

불균등한 트래픽과 불균일한 셀 형태를 가지는 계층구조 셀룰러 시스템의 채널관리에 대한 최적제어

정회원 김 장 섭*, 정 우 곤**

Optimal Control of the Channel Management for Hierarchical Cellular Systems of Non-uniform Traffic and Heterogeneous Cell types

Jang-sub Kim*, Woo-gon Chung** *Regular Members*

요 약

이동전화 시스템 가입자 용량의 증대와 다양한 서비스물 제공하기 위해 계층구조 셀룰러 시스템이 도입될 것이다. 중첩셀 시스템의 실제 운영을 위해서는 채널관리기법 즉, 신규호 혹은 핸드오프호가 어떤 계층의 셀에서 채널을 할당받아야 하는지 그 기준이 있어야 한다. 본 논문에서는 시스템에서 이동국의 속도의 분포를 알고 있다는 가정 하에서 계층선택을 어떠한 속도임계치에 기준하여 결정할 것인가에 대하여 다룬다. 속도임계치는 서비스 품질을 비용함수(cost function)로 할 때 이를 최소화하는 값으로 정한다. 또한, 시스템의 환경을 보다 실제적(불균등한 트래픽 및 불균일한 셀 모양)으로 모델링함으로써 시스템의 성능을 보다 정확하게 시뮬레이션 할 수 있게 되었다.

ABSTRACT

Hierarchical cellular systems will be necessarily employed for the future wireless services in which the expanded demand is exploding and the various data rate services are essential. Carefully designed channel management strategy is needed to allocates the resources, according to certain criteria, to the new and the handoff calls for the purposes. The system should find an optimum velocity as a threshold to divide the arriving calls into macrocell or microcell. In this paper, provided that the velocity of mobile units are assumed to be known, the optimum solution for the threshold determination is introduced. Especially, the proposed algorithm also works for the heterogeneous cell types and the non-uniform traffic distribution as the previous works does not. Using the practical modeling of the system operation environment, we believe that we are able to predict the system performance more accurately in the real situation with the heterogeneous cell types and the non-uniform traffic distribution.

I. 서 론

본 논문에서는 마이크로셀과 매크로셀로 구성 된 중첩셀의 시스템 성능에 대하여 분석하였다. 중첩셀

시스템에서는 기존의 매크로셀구조에 마이크로셀을 추가함으로써 운영지역을 해소시킬 수 있으며, 스펙트럼 효율을 증가시켜 용량의 증대를 얻을 수 있고^[1], 또한 다양한 속도의 데이터^[2]를 처리할 수 있다. 따라서 전송 품질의 향상과 트래픽의 지역별 유연

* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 무선통신연구실(jangsub@ece.skku.ac.kr),
** 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부(wchung@ece.skku.ac.kr)
논문번호 : 99277-0715, 접수일자 : 1999년 7월 15일

성에 적용할 수 있으며, 시스템의 용량을 증가시킬 수 있다.

지금까지 발표된 논문에서와 마찬가지로 논문 [3]에서는 하나의 매크로셀 내에서 중첩하는 마이크로셀들의 크기 (size)와 모양 (shape)이 균일(homogeneous)하고 호가 셀 내에서 균등(uniform)하게 분포하는 환경에서 시스템의 성능을 분석하였다. 이와 비슷한 중첩셀 환경에서의 채널관리에 대한 최적제어는 다른 논문에서도 언급되었다^{[4][5]}. 시스템의 성능은 호 차단 확률(blocking probability), 호 손실 확률(handoff failure probability), 강제 종료 확률(forced termination probability) 및 이들의 함수로 표현되는 서비스 품질(grade of service) 등으로 나타낸다. 최근에 발표된 논문 [6]에서는 셀 선택하는 방법으로 속도임계치 V_0 를 사용하였으며, 최적의 V_0 를 선택하는 기준으로서 총 핸드오프수와 마이크로셀 및 매크로셀의 아웃지확률(outage probability)을 사용하였다. 기존의 논문에서는 트래픽의 발생이 균일하고 셀의 크기가 일정하다는 가정을 하였으나, 본 논문에서는 마이크로셀의 크기와 모양이 불균일(heterogeneous)하거나, 신규호의 발생량이 셀내에서 불균등하게 분포하고, 중첩되는 마이크로셀 위치가 매크로셀내에서 트래픽의 양에 따라 임의로 정해지는 불균등한 마이크로셀 분포를 고려하였다. 따라서 보다 현실적인 중첩셀 모델을 적용함으로써 시스템의 성능을 정확하게 추정할 수 있다.

2장에서는 중첩셀에서의 채널관리기법, 즉 신규호나 핸드오프호가 발생했을 때 적정한 셀 선택방범을 기술하였으며, 3장에서는 매크로셀 및 마이크로셀에서 사용중인 채널의 개수로 표현하는 중첩셀 시스템의 채널 상태 모델링에 대하여 설명하였다. 불균일한 셀 모양 및 트래픽 분포의 중첩셀을 최초로 해석한 S. Rappaport^[8]의 논문의 채널 상태에 대한 표기법을 따르기로 하였다. 시스템의 성능 파라미터인 신규호에 대한 차단율, 인접 셀로의 핸드오프에 대한 핸드오프 실패 확률 그리고 신규호가 채널을 할당받아 통화 중에 핸드오프의 실패로 인한 호 손실율은 4장에서 소개하였으며, 5장에서 간단한 시뮬레이션(simulation) 예시 보여 주고 그 결과에 대한 분석을 한 후, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 중첩셀 채널관리 기법

시스템 운영시 저속과 고속 이동국의 구분기준은 시스템에서 설정한 속도임계치 V_0 값에 의하여 결

정된다. 속도임계치보다 큰 속도를 가지는 이동국($V \geq V_0$)은 매크로셀에서 채널을 할당받으며, 그렇지 않는 경우($V < V_0$)에는 마이크로셀에서 채널을 할당받는다. 신규호의 생성과 핸드오프호의 발생 위치에 따라 5가지의 경우로 분류할 때 시스템의 채널관리는 다음과 같이 가정한다(그림 1 참조).

(가) 마이크로셀에서 발생한 신규호: 신규호의 속도가 V_0 보다 작은 경우에 마이크로셀에서 채널을 할당받지만, 사용 가능한 채널이 없다면 매크로셀로 오버플로우 되어 매크로셀에서 채널을 할당받는다. 매크로셀에서 사용 가능한 채널이 없다면 호는 차단 당하게 된다. 그러나 만약 신규호의 속도가 V_0 보다 크다면 매크로셀에서 채널을 할당받으며, 그렇지 못한 경우에는 신규호는 시스템으로부터 차단 당하게 된다.

(나) 매크로셀 영역만 있는 곳에서 발생한 신규호: V_0 에 상관없이 매크로셀에서 채널을 할당받지만, 사용 가능한 채널이 없다면 신규호는 시스템에서 차단 당하게 된다.

(다) 마이크로셀에서 인접 마이크로셀로 핸드오프하는 호: 핸드오프호의 이동국의 속도가 V_0 보다 작은 경우에는 마이크로셀에서 매크로셀의 채널 상태에 따라 채널을 할당받거나 핸드오프가 실패한다. 사용 가능한 채널이 없다면 핸드오프호는 매크로셀로 오버플로우 되어 채널을 할당받는다. 이때 매크로셀에서 사용 가능한 채널이 없다면 핸드오프호는 차단된다.

(라) 마이크로셀에서 매크로셀 영역만 있는 곳에서 핸드오프하는 호: V_0 에 상관없이 매크로셀에서 채널을 할당받지만, 사용 가능한 채널이 없다면 핸드오프호는 차단된다.

(마) 이웃하는 매크로셀로 핸드오프하는 호: V_0 에 상관없이 이웃 매크로셀에서 채널을 할당받지만, 이웃 매크로셀에서 사용 가능한 채널이 없다면 핸드오프호는 차단된다.

III. 채널 상태 모델링 (Channel State Modeling)

시스템은 1개의 매크로셀과 N 개의 마이크로셀이 중첩되어진 이중구조이며 이것을 전체 시스템의 기본단위로 한다. 각각의 매크로셀내에서의 신규호 발생량 및 인접 매크로셀간의 핸드오프호 유입 및 유출의 양은 항상 일정하다고 가정한다. 트래픽 보

셀링에서 이동국의 셀 거주시간(T_c)은 랜덤 변수이며, 셀의 반경과 이동국의 모델리, 이동국의 이동경로 등에 영향을 받는다. 신규호의 발생(Λ)은 포아송 과정(Poisson Process)으로 모델링한다. 호의 셀 거주시간(Cell Sojourn Time)과 통화시간(T)는 음의 지수 분포(Negative Exponential Probability)를 가진다^[7].

매크로셀들은 서로 등가라고 가정하였기 때문에, 하나의 매크로셀 영역을 분석함으로써 시스템 전체에 관한 성능을 추정할 수 있다. 매크로셀 영역 내에서 각 셀들의 임의의 시간에 대한 시스템의 채널의 상태를 다차원 마코프 체인(Multi-Dimension Markov Chain)으로 모델링하여 적용하였다^[9]. 본 논문에서는 각 셀의 채널의 상태를 s 로 표현하였으며, 임의의 시간에서 시스템 채널상태($v_0(s), v_1(s), \dots, v_N(s)$)는 사용 중인 채널 수로써 표현한다. 여기서 s , ($0 \leq s \leq s_{max}$)는 채널상태를 나타내며 $s_{max} = \sum_{i=1}^N C_i + 1$ 이고, $v_i(s)$ 는 s 상태에서 i 번째 셀의 사용 중인 채널의 수이며, C_i 는 i 번째 셀의 사용 가능한 최대 채널 수이다.

($s_{max} + 1$) 가지의 시스템 상태에 대한 통계적 평형 상태의 확률, $p(s)$ 는 각 상태에 대하여 호를 평형 방정식을 적용한 후, ($s_{max} + 1$) 개의 방정식의 해를 구함으로써 얻어진다^[9].

$$\sum_{j=0}^{s_{max}} p(j) a(j, k) = 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, s_{max} \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=0}^{s_{max}} p(j) = 1$$

각 상태 확률의 해는 Gauss-Seidel Iteration^[10] 방법을 사용하여 얻는다. 여기서 $j \neq k$ 일 때, $a(j, k)$ 는 j 상태에서 k 상태로의 천이율(transition rate)이고, $a(j, j)$ 는 j 상태를 벗어나는 전체 천이율이다. 어떤 상태로의 흘러 들어가는 천이율을 구하기 위하여 호를 평형 방정식의 요소인 $a(j, k)$ 를 결정해야 하는데 이것은 천이를 일으키는 사전에 달려있다.

3.1 상태 천이 발생 경우

상태 천이율, $a_l(j, s)$ 는 본 논문에서 고려하는 이중구조 셀룰러 시스템에서는 다음과 같이 8가지의 경우 ($l=1, \dots, 8$)에 의해서 발생한다. 그림 1은 상태 천이가 발생하는 8가지의 경우를 설명하였으며, 표 1은 각각의 경우에 대한 채널 할당 및

핸드오프의 성공/실패의 조건을 설명한다 (핸드오버 중에서 매크로셀로부터 마이크로셀로의 핸드다운(hand-down)은 고려하지 않는다).

- (1) 매크로셀만 있는 영역에서 신규호가 발생(Λ_m)하였을 경우: $q_1(j, s)$
- (2) 마이크로셀 영역에서 신규호가 발생(Λ_i)하였을 경우: $q_2(j, s)$
- (3) 매크로셀 영역에서 호가 종료되었을 경우: $q_3(j, s)$
- (4) 이웃 매크로셀 영역에서 매크로셀로 핸드오프가 도착하였을 경우: $q_4(j, s)$
- (5) 마이크로셀에서 매크로셀 영역만 있는 곳으로 핸드오프가 도착하는 경우: $q_5(j, s)$
- (6) 매크로셀 영역에서 이웃하는 매크로셀 영역으로 핸드오프가 떠나는 경우: $q_6(j, s)$
- (7) 마이크로셀에서 이웃 마이크로셀로 핸드오프가 도착할 경우: $q_7(j, s)$
- (8) 마이크로셀에서 이웃 매크로셀 영역으로 핸드오프가 도착하는 경우: $q_8(j, s)$

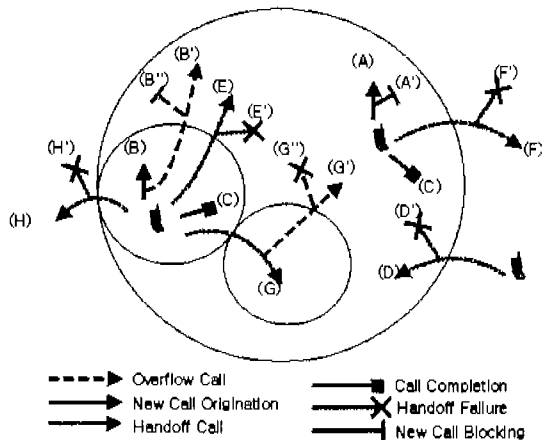


그림 1. 신규호와 핸드오프호가 발생하였을 경우의 상태의 천이 조건

표 1로부터, j 상태에서 s 상태로의 천이율 $a(j, s)$ 은 위의 8가지 경우의 합으로 표현된다.

$$a(j, s) = \sum_{l=1}^8 a_l(j, s) \quad (3.2)$$

한편, s 상태를 벗어나는 천이율은 식(3.3)과 같다. 즉, s 상태를 벗어나는 전체 천이율은 다른 상태에서 s 상태로 들어가는 천이율의 합이다.

$$q(s, s) = - \sum_{k=0, k \neq s} q(s, k) \quad (3.3)$$

여기서 음의 부호(-)는 식(3.3)에서의 양의 부호(+)가 다른 상태 ($j \neq s$)에서 s 상태로 천이 할 때의 천이율을 나타낸다 할 때, s 상태에서 다른 상태 ($k \neq s$)로의 천이율에 대한 부호를 나타낸다.

표 1. 천이율 발생시키는 8가지 조건의 시스템 상태

경우	성공 실패 조건	상태
(1)	A	매크로셀 채널할당
	A'	호 차단
(2)	B	마이크로셀 채널할당
	B'	매크로셀 채널할당
	B''	호 차단
(3)	C	호 종료
(4)	D	매크로셀 채널할당
	D'	호 손실(핸드오프 실패)
(5)	E	매크로셀 채널할당
	E'	호 손실
(6)	F	인접 매크로셀 핸드오프 채널할당
	F'	호 손실
(7)	G	인접 마이크로셀 핸드오프 채널할당
	G'	매크로셀 채널할당
	G''	호 손실
(8)	H	인접 매크로셀 핸드오프 채널할당
	H'	호 손실

IV. 성능 파라미터 (Performance Parameters)

중첩셀 구조에서 상위 매크로셀을 편의상 0번 셀이라 하고, 매크로셀 내에 중첩된 마이크로셀들을 1, 2, ..., N번 셀이라고 정의한다. 그리고 i 번 셀의 전체 채널의 수를 C_i 라고 하고, 그 중에서 핸드오프를 위한 예약 채널의 수를 C_m 라고 한다. 여기서 $i=0, 1, 2, \dots, N$ 이다.

4.1 호 차단 확률 (Blocking Probability)

호 차단 확률은 신규호가 발생했을 때 사용 가능한 채널이 없어서 셀에서 채널을 할당받지 못할 확률이다. 오버플로우를 고려한 경우의 호 차단 확률이 발생할 조건은 다음과 같다. 매크로셀 및 마이크로셀의 신규호의 차단이 발생할 채널 상태의 집합을 각각

$$\begin{aligned} B_0 &= \{s : v_0(s) \geq C_0 - C_m\} \\ B_i &= \{s : v_0(s) \geq C_0 - C_m, \\ &\quad v_i(s) \geq C_i - C_m\}, \quad i=1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (4.1)$$

라 할 때, s 상태가 B_i 또는 B_0 의 원소이면 신규호에 대한 차단이 발생한다. i 번째 셀에서 호 차단 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{B_i} = \sum_{s \in B_i} p(s), \quad i=0, 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

여기서, $p(s)$ 는 s 상태에서 정상상태 확률 (steady state probability)이다.

우리가 고려하는 시스템의 단위인 매크로셀 전체 영역내에서 발생하는 전체 호 차단율은 다음과 같다.

$$P_B = \sum_{i=0}^N P_m P_{B_i} \quad (4.3)$$

여기서, R_i 는 N 개의 셀 중에서 i 번째 셀에서의 신규호의 발생 비율이고, P_m 는 i 번째 셀의 호 차단 확률이다.

4.2 핸드오프 실패 확률 (Handoff Failure Probability)

핸드오프 실패 확률은 목적지(destination)셀의 핸드오프를 위한 채널과 신규호를 위한 채널이 전부 사용이 되어 여분이 없을 경우에 대한 확률이다. 핸드오프가 실패 할 조건은 채널이 보존되어 있을 경우는 그 상태가 다음과 같은 집합의 원소일 때 성립한다.

$$\begin{aligned} H_0 &= \{s : v_0(s) = C_0\} \\ H_i &= \{s : v_0(s) = C_0, \\ &\quad v_i(s) = C_i\}, \quad i=1, 2, 3, \dots, N \end{aligned} \quad (4.4)$$

i 번째 셀의 핸드오프호 실패 확률은

$$P_{HF_i} = \sum_{s \in H_i} p_v(s) \Lambda_A(s) \quad (4.5)$$

으로 표현된다. 여기서 $p_v(s)$ 는 시스템이 s 상태로 방문(visit)할 확률이고, Λ_A 는 s 상태에서 i 번째 셀에서 핸드오프가 도착하는 사건의 발생율이다[8].

4.3 강제 종료 확률

(Forced Termination Probability)

시스템의 성능평가는 사용자가 느낄 수 있는 통화시의 품질과 새로운 호의 연결 또는 차단율 및

통화중에서 발생하는 호 손실율에 의하여 결정된다. 특히 사용자에게 심각한 불편을 초래하는 통화중 호 손실율은 시스템 설계자에게 중요하게 고려되어야 한다. 강제 종료 확률(P_F)은 호의 통화 시간 동안 차단되지 않는 호가 핸드오프 실패로 인해서 중단되는 확률을 의미한다. 특별히 강제 종료 확률은 트래픽의 분포 또는 이동국의 경로에 의존한다.

i 번째 셀에서 핸드오프를 시도할 확률은 호의 통화시간이 셀의 거주시간 보다 클 때이며 다음과 같이 표현 할 수 있다 [6].

$$P_{H_i} = P\{T > T_{st}\} = \frac{\mu_{st}}{\mu + \mu_{st}} \quad (4.6)$$

여기서 T 는 평균 통화시간 랜덤 변수이고 T_{st} 는 채널 점유시간의 랜덤 변수이다.

i 번째 셀에서 j 번째 셀로 핸드오프를 시도했을 경우의 핸드오프 실패할 확률($P_{HF_{i,j}}$)은 식(4.7)이고 성공적으로 수행 될 확률($P_{HS_{i,j}}$)은 식(4.8)로 얻어진다.

$$P_{HF_{i,j}} = P_{H_i} \gamma_{ij} P_{HF_{i,j}} \quad (4.7)$$

$$i=0,1,2,\dots,N, A, j=0,1,\dots,N$$

$$P_{HS_{i,j}} = P_{H_i} \gamma_{ij} \sum_{s \in S_{ij}} p_s(s) \quad (4.8)$$

여기서 $S_{ij} = \{s | v_i(s) > 0, v_j(s) < C\}$, $i=1,2,\dots,N, A, j=0,1,2,\dots,N$ 이고, A 는 인접 매크로셀을 나타내며, $p_s(s)$ 는 시스템의 채널 상태가 s 상태로 방문할 확률이고, γ_{ij} 는 i 번째 셀에서 j 번째 셀로 이동할 호를 확률이다.

핸드오프를 처음 요구했을 때 핸드오프가 실패한 확률에서 n 번까지 핸드오프가 성공하고 $n+1$ 번째에서 핸드오프가 실패할 확률까지의 합을 구한 후 n 을 무한대로 보내면 경로에 따른 강제 종료 확률의 해를 구할 수 있으며 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_F = P_{HF_{i,j}} + P_{HS_{i,j}} P_{HF_{i,j}} + P_{HS_{i,j}} P_{HS_{j,k}} P_{HF_{j,k}} + \dots + P_{HS_{i,j}} P_{HS_{j,k}} \dots P_{HS_{n,m}} P_{HF_{n,m}} \quad (4.9)$$

여기서 $i=1,2,\dots,N, j=0,1,2,\dots,N, A$ 이고, 경로에 따라 i 와 j 가 결정된다. 중첩셀에서 i 번째 마이크로셀에서 발생한 호의 강제 종료 확률은, i 번 마이크로셀에서 발생한 호의 모든 경로를 고려해야 한다. 만약 i 번째 마이크로셀에서 이동국이

이동하는 경로가 m 가지의 경우가 있다면 i 번째 마이크로셀에서 발생한 호의 강제 종료 확률은 다음과 같다.

$$P_{F_i} = \sum_{k=1}^m P_{F_i}(\text{path } k), \quad (4.10)$$

$$i=0,1,2,\dots,N$$

매크로셀 영역내에서의 발생한 호의 강제 종료 확률은 다음과 같다.

$$P_F = \sum_{i=0}^N P_i P_{F_i} \quad (4.11)$$

여기서 R_i 는 전체 발생한 호 중에 i 번째 셀에서 호가 발생한 비이다.

4.4 서비스 품질 (Grade of Service)

강제 종료 확률과 호 차단 확률 두 가지의 효과를 고려한 시스템 성능의 추정 방법으로 서비스 품질을 고려할 수 있다. 신규호의 시도에서 호가 차단되는 것 보다 통화 중에 호가 종료하는 것이 일반적으로 사용자들에게는 더 불쾌감을 주기 때문에 강제 종료 확률과 호 차단 확률은 각각 α 및 $(1-\alpha)$ 의 가중치를 부여한다. 일반적으로 $(\alpha > 0.5)$ 의 값을 가지며 본 논문에서는 $\alpha=0.8$ 을 택했다.

$$GOS = (1-\alpha)P_B + \alpha P_F \quad (4.12)$$

4.5 속도 임계치 설정 방법

서비스 품질(GOS)를 최소로 하는 속도임계치를 마이크로셀과 매크로셀의 속도임계치로 결정한다면, 다음과 같은 식을 만족하는 속도임계치를 선정한다.

$$\min_{V_0} \{GOS(\alpha, V_0) = (\alpha; P_B, P_F)\} \quad (4.13)$$

그림 3과 같은 이동국 속도분포를 이용하여 임의의 V_0 를 기준으로 하여 이동국의 속도에 따라 셀 선택을 함으로 P_B 및 P_F 를 구한다. 이렇게 정의가 되는 비용함수 (cost function : GOS)을 최소화하는 V_0 를 구하는 과정이 본 논문에서 제안하는 속도임계치 설정방법이다.

V. 시뮬레이션

본 논문에서 제안된 채널관리 기법을 설명하기

위하여 간단한 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행한다. 그림 2와 같이 마이크로셀 3개와 이를 중첩하는 매크로셀 1개로 구성한다. i 번째 셀에서 발생하는 신규호의 발생 트래픽은 Λ_i 이고, 중첩하는 영역에서 발생하는 신규호의 발생 트래픽은 Λ 이며, 매크로셀 영역만 있는 곳의 신규호 발생 트래픽은 Λ_m 이라 가정한다. 구하고자 하는 속도임계치(V_0)와 이동국의 속도(V)에 따라 중첩된 영역에서의 마이크로셀과 매크로셀들의 트래픽이 결정된다. 매크로셀 내에서의 전체 트래픽은 매크로셀 영역에서의 발생률(Λ_m)과 V 및 V_0 와의 관계에서 결정된다.

$$\begin{aligned} \Lambda_M &= \Lambda_m + P[V \geq V_0] \times \Lambda \\ \Lambda_i &= \Lambda \times P[V < V_0] \times O_i \end{aligned} \quad (5.1)$$

여기서, $P[V \geq V_0]$ 는 속도가 속도임계치 보다 클 확률이고, $P[V < V_0]$ 는 속도임계치보다 작을 확률이며, O_i 는 i 번째 셀에서의 트래픽 발생 비율을 의미한다.

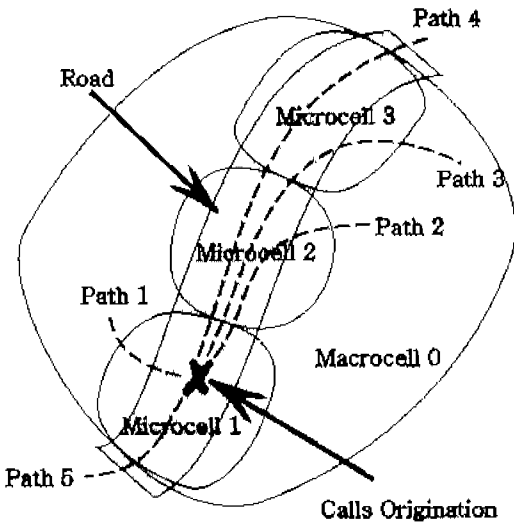


그림 2. 계층구조 셀룰러 시스템의 구성

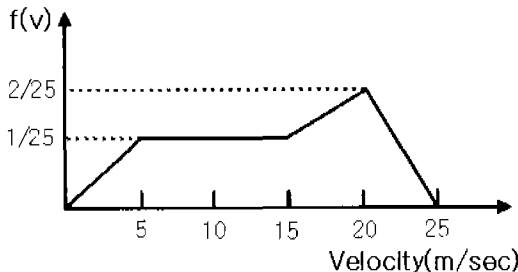


그림 3. 중첩하는 영역에서의 이동국들의 속도 분포

매크로셀과 중첩하는 마이크로셀의 채널의 수는 모두 5개를 사용하였고, 핸드오프를 위한 예약 채널은 사용하지 않았다 ($C_i=5, C_M=0, i=0,1,2,3$). 그림 3 은 중첩하는 영역에서 임의의 시간에 나타나는 이동국의 속도 분포 (PDF)를 나타낸다. 중첩하는 영역에서의 호 발생은 $\Lambda=30 \times 10^{-3}$ (calls/sec)이고, 매크로셀 영역만 있는 곳에서의 호 발생은 $\Lambda_m=1 \times 10^{-3}$ (calls/sec)이다. 그리고 중첩하는 마이크로셀에서 호 발생 비율은 $O_1=0.2, O_2=0.3, O_3=0.5$ 이다. 매크로셀의 위치에 따라 핸드오프 트래픽의 흐름에 대한 비율로써 트래픽 흐름행렬 (traffic flow matrix)을 정의 할 때 여기서는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Gamma &= \begin{bmatrix} \gamma_{10} & \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{1A} \\ \gamma_{20} & \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{2A} \\ \gamma_{30} & \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \gamma_{3A} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.02 & 0 & 0.48 & 0 & 0.48 \\ 0.02 & 0.48 & 0 & 0.48 & 0 \\ 0.02 & 0 & 0.48 & 0 & 0.48 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5.2)$$

γ_{10} 는 전체 핸드오프의 2%가 1번 마이크로셀에서 0번 매크로셀로 향하고, γ_{12} 는 핸드오프의 48%가 1번 마이크로셀에서 2번 마이크로셀로 향하고, γ_{13} 은 핸드오프의 0%는 1번 마이크로셀에서 3번 마이크로셀로 향하고, γ_{1A} 는 핸드오프의 48%가 1번 마이크로셀에서 이웃 매크로셀로 향한다는 것을 의미한다.

평균 호의 통화 시간은 2분이고($1/\mu=120$), 마이크로셀의 평균 셀 거주 시간은 2분 30초이고($T_s=150$), 매크로셀의 셀 거주 시간은 4분 10초($T_s=250$)이다.

그림 4 와 5 는 계층구조 셀룰러 시스템에서의 트래픽 성능을 나타낸다. 속도의 임계값에 따라 각 셀들에 인가되는 트래픽이 변화하기 때문에 속도임계치에 따라 호 손실율과 호 차단율은 변화한다.

그림 4 에서의 속도임계치가 증가함에 따라서 각 마이크로셀들의 호 차단율(P_B)은 증가하며 매크로셀의 호 차단율(P_B)은 감소한다. 일반적으로 속도임계치가 증가함에 따라 마이크로셀에 트래픽이 많이 할당되기 때문에 마이크로셀들의 호 차단율은 증가하지만, 반대로 매크로셀에서는 트래픽의 할당이 줄어들기 때문에 매크로셀의 호 차단율은 감소하게 된다. 각 마이크로셀들의 호 차단율이 차이로 보이는 이유는 다르게 각 마이크로셀들에서 발생하

는 트래픽의 분포를 균일하지 않게 사용하였기 때문이다. 즉, 3번 마이크로셀이 다른 마이크로셀보다 호 차단율이 높은 이유는 인가된 트래픽이 그 중에서 가장 크기 때문이다.

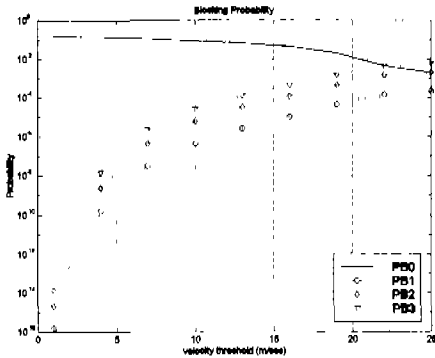


그림 4. 각 셀들의 신규호 실패 확률

그림 5 는 속도임계치에 따른 각 셀들의 핸드오프 실패 확률(P_H)을 나타낸다. 속도임계치가 증가함에 따라 마이크로셀에 트래픽이 많이 할당되게 되며 반경이 작은 셀은 핸드오프를 자주 요청하게 됨으로 핸드오프 실패 확률이 높아지게 된다. 반대로 매크로셀에서 핸드오프 실패 확률이 줄어든다.

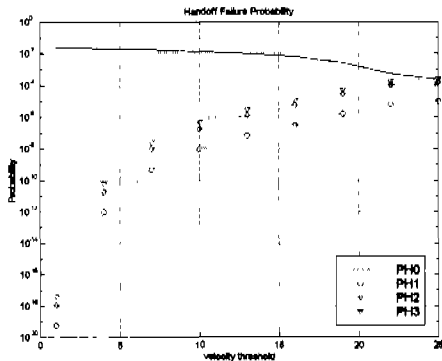


그림 5. 각 셀들의 핸드오프 실패 확률

그림 6 은 각 셀들의 강제 종료 확률(P_F)을 나타낸다. 일반적으로 각 셀들의 강제 종료 확률은 호의 이동 경로에 따라 결정이 된다. 그래서 호가 균일하게 발생하고 모든 방향으로 균일하게 움직이는 경우, 속도임계치가 증가함에 따라 마이크로셀에 트래픽이 많이 할당되기 때문에 강제 종료 확률도 증가한다. 그러나 본 논문에서는 호의 발생이 균일하지 않고 이동국의 움직임이 방향으로 균일하게 움직이지 않기 때문에 이동경로에 따라서 강제 종료 확률이 달라지게 된다. 그래서 시뮬레이션 결과를 보았을 때 각 셀들의 강제 종료 확률은 속도임계치가 증가함에 따라 강제 종료 확률은 감소한다는 것을 볼 수 있다.

적이지 않기 때문에 이동경로에 따라서 강제 종료 확률이 달라지게 된다. 그래서 시뮬레이션 결과를 보았을 때 각 셀들의 강제 종료 확률은 속도임계치가 증가함에 따라 강제 종료 확률은 감소한다는 것을 볼 수 있다.

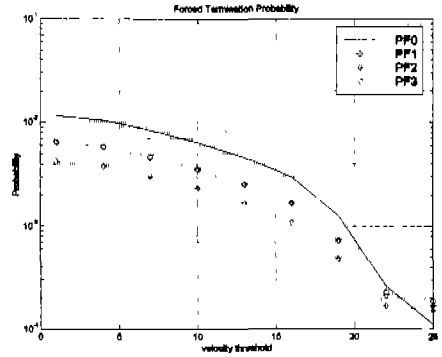


그림 6. 각 셀들의 강제 종료 확률

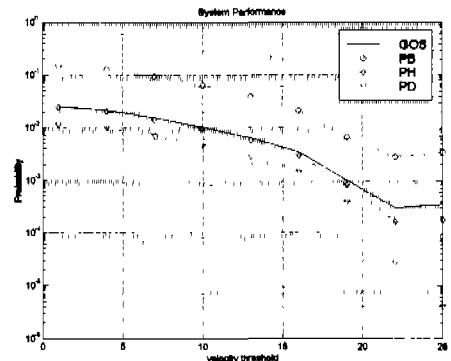


그림 7. 평균 시스템 성능

그림 7 은 속도임계치에 따라 계층 구조 셀에서의 평균 호 차단율, 호 실패율, 호 손실율 (강제 종료 확률), 서비스 품질의 변화를 나타낸다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 서비스 품질을 최소화하는 속도임계치는 21 (m/sec)이다. 그래서 계층구조 셀에서 호의 발생이 31×10^{-3} (calls/sec)이고 트래픽의 분포가 그림 3과 같은 경우에 서비스 품질을 최소화하는 속도임계치는 21 (m/sec)이다. 이와 같은 방법으로 각 일정한 시간마다 호의 발생률과 트래픽의 분포를 시스템에서 인지하여 서비스 품질을 최소화 하는 속도임계치를 결정함으로써 일정한 시간 구간 내에서 발생하는 핸드오프호와 신규호에게 어떤 계층셀에서 채널을 할당받을 수 있는지 결정하여 준다.

VI. 결론 (Conclusions)

본 논문에서는 마이크로셀과 매크로셀이 중첩되어 있을 경우에 셀의 크기와 모양이 불균일하고, 또한 매크로셀내에서 마이크로셀이 불균일적으로 분포하는 경우 (필요한 곳에 마이크로셀을 추가하기 때문)에 시스템의 성능 (호 실패 확률, 호 실패 확률, 호 손실율, 서비스 품질 등)을 구하였다. 그리고 중첩된 영역에서 호가 발생하였거나 핸드오프가 되었을 경우에 계층선택 기준으로 GOS를 선택하였고, GOS를 최소로 하는 속도임계치를 구할 수 있었다. 보다 현실적인 시스템 환경을 모델링 함으로써 시스템을 분석하였으므로 정확한 시뮬레이션이 되었다고 볼 수 있다. 그리고 현실적인 채널 상태의 모델링을 위하여 Multi-dimension Markov Chain을 사용함으로써 가능하였다.

본 논문에서 가정한 트래픽 흐름 행렬은 지형적인 특징을 표현할 수 있는 적절한 표현이라고 생각되며, 실제 트래픽 측정을 통해서 얻을 수 있거나 모빌리티의 모델링을 통하여 트래픽 흐름 행렬을 정의할 수 있을 것이다.

기존의 논문에서는 매크로셀내에서 마이크로셀이 균일하게 분포하도록 구성하였으며, 호의 발생도 모든 지역에서 균일하게 발생한 경우를 가정하였다는 점에서 본 논문에서 제안한 시스템 모델링 및 해석 방법은 비교적이다 그래서 본 논문은 현실적으로 모델링하여서 시스템의 성능을 분석하였다는 데 의미가 있으며 최적의 속도임계치를 결정 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Kwan L.Yeung and Sanjiv Nanda, "Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems," IEEE Trans. Veh. Tech. Vol. 45, No.4, pp. 601-612, November, 1996.

[2] Shahid Chaudry and Assrar U. Sheikh, "Integration of Multirate Services Using CDMA in an Overlaid Cellular System," PCS Research Laboratory, Department of Systems and Computer Engineering, Carleton Univ., Ottawa, Canada K1S5B6, 1993.

[3] 김장섭, 이상현, 정우근, 최형진, "계층 구조 셀룰러 시스템의 계층선택 기법 분석과 성능." JCCI, pp.856-860, 1997.

[4] Mathilde Benveniste, "Cell Selection in Two-tier Microcellular /Macrocellular Systems," AT&T Bell Laboratories Technical Memo- randum, March 1992.

[5] K. L. Yeung and S. Nanda, "Channel Management in Microcell /Macrocell Cellular Radio Systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 45, NO. 4, November 1996.

[6] 강성민, 김재훈, 차동완, "중첩셀 구조 CDMA 셀룰러시스템에서의 트래픽 모델링 및 핸드오프 최소화를 위한 최적 마이크로/매크로셀 선택전략," 한국통신학회, 제24권 제3A호, pp. 341-351, 1999.

[7] Dachyung Hong and Stephen S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures." IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. VT-35, No.3, August 1986.

[8] 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, September 1994.

[9] R. B. Cooper, Introduction to Queuing Theory, 2nd ed. New York: Elsevier-North Holland, 1981.

[10] Gunter Bolch, Stefan Greiner, et al, Queuing Networks and Markov Chains, New York: John Wiley & Sons, 1998.

김 장 섭(Jang-sub Kim)

준회원



1999년 2월 : 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학부 졸업 (공학석사)

1999년 3월~현재 : 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학부 박사과정

<주관심 분야> smart antenna system, 무선측위, 통신시스템

정 우 곤(Woo-gon Chung)

정회원

1995년 2월~현재 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터
공학부 교수

<주관심 분야> 신호처리, 전자공학, 통신공학, 데이
터 융합