

다중계위 셀 구성을 갖는 PCS망의 트래픽 분석

正會員 金 永 一*, 陳 庸 玉**

A Study on Teletraffic Analysis in Overlaid PCS System

Young-il Kim*, Yong-oak Jin** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 마이크로/매크로셀이 중첩된 CDMA 방식의 PCS시스템에서 마이크로셀의 트래픽처리용량을 증대시키기 위해서 마이크로셀에서 블럭킹된 호를 매크로셀로 절체시키는 여러방안들을 분류하고 각각의 경우에 대해서 트래픽을 분석한다. CDMA 방식의 장점인 소프트 핸드오프는 이동국이 동일한 CDMA 주파수를 사용하는 두개의 기지국과 동시에 접속되어 통화를 함으로써 음성통화품질면에서는 우수하나 상대적으로 처리트래픽량의 감소를 초래하게 된다. 따라서 소프트 핸드오프영역의 크기에 따른 트래픽의 영향을 분석하기 위해 통화중인 호가 소프트 핸드오프 지역에 머무를 확률을 구하여 운반트래픽량을 구하였고, 마이크로/매크로셀 계층간 트래픽 절체 방안별로 블럭킹확률을 분석한다.

ABSTRACT

In this paper, we classify the transfer method of overflowed traffic from microcell to macrocell in micro/macro overlaid PCS system using CDMA technology, and analyze the traffic characteristics of traffic transfer methods. Soft-handoff is characterized by commencing communications with a new bastation on the same CDMA frequency assignment before terminating communications with the old basestation. Therefore, soft-handoff is superior to hard-handoff with respect to Grade Of Service, but it decreases the carried traffic of system. Therefore, we analyze the effect of soft-handoff with respect to handoff area variation. In order to analyze soft-handoff effect, we resolve the probability of dewelling time in soft-handoff area, and calculates the carried traffic of microcell using this result.

I. 서 론

PCS는 유선과 무선 기술이 복합되는 시스템으로서, 이동 트래픽환경하에서 최적의 통신품질(QOS: Quality Of Service)로 다양한 서비스를 제공하는 것

* 한국전자통신 연구소 신호기술 연구실
ETRI

** 경희대학교
Kyung-Hee University
論文番號: 95249-0721
接受日字: 1995년 7월 21일

을 목표로 하고 있다. 이와 같은 PCS에서 중요한 부분을 차지하는 것은 셀의 구성과 무선다중 접속기술이라 할 수 있다.

먼저 셀의 구성측면에서 볼때 PCS(Personal Communication Service)에서는 가입자의 수요와 트래픽이 증대함에 따라 셀은 점점 소형화되기 시작하여 마침내 반경이 수백m 이내인 마이크로셀 및 피코셀이 등장하게 되었다. 마이크로 셀은 많은 사람들이 밀집되는 공공장소를 중심으로 수개가 밀집되는 형태로 (Cluster) 구성되며, 이들의 셀은 다시 기존의 매크로셀내에 포함되므로 마이크로셀과 매크로셀이 중첩된 셀 구성을 갖게 된다.

다중접속기술 측면에서 볼때, 그간 국내에서 CDMA 방식을 사용하는 DCN(Digital Communication Network) 이동통신 시스템을 개발해왔고, PCS에서도 CDMA 방식을 적용하기로 결정하였다. 따라서 본 논문에서는 마이크로셀 및 매크로셀에서 공히 CDMA 방식을 사용하며 이들 마이크로셀과 매크로셀이 중첩되는 PCS시스템에서 트래픽의 특성에 대해서 분석하고자 한다.

마이크로/매크로셀이 중첩된 시스템에서 마이크로셀에서 새로운 호 요구시 및 핸드오프 요구시 블러킹이 발생된 통화를 매크로셀로 절체하는 방안¹⁾에 대한 연구가 이루어졌으나²⁾ 이 방안에서는 매크로셀에 마이크로셀에서 핸드오프되는 채널만을 처리하기 위한 전용의 채널을 뚫으로써 마이크로 셀에 트래픽량이 작은 경우에도 매크로셀에 유휴채널(Idle channel)이 있게되어 매크로셀에 트래픽 밀도가 커지는 경우에 효과적으로 대처하지 못하는 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 마이크로/매크로셀이 중첩된 이동통신 시스템에서 마이크로 및 매크로셀에 모두 핸드오프 전용채널을 할당하는 방안³⁾을 적용하고, 핸드오프 요청시 이동가입자의 속도를 추정하여 속도가 빠른 경우에만 인접 마이크로셀로 통화를 절체시키는 대신에 매크로 셀로 절체시키는 핸드오프 알고리즘을 적용하여 핸드오프 트래픽 특성을 분석한다. 또한, CDMA시스템은 주파수 재사용율이 높아(주파수 재사용율: 1) 인접기지국간에 동일 주파수를 사용할 수 있어 소프트핸드오프가 가능한 장점을 지닌 시스템이다. 그러나 소프트 핸드오프를 통해 통화품질을 향상시킬 수 있으나, 시스템이 제공하는 전체 트래픽의

양에는 감소를 가져오게 된다. 지금까지 소프트핸드오프의 장점에 관한 연구는 이루어졌으나, 소프트 핸드오프영역의 크기에 따른 트래픽의 특성에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 마이크로/매크로셀간의 트래픽 절체방식을 분류하고, 이들의 영향을 분석하기 위해 소프트 핸드오프영역의 크기 변화에 따라 각 방식들의 트래픽특성을 분석한다.

II. PCS시스템의 셀 구성 구조

1. 셀의 구성

마이크로/매크로셀이 중첩된 PCS시스템은 다음의 [그림 1]과 같이 1개의 매크로 셀에 M개의 마이크로셀이 중첩된 구성을 갖게 된다.

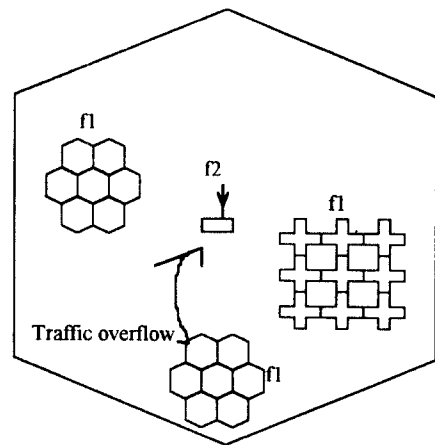


그림 1. 중첩된 셀구조를 갖는 PCS 시스템
Fig. 1 The Architecture of Overlaid PCS system.

마이크로셀은 많은 사람들이 모이는 공공장소등에 설치되는 육각형의 셀과 도심지의 거리를 중심으로 형성되는 직각형의 셀로 구성될 수 있다. 본 논문에서는 도심지의 거리를 따라 직각형으로 구성되는 마이크로셀과 이들을 중첩시키는 육각형으로 구성되는 매크로셀에 모두 CDMA 방식을 사용하되, 서로 다른 주파수(f_1 , f_2)를 사용하여 매크로/마이크로셀간의 간섭이 없는 중첩셀 구조의 시스템에서의 트래픽 특성을 고려한다. 따라서 마이크로셀간에는 소프트 핸드

오프를 적용하고 마이크로/매크로셀간에는 하드 핸드오프를 적용한다.

2. 마이크로셀의 기하학적 수용 용량

직사각형의 셀을 구성하는 방법에는 가지국을 설치하는 위치에 따라 여러가지 방안이 있을 수 있으며, [그림 1]과 같이 거리의 중심교차로 근처의 건물에 가지국을 설치하는 경우를 고려하면, 한 셀은 십자로 구성을 갖게된다. 이 경우에 있어, M개의 마이크로셀을 1개의 매크로 셀에 중첩시킬때, 직사각형 마이크로셀의 중심에서 셀경계까지의 거리를 r, 매크로셀의 반경을 R이라 할때, 근사적으로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$M\pi r^2 \leq \frac{\sqrt{3}}{2} R^2 \tag{1}$$

$$M \leq \left(\frac{R}{r}\right)^2 / \pi$$

이상과 같은 마이크로셀과 매크로셀들의 중첩 구성을 더욱 확장하여 더 많은 계위로 중첩시킬 수도 있으며 즉, 여러개의 매크로 셀들을 더 큰 셀로 중첩시킬 수 있으며, 이때 각 인접 계위간에도 윗식과 같은 구성을 갖게 된다.

3. 마이크로/매크로셀간 트래픽 절제 방안

마이크로셀과 매크로셀이 중첩되는 시스템에서, 마이크로셀내의 트래픽이 폭주(Congestion)하여 이를 매크로셀로 절제하는 계층간 트래픽흐름의 종류로서는 [그림 2]에 나타난바와 같이 새로운 호 시도시 블리킹된 호를 매크로셀로 전체하거나, 핸드오프 요구시 목표셀의 유휴채널 부재로 이를 매크로 셀로 절제하는 경우를 들수 있으며, 이들은 각각 이동특성에 따라 고속의 단말기(차량용)와 저속의 단말기(보행자용)로 분류할 수 있다.

본 시스템에서는 마이크로셀간 핸드오프 발생시 이동속의 속도를 추정하여 일정속도 이상의 호는 마이크로셀로 핸드오프시키지 않고, 바로 매크로셀로 핸드오프 시키고, 새로운 호 시도시 블리킹된 호를 매크로셀로 절제시키는 호처리 알고리즘을 적용하는 경우에 있어서의 트래픽 성능을 분석하고자 한다. 레일리(Rayleigh)페이딩채널상에 있는 이동속의 속도는

도플러주파수(Doppler frequency)에 비례하므로 Diversity수신기의 경로전환율(Diversity Switching)을 측정함으로써 손쉽게 추정할 수 있다.^[3]

매크로셀에서는 마이크로셀로부터 유입되는 트래픽을 처리하기 위해 채널을 할당시 다음과 같은 여러 방법으로 처리할 수 있다.

(1) 핸드오프채널 우선순위 할당방법(Priority Channel Assignment for Handoff): Scheme I

마이크로셀과 매크로셀은 각각 핸드오프호에 우선순위를 두어 핸드오프호에는 전체의 채널을 다 사용할 수 있는 반면에 신규호는 전체의 채널중에서 핸드오프 전용의 채널을 제외한 채널만을 할당⁴⁾ 한다. 마이크로셀에서 발생하는 핸드오프호에 한하여 매크로셀로 절제하는 방식으로서, 고속의 단말기에서 핸드오프 요구시는 직접 매크로셀로 절제시키고, 저속의 단말기에서 핸드오프 요청시는 인접마이크로셀로 핸드오프를 요청한후 블리킹되는 경우에 매크로셀로 핸드오프를 요구하는 방식이다. 이 방식은 고속의 단말기에서 자주 핸드오프를 요구하는 것을 방지하기 위한 것으로 매크로셀의 트래픽이 다음의 방식II보다 작은 경우에 적합한 방법이다.

(2) 마이크로셀 채널 우선순위 할당방법(Overall Priority Channel Assignment): Scheme II

위의 방식I과 유사하게 마이크로 및 매크로셀에 각각 핸드오프 전용채널을 설정하여 우선순위를 두며, 마이크로셀에서 블리킹된 호와 핸드오프호를 전부 매크로셀로 절제시키는 방식이다. 이 방식에서는 방식 I과는 달리 고속의 단말기에서 핸드오프를 요청시 곧바로 매크로 셀로 절제시키지 않고 블리킹되는 경우에만 매크로 셀로 절제시킨다. 이때 마이크로셀에서 블리킹된 신규호는 매크로셀의 신규호로 마이크로셀의 핸드오프호는 매크로셀의 핸드오프호로 편위시키 처리하는 방식이므로 마이크로셀에 트래픽 부하가 많은 경우에 적합한 방법이다.

(3) 마이크로셀 전용할당 방법(Microcell Dedicated Channel Assignment): Scheme III

마이크로셀에서 매크로셀로 절제되는 신규호 및 핸드오프호는 신규 및 핸드오프호에 무관하게 전용의 채널로 처리하는 방법으로서, 마이크로셀의 트래픽이 위의 두방식보다 많지 않고, 매크로셀의 트래픽도 크다시 크지 않은 지역에 적합한 방법이다.

(4) 핸드오프 전용채널 할당(Dedicated Channel Assignment for Handoff): Scheme IV

마이크로셀에서 매크로셀로 핸드오프호만을 절제시키며, 이 핸드오프 호만을 처리하기 위한 전용의 채널을 사용하는 방식으로 마이크로셀 전용할당 방법(Scheme III)에 비해 마이크로셀의 핸드오프 호에 대한 우선순위를 유지하면서 매크로 셀에 대한 호에도 어느정도의 우선순위를 주는 구조이다.

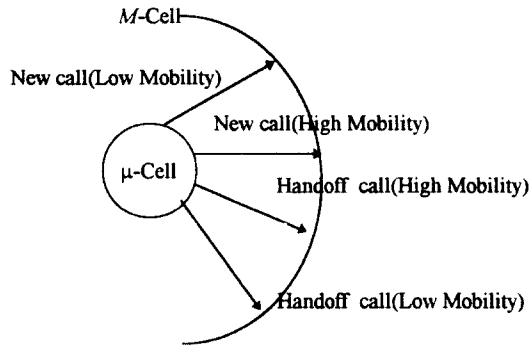


그림 2 중첩셀 구조에서 계층간 트래픽 흐름도
Fig. 2 Overflowed Traffic transfer between Micro/Macro cell

III. 트래픽 특성 분석

1. 마이크로셀 트래픽 특성

마이크로셀에서 발생하는 호는 다음과 같이 4가지 형태로 분류할 수 있다.

- Λ_{mH}^n : 속도가 높은 새로운 호 발생율(New call arrival rate)

- Λ_{mL}^n : 속도가 낮은 새로운 호 발생율
- Λ_{mL}^h : 인접 마이크로셀로 부터 핸드오프되어 오는 속도가 낮은 핸드오프호 발생율
- Λ_{mH}^h : 인접 마이크로셀로 부터 핸드오프되어 오는 속도가 높은 핸드오프호 발생율

속도가 낮은 호는 휴대단말기에서 발생시키는 호이며, 높은 속도의 특성을 지니는 호는 차량에서 발생시키는 호이다. 마이크로셀에는 할당된 전체 채널(C_m)중에서 핸드오프 전용채널(C_{hm})을 두어, 핸드오프 전용채널은 핸드오프 목적으로만 사용하고, 나머지 채널($C_m - C_{hm}$)은 새로운 호 및 핸드오프 호에 사용한다.¹¹⁾ 즉, 새로운 호와 핸드오프 호가 발생시 차례차례 ($C_m - C_{hm}$)개까지 채널을 할당하고 이후부터 발생하는 새로운 호는 블럭킹시키고, 핸드오프 호는 전용채널(C_{hm})이 전부 점유될때까지만 채널을 할당해주고 이후부터는 블럭킹 시킨다. 마이크로셀의 채널상태 천이도는 다음의 [그림 3]과 같다.

마이크로셀내의 트래픽특성을 분석하기 위해 다음과 같이 확률변수를 정의한다.

- (1) T_{dm}^n : 호가 발생한 cell내에 통화가 지속되는 시간에 대한 확률변수로서, 저속의 단말기의 경우와 고속의 단말기의 경우에 따라 각각 T_{dmL}^n, T_{dmH}^n 로 구분되며, 소프트 핸드오프 지역에서 생성된 호의 경우는 각각 T_{dm}^n, T_{dm}^n 로 구분된다.
- (2) T_{dm}^h : 핸드오프된 cell내에 통화가 지속되는 시간에 대한 확률변수
- (3) T_M : 전체의 Call지속시간에 대한 확률변수로서 평균이 $\bar{T}_M (= 1/\mu_M)$ 인 부지수함수(Negative exponential) 분포를 갖으며, 확률밀도함수는 다음과 같다.

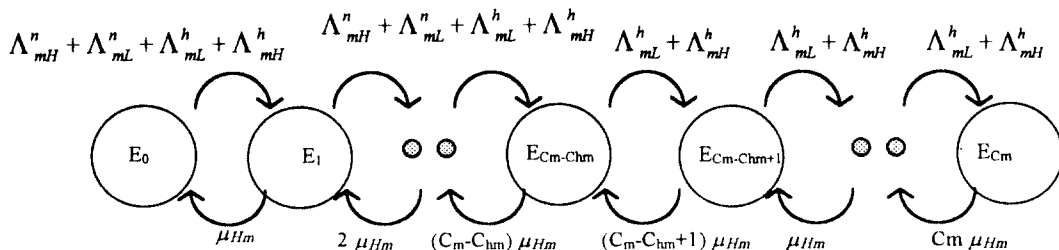


그림 3. 마이크로셀의 상태 천이도
Fig. 3 State transition diagram of microcell

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

(4)V: 단말기의 속도를 나타내는 확률변수로서 이동국이 셀내를 이동시 항상 일정한 속도로 움직이고 셀내의 속도는 고속으로 움직이는 단말기의 경우 $[V_{Lmax}, V_{Hmax}]$ 사이에, 저속의 단말기는 $[0, V_{Lmax}]$ 사이에 균등히 분포된다고 가정하면, 확률밀도함수는 다음과 같게 된다.

$$f_{V_L}(v) = \frac{1}{V_{Lmax}} \quad 0 \leq v \leq V_{Lmax}$$

$$= 0 \quad \text{Otherwise} \quad (3)$$

$$f_{V_H}(v) = \frac{1}{V_{Hmax} - V_{Lmax}} \quad V_{Lmax} \leq v \leq V_{Hmax}$$

$$= 0 \quad \text{Otherwise}$$

(5)Z: Call이 발생한 셀내의 임의의 점에서 셀경계까지의 거리

T_{dm}^n 의 누적분포함수와 확률밀도함수는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$F_{T_z}(t) = Prob[z/v \leq t] = \int_0^t \int_0^{\infty} f_{v,z}(v, z) dv dz$$

$$= \int_0^t \{ f_{v,z}(v) \int_0^{z-vt} f_z(z) dz \} dv \quad (4)$$

$$f_{T_z}(t) = \int_0^t |v| f_v(v) f_z(vt) dv \quad (5)$$

T_{dm}^h 에 대한 누적분포함수와 확률밀도함수도 위와 같은 방법으로 구할 수 있다.

통화가 셀내에 지속되는 채널점유시간(Holding Time : $1/\mu_{Hm}$)은 호가 생성된 셀내에서 지속되는 시간에 대한 확률분포와 핸드오프된 셀에 호가 지속되는 시간에 대한 확률분포를 구한 후 이들을 이용하여 채널체재시간에 대한 누적분포함수를 구하고, 이를 평균이 $1/\mu_M$ 인 부지수 분포함수에 근사시켜 구할 수 있다.¹¹⁾

마이크로셀의 채널이 j 개 사용중인 상태를 E_j 라 하고 이때의 확률을 P_j 라 하면 생성소멸 프로세스(birth-death process) 모델에서 P_j 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_j = \frac{(\Lambda_{ml}^n + \Lambda_{mH}^n + \Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^j}{j! \mu_{Hm}^j} P_0$$

$$1 \leq j \leq C_m - C_{hm}$$

$$= \frac{(\Lambda_{ml}^n + \Lambda_{mH}^n + \Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^{C_m - C_{hm}} (\Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^{j - (C_m - C_{hm})}}{j! \mu_{Hm}^j} P_0$$

$$C_m - C_{hm} + 1 \leq j \leq C_m \quad (6)$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C_m - C_{hm}} \frac{(\Lambda_{ml}^n + \Lambda_{mH}^n + \Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^k}{k! \mu_{Hm}^k} + \sum_{k=C_m - C_{hm} + 1}^{C_m} \frac{(\Lambda_{ml}^n + \Lambda_{mH}^n + \Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^{C_m - C_{hm}} (\Lambda_{ml}^h + \Lambda_{mH}^h)^{k - (C_m - C_{hm})}}{k! \mu_{Hm}^k} \right]^{-1} \quad (7)$$

블럭킹확률(P_{bm})과 핸드오프 실패확률(P_{fhm})은 각각 다음의 식과 같다.

$$P_{bm} = \{C_m - C_{hm} \text{ Channels are busy}\} = \sum_{j=C_m - C_{hm}}^{C_m} P_j \quad (8)$$

$$P_{fhm} = P_{Cm} \quad (9)$$

2. 매크로셀의 트래픽 특성

매크로셀은 매크로셀 계위에서 생성되는 호이외에 중첩된 마이크로셀에서 유입되는 호가 있게되며, 이때 가능한 트래픽 형태는 다음과 같다.

- Λ_M^n : 새로운 호 발생율(New call arrival rate)
- Λ_M^h : 인접 셀로부터 핸드오프되어 오는 호도착율
- Λ_{mMH}^h : 중첩된 마이크로셀로부터 핸드오프되어 오는 고속의 이동성을 지니는 호도착율
- Λ_{mML}^h : 중첩된 마이크로셀로부터 핸드오프되어 오는 저속의 이동성을 지니는 단말기로부터의 호도착율로서 마이크로 셀들간에 핸드오프시 유휴채널의 부재로 핸드오프 실패된 호를 중첩된 매크로 셀에서 처리하는 호 발생율
- Λ_{mML}^n : 중첩된 마이크로셀에서 저속의 이동성을 지니는 단말기에서 호를 시도하였으나, 블럭킹되어 매크로셀로 절체되는 시도호 발생율
- Λ_{mMH}^n : 중첩된 마이크로셀에서 고속의 이동성을 지니는 단말기에서 호를 시도하였으나, 블럭킹되어 매크로셀로 절체되는 시도호 발생율

마이크로 셀에서 매크로 셀로 절체되는 트래픽을 모델링하는 경우에는 MMPP(Markov-Modulated Poisson Process)방식을 적용하는 경우^[11]와 Poisson Process방식을 적용하는 경우^[12]로 대별할 수 있다. 본 논문에서는 매크로 셀에서의 채널할당 방식들을 비교 분석하기 위해서 참고문헌[12]와 같이 오버플로우되는 트래픽이 Poisson분포를 갖는 것으로 간주하여 처리한다. 1개의 매크로 셀이 중첩하고 있는 마이크로 셀의 갯수를M, 마이크로셀에서 속도가 높은 단말기가 핸드오프를 요구할 확률을 P_{mH}^h , 마이크로 셀내에서 고속단말기의 호발생율을 Λ_{mH}^h 라하면, 마이크로 셀로부터 매크로 셀로 핸드오프 되어 오는 고속의 이동성을 지니는 호 도착율 Λ_{mMH}^h 는 마이크로 셀에서 발생한 고속의 이동성을 갖는 호 발생율과 이 호의 핸드오프 발생확률과 한개의 매크로셀이 중첩하는 마이크로 셀들의 갯수를 곱한 것으로 표현할 수 있으므로 다음과 같이 주어진다.

$$\Lambda_{mMH}^h = M \Lambda_{mH}^n P_{mH}^h \quad (10)$$

M개의 마이크로 셀에서 저속의 단말이 인접마이크로셀로 핸드오프를 요구하였으나 실패하게 되는 핸드오프 실패확률을 p_{mL}^f 라 할때, 마이크로 셀에서 저속도의 단말기로부터 생성된 호가 핸드오프를 요구하였으나, 핸드오프 실패로 인해 매크로 셀로 절체되어 오는 호 도착율은 위 (식 10)과 같은 개념으로 다음과 같이 주어진다.

$$\Lambda_{mML}^h = M \Lambda_{mL}^n p_{mL}^f p_{mL}^f \quad (11)$$

마이크로 셀에서 저속 및 고속의 단말이 호를 시도하였으나, 블러킹되는 확률을 각각 p_{mL}^b, p_{mH}^b 라 할때 마이크로셀에서 시도한 호가 매크로셀로 절체되는 확률은 각각 다음과 같다.

$$\Lambda_{mML}^n = M \Lambda_{mL}^n p_{mL}^b \quad (12)$$

$$\Lambda_{mMH}^n = M \Lambda_{mH}^n p_{mH}^b \quad (13)$$

위의 식 중에서 (식 10)은 본 논문에서 분석하는 채널할당 방법 I에만 적용되며, (식 13)은 채널할당 방법 I에는 적용되지 않는다.

매크로셀의 경우도 마이크로셀의 경우와 유사하게 트래픽특성을 분석하기 위한 확률변수들과 채널체제 시간(Holding Time: $1/\mu_H$)을 정의할 수 있다.^[11]

매크로셀의 경우는 중첩된 마이크로셀의 트래픽을 처리하는 방법에 따라 트래픽의 특성을 달리 나타낼 수 있겠으나, 매크로셀도 마이크로셀과 같이 셀내에 할당된 전체 채널(C)중에서 핸드오프 전용채널(C_h)을 두어, 핸드오프 전용채널은 핸드오프 목적으로만 사용하고, 나머지 채널($C-C_h$)은 새로운 호 및 핸드오프 호에 사용하는 우선순위 할당방법의 경우가 일반적인 분석방법으로서 적합하다. 우선순위 할당방법에서 매크로셀의 채널중 j개가 사용중인 상태 E_j 에 있을 확률을 P_j 라 하면 birth-death프로세스 모델에서 P_j 는 다음과 같이 주어 진다.

$$P_j = \frac{(\Lambda_M^n + \Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^n + \Lambda_{mMH}^n + \Lambda_{mML}^h)^j}{j! \mu_H^j} P_0$$

$$1 \leq j \leq C - C_h$$

$$= \frac{(\Lambda_M^n + \Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^n + \Lambda_{mMH}^n + \Lambda_{mML}^h)^{C-C_h} (\Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^h)^{j-(C-C_h)}}{j! \mu_H^j}$$

$$P_0 \quad C - C_h + 1 \leq j \leq C \quad (14)$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{(\Lambda_M^n + \Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^n + \Lambda_{mMH}^n + \Lambda_{mML}^h)^k}{k! \mu_H^k} + \sum_{k=C-C_h+1}^C \frac{(\Lambda_M^n + \Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^n + \Lambda_{mMH}^n + \Lambda_{mML}^h)^{C-C_h} (\Lambda_M^h + \Lambda_{mMH}^h + \Lambda_{mML}^h)^{k-(C-C_h)}}{k! \mu_H^k} \right]^{-1} \quad (15)$$

블러킹확률(P_b)과 핸드오프 실패확률(P_{fn})은 각각 다음의 식과 같다.

$$P_b = \sum_{j=C-C_h}^C P_j \quad (16)$$

$$P_{fn} = P_C \quad (17)$$

매크로 셀에 마이크로셀의 트래픽을 처리하기 위한 전용채널을 두는 경우(Scheme III, Scheme IV) 전용채널의 블러킹확률은 Erlang B공식을 적용한다. 마이크로셀 전용할당 방법(Scheme III)의 경우 전용채

널로 유입되는 전체 트래픽을 Λ_T , 전용채널의 수를 C_{DM} , 통화유지시간을 \bar{T}_M 이라할 때 블럭킹 확률은 다음과 같다.

$$P_{fk} = \frac{(\Lambda_T \bar{T}_M)^{C_{DM}} / C_{DM}!}{\sum_{k=0}^{C_{DM}} (\Lambda_T \bar{T}_M)^k / k!} \quad (18)$$

3. 소프트 핸드오프 분석

1) 소프트 핸드오프 확률

CDMA 방식에서는 인접셀마다 동일한 주파수를 사용할 수 있기 때문에(주파수 재사용율:1) 소프트 핸드오프 방식을 적용할 수 있다. CDMA 방식을 사용하는 중첩된 셀구성을 갖는 시스템에서는 외부의 매크로셀과 내부의 마이크로셀이 동일 주파수를 사용하게 되면 간섭의 영향으로 마이크로셀은 매크로셀의 간섭영향으로 통신이 거의 불가능하게 되므로 마이크로셀과 매크로셀은 서로 다른 주파수를 사용해야 한다. 따라서 마이크로셀 내부의 핸드오프는 소프트 핸드오프를 마이크로/매크로셀간의 핸드오프는 하드 핸드오프를 수행한다. 본절에서는 마이크로셀간의 소프트 핸드오프 특성에 대해서 분석한다.

소프트 핸드오프는 단말기가 2개의 기지국과 동시에 무선채널을 접속하여 통화를 수행하기 때문에 통화품질의 향상, 단말이 셀경계지역을 이동할 경우 발생하는 핑퐁(ping-pong)효과를 제거함으로써 핸드오프 실패확률의 저하, 통화권역(Cell coverage)의 확장 등의 장점을 지니는 반면에, 시스템이 제공하는 트래픽량에는 저하를 초래한다. 소프트 핸드오프 영역에 머무르는 만큼 시스템 운용자 입장에서 볼때 운반 트래픽(Carried Traffic)의 양이 감소하는 것으로 보아야 한다. 따라서 소프트 핸드오프는 GOS(Grade Of Service)측면에서는 유리하나, 운반 트래픽양에서는 불리하다 할 수 있겠으나, 최종적으로 소프트 핸드오프 사용 여부와 핸드오프 파라미터(T_ADD, T_DROP, T_COMP)의 결정은 서비스 제공자에 의한다.

길이 $L(m)$ (R_1 또는 R_2 의 길이), 폭이 $W(m)$ 인 직사각형 모양의 마이크로셀에서 호가 발생한 위치에서 셀경계까지의 거리를 Z 이라 하면, Z 및 단말기가 셀의 경계를 벗어나는 시간에 대한 확률변수의 밀도 함수 및 누적분포함수의 값들은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$F_Z(z) = \Pr\{Z \leq z\} = \begin{cases} 0 & Z < 0 \\ Z/L & 0 \leq Z \leq L \\ 1 & Z > L \end{cases} \quad (19)$$

$$f_Z(z) = \frac{d}{dz} F_Z(z) = \begin{cases} 1/L & 0 \leq Z \leq L \\ 0 & Z > L \end{cases} \quad (20)$$

(식4)과 (식5)를 이용해서 시간에 대한 분포함수를 구하면 다음과 같다.

$$F_{T_{dn}}^n(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ Vt/L & 0 \leq t \leq L/V_{max} \\ 1 & t > L/V_{max} \end{cases} \quad (21)$$

$$f_{T_{dn}}^n(t) = \begin{cases} V/L & 0 \leq t \leq L/V_{max} \\ 0 & t > L/V_{max} \end{cases} \quad (22)$$

핸드오프된 셀에서 단말기가 다시 셀의 경계를 넘어 갈때의 거리와 시간에 대한 확률분포도 유사한 방법으로 구할 수 있다.

소프트 핸드오프가 시작되는 내부의 셀 경계지역을 R_1 , 핸드오프가 종료되는 셀 경계지역을 R_2 라 할 때, 마이크로셀에서 저속 및 고속의 이동속이 각각 핸드오프를 요구할 확률은 다음과 같다.^[6]

$$p_{mL}^n = \Pr ob\{T_M > T_{dmL}^n\} = \int_0^\infty e^{-\mu_M t} f_{T_{dmL}^n} dt \\ = \frac{1}{\mu_M} \frac{V_{Lmax}}{R_1} (1 - e^{-\mu_M R_1/V_{Lmax}}) \quad (23)$$

$$p_{mH}^n = \frac{1}{\mu_M} \frac{(V_{Hmax} - V_{Lmax})}{R_1} (1 - e^{-\mu_M R_1/(V_{Hmax} - V_{Lmax})}) \quad (24)$$

핸드오프 영역으로 진입한 이동속이 다시 셀의 경계지역 R_2 를 벗어난 확률은 다음과 같다.

$$p_{mL}^h = \Pr ob\{T_M > T_{dmL}^h\} = \int_0^\infty e^{-\mu_M t} f_{T_{dmL}^h} dt \\ = \exp\left(-\mu_M \frac{R_2 - R_1}{V_{Lmax}}\right) \quad (25)$$

$$p_{mH}^h = \Pr ob\{T_M > T_{dmH}^h\} = \int_0^\infty e^{-\mu_M t} f_{T_{dmH}^h} dt$$

$$= \exp\left(-\mu_M \frac{R_2 - R_1}{(V_{Hmax} - V_{Lmax})}\right) \quad (26)$$

핸드오프 영역에서 호를 발생시킨 이동국이 다시 셀의 경계지역 R_2 를 벗어날 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p_{mL}^{n'} &= \text{Prob}\{T_M > T_{dmL}^{n'}\} = \int_0^{\infty} e^{-\mu_M t} f_{T_{dmL}^{n'}} dt \\ &= \frac{1}{\mu_M} \frac{V_{Lmax}}{R_2} (1 - e^{-\mu_M R_1/V_{Lmax}}) \end{aligned} \quad (27)$$

$$p_{mH}^{n'} = \frac{1}{\mu_M} \frac{(V_{Hmax} - V_{Lmax})}{R_2} (1 - e^{-\mu_M R_2/(V_{Hmax} - V_{Lmax})}) \quad (28)$$

단말기를 고속과 저속의 단말기로 구별할 때, 일반적으로 단말기가 소프트 핸드오프 영역에 머무르는 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p_{SH} &= \frac{\Lambda_{mL}^n}{\Lambda_T} p_{mL}^n (1 - P_{dmL}^f) (1 - p_{mL}^h) \\ &+ \frac{\Lambda_{mL}^h}{\Lambda_T} (1 - P_{mL}^f) (1 - p_{mL}^h) + \frac{\Lambda_{mL}^{nh}}{\Lambda_T} (1 - p_{mL}^n) \\ &+ \frac{\Lambda_{mH}^n}{\Lambda_T} p_{mH}^n (1 - P_{mH}^f) (1 - p_{mH}^h) \\ &+ \frac{\Lambda_{mH}^h}{\Lambda_T} (1 - P_{mH}^f) (1 - p_{mH}^h) + \frac{\Lambda_{mH}^{nh}}{\Lambda_T} (1 - p_{mH}^n) \end{aligned} \quad (29)$$

단, $\Lambda_T = \Lambda_{mL}^n + \Lambda_{mL}^h + \Lambda_{mL}^{nh} + \Lambda_{mH}^n + \Lambda_{mH}^h + \Lambda_{mH}^{nh}$

위의 (식 29)에서 첫번째항은 마이크로셀에서 생성된 호가 소프트 핸드오프지역에 머무르는 확률, 두번째항은 인접셀로부터 핸드오프된 호가 핸드오프를 종료하지 않고 있을 확률로서 직각셀의 대칭성에 의해 소프트 핸드오프 영역(R_1)에 진입한 호가 셀 경계지역을 벗어나지 않을 확률과 동일하게 간주할 수 있다. 셋째항은 소프트 핸드오프영역에서 생성된 호가 핸드오프 영역에 그대로 머무를 확률을 나타낸다. 넷째항과 다섯째 및 여섯째 항은 각각 고속의 단말기에 해당하는 것이다. 매크로셀에서의 채널할당 방식 I을 적용하고 핸드오프지역 내에서 생성된 고속의 단말기에 대한 호를 곧바로 핸드오프 호로 처리하는 경우에는 위의 (식 29)에서 네번째항과 다섯째 항 및 여섯

째 항을 제외시켜야 한다. 채널할당 방식 II을 적용하는 경우에는 (식 29)를 그대로 적용한다.

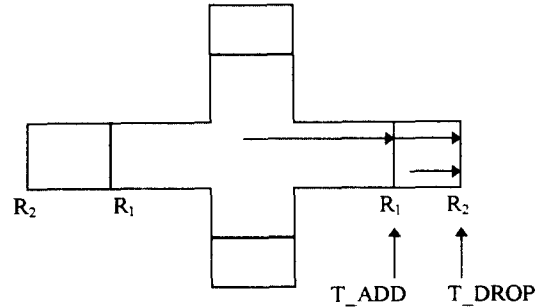


그림 4. 소프트 핸드오프 영역
Fig. 4 The region of soft handoff area in microcell

2) 소프트 핸드오프 파라미터

CDMA시스템에서 역방향 링크의 통화권은 셀의 부하에 따라, 순방향링크의 통화권은 파일럿 신호에너지 (E_c/I_t)에 따라 결정된다. 파일럿 신호는 단말기가 기지국과 동기를 맞추어서 coherent복조를 하는데 필요한 신호로서 다른 트래픽채널의 신호보다 높은 전력을 할당하게 된다. 시스템의 용량을 극대화시키기 위해서는 순방향과 역방향의 링크가 균형을 이루도록, 즉 순방향과 역방향채널의 전송손실이 같도록 시스템을 구축해야 한다. 순방향링크의 전송손실은 다음과 같이 주어진다.^[8]

$$T(r) = \frac{(E_c/I_t) N_0 W}{P_t^c [\xi_p - (E_c/I_t)(1 + I_{oc}/I_o)]} \quad (30)$$

P_t^c : 기지국 송신전력

E_c/I_t : 이동국에 입력되는 전체 입력 전력스펙트럼 밀도와 파일럿칩에너지의 비

$N_0 W$: 이동국 LNA 입력단의 열잡음

I_{oc} : 인접셀로부터의 간섭전력 스펙트럼 밀도

I_o : 해당셀의 전력스펙트럼 밀도

ξ_p : 기지국전력중 파일럿채널에 할당된 전력의 비

전송손실은 경로손실 및 페이딩 환경에 따라 변화하게 되므로 적절한 전파모델을 적용시킴으로써 셀의 반경으로 표현되는 통화권을 결정할수 있다. 본 논

문에서는 다음과 같은 전파모델을 적용하며, 1.9GHz 대역을 사용하는 PCS의 경우 기지국의 안테나를 건물 높이와 유사한 9m, 차량 및 보행자를 기준으로 할때의 안테나높이를 1.5m로 간주한다. 마이크로셀의 영역은 통상 반경이 300~400m이나, 이를 확장하여 셀의 반경을 1Km까지를 고려해도 거리의 2승에 반비례하는 전파모델을 적용할 수 있다.

$$P(r) = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \frac{P_t}{r^2} & r \leq a \equiv \frac{4\pi h_b h_m}{\lambda} \\ (h_b h_m)^2 \frac{P_t}{r^4} & r > a \end{cases} \quad (31)$$

λ : 파장

h_b : 기지국 안테나의 높이

h_m : 이동국 안테나 높이

본 논문에서는 미리 서비스지역(마이크로셀간의 거리 D)과 파일럿신호의 세기를 결정하고, 이에 따라 소프트핸드오프가 시작되는 점과 종료되는 점(R_1 및 R_2)의 전력의세기(T_ADD , T_DROP , T_COMP 등)를 결정하는 것으로 상정한다.

직각형의 마이크로셀은 도심지의 도로를 따라 구성되므로 간섭을 고려하지 바로 인접셀만의 간섭을 고려할 수 있으며, 두개의 인접셀이 대칭 구조를 갖는 경우 소프트 핸드오프가 시작되는 전력의 세기(T_ADD)와 소프트 핸드오프가 종료되는 전력의 세기(T_DROP)의 상한값은 서로 동일하므로 T_ADD 만을 고려한다. T_ADD 는 인접셀에서 송신하는 파일럿신호의 크기로서 다음과 같이 표현된다.^[8]

$$T_ADD = \frac{(E_c/I_t) L_{P2}}{\frac{N_0}{P_t} + L_{P1} + L_{P2}} \quad (32)$$

L_{P1} : 인접기지국과 이동국간의 전송 손실

L_{P2} : 해당기지국과 이동국간의 전송 손실

4. 트래픽 성능 분석

본 논문에서는 직각형 모양의 구조를 갖는 마이크로셀 기지국간의 거리를 600m, 도로의 폭을 5m로 설정하고 8개의 마이크로셀이 1개의 매크로셀에 중첩되며, 마이크로셀의 기지국의 송신전력을 155dB, 파

일릿 신호에 -9dB전력 할당, 20개의 사용자가 인접셀에서 통화중인 것으로 설정하고, 발생 트래픽중 30%는 고속의 단말기, 70%는 저속의 단말기가 생성한다고 가정한다. 이동국의 속도는 저속 및 고속의 단말기에 대해서 각각 4Km와 40Km로 설정하고 마이크로셀 및 매크로셀에 각각 10개 및 40개의 트래픽채널을 할당하고 이중 10%를 핸드오프 전용채널로 사용하는 통신환경에서 트래픽을 분석한다. 트래픽의 성능을 평가하는 파라미터로서는 서비스 등급(GOS), 운반 트래픽량(Carried Traffic), 채널 이용율(Channel Utilisation), 스펙트럼 사용율(Spectrum Efficiency)등을 들 수 있으며, GOS를 결정하고, 운반트래픽을 결정하기 위해서는 핸드오프 실패확률과 블러킹 확률을 구해야 하므로 이들은 중요한 파라미터로서 작용한다. 따라서 본 논문에서는 매크로셀의 채널 할당 방식별 비교를 위해 이들을 적용한다.

앞장에서 기술한 채널할당 방식 I에서는 마이크로셀에서 핸드오프 요구시 기지국에서는 이동국의 속도를 추정하여 고속의 단말기에서 요구하는 핸드오프 호는 바로 매크로 셀로 핸드오프 시키는 알고리즘을 적용하므로 인접셀로부터 유입되는 고속의 핸드오프 호 Λ_{mML}^h 는 마이크로셀에서는 고려하지 않는다.

마이크로셀과 매크로셀이 중첩되는 시스템에서 마이크로셀과 매크로 셀간의 트래픽 절체를 허용하는 경우와 그렇지 않는 경우를 비교하기 위해 채널할당 방식 I을 적용하고, 소프트 핸드오프 영역이 전체 셀

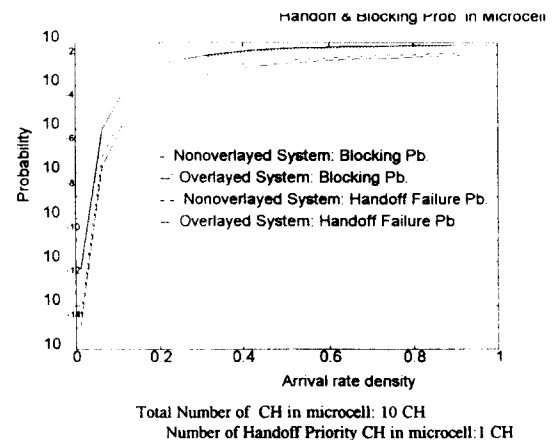
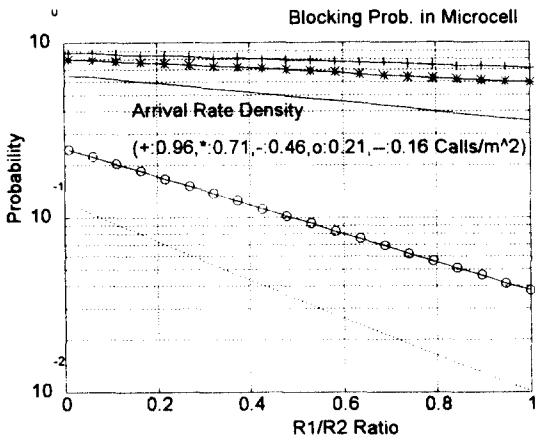
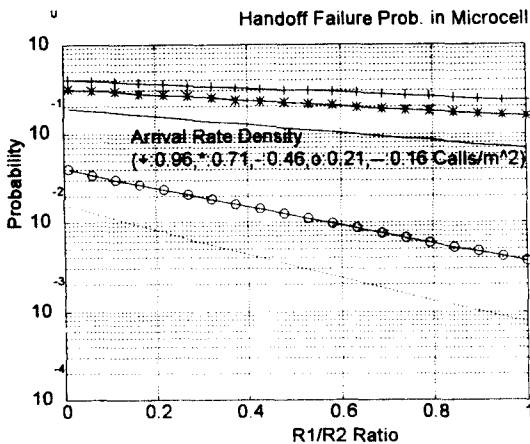


그림 5. 마이크로 셀에서 블러킹 및 핸드오프 실패확률 분포
Fig. 5 Probability of Blocking & Handoff Failure in Microcell

면적의 1/2로 설정했을 때 마이크로 셀내에서의 핸드오프 실패확률과 블러킹 확률분포는 [그림 5]와 같다. [그림 5]에서와 같이 트래픽의 양이 증가함에 따라 마이크로셀내의 핸드오프 실패확률과 블러킹 확률이 증가하며, 마이크로셀과 매크로셀간에 트래픽을 절체시키는 시스템의 이득은, 마이크로 셀내에서의 트래픽이 포화되지 않는 범위(트래픽 밀도가 0.01~0.5 Calls/m²)내에서 트래픽이 증가함에 따라 증가(블러킹 확률 감소) 함을 알 수 있다.



(a)



(b)

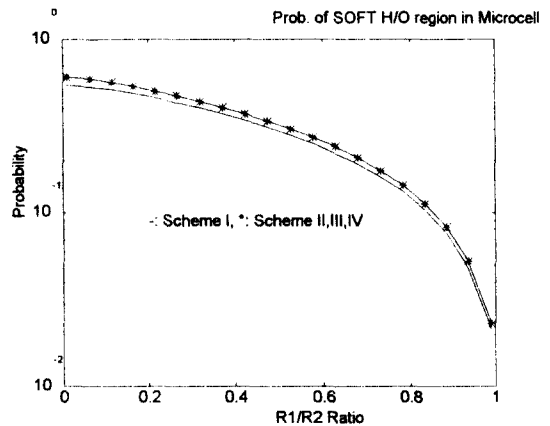
Total Number of CH in microcell: 10 CH
 Number of Handoff Priority CH in microcell: 1 CH

그림 6. 소프트 핸드오프 영역에 따른 마이크로셀의 블러킹 확률 분포

Fig. 6 Blocking Probability with softhandoff area variation in Microcell

소프트 핸드오프의 영역변화에 따른 마이크로셀의 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률은 다음의 [그림 6]과 같이 핸드오프 영역의 크기가 작아짐에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 트래픽의 변화에 따라 소프트 핸드오프 영역을 가변시킬 때 블러킹 확률은 10~30%범위에서 핸드오프 실패확률은 이보다 작은 범위에서 변동됨을 알 수 있다.

[그림 7]은 마이크로 셀내의 호 발생율이 0.31Calls/m²일 때 핸드오프시작점과 종료점의 변화에 따라 트래픽이 소프트 핸드오프 영역에 존재할 확률을 나타낸 것이다. [그림 7]에서 보는 바와 같이 마이크로셀에서 트래픽이 소프트핸드오프 지역에 존재할 확률은 소프트 핸드오프 영역을 작게할때 감소하는 것을 알 수 있으며, 소프트 핸드오프 영역을 셀 전체로 확대하는 경우에도 확률이 1로 되지 않는다. 이는 마이크로 셀에 한정된 채널이 할당되기 때문에(본 논문의 경우 10채널) 트래픽량의 증가에 따라 이들의 채널이 블러킹되어 호를 접속시키지 못하기 때문이다. 즉, (식 29)에서 호 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률에 대한 영향에 때문이라 할 수 있다. 또한, 채널 할당 방식 I과 방식 II, III, IV를 비교할 때 방식 I이 방식 II, III, IV보다 소프트 핸드오프 영역에 머무를 확률이



Total Number of CH in microcell: 10 CH
 Number of Handoff Priority CH in microcell: 1 CH
 0.31 Call/m²

그림 7. 마이크로 셀에서 트래픽이 소프트 핸드오프지역에 존재할 확률

Fig. 7 Probability of Dewelling in SoftHandoff Area

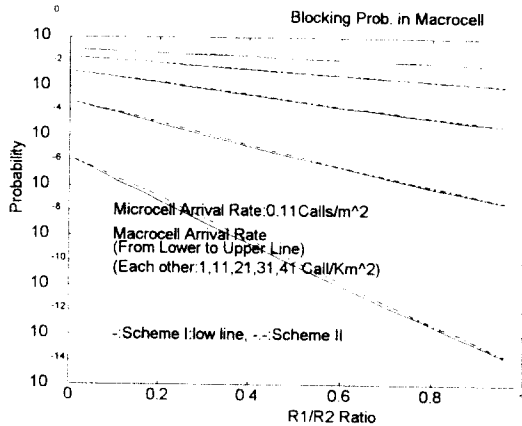
작게된다. 특히 소프트 핸드오프 영역이 커질 때 더욱 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 방식 I인 경우에는 고속의 단말기에서 발생한 호가 핸드오프 요구시 곧바로 매크로셀로 하드핸드오프 시키고, 소프트 핸드오프 영역에서 발생한 신호호를 핸드오프호로 간주하기 때문이다.

[그림 8]은 마이크로셀의 소프트 핸드오프 영역의 변화에 따른 매크로셀의 블러킹 확률을 마이크로셀의 트래픽 발생률이 각각 0.11calls/m², 0.21calls/m², 0.31calls/m²인 경우에 방식 I과 방식 II를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 방식 I과 방식 II의 이득의 변화폭은 블러킹 확률의 범위가 10⁻¹~

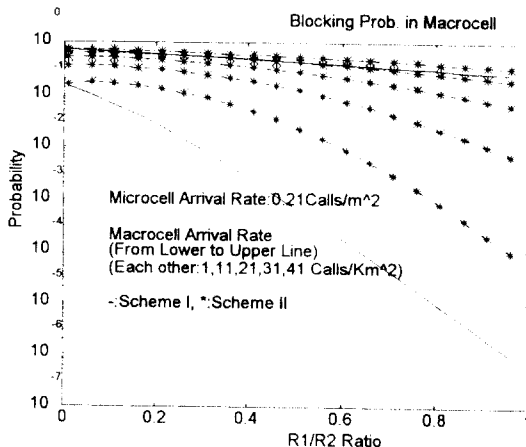
10⁻³일 때, 매크로셀의 트래픽량이 작고 마이크로 셀의 트래픽의 량이 0.31calls/m²인 경우에 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 소프트 핸드오프 영역이 작은 경우에 방식 I과 방식 II의 차이점이 더욱 현저히 나타난다. 즉, 소프트 핸드오프 영역을 작게 설정하는 경우에 방식 I이 방식 II보다 블러킹 확률 측면에서 분배 더 우수함을 알 수 있다.

[그림 9]는 [그림 8]의 환경하에서 매크로셀의 핸드오프 실패 확률을 방식 I과 방식 II를 비교하여 나타낸 것이다. 핸드오프 실패 확률도 소프트 핸드오프 영역이 작은 경우에 방식 I과 방식 II의 이득의 변화폭이 크게 됨을 알 수 있다. [그림 8]과 [그림 9]는 한 개의 매크로 셀이 4개의 마이크로 셀들을 중첩한 경우에 대한 것이다.

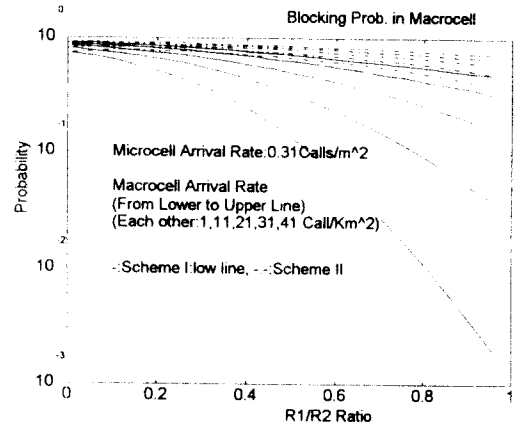
[그림 10]은 마이크로셀의 트래픽을 전용으로 처리하기 위한 전용채널을 매크로 셀에 두는 경우로서 전용채널의 블러킹 확률을 마이크로셀의 트래픽 발생률이 각각 0.045calls/m², 0.0575calls/m², 0.07calls/m²인 경우에 마이크로셀의 소프트 핸드오프 영역의 변화에 따라 방식 III과 방식 IV를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 방식 III과 방식 IV는



(a)



(b)



(c)

Total Number of CH in microcell: 10 CH
Number of Handoff Priority CH in microcell: 1

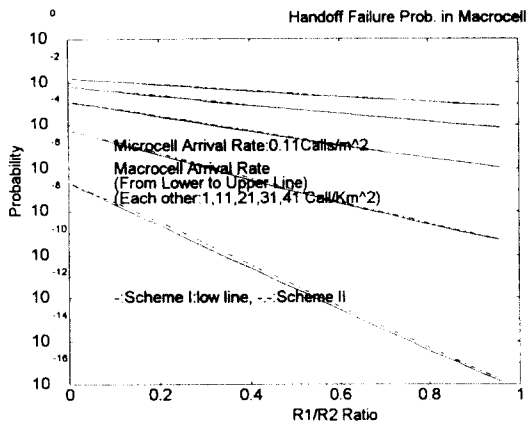
그림 8. 소프트 핸드오프 영역에 따른 매크로셀의 블러킹 확률 분포(방식 I, II)

Fig. 8 Blocking Probability with soft handoff area variation in Macrocell

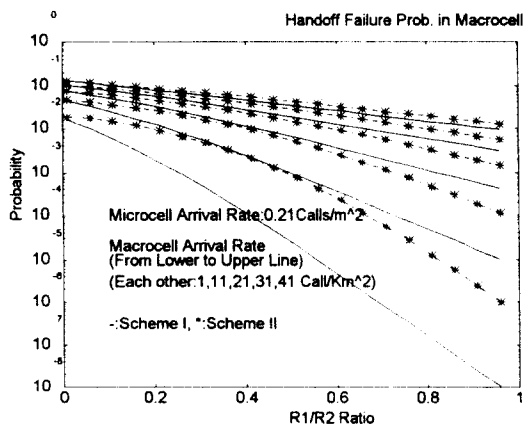
핸드오프 영역이 작고 마이크로 셀의 트래픽량이 큰 경우에 이득의 변화폭이 크게 되는 것을 알 수 있다.

[그림 11]은 채널할당 방식 III과 IV를 적용하는 경우 매크로셀에서의 블러킹 및 핸드오프 실패확률에 대한 것을 나타내고 있다. [그림 11(a)]는 마이크로 셀로부터 유입되는 트래픽 전용의 채널을 제외한 나머지 채널에 대해서, 매크로 셀간의 트래픽을 핸드오프 채널 우선순위 할당 방식III을 적용하는 경우에 매크로 셀에서의 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 마이크로셀 내의 소프트 핸드오프 영역의 변화와 무관하게 매크로 셀의 트래픽 증가에 따라 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률이 증가하는 특성을 나타내고 있다. [그림

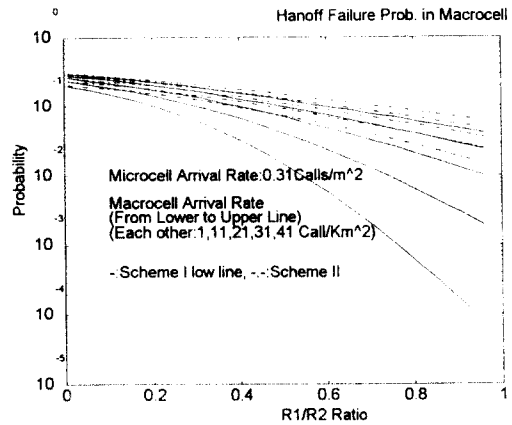
11(b)]는 채널 할당 방식 I, II와 방식 III, IV를 비교하기 위해서 방식 I, II의 트래픽 분석에 사용된 것과 동일한 통신 환경하에서, 마이크로 셀로부터 유입되는



(a)



(b)

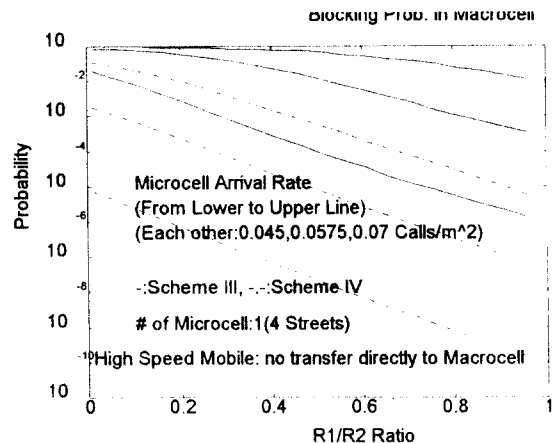


(c)

Total Number of CH in microcell: 10 CH
Number of Handoff Priority CH in microcell: 1 CH

그림 9. 소프트 핸드오프 영역에 따른 매크로셀의 핸드오프 실패 확률 분포(방식 I, II)

Fig. 9 Handoff Failure Probability with soft handoff area variation in Macrocell (Scheme I, II)



Total Number of CH in microcell: 10 CH
Number of Handoff Priority CH in microcell: 2CH

그림 10. 소프트 핸드오프 영역에 따른 매크로셀의 블러킹 확률 분포(방식 III, IV)

Fig. 10 Blocking Probability with soft handoff area variation in Macrocell (Scheme III, IV)

트래픽을 전용채널로 처리할 때 발생하는 블러킹 확률과, 전용 채널을 제외한 나머지 채널로 매크로 셀간의 트래픽을 핸드오프 채널 우선 순위 할당방식으로 처리하는 경우의 블러킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 할당 채널수에 따라 가중치를 두었을 때 블러킹 및 핸드오프 실패 확률 분포를 나타내고 있다. 전용채널의 경우 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률이 동일하므로 가중치를 구할 때 핸드오프 실패 확률과 블러킹 확률을 동일하게 처리하였다. [그림 8]과 [그림 9]를 [그림 11]과 비교할 때, 그림에서 보는 바와 같이 방식 I과 방식 II는 매크로 셀 전체의 성능면을 고려할 때 마이크로 셀의 트래픽 량이 작고 핸드오프 영역이 작은 경우 방식 III, IV보다 우수한 결과를 나타내고 있다. 반면에 [그림 10]에서 보는 바와 같이 마이크로 셀의 트래픽에 가중치를 두게 되는 경우에는 마

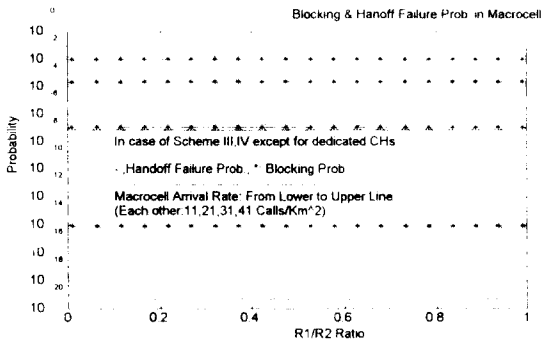
이크로 셀의 트래픽이 작을 때 방식 III과 IV가 방식 I, II보다 우수한 성능을 나타낸다. [그림 11(b)]에서 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률이 소프트 핸드오프 영역의 변화에 무관하게 거의 일정한 값을 유지하고 있는 것은, 채널할당 방식 I, II에 적용된 것과 같이 1개의 매크로 셀이 4개의 마이크로 셀을 중첩하고 있는 통신환경을 그대로 방식 III, IV에 적용하였기 때문에 마이크로 셀 트래픽 전용채널에 유입되는 트래픽의 량이 많게 되어 마이크로 셀 전용채널의 블러킹 확률이 소프트 핸드오프 영역이 작은 경우에도 높은 값을 유지하고 있다는 점과 방식 III, IV에서는 마이크로 셀 트래픽 전용채널을 제외한 적은 갯수의 채널로 매크로 셀간의 트래픽을 처리하기 때문에 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률이 방식 I, II보다 더 빨리 증가한다는 점에 기인한 것이다.

마이크로셀에서 처리되는 운반트래픽 A_{cm} 다음과 같이 표현된다.

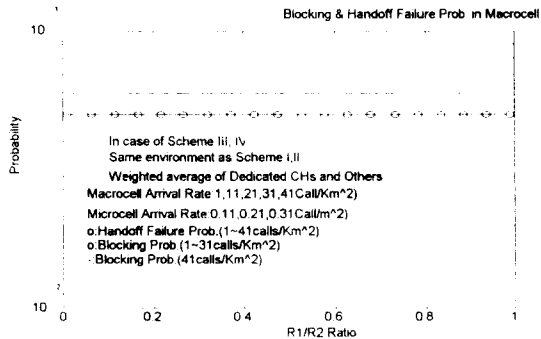
$$A_{cm} = [\Lambda_{mH}^n (1 - P_{mH}^b) + \Lambda_{mI}^n (1 - P_{mI}^b) + \Lambda_{mH}^h (1 - P_{mH}^f) + \Lambda_{mI}^h (1 - P_{mI}^f)] \frac{1}{\mu_{HI}} \quad (33)$$

M개의 마이크로 셀이 중첩되는 시스템에서 처리되는 트래픽 A_{cmT} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_{cmT} = MA_{cm} - MA_{cm} P_{SH} = MA_m (1 - P_{SH}) \quad (34)$$



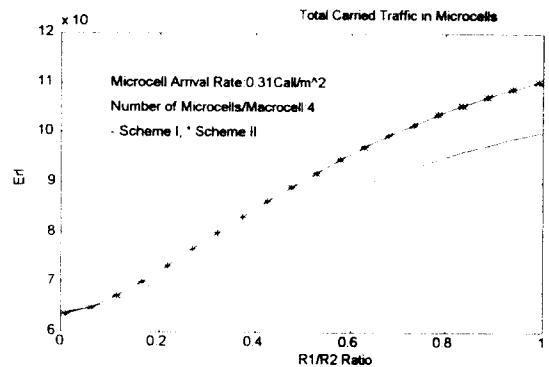
(a)



(b)

그림 11. 소프트 핸드오프 영역에 따른 매크로셀의 블러킹 확률 및 핸드오프 실패 확률 분포(방식 III, IV)

Fig. 11 Blocking and Handoff Failure Probability with soft-handoff area variation in Macrocell(Scheme III, IV)



Total Number of CH in microcell: 10 CH
Number of Handoff Priority CH in microcell: 1 CH

그림 12. 마이크로 셀에서 처리하는 트래픽량
Fig. 12 Carried Traffic of microcell

[그림 12]는 [그림 7]의 환경에서 1개의 마이크로 셀에서 처리하는 전체 트래픽의 양(Carried Traffic)을 나타낸 것이며 소프트 핸드오프 영역이 감소함에 따라 마이크로셀에서 운반하는 트래픽이 증가됨을 알 수 있으며, 채널할당 방식 I보다 방식 II의 경우가 더 많은 트래픽을 마이크로 셀에서 처리하게 되며, 소프트 핸드오프 영역의 크기가 작은 경우에 채널할당 방식 I과 II의 차이점이 커짐을 알 수 있다. [그림 13]은 위와 같은 통신 환경에서 소프트 핸드오프가 시작되는 R_1 인접셀로부터 수신한 파일럿신호의 전력의 세기(T-ADD)값의 변화를 나타낸 것으로 마이크로셀과 같이 거리가 짧은 경우에 일정거리 이상에서는 수신 전력의 세기가 완만하게 변화됨을 알 수 있다.

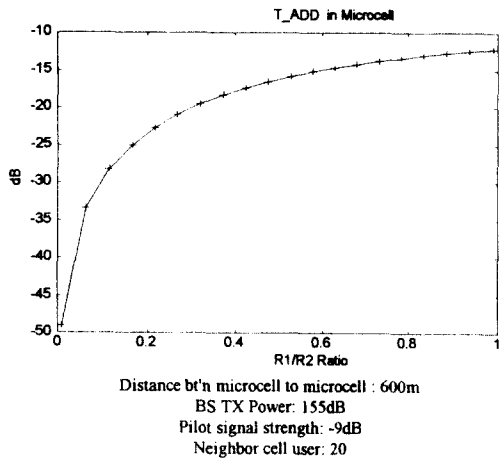


그림 13. T_ADD값의 분포도
Fig. 13 Probability of Dewelling in SoftHandoff Area

IV. 결 론

본 논문에서는 마이크로셀과 매크로셀이 중첩되는 CDMA 방식의 PCS 시스템에서 마이크로셀간에 소프트 핸드오프를, 마이크로/매크로셀간에는 하드핸드오프를 사용하는 경우에 트래픽이 소프트 핸드오프 영역에 존재할 확률을 분석하고 이를 이용하여 처리 트래픽양을 분석하였고, 마이크로 PCS 시스템을 구축 시 서비스지역을 설정한후, 이를 운용하기 위한 소프트 핸드오프 파라미터인 T_ADD 값을 분석하였다. T_ADD 값은 R_1/R_2 의 비가 40% 정도일때 부터 완만하

특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 즉 마이크로 셀에서 T_ADD 및 T_DROP 파라미터 측정시 측정 횟수를 늘려주어야 하는 것을 알 수 있었다.

마이크로/매크로셀간의 트래픽을 절체하는 방식중에서 방식 I과 방식 II를 비교할 때 소프트 핸드오프 영역이 작은 경우에 두방식의 이득의 변화폭이 크게 됨을 알 수 있었다. 방식 III과 방식 IV도 소프트 핸드오프 영역의 크기가 작은 경우에 이득의 변화폭이 크을 알 수 있으며, 방식 III과 방식 IV를 방식 I과 방식 II에 비교할 때 방식 III, IV는 마이크로셀의 트래픽만을 처리하기 위한 작은 갯수의 전용채널을 두기때문에 마이크로셀의 트래픽이 크고 소프트 핸드오프 영역이 큰 경우에는 적합하지 않은 방식임을 알 수 있다. 또한, 방식 III과 방식 IV를 적용시에는 마이크로셀의 고속의 단말기에서 핸드오프를 요청시 곧바로 매크로셀로 절체시키는 알고리즘을 사용하면, 블러킹 확률이 너무나 크게 됨으로 본 논문에서 적용한 것과 같이 고속의 단말기와 저속의 단말기를 구분하지 않고 마이크로셀에서 핸드오프를 처리한후 블러킹이 된 경우에 매크로셀로 핸드오프를 요청하는 것이 바람직 함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. D.H. Hong, S.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, No-3, pp.77-92, August 1986.
2. A.M. Viterbi and A.J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System" IEEE Journal on Slected Area in Communication, Vol. 11, pp. 892-900, Aug. 1993.
3. Fotini-Niovi Pavlidou, "Mixed Media Cellular System", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol 42, No-2/3/4, 3, pp.848-853, Feb./Mar./Apr., 1994.
4. Masugi Inoue, H.M, M.M, "Performance Analysis of Microcellular Mobile Communication Systems", 44th IEEE VTC Conference, pp.135-139, June 1994.
5. A.D. Malyan, L.J. Ng, V.C.M.Leung, R.W.Donald-

- son, "Network Architecture and Signaling for Wireless Personal Communications", IEEE Jour. on Selected Area in Comm., vol. 11, August 1993.
6. 김영일의 4, "마이크로/매크로 중첩셀의 핸드오프 성능 분석", 1994 대한전자공학회 추계 학술발표논문집, 1994.
 7. Kazuo Kawabata, Tanaka Nakamura, Eisuke Fukuda, "Estimating Velocity Using Diversity Reception", 44th IEEE VTC Conference, pp.371-374, June 1994.
 8. Qualcomm, The CDMA Network Engineering Handbook, Qualcomm, 1993.
 9. R.Steele, M.Nofal, "Teletraffic Performance of microcellular personal communication networks", IEE Proceeding-1, Vol.139, No.4, Aug. 1992.
 10. 김영일의 3, "중첩된 셀구성을 갖는 PCS망의 트래픽 분석", 1995 대한 전자공학회 하계 학술발표논문집, 1995.
 11. Lon-Rong Hu, Stephen S. Rappaport, Personal Communication System Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays, IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 13, No. 2, pp.406-415, Feb. 1995.
 - 12 R. Steele, M.Nofal, Teletraffic Performance of Microcellular Personal Communication Networks, IEE Proceeding-I, Vol. 139, No. 4, pp.448-461, August 1992.



김 영 일(Young Il Kim) 정회원
1985년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)
1988년 2월: 경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1990년 9월~현재: 경희대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1984년 12월~1986년 3월: 삼성전자(연구원)
1988년 3월~현재: 한국전자통신연구소 선임연구원
1994년 8월: 정보통신 기술사
1995년 1월: 전기통신 기술사

진 용 옥(Yong Oak Jin) 정회원
현재: 경희대학교 전자공학과 교수
한국통신학회 논문지 제20권 제10호 참조