

다중 계층 셀룰러 시스템에서의 속도감응 핸드오프의 성능분석

정회원 최 원 근*

The Performance Analysis of Speed-Sensitive Hand Off in Multi Layer Cellular system

Won-keun Choi* *Regular Member*

요 약

극단적으로 작은 셀 반경을 갖는 마이크로 셀룰러 시스템은 높은 트래픽 용량을 제공하는 반면에 이동속도가 빠른 터미널들의 호들에 대해서는 최소한의 잔류 시간 요구들을 맞추기 어렵다. 이러한 문제점들을 최소화하기 위해서 본 논문에서는 새로운 동적 다중 셀룰러 구조를 설계하였다. 제안된 시스템에서는 빠른 이동속도를 갖는 터미널들의 핸드오프 속도와 실패에 따라서 상위 계층에 해당하는 매크로 셀이 동적으로 할당되도록 하였으며, 오버플로우 및 복귀(take-back)가 적용되도록 하였다. 또한 제안된 기법을 큐잉 분석을 통하여 매크로셀의 확대에 따른 입력속도와 통화 종료율의 성능을 분석하였다.

Key Words : Multimedia, QoS, Handoff, Speed-sensitive, WATM

ABSTRACT

The micro-cellular systems with an extremely small cellradius can provide high traffic capacity. But it cannot meet the minimum residency time requirements for calls of a fast-moving mobile terminal. To minimize the problem, we design a new dynamic multi-cellular cell architecture, in which the macro-cell size of the upper layer is dynamically selected according to the call handoff rate and failure of the fast-moving mobile terminals. The overflow and take-back scheme are adopted in the system. And we evaluated the performance of the call terminating rate as variable arrival rate.

I. 서 론

이동 통신에 대한 연구는 무선 링크의 높은 트래픽 용량 및 이동성 요구 증대 방향으로 진행되고 있다. 마이크로-셀룰러 시스템의 셀 반경이 작은 마이크로-셀은 저전력 송신기를 사용하여 근거리에서

채널 재사용이 가능하므로 가용 채널의 양을 증가시키지만, 높은 이동성을 가진 이동 사용자들의 핸드오프 발생 속도는 증가되어 망에서 프로세싱 부하가 증가된다.

현재 핸드오프 호의 실행은 핸드오프 성공을 위하여 새로운 핸드오프가 발생하기 전에 끝나야 한

※ 본 연구는 2007년도 인하공업전문대학 교내 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 인하공업전문대학 정보통신과(wkchoi@inhac.ac.kr)

논문번호 : 08014-0304, 접수일자 : 2008년 3월 4일

다. 고속으로 이동하는 사용자들의 핸드오프 호는 핸드오프가 요구하는 최소 잔류 시간 전에 새로운 핸드오프가 발생할 수 있는 문제가 있다. 매크로-셀룰러 시스템의 매크로-셀은 셀 반경이 크기 때문에 높은 이동성에 효율적이지만, 트래픽 요구를 만족시키지 못한다. 그러므로 마이크로-셀에 매크로-셀을 중첩한 계층 구조 셀룰러 시스템이 부상되고 있다. 계층 구조 셀룰러 시스템은 트래픽 용량을 향상시키고, 고속으로 이동하는 사용자들을 수용할 수 있다.

계층 구조 시스템에서 최적의 셀 크기, 속도에 따르는 셀 선택 및 신규(new) 호 및 핸드오프 호를 위한 시그널링이 다양한 이동성을 가진 사용자의 호의 강제 종료율을 감소시키는 방향으로 정의되어야 한다^{[21][10]}.

고속으로 이동하는 핸드오프 호는 마이크로-셀에서 최소 잔류 시간을 만족시키기가 어렵고, 저속으로 움직이는 핸드오프 호의 매크로-셀은 이동 사용자에게 충분한 자원을 제공할 수 없으므로, 신규 호 및 핸드오프 호 요청 시에 적절하게 셀을 선택하는 것은 성능에 중요하다.

이동 사용자의 속도 추정에 대한 연구는 여러 연구에서 볼 수 있는데 C. W. Sung은 거주 시간을 이용하여 사용자의 속도를 추정하였고^[3], X. Lagrange과 K.L Yeung은 이동 단말기 (MT)의 과거 정보를 이용하여 평균 거주 시간을 추정하였다^[24].

임계치(threshold) 접근 방법은 핸드오프 발생률을 감소시킬 수 있는데 K.L Yeung은 이러한 관점에서 평균 호 입력 속도에 따라서 임계치를 동적으로 조정한다^[4]. K. L. Yeung는 퍼지 기술을 사용하여 계층 선택 기법을 설계하였다^[5].

계층 셀룰러 시스템은 셀간에 존재하는 중첩 영역의 장점을 이용하여, 사용자에게 두개 이상의 셀에서 휴지(idle) 채널을 제공할 수 있다.

디폴트 셀 계층(layer)을 할당은 일반적으로 신규 호에 마이크로-셀이 할당된다^{[20][21]}. X. Lagrange는 MT들을 속도에 클래스로 나누고, 클래스에 따라서 도착하는 호를 적절한 셀 계층에 할당한다^[2]. X. Lagrange과 K. Shum는 오버플로(overflow) 기법을 사용하여 마이크로-셀이 휴지 채널이 없는 경우에 중첩된 매크로-셀에서 신규 호 또는 핸드오프 호에 휴지 채널을 할당한다^{[21][6]}. 오버플로 채널 할당 기법은 신규 호의 블로킹(blocking)률 및 통신 중인 호의 강제 종료율을 감소시킨다.

마이크로-셀에서 채널 이용률을 향상시키기 위하여, B.Jabbari은 매크로-셀에서 마이크로-셀로 핸드

오프를 허용하는 역 계층 구조 기법을 제안하였다^[8]. Y. Hwang는 언더플로(underflow) 기법을 제안하였는데, 이 기법에서는 핸드오프한 호에 매크로-셀이 제공할 휴지 채널이 없는 경우 중첩된 마이크로-셀의 휴지 채널을 제공한다^[9].

X. Lagrange는 2계층 셀 아키텍처를 설계하는데, 마이크로-셀의 하위 계층은 저속 MT에 우선적으로 서비스 영역을 제공하며, 매크로-셀의 상위 계층은 고속 MT에 우선적으로 서비스 영역을 제공한다. 또한 상위 계층 하위 계층에 신규 호 및 핸드오프 호에 대한 양방향 오버플로우를 제공하여, 속도에 따라서 처음 선택된 계층의 셀이 트래픽 채널을 제공할 수 없으면, 다른 계층으로 오버플로우된다. 오버플로우된 호는 처음 선택된 계층의 셀이 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 처음 선택된 계층의 셀로 복귀(take-back)한다^[2].

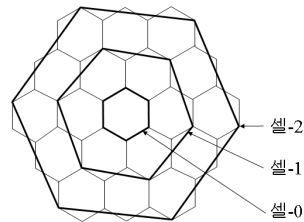


그림 1. 셀분류

이상과 같은 기존 연구들을 통하여 본 논문에서는 한 가지 이상의 계층 유형이 있는 다음과 같은 동적 다중 계층 셀룰러 시스템을 설계하였다. 본 연구에서 설계된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 다중 계층 셀 아키텍처에서 상위 계층의 셀은 하위 계층의 셀을 덮는다.
- 2) 셀에는 크기에 따라서 셀-0·셀-1·셀-2...·셀-i 등으로 분류된다. 그림 1은 셀의 종류를 보여준다.
- 3) 셀-i는 $3(i+1)^2 - 3(i+1) + 1$ 개의 셀-0들 덮는다.
- 4) 셀-0를 마이크로-셀이라 정의하고, 나머지 셀들을 매크로-셀로 정의한다.
- 5) 각 계층의 셀 크기는 MT의 속도 분포에 따라서 동적으로 선택된다.

이와 같은 다중 계층 셀룰러의 효과를 최대화시키기 위하여 속도 감응(speed-sensitive) 핸드오프를 설계하였다^[1]. 이동 사용자의 이동 속도 분포에 따라서 최적의 셀들이 선택되며, 오버플로 및 복귀 기법을 사용하여 자원 효율을 최대화한다.

II. 최적의 셀 크기

MT 또는 MSC는 사용자의 이동성을 셀에서 체류 시간을 근거로 판단한다. 체류 시간은 MT의 이동 거리 또는 평균 속도로 판단할 수 있다. 이동 거리 계산은 이동 방향, 방향 전환, 셀의 형태 및 셀에서 진입 점 및 진출 점을 고려해야 하므로, 복잡한 계산을 요구한다³⁾. 그러므로 거리 계산은 고려하지 않는다.

본 논문에서는 MT의 평균 속도를 이용한다.

신규 호가 일반적으로 핸드오프 호보다는 우선순위가 높지만, 계산을 간단하게 하기 위하여 핸드오프 호와 동일하게 처리된다고 가정한다.

신규 호의 통화 실패율은 핸드오프 호의 통화 절단율과 같다.

본 논문에서는 MT가 핸드오프 절차가 끝나기 전에 목표 셀에서 떠나면 핸드오프가 실패한 것으로 가정한다.

계산을 간편하게 하기 위하여, 다음과 같은 가정으로 제안한 분석 모델을 최적의 셀 크기 계산에 사용한다.

- 1) 셀들은 모두 정 육각형이다.
- 2) 저속 호 및 고속 호의 발생은 각각 입력 속도 λ_{n0} 및 λ_{n1} 의 포아송 과정을 따른다.
- 3) 서비스 시간 및 셀 체류 시간은 각각 $1/\mu$ 및 $1/\eta$ 의 지수 분포를 따른다.
- 4) MT들은 셀에 균등하게 분포되고, 움직이는 방향이 모든 방향 $[0, 2\pi]$ 균등하게 분포되어 평균 속도 V 로 이동한다고 가정한다.

한편 호 핸드오프 속도 η 는 다음과 같이 주어진다.

$$\eta = \frac{VL}{\pi S} = \frac{2V}{\pi l \sin(\pi/3)} \quad (1)$$

L 은 셀의 주변 길이, S 는 셀 넓이이고, l 은 육각형 셀의 한 면의 길이이다. T 는 연속하여 발생하는 핸드오프의 다음 발생 시간에 대한 랜덤 변수로 정의한다. T 가 지수 분포를 따른다고 가정하면, MT가 핸드오프 시간 T_H 전에 현재의 셀에서 떠나는 핸드오프 실패 확률 P_l 은 다음과 같이 주어진다.

$$P_l = P[T < T_H] = 1 - e^{-\eta T_H} \quad (2)$$

셀 한 변면의 최소 길이 l_m 는 (1) 및 (2)에서 다음과 같이 유도된다.

$$l_m = \frac{2VT_H}{\pi \log\left(\frac{1}{1-P_l}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)} \quad (3)$$

핸드오프 시간은 MT 이동 속도에 비례하여 증가한다. 이동 속도가 증가하면 무선(wireless) 링크의 대역폭이 감소하여 메시지 전송 시간 M_t 가 증가하기 때문이다.

그림 2는 핸드오프 실패 확률 P_l 값을 고정시킬 때 MT의 평균 이동 속도 V 변화에 따르는 l_m 값의 변화를 보여준다. 동일한 핸드오프 실패 확률 P_l 값을 유지하기 위하여, 고속에서는 l_m 값이 커짐을 알 수 있다.

그림 3은 셀을 셀-0, 셀-1, 셀-2, 셀-3으로 고정시킬 때 MT의 평균 이동 속도 V 변화에 따르는 핸드오프 실패 확률 P_l 값의 변화를 보여준다. 마이크로 셀(셀-0)의 l_m 값은 그림2의 결과로부터 계산되며, 나머지 셀들의 크기는 그림1의 셀 분류에 따라서 자동적으로 계산된다. 그림3에서 핸드오프 실패 확률 P_l 은 MT의 평균 이동 속도 V 에 비례하고, 셀 크기와는 반비례함을 알 수 있다.

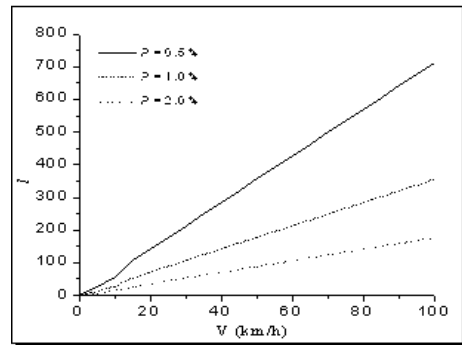


그림 2. 이동 속도 변화에 따르는 l_m 값 변화

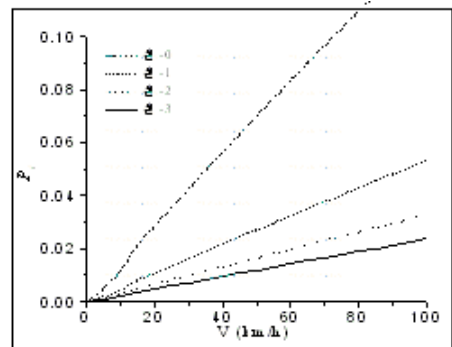


그림 3. MT의 평균 이동 속도 변화에 따르는 핸드오프 실패 확률 P_l 값 변화

III. 다중 계층 셀룰러 시스템

설계된 다중 계층 셀룰러 시스템을 바탕으로 속도 감응 핸드오프^[1]의 성능을 분석한다.

3.1 핸드오프 설계

그림 4는 다중 계층 셀룰러 아키텍처를 보여준다. 다중 계층 셀룰러 아키텍처에서 계층 및 셀을 다음과 같이 설계한다.

- 1) MT들은 이동 속도에 따라서 두 가지 이상의 그룹으로 분류된다. 계층-0는 최저 속도로 이동하는 MT 그룹에 할당되고, 계층-1은 다음 속도로 이동하는 MT 그룹에 할당된다. 그러므로 계층- i 의 MT의 이동 속도는 계층- $i-1$ 의 MT의 이동 속도보다 빠르다. MT 그룹의 이동 속도는 일정 기간 동안의 평균 속도이므로 MT의 속도 변화는 고려하지 않는다.
- 2) 계층-0에는 셀-0가 할당되며, 셀-0의 크기는 계층-0에 속한 MT들의 이동 속도에 결정된다. 나머지 셀 유형(셀-1·셀-2···셀- i 등)의 크기는 자동적으로 계산된다.
- 3) 계층- i 에 속한 MT 그룹의 속도에 따라서 셀 유형에서 최적의 셀을 선택하여 계층- i 에 할당한다. 그러므로 계층- i 에 셀- i 가 항상 할당되는 것은 아니다.
- 4) 계층- i 의 셀은 O_i 개의 계층- $i-1$ 의 셀들을 덮는다.
- 5) 계층- i 의 셀에 m_i 개의 채널이 할당된다.

다중 계층 시스템은 다음과 같이 동작한다.

- 6) MT _{i} 의 신규 호는 우선 계층- i 의 셀에서 채널을 할당 받는다. 계층- i 의 셀이 신규 호를 위하여 트래픽 채널을 제공할 수 없으면, 하위 계층의 셀이 상위 계층보다는 채널 여유가 많으므로,

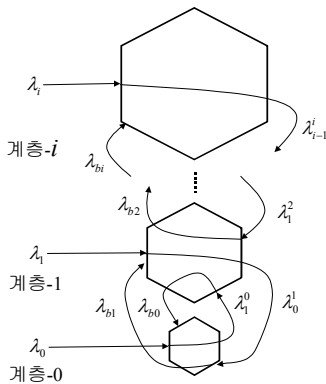


그림 4. 다중계층 셀룰러 시스템

신규 호는 계층- $i-1$ 로 오버플로될 수 있다. 계층- $i-1$ 의 셀에서 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 신규 호는 계층- $i-1$ 의 셀에서 통신을 한다. 그렇지 않으면 신규 호는 잃어버리게 된다.

- 7) MT _{i} 의 핸드오프 호는 우선 계층- i 의 셀에서 채널을 할당 받는다. 계층- i 의 셀이 핸드오프 호를 위하여 트래픽 채널을 제공할 수 없으면, 핸드오프 호는 계층- $i-1$ 로 오버플로될 수 있다. 계층- $i-1$ 의 셀에서 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 핸드오프 호는 계층- $i-1$ 의 셀에서 통신을 한다. 그렇지 않으면 핸드오프 호는 잃어버리게 된다.
- 8) 오버플로된 호는 핸드오프가 발생하면 최적의 계층 셀로 핸드오프될 수 있다.

3.2 성능 분석

그림 4는 오버플로 및 복귀(take-back)를 위한 분석 모델이다. 성능 분석을 위하여 다음과 같이 가정한다.

- 1) 계층- i 의 셀들은 한 변의 길이가 l_i 인 정 육각형이다.
- 2) MT _{i} 의 신규 호는 입력 속도 λ_m 의 포아송 과정을 따른다.
- 3) 호 서비스 시간 및 셀 체류 시간은 각각 $1/m$ 및 $1/h$ 의 지수 분포를 따른다.
- 4) 신규 호 및 핸드오프 호의 블로킹 확률은 Erlang loss formula에 의하여 주어진다.

$$P_{bi} = \frac{(\lambda_{ii}/\mu_i + \lambda_{ii}^{(i+1)}/\mu_i^{(i+1)})^{m_i}}{\sum_{j=0}^{m_i} (\lambda_{ij}/\mu_j + \lambda_{ii}^{(i+1)}/\mu_i^{(i+1)})^j}, \quad i = 0, 2, 3, \dots \tag{4}$$

$$P_{b1} = \frac{(\lambda_{i1}/\mu_1 + \lambda_{i1}^{(0)}/\mu_1^{(0)} + \lambda_{i1}^{(2)}/\mu_1^{(2)})^{m_1}}{\sum_{j=0}^{m_1} (\lambda_{i1}/\mu_1 + \lambda_{i1}^{(0)}/\mu_1^{(0)} + \lambda_{i1}^{(2)}/\mu_1^{(2)})^j} \tag{5}$$

여기서

λ_{ii} 는 MT _{i} 에 의하여 계층- i 에 발생되는 전체 트래픽 도착률

λ_{in} 는 MT _{i} 에 의하여 계층- j 에 발생되는 전체 트래픽 도착률

μ_i 는 MT _{i} 에 의하여 계층- i 에서 서비스율

μ_j 는 MT _{i} 에 의하여 계층- j 에서 서비스율

을 표시한다.

호의 통화 종료율은 다음과 같다.

$$P_{di} \approx \frac{P_{hi}P_{b0}P_{bi}}{1 - P_{hi}(1 - P_{bi})} \quad (6)$$

신규 호의 발생 속도는 모든 셀에서 동일하고, 전체 셀들의 영역에 대한 트래픽은 λ_n 의 포아송 과정을 따른다고 가정한다. 그러므로 입력 속도를 $\lambda_{n1} = \alpha\lambda_n$, $\lambda_{n0} = (1-\alpha)\lambda_n/O_1$ 으로 나타낼 수 있다.

Table 1은 분석을 위한 파라미터 값을 나타낸다.

Table 1. 분석을 위한 파라미터 값

O_1	7,19,37
the number of channels (m_0)	20
the number of channels (m_1)	40
speed of a MT ₀ (V_0)	5 km/h
speed of a MT ₁ (V_1)	20,30,40km/h
length of one side of a cell (l_0)	15 m
call service rate (μ)	120 sec

그림 5에서 그림10까지는 매크로-셀을 셀-0·셀-1·셀-2·셀-3으로 고정된 환경에서 σ 값을0.1부터 0.5까지 변화시키면서 신규 호의 입력속도(λ_{n0})변화에 따른호의 통화 종료율(P_{di})의 변화를 나타낸다.

즉 호의 통화 종료율(P_{di})은 입력속도(λ_{n0}) 변화에 비례함을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 매크로셀을 셀-1로 고정시키고 σ 값을 0.1부터 0.5까지 변화시키면서 신규 호의 입력속도(λ_{n0})변화에 따른 호의 통화종료율(P_{di})의 변화를 보여준다. 그림5에서 P_{d0} 의 호의 종료율은 σ 의 변화에 따라 차이가 거의 없지만 그림6에서 P_{d1} 값은 σ 의 변화에 따라 통화 종료율이 변하는 것을

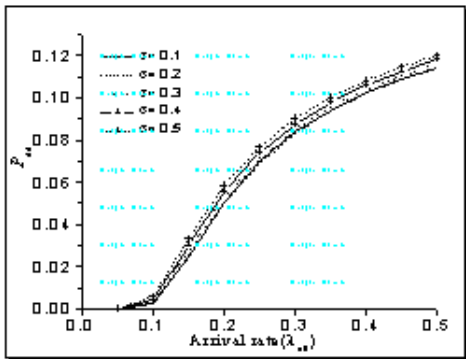


그림 5. 매크로셀이 셀-1일 때 Pd0 값의 변화

볼 수 있다. 특히 σ 값이 작아질수록 통화 종료율은 셀-1·셀-2·셀-3중에서 가장 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 매크로셀을 셀-2로 고정시키고 σ 값을 0.1부터 0.5까지 변화시키면서 신규 호의 입력속도(λ_{n0})변화에 따른 호의 통화 종료율(P_{di})의 변화를 보여준다. 그림7에서 P_{d0} 의 호의 종료율은 그림5와 비교해서 전체적으로 작은 차이기는 하지만 줄어드는 것을 볼 수 있다. 하지만 σ 의 변화에

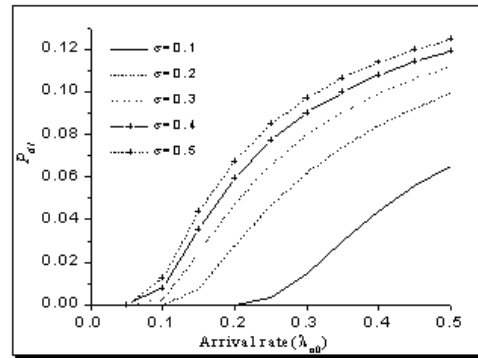


그림 6. 매크로셀이 셀-1일 때 Pd1 값의 변화

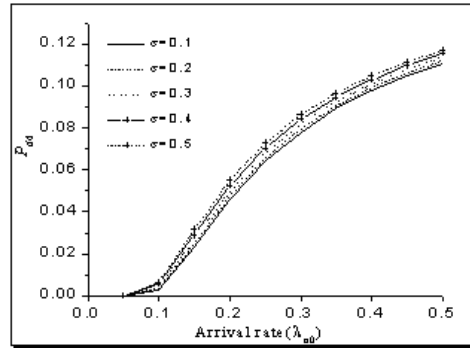


그림 7. 매크로셀이 셀-2일 때 Pd0 값의 변화

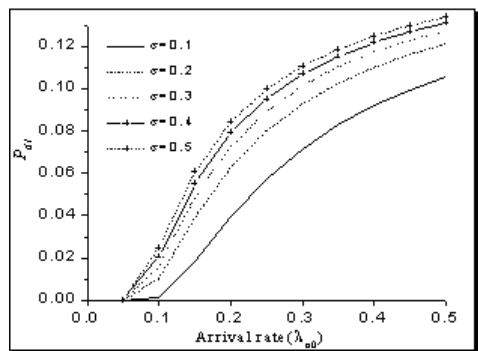


그림 8. 매크로셀이 셀-2일 때 Pd1 값의 변화

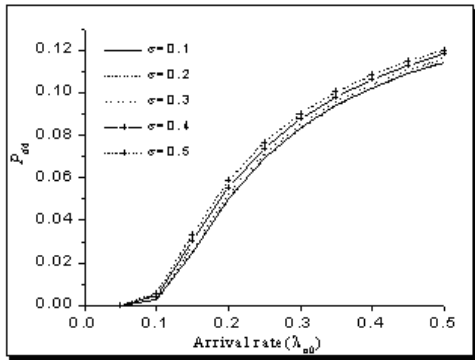


그림 9. 매크로셀이 셀-3일 때 P_{d0} 값의 변화

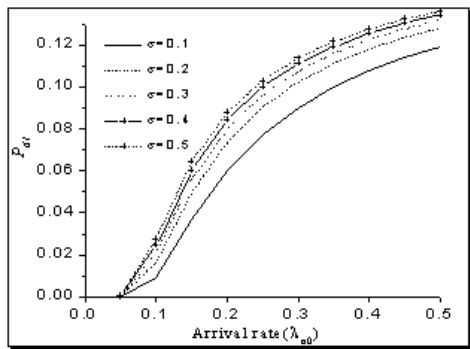


그림 10. 매크로셀이 셀-3일 때 P_{d1} 값의 변화

다른 차이는 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그림8에서 P_{d1} 값은 σ 의 변화에 따라 통화 종료율이 작아지는 것을 볼 수 있다. 특히 σ 값이 작아질수록 통화 종료율은 셀-1·셀-2·셀-3중에서 중간정도의 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 매크로셀을 셀-3으로 고정하고 σ 값을 0.1부터 0.5까지 변화시키면서 신규 호의 입력속도(λ_{n0})변화에 따른 호의 통화종료율(P_{di})의 변화를 보여준다. 그림 9에서 P_{d0}의 호의 종료율은 σ 의 변화에 따라 차이가 거의 없지만 그림10에서 P_{d1} 값은 σ 의 변화에 따라 통화 종료율이 작아지는 것을 볼 수 있다. 특히 σ 값이 작아질수록 통화 종료율은 셀-1·셀-2·셀-3중에서 가장 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

기존 논문에서는 WATM 망에서 핸드오프 요구를 바탕으로 QoS를 동적으로 관리하기 위하여 이동성을 지역화 시키는 QoS 적응형 이동성 참조 모델을 설계하였고, 이를 바탕으로 핸드오프를 설계하

고 성능을 분석하였다^[1]. 본 논문에서는 제안한 속도 적응 핸드오프의 최적의 셀 크기에 대한 연구와 사용자의 다양한 이동성을 고려한 다중 계층 셀룰러 시스템을 제안하였다. 이를 바탕으로 셀의 중첩 효과를 극대화시키기 위하여, 동적 셀 선택 알고리즘을 설계하였고 수학적 분석을 통하여 사용자의 이동 속도를 고려한 핸드오프 성능을 분석하였다. 향후 본 논문에서 제안한 다중 계층 셀룰러 시스템을 보다 일반화하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 최원근, “무선 ATM망에서 Speed-Sensitive 핸드오프” 한국통신학회 논문지 '07-8 Vol.32, No.8 pp.263-271, 2007.
- [2] X. Lagrange, and P. Godlewski, “Performance of a hierarchical cellular network with mobility-dependent hand-over strategies,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'96), 1996.
- [3] C. W. Sung, and W. S. Wong, “User speed estimation and dynamic channel allocation in hierarchical cellular system,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'94), 1994.
- [4] K.L Yeung, and S. Nanda, “Optimal mobile-determined micro-cell selection,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'95), 1995.
- [5] K. L. Yeung and S. Nanda, “Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol.45, no.4, Nov., 1996.
- [6] K. Shum and C. W. Sung, “Fuzzy Layer Selection Method in Hierarchical Cellular Systems,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol.48, no.6, pp.1840-1849, Nov., 1999.
- [7] X. Lagrange, and P. Godlewski, “Performance of a hierarchical cellular network with mobility-dependent hand-over strategies,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'96), 1996.
- [8] B.Jabbari, and W. F. Fuhrmann, “Teletraffic Modling and Analysis of Flexible Hierarchical Cellular Networks with Speed-Sensitive Handoff Strategy,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol.15, no.8, pp.1539-1548, 1997.
- [9] Y. Hwang, Y. Han and Y. Kim, “Performance analysis of mixed voice/data services in a mi-

cro-cell-based PCS Network,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E81-A, no.6, pp.1136-1144, June 1998.

- [10] Beraldi, Maramo, and Mastroianni, “A reversible architecture for micro-cellular systems with overlaying macro-cells,” Infocom '96, pp.51-58, 1996.
- [11] J. McNair, I. F. Akyildiz, and M. D. Bender, “An Inter-system handoff technique for the IMT-2000 System,” in Proc. IEEE INFOCOM '00, 2000, pp.208-216.

최 원 근 (Won-keun Choi)

정회원



1982년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업

1986년 2월 고려대학교 전자공학과 석사

1999년 8월 고려대학교 전자공학과 박사

1991년 9월~인하공업전문대학

정보통신과 근무

<관심분야> 멀티미디어, QoS, 트래픽관리