

계층셀구조에서 계층별 큐를 이용한 핸드오프 강제종료의 개선방안

Improvement of Handoff dropping by Separate Queue in Hierarchical Cellular System

김 영 일*, 서 주 하**
Kim, Young-il Seo, Ju-Ha

Abstract

In this paper, we proposed separate queue scheme in each hierarchical cell for effective use of wireless channel. This method reduces the blocking rate of high speed mobile station's handoff in hierarchical cellular systems. Basically for the high speed mobile stations channels are allocated in macrocell and for the low speed mobile stations channels are allocated in microcell. In order to reduce the rate of forced handoff termination, some reservation channels are employed for the fast handoff calls in the macrocells. And the queue is located in each cell to be able to store handoff requests and takeback requests. The overflowed mobile stations are able to perform takeback as soon as a corresponding channel is available.

키워드 : 계층셀, 핸드오프, 오버플로우, 테이크백, 개별큐

Keywords : Hierarchical cell, Handoff, Overflow, Takeback, Separate queue

1. 서 론

이동통신 환경에서 되도록 많은 가입자가 언제 어디서나 통화를 할 수 있도록 하기 위한 방법 중 현재 많이 사용하는 방법으로 지역을 여러 개의 셀(Cell)로 분할하여 서비스하는 셀룰라가 있다. 셀룰라란 서비스 지역을 여러 개의 셀로 나누어서 서로 주파수 재사용거리 이상 떨어진 두 셀에서 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 공간적으로 주파수를 재사용할 수 있도록 하는 방식이다. 셀의 크기에 관계없이 한 셀에서 사용할 수 있는 채널 수는 주파수 대역폭에 비례한다. 따라

서, 한 개의 큰 셀이 사용할 영역을 약한 세기의 전자파를 사용하는 작은 셀로 채운다면 주파수 재사용거리가 작아져 같은 주파수 대역을 가지고 사용할 수 있는 채널수가 많아져서, 보다 많은 가입자를 수용할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 셀의 크기를 줄였을 때, 속도가 빠른 단말이 셀의 채널을 할당받은 채로 이동하면 짧은 시간 내에 셀의 경계에 도달하게 되어 이웃 셀로 핸드오프 해야 한다. 셀의 크기를 줄이는 것이 많은 채널의 확보를 위해서 유리하나 단말의 속도가 빠르면 잦은 핸드오프가 발생할 수 있고 이에 따른 오버헤드가 커진다.

이에 대한 대안으로 제안된 방식이 계층셀 방식이다. 계층셀은 한 개의 커다란 셀과 중첩된 여

* 강원대학교 전기전자정보통신공학부 대학원

** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수, 공학박사

러 개의 작은 셀로 구성되며 단말의 속도에 따라서 각각 다른 종류의 셀에서 채널을 할당하는 방식이다. 고속단말은 큰 셀에, 저속단말은 작은 셀에서 채널을 할당하면 되는데, 고속단말을 작은 셀에 할당되었을 때 보다 핸드오프 횟수를 줄일 수 있다는 장점이 있고 여러 개의 작은 셀은 짧은 주파수 재사용 거리 덕분에 동시에 사용할 수 있는 채널수를 늘릴 수 있는 장점을 제공한다.

또한 계층셀 구조에서는 큰 셀에 채널이 부족할 때 고속단말을 작은 셀의 채널에 할당하거나 반대로 작은 셀에 채널이 부족할 때 큰 셀의 채널을 저속단말에 할당하는 오버플로우와 오버플로우한 단말이 원래 속해야 되는 셀에 가용채널이 생기면 현재 쓰고 있는 채널을 해제하고 원래 속해야 되는 셀의 채널을 사용하는 테이크백을 허용했을 경우 단말의 강제종료율을 줄일 수 있다. 이러한 계층셀 구조는 저속단말보다는 고속단말에 더 우선순위를 두고 있는데, 이는 빠른 속도로 이동하면 더 쉽게 강제종료를 당할 수 있기 때문이다.

제안한 방식에서는 고속단말의 강제종료율을 줄이기 위하여 단말을 속도에 따라 고속과 저속으로 분류, 고속단말은 매크로셀에 저속단말은 마이크로셀에 할당하였다. 그리고 각 단말의 오버플로우와 테이크백을 허용했으며 각 셀마다 큐를 두었고 원활한 테이크백을 위해 기존의 방식과는 달리 원래 속해야 되는 셀의 가용채널이 발생하자마자 테이크백이 가능하도록 하여 단말의 강제종료를 감소시켰다.

본 논문에서는 2장에서 기존의 계층셀을 이용한 방식과 문제점에 대해서 논하고, 3장에서는 계층셀에서 강제종료율을 줄이기 위한 방식을 제안하고, 4장에서는 제안된 방식의 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 계층셀을 이용한 핸드오프와 테이크백 방법의 기존 연구

이동 통신에서의 셀 종류를 크기에 따라서 나누면 피코셀, 마이크로셀, 매크로셀, 메가셀로 나눌 수가 있다. 트래픽 양에 따라서 사용자가 많은 경우는 매크로셀과 마이크로셀 등 다중셀을, 사용자가 적은 경우는 비교적 큰 매크로셀만을 사용하여 핸드오프로 인한 오버헤드를 작게 하였다. 지상기지국이 존재하지 않는 지역은 위성을 통한 메가셀에 의해 서비스 될 수 있다. 매크로셀의 셀 반경은 5 km - 30 km, 마이크로셀은 500 m - 1 km 정도이다. 그리고 셀 반경이 더 작아져서

200m 이내가 되면 이를 피코셀이라 부른다. 또한 저궤도 인공위성을 이용한 셀 반경이 100km 이상 되는 셀을 메가셀이라 한다. 또 여러 종류의 셀을 중첩해서 사용하는 것을 계층셀 구조라고 하는데, R. Beraldi[1]와 S. Marano[2]의 채널할당 방식은 단말의 속도는 고려하지 않고 마이크로셀에만 우선적으로 채널을 할당하고 마이크로셀의 채널이 부족 할 때만 매크로셀에서 채널을 할당하였다. 따라서 셀에 트래픽이 적을 경우는 매크로셀의 채널을 사용하지 않으므로 채널을 낭비하게 되고, 마이크로셀에 할당 된 고속단말의 신규호의 경우 빠른 속도로 인하여 마이크로셀의 경계에서 잦은 핸드오프가 발생하고 고속단말의 핸드오프호의 강제종료율이 저속단말 보다 높게 나타나는 문제들이 발생하는 등 고속단말의 QoS가 저속단말 보다 나쁘게 나타났다.

X. Lagrange[3]와 S. S. Rappaport[4]도 R. Beraldi와 마찬가지로 마이크로셀에 매크로셀이 중첩된 계층셀을 대상으로 했지만 단말의 속도를 고려하여 셀에 할당하는 점이 다르다. 속도에 따라 단말을 두 종류로 나누고 고속단말은 매크로셀에, 저속단말은 마이크로셀에 할당하였다. 그러나 고속단말의 강제종료율을 줄이기 위해서 저속단말의 오버플로우만을 허용하고 테이크백은 허용하지 않았기 때문에 고속단말의 잦은 핸드오프는 줄일 수 있었으나 상대적으로 채널용량이 부족한 매크로셀에 트래픽을 증가시켜 전체 시스템 내 트래픽의 불균형을 초래하였다. 그래서 C. Mihailescu[5]은 X. Lagrange와 같은 시스템에서 저속단말의 오버플로우와 테이크백을 모두 허용하는 방식을 제안하였으나, 전체 시스템 내 트래픽의 불균형을 개선하지는 못하였다.

위의 트래픽의 불균형을 해결하기 위해서 B. Jabbari[6]는 저속단말의 오버플로우와 테이크백 뿐만 아니라 고속단말의 오버플로우와 테이크백도 허용하는 방식을 제안하였다. 이 방식은 단말을 속도에 따라 고속단말과 저속단말로 나누고 고속단말은 매크로셀에 저속단말은 마이크로셀에 수용하였다. 그리고 자신이 속해야 되는 셀에 가용채널이 부족하면 다른 계층의 셀로 오버플로우를 시도할 수 있고, 자신의 셀 계층에 가용채널이 생기면 마이크로셀의 경계에서 오버플로우된 단말이 테이크백할 수 있도록 하였다. 그 결과 고속단말의 QoS는 위의 방식들 보다 좋게 나타나지만 동일한 조건 하에서 저속 핸드오프 호와 비교할 때 고속단말의 QoS는 여전히 낮게 나타났다.

그래서 계층셀 구조에서 단말의 속도를 고려하여 고속단말은 매크로셀에, 저속단말은 마이크로셀에서 채널을 할당하고, 저속단말의 핸드오프 호

에 비해 잦은 핸드오프를 겪게 되는 고속핸드오프 호에만 전용채널을 두고, 고속단말과 저속단말의 핸드오프 호를 위한 공용 큐를 사용한 방식이 제안되었다[7]. 공용 큐 방식에서는 고속단말과 저속단말을 자신이 속해야 되는 셀에 우선적으로 채널을 할당한다. 그리고 단말의 핸드오프가 발생할 때 접근하는 셀에 가용채널이 없으면 핸드오프 요청호를 큐에 저장하여 핸드오프를 시도하여 단말의 강제종료율을 최대한 낮추고자 하였다. 또한 자신이 속해야 되는 셀에 가용채널이 없을 때는 다른 계층의 셀로 오버플로우가 가능하도록 하였고 자신이 속해야 되는 셀에 가용채널이 생기게 되면 오버플로우 된 단말들이 테이크백 할 수 있도록 하였다.

B. Jabbari[4]의 논문과 공용 큐[5] 방식은 오버플로우와 테이크백을 모두 허용한 경우로 최대한 채널의 낭비를 막고 고속단말의 핸드오프 강제종료율을 낮추고자 하는데 목적이 있다.

그러나 두 가지 논문 모두 단말의 테이크백은 마이크로셀의 가상경계나 혹은 경계에서만 가능하도록 하였다. 이것은 시스템의 복잡도는 줄일 수 있으나 오버플로우된 단말이 원래 속해야 하는 셀에 가용채널이 생겨도 즉시 테이크백하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 심지어는 이 가용채널을 뒤에 핸드오프를 요청하거나 새로 통신을 개시하는 단말이 사용하는 경우도 발생한다. 따라서 오버플로우 된 단말은 마이크로셀의 가상경계나 경계에서 테이크백을 못하게 되고 결국 서비스 도중에 오버플로우 된 상태로 핸드오프하거나 강제종료되는 현상이 발생한다. 서비스를 받는 도중에 강제종료되면 서비스를 처음부터 받지 못하는 것 보다 서비스품질이 나쁘다고 할 수 있다.

위의 문제를 해결하기 위하여 제안하는 방식에서는 매크로셀과 마이크로셀에 각각 개별 큐를 사용하였다. 가용채널 부족 시 매크로셀의 큐에는 고속단말의 핸드오프호 요청호와 마이크로셀로 오버플로 된 고속단말의 테이크백 요청호를 같이 저장하도록 하였고 마이크로셀의 큐에는 저속단말의 핸드오프호와 테이크백 요청호를 저장 할 수 있게 하였다.

따라서 트래픽의 포화로 가용채널이 부족하여 오버플로우가 일어났을 경우 오버플로우 된 단말의 테이크백 요청호와 핸드오프 요청호들은 큐에 저장된다. 큐에 호가 하나 이상 저장되면, 신규 호 보다는 큐에 저장된 호가 우선순위를 갖게 되며 큐에 저장된 호들의 채널할당 방식은 저장된 순서에 따라 FIFO방식으로 채널을 할당받도록 하였다.

3. 계층셀에서의 개별 큐를 이용한 핸드오프와 테이크백 방법

3.1 시스템 모델

제안한 방식의 성능을 분석하기 위해 그림 3-1에서와 같이 셀의 형태는 1개의 커다란 매크로셀에 N개의 작은 마이크로셀이 중첩되어 있는 형태로 가정한다.

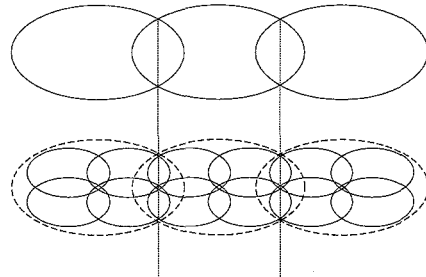


그림 3-1. 계층셀의 시스템구조(N=4일때)

각 셀에는 각각 한 개씩의 큐를 두었고, 큐에는 핸드오프 호와 테이크백 요청호가 저장된다.

매크로셀의 반경은 R_M , 마이크로셀의 반경은 R_m 으로 한다. 시스템 내에 새로 발생하는 호는 평균 λ 의 Poisson분포로 발생하고 셀 내에서 균일하게 분포되고, 각 단말은 호 발생 초기의 속도에 따라 고속호는 V_f , 저속호는 V_s 의 평균속도를 가진다. 단말의 방향과 속도는 시스템 내에서 거의 일정하다고 가정한다

채널수는 매크로셀에는 총 C_M , 각 마이크로셀에는 C_m 개의 채널이 있고 매크로셀에는 C_R 개의 예약채널을 두었는데, 예약채널은 고속단말의 핸드오프 호를 위한 채널로서 신규 호의 경우는 예약채널을 이용할 수 없다. 따라서 매크로셀에서 고속단말을 위한 예약 채널을 제외한 채널 수는 $C_M - C_R$ 이 된다.

시스템 내 사용하는 파라미터는 표 3-1, 표 3-2와 같다.

신규 호 발생율은 λ_f, λ_s 가 되고 오버플로우한 신규 호는 $\lambda_{fovM}, \lambda_{sovM}$ 가 된다.

호 지속시간(Call Duration Time)은 단말이 통화를 시작하여 강제종료 당하지 않고 끝날 때까지의 시간이고, 셀 거주시간(Cell Dwell Time)은 단말이 한 셀에 들어와서 강제종료 당하지 않고 반대쪽 셀의 경계로 나가는데 까지 걸리는 시간이다.

채널점유시간(Channel Occupation Time)은 셀 내에 단말이 다른 셀로 핸드오프하기 전까지 채널을 점유하고 있는 시간이나 이 셀에서 발생 또

는 핸드오프되어 진입한 시간부터 통화를 끝내는 시간까지를 말하며 채널점유시간의 역수가 채널 해제율이 된다.

λ_{TBQM} 은 매크로셀의 큐에 저장되는 호의 도착율로, 오버플로우 된 신규 호와 핸드오프호의 합이 된다. 마찬가지로 λ_{sTBQM} 도 마이크로셀의 큐에 저장되는 호 도착율이다.

3.2 개별큐를 이용한 핸드오프와 테이크백 방법

속도에 따라 단말의 채널을 할당하는 방식은 기존의 방식과 같이 1)고속단말은 매크로셀에 저속단말은 마이크로셀에 할당한다. 그리고 두 종류의 단말이 모두 오버플로우와 테이크백을 시도할 수 있다.

공통큐 방식과 우리가 제안한 개별 큐 방식의 차이점은 공통 큐는 고속단말과 저속단말이 공유하는데 반하여 개별 큐는 매크로셀과 마이크로셀에 각각 위치되며 매크로셀의 큐에는 고속단말을 위한 핸드오프요청과 테이크백 요청을 마이크로셀의 큐에는 저속단말을 위한 핸드오프요청과 테이크백 요청을 저장한다. 또 테이크백 방식과 핸드오프방식에도 차이가 있다. 기존의 공통 큐 방식에서 테이크백은 마이크로셀의 가상경계나 경계에서만 가능하기 때문에 이 동안 원하는 채널을 사용하지 못하는 문제가 있다. 또 큐가 있어도 큐에 저장되는 호가 핸드오프 호로 한정되어 있어서 테이크백 요청호와 신규 호 사이에 혹은 핸드오프 요청호 사이에 우선순위 문제가 발생할 수 있다.

예를 들면, 전자의 경우 만약 매크로셀의 큐에 저장된 핸드오프 요청호가 없고 중첩된 마이크로셀로 오버플로우된 고속단말이 있다고 가정하자. 오버플로우된 고속단말이 계속 이동해서 마이크로셀의 가상경계나 경계에 거의 도착했을 때, 매크로셀에 한 개의 가용채널이 생성되고 동시에 고속단말의 신규 호가 생긴다면 가용채널은 고속단말의 신규 호가 사용하게 된다. 결국 오버플로우된 고속단말은 오버플로우 상태로 현재 속한 마이크로셀의 이웃 셀로 핸드오프하거나 혹은 채널을 얻지 못해 강제 종료된다.

이러한 경우는 모두 서비스 도중 강제종료 될 확률이 높아지는 원인이 된다.

1) 단말이 속도에 따라 채널을 할당하는 방식에서 단말의 속도를 구분하는 알고리즘이나 하드웨어적인 능력은 이미 완성이 되었다고 가정을 한다.

그러므로 위의 문제를 해결하기 위해 개별 큐 방식은 큐에 핸드오프 요청뿐만 아니라 테이크백 요청도 저장 가능하게 하였다. 그리고 큐에 저장된 호들은 가용채널이 생겼을 때 저장된 순서에 따라 FIFO 방식으로 채널을 할당받게 하였다.

테이크백해야 하는 단말은 원래 속해야 되는 해당 셀에 가용채널이 없어서 오버플로우한 단말이다. 오버플로우하는 단말들은 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 새로 발생하는 신규 호가 오버플로우하는 경우이고, 두 번째는 단말들이 원래 속해야 되는 셀에 채널을 할당받은 후 핸드오프 요청 시 진입하는 셀에 가용채널이 없어서 중첩된 다른 계층의 셀로 오버플로우하는 경우이다.

신규 호 발생 시 단말이 해당 셀에 가용채널이 없고 중첩 셀에 가용채널이 있으면 바로 오버플로우하게 된다. 그리고 오버플로우 된과 동시에 해당 셀에 테이크백 요청을 한다. 이때 가용채널이 없으면 신규 호의 테이크백 요청을 큐에 저장하게 된다.

핸드오프방식에서 공통 큐 방식과 우리가 제안한 개별 큐 방식의 차이점은 공통 큐 방식은 핸드오프를 요청한 단말이 채널을 얻지 못해 큐에 저장된 후 오버플로우되면 바로 큐에서 삭제가 되었으나 우리는 오버플로우되어도 큐에서 삭제안하고 이를 테이크백 요청으로 변경하여 유지한다. 왜냐하면 오버플로우 된 핸드오프요청이 큐에서 삭제된 후 다시 테이크백 요청으로 큐에 새로 저장되면 보다 늦게 서비스 받을 가능성을 방지하기 위함이다.

오버플로우한 단말이 원래 속해야 되는 셀에 가용채널이 생기지 않아 중첩된 셀의 채널을 계속해서 사용하다가 중첩된 셀에서 핸드오프를 요청할 경우가 생길 수 있다. 이런 경우는 오버플로우한 단말이 진행하는 방향의 이웃 셀에 가용채널이 있으면 중첩된 셀에서 핸드오프가 가능하지만 가용채널이 없으면 강제종료시킨다.

3.3 트래픽 모델

이탈율을 μ [5]라고 했을 때 단말의 속도를 고려한 각각의 셀 거주시간은 다음과 같다.

$$T_{Mdf} = \frac{1}{\mu_{Mdf}} = \frac{\pi R_M}{2V_f} \quad (1)$$

$$T_{mdf} = \frac{1}{\mu_{mdf}} = \frac{\pi R_m}{2V_f} \quad (2)$$

$$T_{Mds} = \frac{1}{\mu_{Mds}} = \frac{\pi R_M}{2V_s} \quad (3)$$

$$T_{m\dot{d}s} = \frac{1}{\mu_{m\dot{d}s}} = \frac{\pi R_m}{2 V_s} \quad (4)$$

채널 점유시간은 단말이 다른 셀로 핸드오프하기 전까지 채널을 점유하고 있는 시간이고 단말의 속도와 셀의 종류에 따라 4가지로 구분된다. 먼저 두 종류의 단말이 원래 속해야 되는 셀의 채널을 할당받았을 경우는 셀 거주시간과 호 지속시간의 최소값으로 표현되고 오버플로우 되었을 경우는 셀 거주시간과 호지속시간 그리고 테이크백 시간의 최소 값으로 표현된다.

$$T_{m\dot{e}f} = \min[T_C, T_{M\dot{d}f}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{M\dot{d}f}} \quad (5)$$

$$T_{m\dot{c}s} = \min[T_C, T_{M\dot{d}s}, T_{sTB}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{M\dot{d}s} + \lambda_{sTBm}} \quad (6)$$

$$T_{m\dot{c}S} = \min[T_C, T_{m\dot{d}s}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{m\dot{d}s}} \quad (7)$$

$$T_{m\dot{e}f} = \min[T_C, T_{m\dot{d}f}, T_{fTB}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{m\dot{d}f} + \lambda_{fTBm}} \quad (8)$$

핸드오프 요청호 발생율은 셀 내에 있는 단말의 평균 숫자에 셀 거주시간의 곱으로 나타낼 수 있다. 호 지속시간이 셀 거주시간 보다 길다고 가정한다면 셀을 나가는 단말은 이웃 셀의 입장에서 보면 핸드오프를 통해 들어오는 단말이 된다. 따라서 단말이 모든 셀에서의 행동이 유사하다면 핸드오프로 들어오는 단말의 수와 나가는 단말의 수가 같게 된다. 그러므로 핸드오프 요청호 발생율과 각 셀에 분포하는 평균채널수는 다음과 같다.

$$\lambda_{fHM} = E[C_{fHM}] \mu_{M\dot{d}f}$$

$$E[C_{fHM}] = \frac{\lambda_f + \lambda_{fHM}}{\mu_{fM}} \quad (9)$$

$$\lambda_{sHM} = E[C_{sHM}] \mu_{M\dot{d}s}$$

$$E[C_{sHM}] = \frac{\lambda_{sovM} + \lambda_{sHM}}{\mu_{sM}} \quad (10)$$

$$\lambda_{sHm} = E[C_{sHm}] \mu_{m\dot{d}s}$$

$$E[C_{sHm}] = \frac{\lambda_s + \lambda_{sHm}}{\mu_{sm}} \quad (11)$$

$$\lambda_{fHm} = E[C_{fHm}] \mu_{m\dot{d}f}$$

$$E[C_{fHm}] = \frac{\lambda_{fovM} + \lambda_{fHm}}{\mu_{fm}} \quad (12)$$

그러므로 오른쪽의 셀 내의 단말의 평균채널 수를 왼쪽의 핸드오프율에 대입하면 다음과 같다.

$$\lambda_{fHM} = \frac{\lambda_f \mu_{M\dot{d}f}}{\mu_C} \quad (13)$$

$$\lambda_{sHM} = \frac{\lambda_{sovM} \mu_{M\dot{d}s}}{\mu_C + \lambda_{sTBm}} \quad (14)$$

$$\lambda_{sHm} = \frac{\lambda_s \mu_{m\dot{d}s}}{\mu_C} \quad (15)$$

$$\lambda_{fHm} = \frac{\lambda_{fovM} \mu_{m\dot{d}f}}{\mu_C + \lambda_{fTBm}} \quad (16)$$

3.4 수치적 성능분석

제안한 시스템의 성능분석을 위하여 마코프 체인을 도입하였다. 마이크로셀과 매크로셀의 경우를 합쳐서 마코프 체인을 만들 경우 이론적으로 4차원을 넘게 되어 매우 복잡해진다. 따라서 매크로셀과 마이크로셀을 각각 분리하여 작성하였다. 원칙적으로 각 셀마다 큐가 있어야 하므로 각 셀에서 만들어지는 마코프 체인은 3차원구조가 되어야 한다.

매크로셀의 상태는 (i,j,k)로 나타내는데 i는 고속단말이 사용하는 채널의 수, j는 저속단말이 사용하는 채널의 수, k는 큐에 들어오는 고속단말의 핸드오프 요청호와 테이크백 요청호의 수이다. 이와 비슷하게, 마이크로셀의 경우는 (i',j',k')으로 나타내는데 i'은 저속단말이 사용하는 채널의 수, j'은 고속단말이 사용하는 채널의 수, k는 큐에 들어오는 저속단말의 핸드오프 요청호와 테이크백 요청호의 수이다.

매크로셀의 상태전이도는 그림 3-2, 마이크로셀의 상태전이도는 그림 3-3과 같다. 간략화하기 위하여 전체채널수와 큐의 수를 일정한 값으로 줄여서 만들었다.

그림 3-2와 그림 3-3의 상태전이도에 따라서 시스템내의 평형상태확률 (equilibrium probability) P(i,j,k), P(i',j',k')를 다음의 평형상태방정식 (state balance equations)을 이용하여 나타낼 수 있다.

매크로셀의 평형상태방정식

$$0 \leq i + j \leq C_M - C_H, \quad K = 0$$

(17)

$$[\lambda_{sovM} + \lambda_{sHM} + \lambda_j + \lambda_{fHM} + j(\mu_{sM}) + i\mu_{fM} + \lambda_{fTBm}]P(i, j, K) = (j+1)(\mu_{sM})P(i, j+1, K) + (i+1)(\mu_{fM})P(i+1, j, K) + (\lambda_{sovM} + \lambda_{sTBm})P(i, j-1, K) + (\lambda_j + \lambda_{fHM} + \lambda_{fTBm})P(i-1, j, K)$$

$$C_M - C_H + 1 \leq i + j \leq C_M, \quad K = 0$$

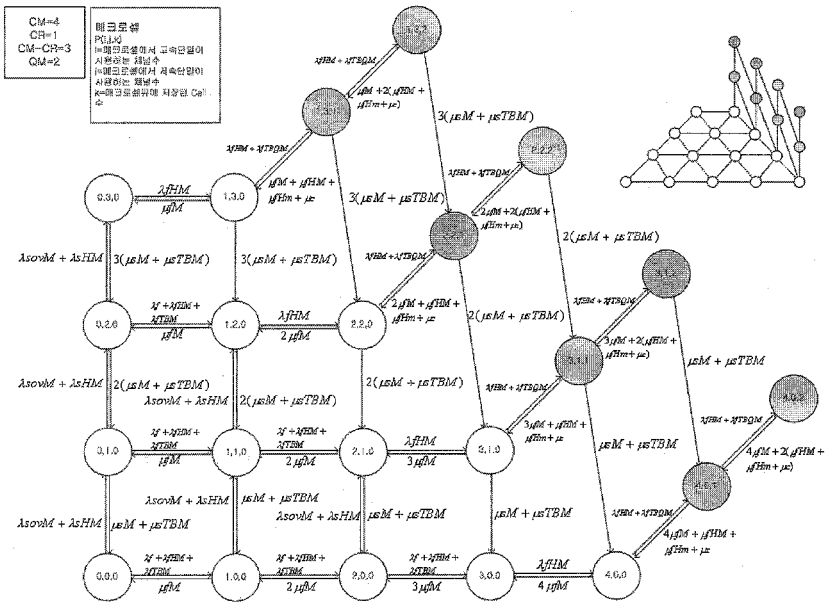


그림3-2 매크로셀의 상태전이도

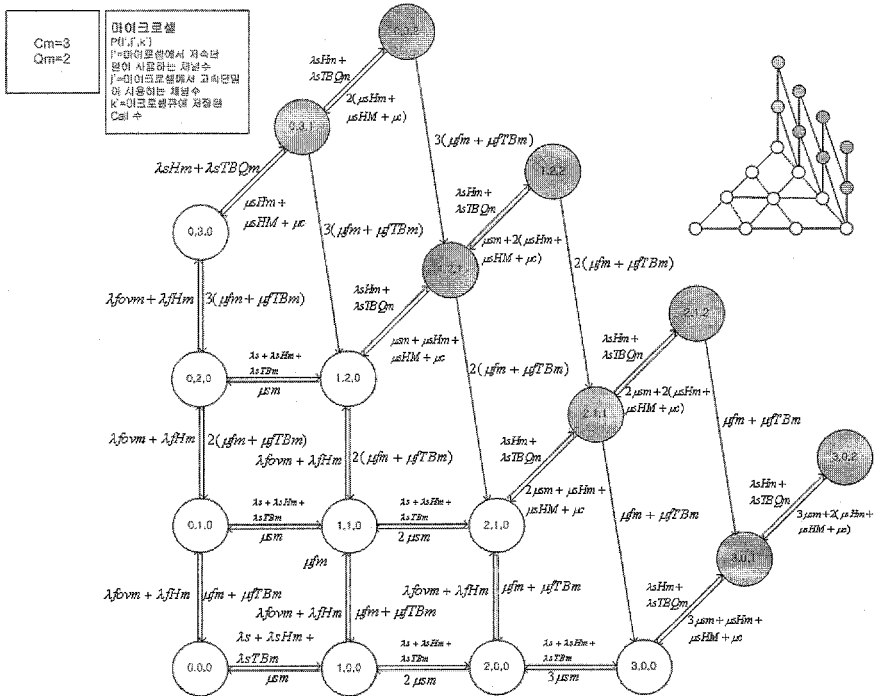


그림3-3 마이크로셀의 상태전이도

$$\begin{aligned}
 & [\lambda_{HM} + j(\mu_{SM} + \mu_{STBM}) + i\mu_{SM} + \\
 & \bar{\delta}(0, M_H)\delta(i+j, C_M)(\lambda_{HM} + \lambda_{FTBQM})]P(i, j, K) = \\
 & [(j+1)(\mu_{SM} + \mu_{STBQM})]P(i, j+1, 1) + \\
 & [(i+1)\mu_{HM}]P(i+1, j, k) + \lambda_{HM}P(i-1, j, k) + \\
 & \bar{\delta}(i+j, C_M) + (\lambda_j + \lambda_{HM})P(i-1, j, 0) + \\
 & [\bar{\delta}(0, Q_M)\delta(i+j, C_M)(\mu_{SM} + \mu_{STBM})]P(i-1, j+1, 1) + \\
 & [\bar{\delta}(0, Q_M)\delta(i+j, C_M)(i\mu_{SM} + \mu_{HM} + \mu_C + \mu_{Hm})]P(i, j, 1) \\
 & (18)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i+j = C_M, \quad 1 \leq K \leq Q_M \\
 & [\bar{\delta}(K, M_H)(\lambda_{HM} + \lambda_{FTBQM}) + \mu_{SM} + \mu_{STBM} + \\
 & i(\mu_{HM}) + k(\mu_{HM} + \mu_C + \mu_{Hm})]P(i, j, K) = \\
 & \bar{\delta}(K, Q_M)j(\mu_{SM} + \mu_{STBM})P(i-1, j+1, K+1) + \\
 & \bar{\delta}(k, Q_M)[i(\mu_j) + (K+1)(\mu_{HM} + \mu_C + \mu_{Hm})]P(i, j, K+1) + \\
 & \bar{\delta}(K, Q_M)(\lambda_{HM} + \lambda_{FTBQM})P(i, j, K-1) \\
 & (19)
 \end{aligned}$$

마이크로셀의 평형상태방정식

$$\begin{aligned}
 0 \leq i' + j' \leq C_m, \quad K' = 0 \\
 & [\lambda_{fom} + \lambda_{HM} + \lambda_s + \lambda_{sfm} + j(\mu_{fm} + \mu_{FTBM}) + \\
 & i' \mu_{sm} + \bar{\delta}(i+j, C_m)(\lambda_{sfm} + \lambda_{STBQM})]P(i', j', K') = \\
 & (j'+1)(\mu_{fm} + \mu_{FTBM})P(i', j'+1, K') + \\
 & (i'+1)(\mu_{sm})P(i'+1, j', K') + (20) \\
 & (\lambda_{fom} + \lambda_{HM})P(i', j'-1, K') + (\lambda_s + \lambda_{sfm})P(i'-1, j', K') + \\
 & \bar{\delta}(0, Q_m)\delta(i'+j', C_m)(\mu_{fm} + \mu_{FTBM})P(i'-1, j'+1, 1) + \\
 & \bar{\delta}(0, Q_m)\delta(i'+j', C_m)(i' \mu_{sm} + \mu_{sfm} + \mu_C + \mu_{sfm})P(i', j', 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i+j = C_m, \quad K > 1 \\
 & [\bar{\delta}(k', Q_m)(\lambda_{sfm} + \lambda_{STBQM}) + \mu_{fm} + \mu_{FTBM} + i' \mu_{sm} + \\
 & K'(\mu_{sfm} + \mu_C)]P(i', j', K') = \\
 & \bar{\delta}(K, Q_m)(\mu_{fm} + \mu_{FTBM})P(i'-1, j'+1, K'+1) + \\
 & \bar{\delta}(k', Q_m)[i'(\mu_{sm}) + (K'+1) \\
 & (\mu_{sfm} + \mu_C + \mu_{sfm})]P(i', j', K'+1) + \\
 & \bar{\delta}(\lambda_{sfm} + \lambda_{STBQM})P(i', j', K'-1) \\
 & (21)
 \end{aligned}$$

평형상태 방정식에서 크로네커 델타함수 $\delta(x, y)$, $\bar{\delta}(x, y)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\delta(x, y) = \{1, x=y \text{ or } 0, x \neq y\} \quad (22)$$

$$\bar{\delta}(x, y) = \{1, x \neq y \text{ or } 0, x=y\} \quad (23)$$

모든 시스템 내의 상태 확률(State Probability)의 합은 1이므로 시스템의 상태전이도를 이용하여 다음의 수식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{j=0}^{C_M-C_R} \sum_{i=0}^{C_M-j} \sum_{k=0}^{Q_M} = 1 \quad (24)$$

매크로셀인 경우

$$\sum_{j=0}^{C_M} \sum_{i=0}^{C_M-j} \sum_{k=0}^{Q_M} = 1 \quad (25)$$

마이크로셀인 경우

위의 평형상태 방정식을 이용하여 시스템의 각 상태에 대한 확률값 $P(i, j, K)$, $P(i', j', K')$ 을

구할 수 있다.

신규 호는 고속단말의 경우 매크로셀에 전용셀을 제외한 모든 셀이 사용되고 있을 때 차단되고, 저속단말의 경우 마이크로셀의 모든 채널이 사용되고 있을 때 차단된다. 따라서 매크로셀의 신규호 차단 확률 P_{bM} , 마이크로셀 신규호 차단확률 P_{bm} 은 다음과 같다.

$$P_{bM} = 1 - \sum_{i=0}^{C_M-C_R-1} \sum_{j=0}^{C_M-C_R-1} P(i, j, 0) \quad (26)$$

$$P_{bm} = 1 - \sum_{i=0}^{C_m-1} \sum_{j=0}^{C_m-1} P(i', j', K') \quad (27)$$

마찬가지로 각 마코프 체인의 각 상태의 확률을 이용하여 오버플로우와 테이크백 확률을 구할 수 있다. 식(28), (29)번은 매크로셀에서 일어날 수 있는 고속단말의 신규 호와 핸드오프 호의 오버플로우 확률이고 식(30), (31)은 마이크로셀에서 일어날 수 있는 저속단말의 오버플로우 확률이다.

$$\begin{aligned}
 P_{FNOVM} = & \sum_{j=0}^{C_M-C_R} P(C_M - C_R - j, j, 0) + \\
 & \sum_{j=0}^{C_M-C_R} \sum_{K=0}^{Q_M} P(C_M - j, j, K) \\
 & (28)
 \end{aligned}$$

$$P_{FHOVM} = \sum_{j=0}^{C_M-C_R} \sum_{K=0}^{Q_M} P(C_M - j, j, K) \quad (29)$$

$$P_{SNOVM} = \sum_{j=0}^{C_m} \sum_{K=0}^{Q_m} P(C_m - j', j', K') \quad (30)$$

$$P_{SHOVM} = \sum_{j=0}^{C_m} \sum_{K=0}^{Q_m} P(C_m - j', j', K') \quad (31)$$

테이크백 확률은 매크로셀과 마이크로셀로 나누어 생각할 수 있다.

식(32)는 매크로셀에서 테이크백 확률이고 식(33)은 마이크로셀에서의 테이크백 확률이다.

$$P_{FTB} = \sum_{i=0}^{C_M-C_R-1} \sum_{j=0}^{C_M-C_R-1} P(i, j, K) \quad (32)$$

$$P_{STB} = \sum_{i=0}^{C_m-1} \sum_{j=0}^{C_m-1} P(i', j', K') \quad (33)$$

따라서 시스템에서 발생하는 오버플로우대 테이크백 확률의 비율은 전체테이크백 확률 / 전체 오버플로우 확률로 구할 수 있다.

$$\gamma = \frac{P_{FTB} + P_{STB}}{P_{FNOVM} + P_{FHOVM} + P_{SNOVM} + P_{SHOVM}} \quad (34)$$

v는 오버플로우된 호들이 다시 자신이 속해야 되는 셀에 가용채널이 생기면 큐에 저장된 순서에 따라 얼마나 많은 호가 테이크백되는 지를 나타내는 것으로 값이 클수록 자신이 속해야 되는 셀에 들어가는 확률이 높고, 전체시스템이 보다 효율적이라는 것을 나타낸다.

다음은 핸드오프 강제종료율이다. 먼저 핸드오프 강제종료율을 구하기 위해서는 핸드오프 차단율과 큐에 저장된 호들이 서비스를 받지 못하고 큐에서 삭제될 확률(핸드오프 영역을 벗어날 확률)을 구해야 된다.

핸드오프 차단율은 해당 셀에 가용채널이 없어서 핸드오프 하지 못하는 것을 말하고 핸드오프영역을 벗어날 확률은 핸드오프를 시도하는 단말이 진입 셀에 가용채널이 부족하여 큐에 핸드오프 요청호를 저장한 후, 결국 채널을 할당받지 못하여 큐에서 삭제되는 것을 말한다.

핸드오프 차단율은 다음과 같다. 식(35)는 고속단말의 핸드오프 차단율이고 식(36)은 저속단말의 핸드오프 차단율이다.

$$P_{fHD} = \sum_{j=0}^{C_M - C_R} P(C_M - j, j, QM) \quad (35)$$

$$P_{sHD} = \sum_{j=0}^{C_M} P(C_M - j, j, Qm) \quad (36)$$

핸드오프영역을 벗어날 확률은 다음과 같다. 식(35), (36)과 마찬가지로 식(37)은 고속단말의 핸드오프영역 이탈율이고 식(38)은 저속단말의 핸드오프영역 이탈율이다.

$$P_{ffout} = \frac{\mu_M Q_{ML}}{(1 - P_{fHD})\lambda_{fHM}} \quad (37)$$

$$P_{ssout} = \frac{\mu_{sm} Q_{mL}}{(1 - P_{sHD})\lambda_{sHM}} \quad (38)$$

한편, 식(37), (38)을 구하기 위해서는 평균 큐의 길이(Q_{ML}, Q_{mL})를 구해야 하는데 각 셀의 평균 큐의 길이는 다음과 같다.

$$Q_{ML} = \sum_{j=0}^{C_M - C_R} \sum_{K=1}^{Q_M} P(C_M - j, j, K) \quad (39)$$

$$Q_{mL} = \sum_{j=0}^{C_M} \sum_{K=1}^{Q_m} P(C_M - j, j, K) \quad (40)$$

따라서 식(35)에서 식(40)을 통하여 핸드오프 강

제종료율을 구하면 다음과 같다. 식(41)은 고속단말의 핸드오프 강제종료율이고 식(42)는 저속단말의 핸드오프 강제종료율이다.

$$P_{BFHM} = P_{FHD} + (1 - P_{FHD}) P_{ffout} \quad (41)$$

$$P_{BSHm} = P_{SHD} + (1 - P_{SHD}) P_{ssout} \quad (42)$$

4. 시뮬레이션 결과

제안하는 방식의 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 MATLAB 6.0을 사용하였고 공용 큐 방식[7]과 결과를 비교하기 위하여 시스템 파라미터 값은 [7]을 기반으로 하였다.

시스템의 구조는 3.1절의 시스템 모델에서 설명한 것과 같이 한 개의 매크로셀에 4개의 마이크로셀이 중첩된 모양이고, 매크로셀의 반경은 R_M=400m, 마이크로셀의 반경은 R_m=200m로 하였다.

핸드오프영역은 매크로셀은 전체영역의 20%를 마이크로셀은 전체영역의 10%를 핸드오프영역으로 두었다. 각 셀에서 수용할 수 있는 가용채널 수는 매크로셀에는 C_M=29개, 각 마이크로셀에는 C_m=7개로 하였다. 매크로셀의 가용채널 29개 중에서 1개를 고속단말의 핸드오프를 위한 전용채널로 하였다.

전용채널을 1개로 한 이유는, 공용 큐 방식에서 큐의 수를 0으로 하고 전용채널을 바꿔가며 수행 실험에서, 핸드오프 전용 채널의 수를 늘이면 핸드오프호의 강제종료율은 낮아지지만, 전용채널이 1개인 경우에 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호의 강제종료율의 차가 가장 적게 나타난다. 또한 고속단말의 전용채널을 증가시키면 고속 핸드오프 호의 강제종료율은 낮아지지만 저속 핸드오프 호의 강제종료율은 높아지게 된다. 따라서 지나친 채널의 낭비를 막고 고속 호와 저속 호의 강제종료율을 비슷하게 유지하기 위해서는 하나의 전용채널을 사용하는 것이 가장 효과적이기 때문이다. 그러므로 매크로셀의 전체채널 수, C_M은 일반채널 28개와 고속단말의 핸드오프전용채널, C_R=1의 합인 C_M=29개가 된다.

단말의 평균 발생율은 전체 셀에 단위시간당 0.1개의 포아송 분포로 발생하고 고속단말과 저속단말의 발생비율은 각각 50%이다.

단말의 평균속도는 고속단말은 V_f=30km/h, 저속단말은 V_s=5km/h이고 단말의 이동방향은 한 호가 유지되는 동안 일정하다고 가정하였다. 그리고 단말의 분포는 셀에 고르게 분포한다고 가정하였다. 그리고 발생한 호의 평균지속 시간은 T_C=110초의 지수분포로 하였다.

큐의 개수가 강제종료에 미치는 영향을 보기 위하여 큐의 수를 1, 2, 3으로 하여 시뮬레이션을 시행하였고, 큐의 수의 변화에 따라 다르게 나타나는 각 상태의 확률값을 계산한 후 그 값을 기반으로 신규 호 블럭킹 확률, 고속 핸드오프 호의 강제종료확률, 저속 핸드오프 호의 강제종료확률을 계산하였다. 그리고 구한 값들을 공용 큐 방식 [7]과 비교하여 나타내었다.

그림 4-1은 신규 호의 블럭킹 확률을 나타낸다. 큐의 길이를 달리해도 큐의 길이에 따른 신규 호 블럭킹 확률은 그리 큰 차이가 없으나 전체적으로 공용 큐 방식의 결과값 보다 약간 높게 나타났다.

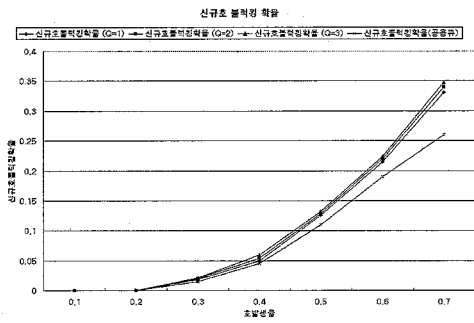


그림4-1. 신규 호 블럭킹 확률

공용 큐 방식보다 신규 호 블럭킹 확률이 높게 나타난 것은 공용 큐 방식은 마이크로셀의 경계나 가상경계에서만 테이크백이 가능하도록 하였기 때문에 가상경계나 경계에 도착하지 못하면 원래 속해야 되는 셀에 가용채널이 생겨도 바로 테이크백을 시도할 수 없었다. 따라서 가용채널이 생겼을 때 오버플로우한 단말이 테이크백을 시도하기 전까지의 시간동안 채널이 사용되지 않은 상태로 있게 된다. 이때 신규 호가 발생하게 되면 가용채널을 오버플로우한 단말이 사용하기도 전에 신규 호가 사용하게 된다.

그러나 제안한 방식은 원래 속해야 되는 셀에 가용채널이 생기자마자 오버플로우한 단말이 바로 테이크백하게 되기 때문에 상대적으로 공용큐 방식 보다 신규 호가 가용채널을 할당받을 확률이 줄어들게 된다. 그러므로 공용큐 방식 보다 신규 호 블럭킹 확률이 높게 나타난다.

그림 4-2, 그림 4-3은 고속단말과 저속단말의 핸드오프 강제종료확률을 나타낸다. 핸드오프 호의 강제종료확률은 저속단말과 고속단말의 경우 모두 공용 큐 방식보다 좋은 결과를 나타낸다.

이는 핸드오프 요청 시 해당 셀에 빈 채널이 없으면 오버플로우한 후에도 계속 큐에 이 요청

을 유지하다가 해당 셀에 가용한 채널이 생기자마자 테이크백하기 때문에 강제종료확률이 감소하였다. 이때 그림에서 보는 바와 같이 고속단말의 강제종료확률이 저속단말의 강제종료확률 보다 더 많이 감소한 것은 매크로셀에 고속단말 전용의 예약채널을 두고 있기 때문이다.

또 큐가 2일 때, 큐가 1일 때 보다 좋은 성능을 보인다. 이것은 채널을 확보하지 못할 경우 바로 강제종료 당하지 않고 핸드오프요청 호가 큐에 저장되어 핸드오프영역을 통과할 때까지 기다림으로써 핸드오프 성공하는 단말이 많아지기 때문이다. 그러나 그림에서 나타나듯이 큐의 길이가 많아질수록 핸드오프 호의 강제종료율이 계속 낮아지는 것은 아니다.

큐의 길이가 2일 때와 큐의 길이가 3일 때 강제종료율이 거의 같게 나타났는데, 이것은 채널을 확보하지 못한 핸드오프요청 호가 큐에 저장될 수 있는 시간이 핸드오프영역에 의해 제한되기 때문이다. 저장된 핸드오프요청 호가 채널을 할당받기 전에 핸드오프영역을 벗어나게 되면 자동으로 큐에서 삭제되기 때문에 큐가 크다고 해서 강제종료율이 낮아지는 것은 아니다. 그러므로 큐의 개수가 2개 이상이 되어도 2개일 때 보다 강제종료율이 크게 낮아지지 않는다.

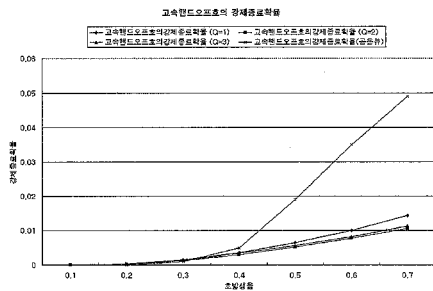


그림4-2. 고속핸드오프호의 강제종료확률

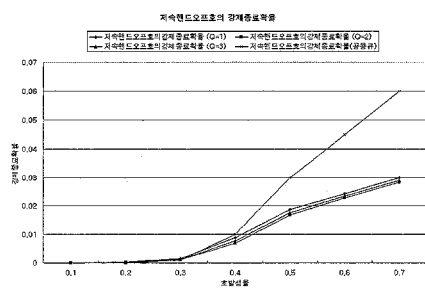


그림4-3. 저속핸드오프호의 강제종료확률

5. 결 론

본 논문은 계층셀 구조에서 채널의 효율적인 사용을 위해 단말의 속도에 따라 다른 계층에 채널을 할당하였고, 오버플로우와 테이크백을 허용하였다. 그리고 단말의 강제종료율을 낮추기 위해 고속단말을 위한 전용채널과 매크로셀과 마이크로셀에 각각 큐를 두었다.

또한 오버플로우된 단말의 원활한 테이크백이 이루어지도록 하기 위해 마이크로셀의 가상경계나 경계가 아닌 원래 속하는 셀의 가용채널 유무에 따라 테이크백되어 가용채널의 낭비를 막도록 하였다.

테이크백 시도 시 신규 호, 핸드오프요청 호, 테이크백요청 호 사이에서 원활한 채널할당을 위해서 핸드오프요청 호가 가용채널 부족으로 오버플로우되면 큐에서 핸드오프요청 호가 삭제되는 것이 아니라 다시 테이크백될 때까지 그 요청이 큐에 유지되어 채널을 할당받게 하였다

시뮬레이션 결과, 신규 호 블리킹 확률은 기존의 공용 큐 방식에 비해 약간 높게 나타난 반면 핸드오프 강제종료확률은 낮게 나타났다. 이것은 단말이 원래 속해야 되는 셀에 가용채널이 발생하면 오버플로우된 단말이 비교적 빠른 순서로 테이크백을 하기 때문이다.

결과적으로 신규 호보다 이미 서비스 받고 있는 단말이 가용채널을 더 많이 사용할 수 있다. QoS 면에서 보면 신규 호의 블리킹보다 이미 서비스 받고 있는 단말의 강제종료율을 낮추는 것이 더 좋은 서비스로 여기기 때문에 기존의 공용 큐 방식보다 핸드오프 강제종료확률을 낮췄다는 점이 기존의 방식보다 좋은 성능을 나타냄을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] R. Beraldi, S. Marano, and C. Mastroianni, "A Reversible hierarchica Scheme for Microcellular Systems with Overlaying Macrocells," in Proc. IEEE INFOCOM '96, pp. 51-58, 1996
- [2] S. Marano, C. mastroianni, "A Hierarchical network Scheme for Multilayered Cellular Systems," in Proc. IEEE VTC'97, pp 17992-1796, May. 1997
- [3] X. Lagrange and p. Godlewski, "Performance of a Hierarchical Cellular Network with Mobility Dependent handover Strategies," in

proc. IEEE VTC '96, pp. 1868-1872, 1996

- [4] S. S. Rappaport and L. Hu, "Microcellular Communications Systems with Hierarchical Macrocell Overlays: Traffic Performance Models and Analysis," in Proceedings of the IEEE Sept. 1994
- [5] C. Mihailescu, X. Lagrange and D. Zeglache, "Analysis of a Two-Layer Cellular Mobile Commucation System," in Proc. IEEE VTC '97, pp. 954-958, 1997
- [6] B. Jabbari and W. F. Fuhrmann, "Teletraffic modeling and Analysis of Flexible Hierarchical Strategy," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 15, no. 8. pp. 1539-1648, Jan. 1997
- [7] 이상희, 임재성, "계층셀 시스템에서 고속 이동체의 QoS 보장을 위한 핸드오프 기법의 성능 분석" 정보과학회 논문지 : 정보통신 제 27권 제 4호 (2000.12)