
이동통신 네트워크에서 호 블로킹 확률의 개선 방안

박상현* · 오연칠** · 이영석** · 양해권**

Implement of Call blocking Probabilities in Mobile Communication Networks

Sang-hyun Park* · Youn-chil Oh** · Young-seok Lee** · Hae-kwon Yang*

요 약

본 논문에서는 이동통신 네트워크의 계층 셀 구조에서 음성호와 데이터호의 트래픽을 분산시킴으로서 서비스의 이용성을 개선시키는 방안을 제안한다. 계층 셀 구조의 트래픽 모델을 기술하고, 호 처리에 대한 성능 분석이 수행된다. 본 논문에서 제안된 호 처리 방식에서, 빠른 속도로 이동하는 호는 상위 계층 셀로 이동하여 서비스된다. 오버플로우가 발생하는 경우에도 호는 상위 계층으로 이동한다. 다른 방식들과 달리, 오버플로우가 발생되어 상위 계층으로 이동한 호는 하위 계층에서 가장 오래 동안 서비스된 호이다. 오버플로우가 발생하여 상위 계층 셀로 이동된 호가 일정시간 이상 상위 계층에서 서비스되면, 상위 계층 셀의 한정된 자원을 절약하기 위해 하위 계층으로 호를 이동시킨다. 제안된 방식의 호 처리 성능분석을 위해 M/M/C/K 모델을 이용하여 평가하고, 호 블로킹 확률과 강제종료 확률이 개선됨을 보여준다.

ABSTRACT

This paper presents a method of improving the service availability by distributing the traffic of voice/data calls over the multi-layer cells in a mobile communication network. The traffic model is described and the call handling performance is analyzed. In our method, a fast moving call is moved to and serviced in the upper layer cell. A call is also moved upward when an overflow occurs. But unlike other methods, the call that is moved upward in the overflow case is the one which has the longest sojourn time in the cell. Moreover, when the call that was moved upward due to overflow condition stays longer than a certain period of time in the upper layer cell, the system moves the call back to the lower layer in order to save the more expensive resources of the upper layer cell. Call handling performance of this method evaluated from M/M/C/K models shows clear improvement with respect to call blocking probability and forced termination probability.

키워드

mobile communication network, hierarchical cell, handover, call handling performance

I. 서 론

이동전화 사용자가 증가함에 따라, 네트워크의 트래픽도 폭발적으로 증가하고 있는데, 이런 문제를 해결하기 위하여 데이터의 코딩과 압축기술에 많은 연구들이

진행되고 있다. 이러한 방식은 네트워크 자원의 가용도를 증가시켜 보다 많은 사용자에게 서비스를 해줄 수 있다는 장점이 있다.

또 다른 해결책으로는 부하 분산이 있는데, 한 셀에서 오버플로우된 트래픽이 이웃의 셀로 분산되는 방식이

* 한국전자통신연구원부설연구소

** 국립군산대학교 전자정보공학부
교신저자 : 이영석

다. 오버플로우된 셀에 새로운 호가 발생했을 때, 이 호는 블로킹 되지 않고 이웃의 호에서 처리해 준다[1]. 이와 같이 호 블로킹 확률을 줄여주기 위한 호를 분산시키는 기존의 연구들은 크게 두 부류로 분류할 수 있다. 그중 하나는 셀의 서비스 영역을 동적으로 변경시켜 호를 인접 셀로 분산시키는 방식이다. 셀이 오버플로우 되면 파일럿 신호의 세기를 줄여 셀의 서비스 지역을 줄이게 되고 인접 셀은 파일럿 신호의 세기를 증가시켜 셀의 서비스 지역을 확장하게 된다. 이렇게 되면 오버플로우된 셀의 경계지역에 있던 모든 호들은 강제로 인접 셀로 수평적인 핸드오버가 된다.

또 다른 방식으로 셀의 구조를 중첩구조로 하여 트래픽을 중첩된 셀에 수직적으로 분산시키는 방식이다. 오버플로우된 셀에 신규호나 핸드오버호가 발생했을 때, 이 호들은 중첩하고 있는 상위 셀들로 핸드오버 된다[2]. 고속의 호도 하위 셀에서 빈번한 핸드오버 발생을 피하기 위해 보다 광범위한 영역을 서비스 해주는 상위 셀로 핸드오버 된다. 그러나, 하위계층에서의 트래픽을 상위계층으로만 전달할 경우 시간이 지날수록 상위계층의 부하가 증가하게 되어 결국엔 하위계층의 오버플로우된 트래픽을 상위계층에서 서비스해 줄 수 없는 문제가 생긴다. 일반적으로 상위계층 채널 단가가 하위계층보다 높으므로 전체 시스템 운영에 드는 비용과 사용자가 서비스 이용에 지불해야 하는 비용이 증가하게 되는 문제점이 생긴다.

이러한 문제의 해결책으로 상위계층에서 일부 호를 하위계층으로 내려주는 방식을 제안하였다. 이 방식에서는 상위계층에서 통화 중인 호 중 속도가 감소한 일부 호를 하위계층으로 내려보내 트래픽을 분산시켜 상위계층의 부하를 줄이므로, 신규호와 핸드오버호의 블로킹 확률이 작아지게 된다[3][4].

본 논문에서 음성호와 데이터호를 위한 향상된 트래픽 분산방법을 제시한다. 고속의 호는 상위셀에서 처리하고, 셀에서 트래픽 오버플로우가 발생하면 상위셀로 트래픽이 분산된다[5][6]. 기존의 방식과 다른 점은 셀에서 오버플로우가 발생할 때 신규호대신 진행 중인 호 중에서 지속시간이 가장 긴 호를 상위셀로 핸드오버시킨다. 상위셀에서 호가 지속되는 시간은 신규호보다 기존의 호가 평균적으로 짧기 때문에 상위셀에서의 트래픽 감소의 효과를 가져올 수 있기 때문이다. 또한 상위셀에서 속도가 감소한 호를 하위셀로 핸드오버시키며, 하위

셀의 오버플로우로 인해 상위셀로 핸드오버된 호에 대하여 상위셀에서의 지속시간에 제한을 둔다. 제한시간을 넘어 지속하는 호에 대하여는 다시 하위셀로 핸드오버시켜 상위셀에 보다 많은 가용채널을 확보한다. 핸드오버된 데이터호의 경우 큐를 사용한다. 핸드오버된 데이터호가 셀에 도착했을 때, 셀에 가용채널이 없다면 호는 상위셀로 핸드오버하는 대신 큐에서 대기하게 되며, 셀에 가용채널에 생겼을 경우 큐에서 대기하고 있는 데이터호에게 할당된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 트래픽 모델과 계층 셀사이의 핸드오버 방식에 대해 기술한다. 3장에서는 성능 모델을 제안하고, 4장에서는 성능 모델에 기반하여 성능 분석을 수행한다. 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 트래픽 모델과 호처리 방식

2.1 트래픽 모델

MPLS 그림 1은 중첩된 셀 구조를 보여준다. N_M 개의 마이크로 셀은 각각 하나의 매크로 셀로 중첩되며, N_M 개의 매크로 셀은 하나의 위성 셀에 중첩된다.

본 연구에서는 음성호나 데이터호가 하위셀에서 상위셀로 핸드오버되는 경우를 상향핸드오버(UH : Upward Handover)라 부르고, 상위셀에서 하위셀로 핸드오버되는 경우를 하향핸드오버(DH : Downward Handover)라 부르기로 한다.

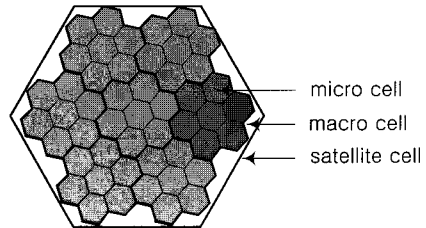


그림 1. 중첩된 셀 구조
Fig. 1 Overlaid Cell Architecture

이동단말들이 셀 내에 고르게 분산되어 있고, 평균 3.6km/h의 속도로 셀 영역을 이동한다고 가정하며 이동의 방향 역시 고르게 분산되어 있다고 가정한다[7]. 또한 각 셀에서 신규호와 핸드오버호 발생율은 포아송 분포를 따른다고 가정하며, DH와 UH호 역시 포아송 분포를

따른다고 가정한다. 음성호의 호 지속시간을 나타내는 확률변수를 V 라하고 V 의 분포를 평균이 $\bar{v} \approx 1/UV$ 인 지수분포를 따른다고 가정하고, [3] 데이터호의 호 지속시간을 나타내는 확률변수를 D 라하고 D 의 분포를 평균이 $\bar{d} \approx 1/UD$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다.

이동단말이 핸드오버영역을 통과하는데 걸리는 시간은 이동단말의 속도와 이동방향, 셀의 크기에 영향을 받는다. 본 연구에서는 이 시간을 이동단말의 핸드오버 영역에서의 transit time([8]의 dwell time과 동일)이라 정의하고 transit time을 나타내는 확률변수를 HT 라 표시하기로 한다. HT 의 분포는 평균이 $\bar{h}_T \approx 1/\mu_T$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다.

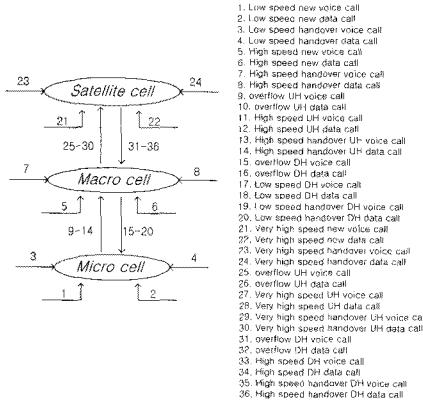


그림 2. 중첩된 셀에서의 입력 호 종류
Fig. 2 Call arrivals in hierarchical cell architecture

그림 2는 중첩된 셀에서 각 셀로 입력되는 트래픽을 나타낸다. 동일계층에 있는 이웃의 셀에서 핸드오버된 데이터호들에 한하여 셀에 가용채널이 없을 경우 UH되지 않고 K개까지 큐에 저장된다. 셀에 가용채널이 생길 경우 채널은 신규호보다 큐에 대기하고 있는 핸드오버 데이터호에 우선적으로 할당된다. 이동단말이 핸드오버영역을 통과할 때까지 가용채널이 생기지 않을 경우, 호는 UH된다. 만약 상위셀에 가용채널이 충분하지 않아 UH가 실패하면 호는 블록킹된다.

2.2 트래픽 분산 방식

마이크로 셀에는 C_μ 개의 채널이 있다. 이중 C_μ^h 개는 핸드오버호용으로만 사용되고 나머지 $(C_\mu - C_\mu^h)$ 개의 채널은 신규호와 핸드오버호에 사용된다. 여기서 언급하

는 호는 음성호와 데이터호를 모두 포함한다. 마이크로 셀에는 마이크로 셀에서 발생한 저속 신규호(그림 2-3의 1,2번)와 이웃 마이크로 셀로부터 핸드오버된 저속 핸드오버호(3,4)가 접속된다. 또한 중첩하고 있는 매크로 셀로부터 DH된 호들(15,16,17,18,19,20)도 접속된다.

신규호나 핸드오버호가 마이크로 셀에 발생했을 때, 셀에 가용채널이 없다면 기존 진행 중인 호 중에서 호 지속시간이 가장 긴 호가 매크로 셀로 UH된다(9,10). 지속시간이 가장 긴 기존의 호를 선택하는 이유는 상위셀에서 호가 끝나는 시간이 신규호가 끝나는 시간보다 짧을 확률이 높기 때문인데, 이것은 상위셀에서 트래픽이 신속히 감소하는 효과로 인하여 상위셀에 보다 많은 가용채널을 확보할 수 있게 한다. UH는 상위셀인 매크로 셀에 CM - TM개 이상의 가용채널이 있을 때만 허용된다. 핸드오버 데이터호에 대해서는 마이크로 셀의 큐에서 대기한 호에 대해서만 여유채널이 없을 경우 UH된다.

고속의 이동호는 빈번한 수평적 핸드오버 발생을 줄이기 위하여 마이크로 셀에 접속되지 않고 보다 넓은 영역을 커버해 주는 매크로 셀로 접속된다(5,6,7,8). 저속의 신규호나(1,2) 핸드오버호가(3,4) 고속으로 이동할 경우 역시 같은 이유로 매크로 셀로 핸드오버된다.

매크로 셀은 C_M 개의 채널이 할당되어 있으며, 이중 C_M^h 개가 핸드오버호용으로만 사용된다. 나머지 $(C_M - C_M^h)$ 개의 채널은 마이크로 셀과 마찬가지로 신규호와 핸드오버호에 할당된다. 매크로 셀은 고속의 신규호(5,6)와, 고속의 핸드오버호(7,8), 마이크로 셀로부터의 UH호(9,10,11,12,13,14) 그리고 중첩된 위성 셀로부터의 DH호(31,32,33,34,35,36)들이 접속된다.

매크로 셀에 고속의 신규호나 핸드오버호가 발생했을 때 가용채널이 없는 경우 셀에서 지속시간이 가장 긴 호가 위성 셀로 UH된다. 또한 매크로 셀의 보다 많은 가용채널 확보를 위해 다음과 같은 조건하에 호를 마이크로 셀로 DH시킨다.

고속의 호(5,6,7,8,11,12,13,14)가 일정시간 이상으로 저속으로 이동할 경우 저속호로 간주한다. 일정시간 이상으로 제한하는 이유는 고속의 호가 잠시 저속으로 진행하다 다시 고속으로 진행하는 경우에 대비하여 불필요한 DH,UH를 피하기 위해서이다. 속도가 감소하자마자 마이크로 셀로 DH시킨다면 이 호는 다시 매크로 셀로 UH되는 빈번한 계층간 핸드오버를 발생시키는 문제가 있다. 그러므로 일정시간 이상으로 제한하여 그 시간

이상으로 저속으로 진행되는 경우만 저속호로 간주한다. 저속호는 호가 위치하고 있는 마이크로 셀의 가용채널이 충분한 경우($C_\mu - T_\mu$ 개 이상의 가용채널)에만 해당 마이크로 셀로 DH된다(17,18,19,20).

마이크로 셀로부터 오버플로우에 대해 UH된 호(9,10)가 매크로 셀에서 일정시간 S(호의 평균지속시간) 이상 머무르게 되면 호가 위치하고 있는 마이크로 셀로 DH된다(15,16). 그러나 마이크로 셀이 충분한 가용채널을 보유하고 있지 않은 경우($C_\mu - T_\mu$ 개 이상의 가용채널을 보유하고 있지 않은 경우) 다시 마이크로 셀로부터 매크로 셀로 UH되는 것을 방지하기 위하여 DH시키지 않는다. 마이크로 셀과 마찬가지로 고속의 핸드오버 데이터호는 매크로 셀의 큐에서 대기한 후 채널을 할당받지 못한 경우에만 위성 셀로 UH된다. 위성 셀에서의 트래픽 분산도 같은 방식이 적용된다.

III. 성능 모델

3.1 마이크로 셀

E_j 를 마이크로 셀에서 j 개의 채널이 사용 중인 상태라고 하고 이때의 확률을 $P(j)$ 라고 한다. Λ_{LHV}^u 를 저속 음성 신규호 발생률(그림 2의 1)이라고 하고, Λ_{LHV}^h 를 저속 음성 핸드오버호 발생률(그림 2의 3), $D_{EV}^{M \rightarrow \mu}$ 를 오버플로우 음성DH호 발생률(그림 2의 15)이라고 표시한다. 또 $D_{LV}^{M \rightarrow \mu}$ 를 저속 음성DH호 발생률(그림 2의 17)라 하고 $D_{LHV}^{M \rightarrow \mu}$ 를 저속 음성DH핸드오버호 발생률(그림 2의 19)이라고 표시하기로 한다. $\Lambda_{Lnd}^u, \Lambda_{Lhd}^h, D_{ED}^{M \rightarrow \mu}, D_{LD}^{M \rightarrow \mu}$ 와를 데이터호에 대한 저속 신규호(그림 2의 2), 저속 핸드오버호(그림 2의 4), 오버플로우호(그림 2의 16), 저속 DH호(그림 2의 18)와 저속 DH핸드오버호(그림 2의 20)의 발생률을 나타내기로 한다.

$U_{\mu V}$ 와 $U_{\mu D}$ 를 각각 음성호, 데이터호가 인접 마이크로 셀로 수평적 핸드오버하기까지 마이크로 셀에 머무르는 평균 시간의 역수라고 하고 N 를 하나의 매크로 셀이 포함하고 있는 마이크로 셀의 수라 하자. 마이크로 셀에서 채널사용에 대한 상태 천이도를 생성-소멸 프로세스(birth-death process)를 그려보면 그림 3과 같다. X_1 은 E_{T_μ} 까지의 호 발생률이다. 여기서 T 는 매크로 셀로부터 $D_{Lhd}^{M \rightarrow \mu}$ 마이크로 셀로 DH될 수 있는 마이크로 셀에서의 가용채널 개수에 대한 임계값을 나타내며 본 연구에서

는 C_μ 의 80%라고 가정하였다. w_1 와 z_1 마이크로 셀로부터 빠져나가는 호의 발생률, 즉 채널 사용에 대한 소멸률인데, w_1 은 마이크로 셀에서 호가 종료되거나 이웃 마이크로 셀로 핸드오버되어 마이크로 셀에서 빠져나가는 소멸률을 나타낸다. 또 z_1 은 UH에 의하여 매크로 셀로 핸드오버되는 발생률을 나타낸다. 생성-소멸 프로세스에서 확률 $P(j)$ 는 식 (3.1), (3.2)와 같다.

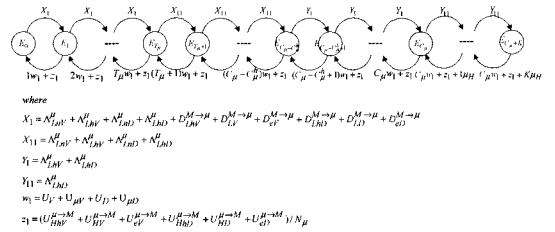


그림 3 마이크로 셀에서 채널사용의 상태천이도 Fig. 3 State transition diagram of the channel usage in a micro cell

$$P_\mu(j) = \frac{\left(\begin{aligned} & X_1^j \cdot P_0 \quad (1 \leq j \leq T_\mu) \\ & \prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1] \\ & \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{j-T_\mu}}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]} \cdot P_0 \quad (T_\mu + 1 \leq j \leq C_\mu - C_\mu^h) \\ & \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{C_\mu - C_\mu^h - T_\mu} \cdot Y_1^{j - (C_\mu - C_\mu^h)}}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]} \cdot P_0 \quad (C_\mu - C_\mu^h + 1 \leq j \leq C_\mu) \\ & \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{C_\mu - C_\mu^h - T_\mu} \cdot Y_1^{C_\mu - C_\mu^h} \cdot Y_{11}^{j - C_\mu}}{C_\mu \cdot \prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1] \prod_{i=1}^{j-C_\mu} [C_\mu w_1 + z_1 + \mu_\mu]} \cdot P_0 \quad (C_\mu + 1 \leq j \leq C_\mu + K) \end{aligned} \right)}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]}$$

(3.1) 마이크로 셀에서 j 개의 채널이 사용 중인 확률

$$P_\mu(0) = P_0 = \left[\begin{aligned} & 1 + \sum_{j=1}^{T_\mu} \frac{X_1^j}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]} + \sum_{j=T_\mu+1}^{C_\mu - C_\mu^h} \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{j-T_\mu}}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]} + \sum_{j=C_\mu - C_\mu^h + 1}^{C_\mu} \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{C_\mu - C_\mu^h - T_\mu} \cdot Y_1^{j - (C_\mu - C_\mu^h)}}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1]} \\ & + \sum_{j=C_\mu+1}^{C_\mu+K} \frac{X_1^{T_\mu} \cdot X_{11}^{C_\mu - C_\mu^h - T_\mu} \cdot Y_1^{C_\mu - C_\mu^h} \cdot Y_{11}^{j - C_\mu}}{\prod_{i=1}^j [\lambda w_1 + z_1] \prod_{i=1}^{j-C_\mu} [C_\mu w_1 + z_1 + \mu_\mu]} \end{aligned} \right]^{-1}$$

(3.2) 마이크로 셀에서 0개의 채널이 사용 중인 확률

$P_{ne}^{M \rightarrow \mu}$ 을 마이크로 셀에 저속 신규호가 들어왔을 때 가용채널이 없어 기존의 호가 매크로 셀로 UH되는 확률이라고 하면,

$$P_{ne}^{M \rightarrow \mu} = \sum_{j=C_\mu - C_\mu^h + 1}^{C_\mu + K} P_\mu(j)$$

(3.3) 저속 신규호를 위해 기존의 호가 UH될 확률

$P_{heV}^{\mu \rightarrow M}$ 와 $P_{heD}^{\mu \rightarrow M}$ 를 각각 마이크로 셀에 저속 음성 핸드오버호와 저속 데이터 핸드오버 호가 도착했을 때 가용 채널이 없어 기존의 호가 매크로 셀로 UH되는 확률이라고 표시하자. 저속 데이터 핸드오버 호는 마이크로 셀에 가용채널이 없을 때 큐에서 대기하게 되는데, 만일 transit time동안 대기한 후에도 가용채널이 없을 경우에는 매크로 셀로 UH된다. $P_{heV}^{\mu \rightarrow M}$ 와 $P_{heD}^{\mu \rightarrow M}$ 는 식 (3.4)와 같다.

$$P_{heV}^{\mu \rightarrow M} = \sum_{j=C_{\mu}}^{C_{\mu}+K} P_{\mu}(j)$$

$$P_{heD}^{\mu \rightarrow M} = P_{\mu}(C_{\mu}+K) + \sum_{k=0}^{K-1} P_{\mu}(C_{\mu}+k) \cdot P_{fjk}^{\mu}$$

(3.4) 저속 음성/데이터 핸드오버호를 위해 기존의 호가 UH될 확률

위 식에서 P_{fjk}^{μ} 는 식 (3.16)에서 설명한다. $P_{H \rightarrow L}$ 을 고속의 호가 속도가 감소하여 저속의 호로 바뀔 확률을 나타내는데 본 연구에서는 0.05을 가정하였다. 매크로 셀에서 마이크로 셀로의 DH발생율은 식 (3.5)과 같다. V_M 와 D_M 는 매크로 셀로 UH된 음성호와 데이터호의 매크로 셀에서 호 지속시간을 나타내는 확률변수이다. $U_{eV}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{eD}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{HV}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{HhV}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{HD}^{\mu \rightarrow M}$ 와 $U_{HD}^{\mu \rightarrow M}$ 는 다음 절에서 설명하기로 한다.

3.2 매크로 셀

매크로 셀에서의 호 발생률도 마이크로 셀과 유사한 방식으로 설명할 수 있다. Λ_{HhV}^M , Λ_{HhV}^M , $U_{eV}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{HV}^{\mu \rightarrow M}$ 와 $U_{HhV}^{\mu \rightarrow M}$ 를 각각 음성호에 대한 고속 신규호(그림 2의 5), 고속 핸드오버호(그림 2의 7), 오버플로우 UH호(그림 2의 9), 고속 UH호(그림 2의 11)와 고속 UH 핸드오버호(그림 2의 13)의 발생률이라고 한다. 또한 데이터호에 대해 Λ_{HhD}^M , Λ_{HhD}^M , $U_{eD}^{\mu \rightarrow M}$, $U_{HD}^{\mu \rightarrow M}$ 와 $U_{HD}^{\mu \rightarrow M}$ 는 각각 고속 신규호(그림 2의 6), 고속 핸드오버호(그림 2의 8), 오버플로우 UH호(그림 2의 10), 고속 UH호(그림 2의 12)와 고속 UH 핸드오버호(그림 2의 14)의 발생률을 나타낸다. U_{MV} 와 U_{MD} 를 각각 음성호와 데이터호가 이웃의 매크로 셀로 핸드오버하기까지 매크로 셀에 머무르는 평균 시간의 역수라고 하고, N_M 을 하나의 위성 셀이 중첩하고 있는 매크로 셀의 개수라고 한다.

매크로 셀의 채널사용에 대한 상태 천이도는 그림 4와 같다. X_2 는 E_{T_M} 까지의 호 발생률이다. T_M 은 마이크로 셀과 마찬가지로 위성 셀에서 매크로 셀로 DH되거나 마이크로 셀에서 UH될 수 있는, 매크로 셀의 가용채널의 수에 대한 임계값으로서 매크로 셀의 전체 채널의 80%라고 가정하였다. X_2 는 고속 신규호, 고속 핸드오버호, UH호 및 DH호의 발생률로 구성된 w_2 는 매크로 셀에서 호가 종료되거나 이웃의 매크로 셀로 수평 핸드오버되는 발생률을 나타내며 z_2 는 호가 위성 셀로 UH되거나 마이크로 셀로 DH되는 발생률을 나타낸다. $P_M(j)$ 은 식 (3.1)과 (3.2)와 유사하게 구해진다.

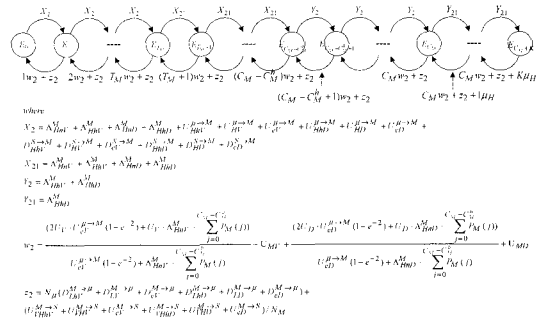


그림 4 매크로 셀에서 채널 사용의 상태천이도
Fig. 4 State transition diagram of the channel usage in a macro cell

$P_{L \rightarrow H}$ 를 저속의 호가 고속의 호로 변하거나 고속의 호가 초고속 호로 변할 확률이라고 표시하고, $P_{H \rightarrow L}$ 가 3.1 절에서 설명한 것처럼 고속의 호가 저속으로 변할 확률이라고 표시하기로 한다. 본 연구에서는 초고속의 호가 고속으로 변할 확률과 고속의 호가 저속으로 바뀔 확률을 같은 값 0.05로 가정했다.

위성 셀에서의 채널 사용의 상태천이도 역시 마이크로 셀 및 매크로 셀에서와 같이 구해진다.

3.3 호 블록킹 확률

마이크로 셀에서 신규 음성호와 데이터호에 대한 블록킹 확률은 마이크로, 매크로, 위성 셀이 모두 포화된 경우이므로 다음과 같이 표현된다.

$$P_{nbV}^{\mu} = P_{nbD}^{\mu} = \sum_{j=C_{\mu}}^{C_{\mu}+K} P_{\mu}(j) \cdot \sum_{j=T_M+1}^{C_{\mu}+K} P_M(j) \cdot \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j)$$

(3.3) 마이크로 셀의 신규 음성호와 데이터호 블록킹 확률

마이크로 셀에서 핸드오버 음성호의 블록킹 확률 P_{hbV}^μ 는 다음과 같다.

$$P_{hbV}^\mu = \sum_{j=C_\mu}^{C_\mu+K} P_\mu(j) \cdot \sum_{j=T_M+1}^{C_\mu+K} P_M(j) \cdot \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j) \quad (3.4)$$

마이크로 셀의 핸드오버 음성호 블록킹 확률

마이크로 셀에서 핸드오버 데이터호가 블록킹 되는 확률 P_{hbD}^μ 은 매크로 셀과 위성 셀에 가용채널이 존재하지 않고 마이크로 셀의 큐에서 대기할 때까지 마이크로 셀 내 가용채널이 생기지 않는 경우이며 다음과 같이 표현된다.

$$P_{hbD}^\mu = \sum_{j=T_M+1}^{C_\mu+K} P_M(j) \cdot \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j) \cdot \left(P_\mu(C_\mu+K) + \sum_{k=0}^{K-1} P_\mu(C_\mu+k) \cdot P_{fbk}^\mu \right) \quad (3.5)$$

마이크로 셀 핸드오버 데이터호 블록킹 확률

P_{fbk}^μ 는 큐의 k+1위치 저장된 핸드오버 데이터호가 채널을 할당 받지 못하고 실패할 확률이다.

매크로 셀에서 신규 음성호와 데이터호의 블록킹 확률 P_{nbV}^M, P_{nbD}^M 은 아래와 같다.

$$P_{nbV}^M = P_{nbD}^M = \sum_{j=C_M-C_M^A+1}^{C_M+K} P_M(j) \cdot \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j)$$

(3.6) 매크로 셀의 신규 음성호와 데이터호 블록킹 확률

매크로 셀에서 핸드오버 음성호의 블록킹 확률 P_{hbV}^M 는 다음과 같다.

$$P_{hbV}^M = \sum_{j=C_M}^{C_M+K} P_M(j) \cdot \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j)$$

(3.7) 매크로 셀의 핸드오버 음성호 블록킹 확률

핸드오버 데이터호의 블록킹 확률 P_{hbD}^M 는,

$$P_{hbD}^M = \sum_{j=T_S+1}^{C_S+K} P_S(j) \cdot \left(P_M(C_M+K) + \sum_{k=0}^{K-1} P_M(C_M+k) \cdot P_{fbk}^M \right)$$

(3.8) 매크로 셀의 핸드오버 데이터호 블록킹 확률

유사한 방식으로 위성 셀에서의 호 블록킹 확률을 구할 수 있다.

IV. 성능 분석

본 논문에서는 다음과 같은 파라미터를 이용하여 성능분석을 실시하였다. 매크로 셀과 위성 셀이 중첩하고 있는 마이크로 셀과 매크로 셀의 개수는 각각 7개로 가정하였다. 마이크로 셀 기지국간 거리를 500m, 매크로 셀 기지국간 거리를 1.5 Km, 위성 셀 기지국간 거리를 4.5Km로 가정하였다. 저속 이동 단말의 평균 속도는 3.6Km/h, 고속 및 초고속 이동 단말의 평균 속도는 21.6Km/h과 129.6Km/h로 가정하였다. 또한 각 계층의 한 셀에 가용한 채널 수를 20개라 하였고 이 중 2개는 핸드오버호 전용으로 사용한다. 핸드오버호의 발생률은 신규호 발생률의 10%라고 가정하였고, 데이터호의 경우 음성호 발생률의 50%라고 가정하였다.

음성호와 데이터호의 지속시간은 평균 $1/U_V = 120$ s와 $1/U_D = 240$ s인 지수분포를 따른다고 가정하였고, 음성호와 데이터호가 인접 마이크로 셀로 핸드오버 할 때까지의 시간은 각각 평균 $1/U_V = 60$ s, $1/U_D = 120$ s인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 이동 단말이 핸드오버 지역을 지나가는 시간(transit time)은 평균 $1/\tau = 4$ s인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 매크로 셀과 위성 셀의 적용 시간도 마이크로 셀과 동일하다.

본 논문에서 제안된 방식의 성능을 분석하고 다른 호처리 방식과의 비교를 수행하기 위해 아래와 같은 4가지의 경우로 비교 분석하였다.

- Case a : 본 논문에서 제안된 방식.
- Case b : 상향 핸드오버와 하향 핸드오버가 이동 단말의 속도에 의해 허용되는 방식.
- Case c : 신규 호 혹은 핸드오버 호의 상향 핸드오버만을 허용하는 방식.
- Case d : 이동 단말의 속도에 의해 각 계층 셀에서 서비스하는 방식.

호 발생률에 대해 저속, 고속, 초고속 이동 단말의 호 블록킹 확률과 강제 종료 확률이 그림 5~ 그림 8에 보여진다. a, b, c의 경우에서, 신규호 및 핸드오버 호가 오버플로우되기 때문에 채널 가용성은 증가할 것이다.

본 논문에서 제안한 방식(Case a, 굵은 선으로 표시)에서, 저속 및 고속 호는 먼저 각각 마이크로 셀과 매크로 셀에서 채널을 얻는 것을 시도한다. 마이크로 셀 혹은 매크로 셀 내에 이용 가능한 채널이 없는 경우에 호들은 매크로 셀

크로 셀이나 위성 셀로 오버플로우된다. 그러나, 초고속 이동 단말의 경우 위성 셀에 이용 가능한 채널이 없다면 서비스될 수 없다. 그러므로 초고속 이동 단말의 호 블로킹 확률과 강제 종료 확률은 저속 및 고속 이동 단말의 확률보다 높다. 특히, 저속 이동 단말의 호는 매크로 셀이나 위성 셀로 오버플로우될 수 있기 때문에 저속 이동 단말의 호 블로킹 확률은 고속 이동 단말의 확률보다 낮다. 어떤 셀 내의 채널이 모두 점유될지라도, 데이터 호는 상향 핸드오버가 발생하기 이전에 큐에 저장된다. 이러한 정책으로 음성 호와 비교하여 데이터 호의 강제 종료 확률을 줄일 수 있다. b 경우와 c 경우를 비교해 볼 때, 호 블로킹 확률과 강제 종료 확률은 거의 같다.

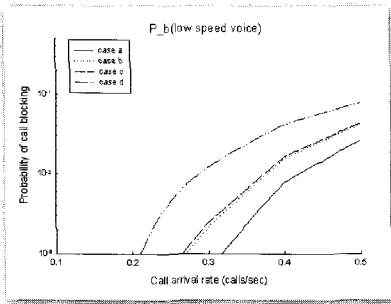


그림 5. 저속 이동 단말의 음성 호 블로킹 확률
Fig. 5. The probabilities of voice call blocking for low speed mobile terminals

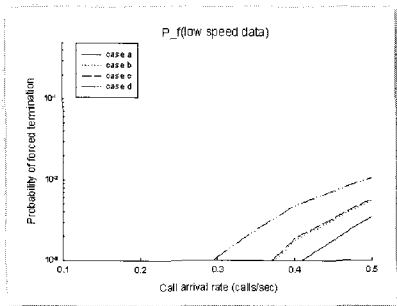


그림 6. 저속 이동 단말의 데이터 호 강제 종료 확률
Fig. 6. The probabilities of forced termination for data call of low speed mobile terminals

그러므로, 이동 단말의 속도에 기반한 하향 핸드오버는 시스템 채널 용량을 증가시키는데 거의 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 그림에서 보여진 것처럼, 채널 이용 가능성과 이동 단말의 속도에 기반하여 상향 핸드오버와 하향 핸드오버가 수행될 때, 저속/고속/초고속 이동 단말에 대한 호 블로킹 확률과 강제 종료 확률이 상당히 감소함을 알 수 있다.

드오버와 하향 핸드오버가 수행될 때, 저속/고속/초고속 이동 단말에 대한 호 블로킹 확률과 강제 종료 확률이 상당히 감소함을 알 수 있다.

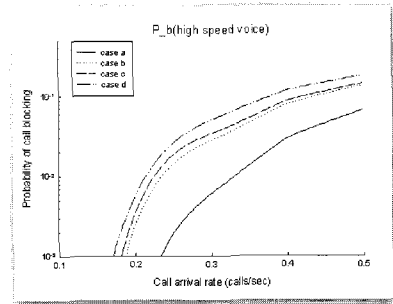


그림 7. 고속 이동 단말의 음성 호 블로킹 확률
Fig. 7. The probabilities of voice call blocking for high speed mobile terminals

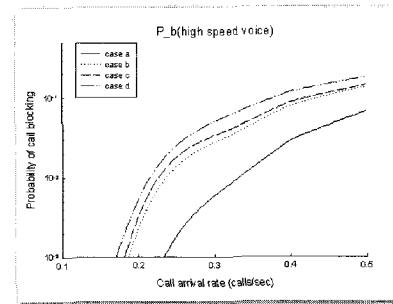


그림 8. 고속 이동 단말의 음성 호 강제 종료 확률
Fig. 8. The probabilities of forced termination for voice call of high speed mobile terminals

V. 결론

본 논문에서는 3계층 구조로 구성된 이동통신 시스템에서 음성호와 데이터호에 대한 효과적인 분산 방식을 제안하였고, 다른 방식들과 비교하여 호 블로킹 확률과 강제종료 확률이 감소되는 것을 보였다. 계층 셀 구조에서 핸드오버 방식을 도입함으로써, 이동통신 네트워크에서 호 트래픽을 증가시키는 효과를 얻었다. 또한, 제안된 방식에서는 임계값 T_M 또는 T_m 와 같은 파라미터들을 적절히 선택하여 블로킹 확률과 호 처리 부담을 최적화할 수 있다. 호 채널의 이용가능성을 개선시킴으로써, 호 처리 비용의 부담을 경감시킬 수 있다. 상향 핸드오버

나 하향 핸드오버에 의하여 이동통신 네트워크상에 신호 트래픽은 증가될 수 있지만 호블록킹 확률을 줄일 수 있다. 신호 트래픽의 증가에 따른 부담보다는 셀에 가용 채널을 더 확보함으로써 호블록킹 확률을 줄여 보다 많은 사용자에게 서비스하는 것이 훨씬 큰 장점을 가지고 있다. 호블록킹 확률이 낮아질수록 서비스의 수준은 향상되며, 결과적으로 더 많은 가입자를 보장할 것이다.

참고문헌

[1] X. H. Chen, A novel adaptive traffic load shedding scheme for CDMA cellular mobile systems, in : Proc. of ICCS'94, X. H. Chen and C. J. Lee, 1994, pp.556-570.

[2] X. Lagrange, Performance of a hierarchical cellular network with mobility-dependent hand-over strategies, in : IEEE VTC'96, X. Lagrange and P. Golleski, 1996, pp. 324-328.

[3] S. Yoo, An efficient traffic distribution in a hierarchical multi-celled mobile communication systems, in : IEEE ISPACS'98, S. Yoo, Y. Lee, H. Choi, S. Kim, and H. You, 1998, pp. 650-654.

[4] 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.

[5] 최원근, "무선 ATM 망에서 Speed-Sensitive 핸드오프" 한국통신학회논문지 '07-8, vol. 32, no. 8, pp. 263-271, 2007.

[6] 최원근, "다중 계층 셀룰러 시스템에서의 속도 감응 핸드오프의 성능 분석" 한국통신학회논문지, '08-4, vol. 33, no. 4, pp. 124-130, 2008.

[7] X. Lagrange, Teletraffic analysis of hierarchical cellular network, in : IEEE VTC'95, X. Lagrange and P. Golleski, 1995, pp.882-886.

[8] X. H. Chen, A novel adaptive traffic load shedding scheme for CDMA cellular mobile systems, in : Proc. of ICCS'94, X. H. Chen and C. J. Lee, 1994, pp.556-570.

[9] B. Jabbari and W. Fuhrmann, Teletraffic modeling and analysis of flexible hierarchical cellular networks with speed-sensitive handoff strategy, IEEE J-SAC, vol. 15, no. 8 (1997) 1539-1548.

저자소개

박상현(Sang-Hyun Park)

1993년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학사

1996년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학석사

2008년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1996년~2000년 국방과학연구소 연구원

2000년~현재 한국전자통신연구원부설연구소 선임 연구원

※관심분야: 정보보호, 임베디드시스템



오연철(Youn-Chil Oh)

1993년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학사

2002년 한남대학교 정보통신대학원 공학석사

2007년 군산대학교 전자정보공학부 박사수료

1994년~1997년 국세청 근무

1997년~현재 조달청 근무

※관심분야: IT아웃소싱, 경영정보, 서버가상화



이영석(Young-Seok Lee)

1992년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학사

1994년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학석사

2002년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1994년~1997년 LG전자정보통신연구소 연구원

2002년~2004년 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년~현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수

※관심분야: 정보보호, 이동컴퓨팅, 컴퓨터네트워크



양해권(Hae-Kwon Yang)

1976년 서울대학교 전기공학과 공학사

1983년 울산대학교 전기공학과 공학석사

1992년 전북대학교 전기공학과 공학박사

1985년~1987년 호원대학교 전자계산학과 전임강사

1987년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수

※관심분야: 광대역통합망(BcN), 인터넷