\ & + (C-C_H+1)\mu_i(t)P_{iC-C_H+1}(t) \end{aligned}$$

$$\frac{dP_{iC-1}(t)}{dt} = -[\lambda_{Hi}(t) + (C-1)\mu_i(t)]P_{iC-1} + \lambda_{Hi}(t)P_{iC-2}(t) + C\mu_i(t)P_{iC}(t)$$

$$\frac{dP_{iC}(t)}{dt} = -[\lambda_{Hi}(t) + C\mu_i(t)]P_{iC}(t) + \lambda_{Hi}(t)P_{iC-1}(t) + [C\mu_i(t) + \mu_Q(t)]P_{iC+1}(t)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{iC+1}(t)}{dt} = & -[\lambda_{Hi}(t) + (C+1)\mu_i(t)]P_{iC+1}(t) + \lambda_{Hi}(t)P_{iC}(t) \\ & + [C\mu_i(t) + 2\mu_Q(t)]P_{iC+2}(t) \end{aligned}$$

여기서 새로운 호에 대한 블록킹 확률은 식(8)과 같이 표현된다

$$P_B = \sum_{j=C-C_H}^{\infty} P_{ij}(t) \quad (8)$$

그리고 위의 방정식에서 구한 상태확률에서 필요한 경우 핸드오프 모델[8]에 따라서 핸드오프 실패 확률을 얻기 위한 버퍼에 대기하고 있는 확률은 다음 (9)식과 같다.

$$P_H = \sum_{k=1}^{\infty} P_{iC+k}(t) \quad (9)$$

여기서 k는 버퍼에 대기하고 있는 핸드오프 호의 개수이다.

4. 시뮬레이션 모델

본 논문에서 제안한 계층적 셀 구조를 갖는 이동통신 시스템의 큐잉 네트워크 모델을 시뮬레이션 모델을 통하여 검증한다.

충분히 오랜 시간동안 한번 수행된 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 이용하여 시뮬레이션 모델을 분석하기 위해서 stochastic 프로세스 성질을 갖는 시뮬레이션 결과 값 $X(t)$ 는 ergodicity 성질을 만족해야 한다. 따라서 $X(t)$ 의 통계 값이 시평균(time average)과 앙상블 평균(ensemble average)이 같아야 하며 이와 같은 성질을 만족하기 위해 stochastic 프로세스 $X(t)$ 가 시간에 독립적인 정상상태 특징을 가져야 한다.

제안된 모델은 셀 내의 트래픽이 시간에 따라 랜덤하게 변화하는 특징을 가지고 있으므로 이러한 큐잉 시스템의 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과는 시간에 종속하기 때문에 정상상태 조건하에서 결과를 얻기 위해 사용되는 시평군을 적용할 수 없다.

따라서, 충분히 많은 양의 독립적인 시뮬레이션을 통해 얻은 결과의 앙상블 평균을 나타내는 다음 식(10)을 적용하는 것이 필요하다.

$$E[x(t)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i(t) \quad (10)$$

여기서, $X_i(t)$ 는 시간t에서 i번째 독립된 시뮬레이션으로부터 얻은 결과이다.

본 논문에서는 시뮬레이션 모델을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 전용 프로그램인 ARENA를 사용한다. ARENA는 시뮬레이션에 필요한 많은 기능들을 갖는 모듈과 블록들을 제공함으로써 쉽게 시뮬레이션 모델을 구축할 수 있다[13].

5. 수치해석

계층적 셀 구조의 시스템 성능을 수치로 분석하기 위하여 사용자가 한 셀 내에서 통화를 지속할 시간은 $T(=1/\mu)=120$ 초로 매크로셀과 마이크로셀 1, 2의 채널 개수 C는 각각 25개로 가정하며, 핸드오프 호만을 위한 전용 채널의 개수 C_H 는 1개에서 5개까지 변경시킬 수 있다고 가정한다. 그리고 핸드오프를 위한 평균 대기 시간은 $T_Q=12$ 초를 사용한다. 그림 2의 마이크로셀이 인접하지 않은 시스템에서의 새로운 호의 블록킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 구하기 위해 시스템에서 이동하고 있는 사용자가 핸드오프를 요구할 확률을 $p_1=0.5$, $p_2=0.4$, $q_1=0.2$, $q_2=0.2$ 라 가정한다. 또한, 시스템의 트래픽이 시간에 따라 변화하는 경우를 고려하기 위해 새로운 호의 단위시간당 발생률을 시간 0-1500초 동안은 매크로셀 0.17, 마이크로셀 1은 0.12, 마이크로셀 2는 0.13으로 시간 1500-1750초 동안은 매크로셀 0.05, 마이크로셀 1은 0.07, 마이크로셀 2는 0.09로 가정하면 아래 그림을 얻는다. 그림에서 보는 바와 같이 주어진 트래픽에서 초기시간부터 약 350초까지 과도상태가 발생하고 이후 시간 1500까지 정상상태가 유지됨을 볼 수 있다. 그러나 시간 1500이후 트래픽의 감소에 따른 시스템의 비정상상태가 일정기간 지속됨을 알 수 있다. 그림 7과 8에서 핸드오프 호를 위한 전용 채널의 수를 변경시킬 경우의 블록킹 확률은 대기장소에 관계없이 유사하게 변화함을 알 수 있다. 그림9에서 핸드오프 전용 채널의 수를 1개에서 2개로 증가시킬 때 핸드오프 실패 확률은 거의 두배이상으로 감소함

을 나타내고 있으며 그리고 그림 10에서 보여주듯이 핸드오프 대기 상태 확률도 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림 3의 인접한 마이크로셀을 갖는 계층적 셀 구조를 분석하기 위해 위와 동일한 트래픽을 사용하며 시스템에서 이동하고 있는 사용자가 핸드오프를 요구할 확률은 $p_1=0.5, p_2=0.4, p_3=0.4$ 로 가정한다. 다음 그림 11, 12, 13에서 보는 바와 같이 두 경우의 계층적 셀 구조의 주어진 핸드오프 요구 확률과 트래픽 환경에서의 블록킹 확률, 핸드오프 실패 확률 그리고 핸드오프 대기 상태 확률이 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고 그림 1 (c)의 피코셀을 포함하는 계층적 구조를 분석하기 위해 각 셀에서의 전체 채널 수는 25개 핸드오프 전용채널수는 2개로 가정하며 핸드오프를 위한 대기장소는 고려하지 않는다. 그리고 각 셀에서의 새로운 호 발생률은 각각 $\lambda_M=0.14, \lambda_m=0.06, \lambda_{p1}=0.16, \lambda_{p2}=0.15$ 로 핸드오프 요구 확률은 각각 $p_1=0.2, p_2=0.3, p_3=0.3, p_4=0.4, p_5=0.3, p_6=0.3$ 으로 가정하여 얻은 결과가 그림 14와 15에 나타나 있다. 그림으로부터 시뮬레이션 결과와 거의 일치하므로 시스템 모델의 계층이 피코셀로 확장될 때에도

적용될 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 절에서 제시한 수치해석 방법을 적용하여 앞으로 계층적 셀 구조의 채널 할당 방식을 분석할 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안한 계층적 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템 모델의 수학적 분석결과를 검증하기 위하여 ARENA 시뮬레이터를 사용하여 비교하였다. 앞장에서 언급한 방법을 적용하여 시뮬레이션 수행으로부터 얻은 결과는 독립적으로 시뮬레이션을 5000번씩 반복 수행하여 얻은 데이터에 대해 ARENA에서 제공하는 통계 처리 기능을 이용하여 95%의 신뢰 구간을 갖는 앙상블 평균을 구한 결과이다. 위의 그림에서 새로운 호의 블록킹 확률은 수학적 분석방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 분석 결과가 오차 2% 이내로 일치하는 것을 알 수 있고, 또한, 핸드오프 실패 확률도 대부분 오차 1% 이내로 일치한다. 이와 같이 수학적 분석결과와 컴퓨터 시뮬레이션 결과가 거의 근접한다는 것을 알 수 있으므로 본 논문에서 제안하는 성능 분석 방법을 계층적 셀 구조에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

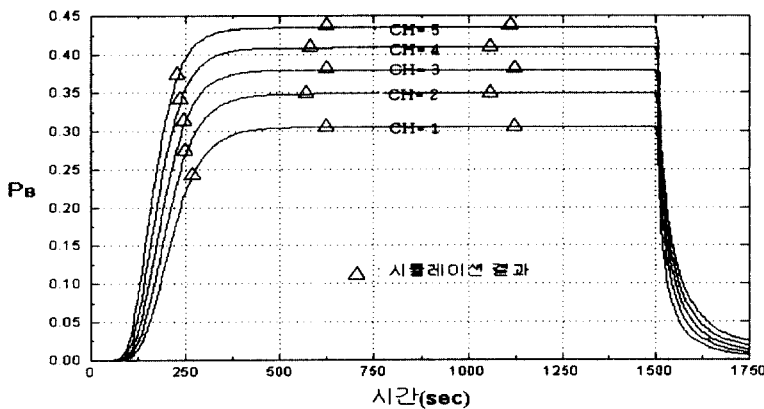


그림 7. 인접하지 않고 대기장소가 없는 매크로셀의 P_B

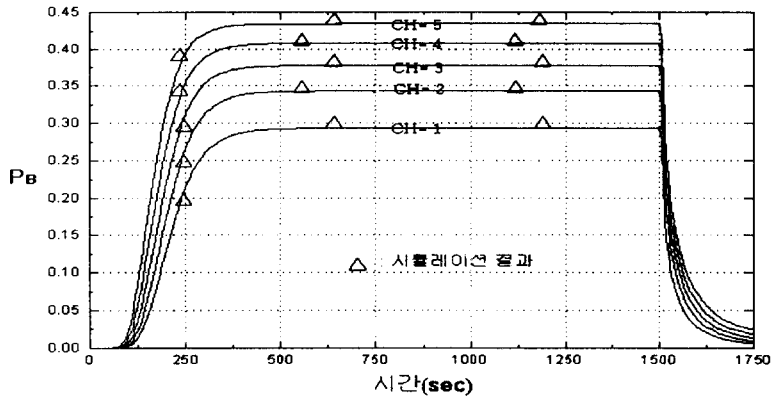


그림 8. 인접하지 않고 대기장소가 있는 매크로셀의 P_B

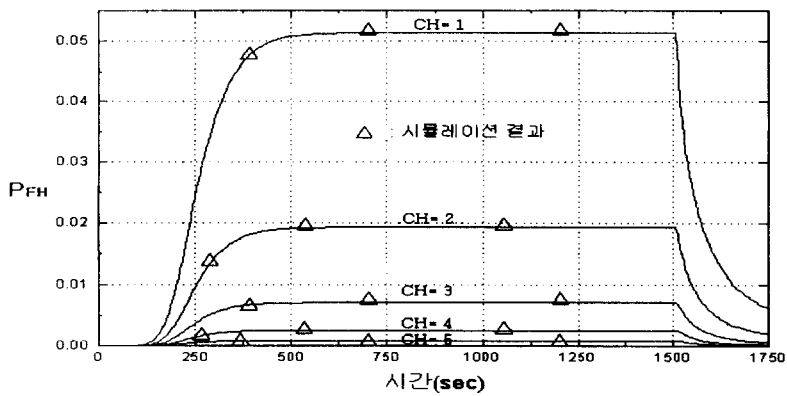


그림 9. 인접하지 않고 대기장소가 없는 마이크로셀 2의 P_{FH}

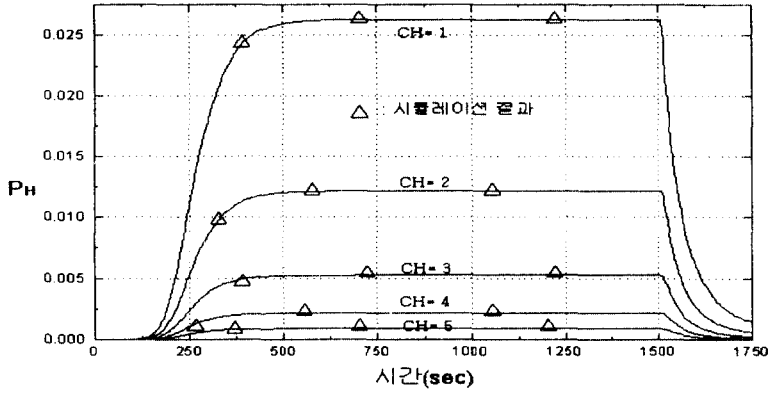


그림 10. 인접하지 않고 대기장소가 있는 마이크로셀 1의 P_H

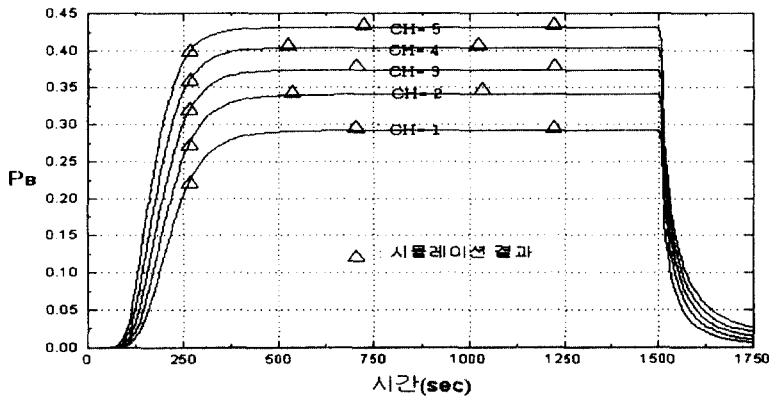


그림 11. 인접하고 대기장소가 있는 매크로셀의 P_B

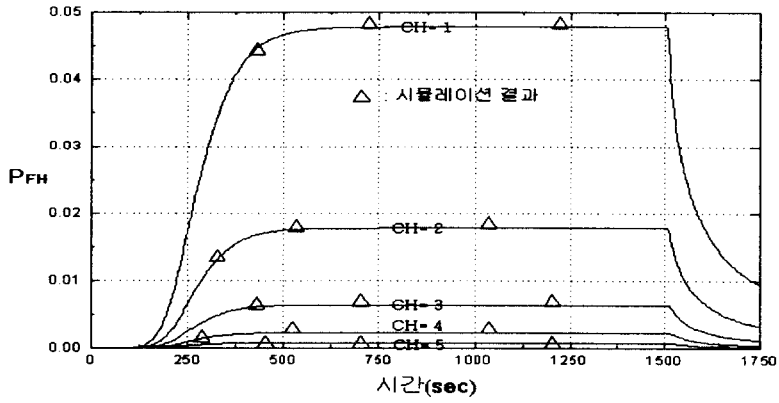


그림 12. 인접하고 대기장소가 없는 마이크로셀2의 P_{FH}

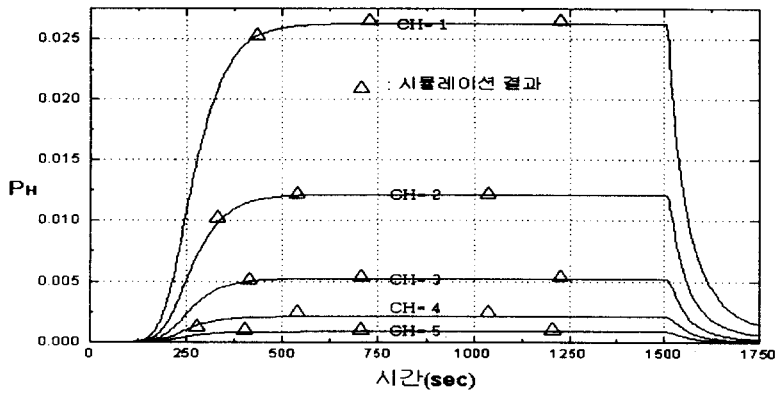


그림 13. 인접하고 대기장소가 있는 마이크로셀1의 P_H

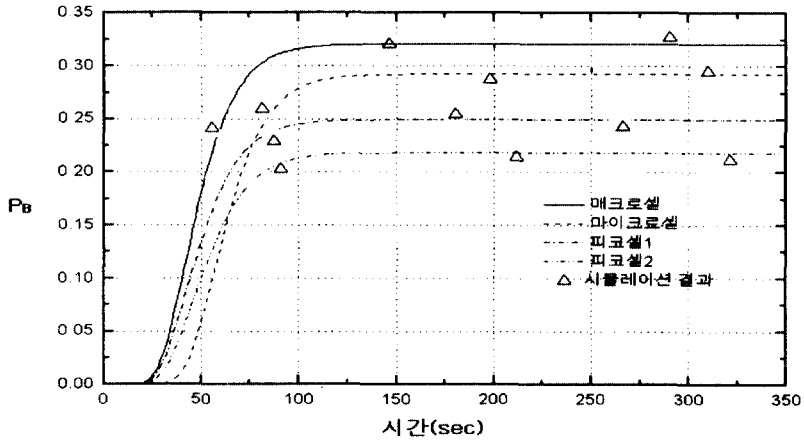


그림 14. 피코셀을 포함하는 시스템의 P_B

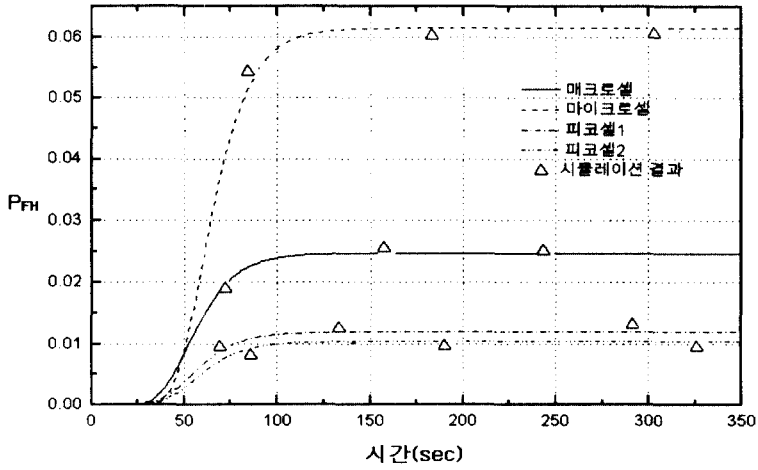


그림 15. 피코셀을 포함하는 시스템의 P_H

6. 결론

무선 이동 통신 기술이 발전함에 따라서 개선된 전파 도달 범위와 시스템 용량의 증대 그리고 서로 다른 이동성을 갖는 사용자에 대한 서비스가 점점 중요한 관점이 되고 있다. 셀 크기가 작을수록 주파수 재사용 효율이 높아 용량 증대를 꾀할 수 있고 적은 전력을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있지만 사용자의 수가 적은 지역이거나 혹은 상대적으로 유동성이 높은 지역에서는 많은 핸드오프를 요구하여 시스템 트래픽에 지나친 부담을 줄 수 있으므로 셀의 크기를 작게 설계하는 것이 비경제적이다. 따라서 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 계층적 셀 구조의 이동 통신 시스템이 제안되고 있다.

계층적 셀 구조를 분석하기 위해 트래픽의 특성과 이동성을 고려하여 큐잉 네트워크로 모델링할 수 있다. 일반적으로 M 개의 큐로 구성된 큐잉 네트워크에서 마코비안 프로세서를 이용하여 시스템을 분석할 때 M 차원의 시스템 상태 방정식을 필요로 하므로 실제 이러한 방법을 적용하여 시스템을 분석하는 것은 수학적으로 간단하지 않다. 또한 기존에 계층적 셀 구조의 성능 분석 기법으로 제안된 방법들도 계층이 다층으로 확장될수록 수학적으로 다루기가 쉽지 않은 단점이 있다.

본 논문에서는 복잡한 수학적 분석 방법을 단순화하기 위해 제안된 성능 분석 모델인 계층적 셀 구조를 1차원 큐잉 네트워크 모델로 일반화하였다. 그리고 각각의 큐에서의 평균 호 발생률을 결정하기 위해 큐잉 네트워크의 product form에서 사용되는 유사한 방법을 적용하여 성능 분석 모델을 제안하였다. 제안된 해석적 모델로부터 호 블로킹 확률과 핸드오프 실패 확률 등을 구할 수 있었으며 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 모델의 유효성을 검증하였다.

그러므로 제안된 해석적 방법은 매우 간편하게 수학적 분석을 할 수 있고 특히 시스템 모델의 계층이 매크로셀, 마이크로셀 그리고 피코셀 등으로 확장될 때 편리하게 적용될 수 있을 것이며 앞으로 계층적 셀 구조의 채널 할당 방식에 대한 연구시 성능 분석을 위해 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 한영남, "PCS 국제 표준화 동향," 정보통신, 한국통신학회, pp. 6-11, 1995년 8월
- [2] Stephen S. Rappaport and Lon-Rong Hu, "Microcellular Communication Systems with Hierarchical Macrocell Overlays: Traffic Performance Models and Analysis." Proceedings of the IEEE., vol 82, No.9, pp. 1383-1397, Sep 1994.
- [3] Hossam H. Hmimy and Someshwar C. Gupta, "Overlay of Cellular CDMA on AMPS Forward and Reverse Link Analysis." IEEE Trans. Veh. Technol., vol 45, No.1, pp. 51-56, Feb 1996.
- [4] C.-L. I. L. J. Greenstein, and R. d. Gitlin, "A microcell/macrocell cellular architecture for low- and high-mobility wireless users" IEEE J. Selected Areas Commun., Vol. 11, pp. 885-891, Aug. 1993.
- [5] Kwan L. Yeung and Sanjiv Nanda, "Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems." IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 45, No. 4, Nov 1996
- [6] Joseph Shapira, "Microcell engineering in CDMA cellular networks." IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, pp. 817-825, May 1994.
- [7] D. Tipper and M. K. Sundareshan, "Numerical methods for modeling computer networks under nonstationary conditions," IEEE J. Select. Areas Commun., pp. 1682-1695. Dec. 1990
- [8] Daehyoung Hong and Stephen S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures." IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-35, Aug 1986
- [9] Leonard Kleinrock, "Queueing systems: volume I" John Wiley & Sons, Inc. 1975
- [10] J. Filipiak. Modeling and Control of Dynamic Flows in Communication Networks. New York : Springer-Verlag. 1988
- [11] D. G. Carlm.Harris, Fundamentals of Queueing theory, 2nd Ed. Wiley, 1985
- [12] H. Van As, "Transient analysis of Markovian queueing systems and its application to congestion control modeling", IEEE J. Select. Areas Commun., pp. 891-904, Sept. 1986
- [13] System Modeling Corporation, ARENA Template Reference Guide, 1994
- [14] 김기완, 김두용, 최덕규, "다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 평가", 한국시물레이션학회 98 춘계학술대회 논문집 pp. 17-20. 1998

● 저자소개 ●

**최덕규**

1966년 서울대학교 공과대학 원자력공학과 학사.

1984년 미국 Wright 주립대 전산학 석사.

1989년 미국 Massachusetts 주립대 전산학 박사.

경력 국방과학연구소 책임연구원, 고등기술연구원 연구위원.

현재 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 교수, 한국시물레이션학회 회장.

관심 분야 High speed LAN, ATM, Mobile Computing-protocols and performance

김두용

1983년 한양대학교 공과대학 전자공학과 학사.

1987년 미국 플로리다 공과대학 석사.

1991년 미국 미주리 주립대학 박사.

경력 삼성전자 선임연구원.

현재 순천향대학교 전기전자공학부 부교수.

관심 분야 컴퓨터 통신, 이동 통신, 멀티미디어 통신 분야의 프로토콜 및 성능분석

김기완

1996년 순천향대학교 공과대학 전자공학과 학사.

1998년 순천향대학교 공과대학 석사.

1998년 3월~1999년 2월 : 순천향대학교 산업기술연구소 연구원.

1999년 3월~현재 : 순천향대학교 전기전자공학과 박사과정 재학중.