

계층셀 시스템에서 고속 이동체의 QoS 보장을 위한 핸드오프 기법의 성능분석

(Performance Analysis of Handoff Strategies for Guaranteeing QoS of Fast Moving Station in Hierarchical Cellular Systems)

이 상 희 [†] 임 재 성 ^{**}
(Sang-Hee Lee)(Jae-Sung Lim)

요 약 본 논문에서는 계층셀 시스템에서 이동단말의 속도에 따른 채널 할당 기법이 갖는 QoS 차이를 극복하기 위하여 두 가지 핸드오프 우선 순위 기법을 제안한다. 첫 번째 기법은 매크로셀에 고속 핸드오프 호를 위한 전용채널을 할당하여 고속 단말의 핸드오프 강제 종료율을 낮추어 줌으로써 서로 다른 속도 그룹에 속한 단말들에게 동일한 서비스 품질을 유지할 수 있도록 한다. 두 번째 제안하는 기법에서는 시스템 내 트래픽 양의 증가시에 발생하는 핸드오프 호의 성능 저하를 방지하기 위하여 마이크로셀 경계에 핸드오프 호를 위한 큐를 도입한다. 시뮬레이션 결과 핸드오프 호 강제 종료율에 있어서 높은 성능 개선을 보이며, 특히 저속 단말에 준하는 수준으로 고속 단말의 QoS를 보장하였다. 또한, 오버플로우 대 테이크백 비율(the ratio of take-back to overflow)을 고려할 때, 기존 방식에 비하여 제안하는 방식에서 보다 많은 호가 올바른 셀 계층에서 진행하게 되어 전체 시스템의 효율을 높이는 것을 확인하였다.

Abstract In this paper, two schemes of handoff for the hierarchical cellular systems are proposed to overcome the different QoS performance between fast and slow mobiles. Firstly, to improve the rate of the forced handoff termination of the fast mobiles, some guard channels are employed for the fast handoff calls in the macrocells. And then, a queue is introduced for handoff calls in the boundary of the microcell to reduce the performance degradation according to the increase of traffic. Through the computer simulation, it is shown that the proposed schemes lead to a great improvement in the performance of the handoff call termination, and especially the performance of the fast mobiles approaches that of the slow mobiles. It is also shown from the ratio of takeback to overflow that the proposed schemes keep more calls staying in the proper cell so that the overall performance is significantly improved as compared with the previous strategies.

1. 서 론

무선 통신 기술의 발전에 따라 급속히 증가하는 이동 서비스의 수요를 수용하고 특히 도심이나 건물 내부와 같은 트래픽 밀집 지역에서의 원활한 서비스를 위하여 마이크로셀과 피코셀 개념이 등장하였다[1-3]. 그러나

이러한 마이크로셀 시스템은 작은 셀 반경으로 인한 잦은 핸드오프와 코너 영향(corner effect)으로 인한 신속한 핸드오프 처리를 요구하게 된다. 따라서, 진행중인 호의 높은 강제 종료율을 초래하여 QoS를 저하시키는 동시에 궁극적으로는 망 부하를 증가시키는 문제를 야기한다.

최근에 이러한 문제점들을 해결하고자 매크로셀과 마이크로셀로 이루어진 계층적인 셀룰라 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다[4-10]. 계층셀 구조는 크게 매크로셀 영역 내에서 트래픽 밀집 지역이나 건물 내부와 같은 일부 지역에만 마이크로셀이 사용되는 구조 [4-5]와 매크로셀 영역 전반에 마이크로셀이 중첩되어

· 본 연구는 정보통신 우수시범학교 사업과제 지원으로 수행되었습니다.

† 비 회 원 : 아주대학교 정보통신전문대학원
drcami@madang.ajou.ac.kr

** 정 회 원 : 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
jaslim@madang.ajou.ac.kr

논문접수 : 1999년 10월 16일

심사완료 : 2000년 10월 19일

있는 구조[7-9]로 분류된다. 전자의 경우에 있어서 마이크로셀은 음영지역을 해소하기 위한 수단으로 사용되는 반면 후자의 경우에는 전체적인 시스템의 채널 용량을 증대시키는 방안으로 이용되고 있다.

초기 계층셀 시스템의 채널 할당 방법으로 마이크로셀에 가용 채널이 없는 경우에만 매크로셀에 호를 할당하는 방식이 이용되었다[4-5]. 그러나, 이러한 방식에서는 단말의 속도나 특성을 고려하지 않아서 잦은 핸드오프가 발생하거나 핸드오프 호가 강제 종료되는 문제들이 발생한다. 특히 고속 단말의 경우에는 QoS에 더욱 큰 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하고자 속도를 고려한 채널 할당기법이 제안되었다.

속도에 따른 채널 할당 기법에서는 발생한 호를 이동 속도에 따라 두 개의 그룹으로 나누고 고속 단말은 매크로셀에 저속 단말은 마이크로셀에 할당한다. 하지만, 이렇게 속도를 고려한 경우에도 저속 단말의 오버플로우(overflow)만을 허용하고 테이크백(take-back)은 허용하지 않는 방식이나[6-7] 저속 단말의 오버플로우 및 테이크백만을 허용하는 방식[8]의 경우에는 고속 단말의 잦은 핸드오프는 줄일 수 있으나, 상대적으로 채널용량이 부족한 매크로셀에 트래픽 부하를 증가시켜 전체 시스템 내 트래픽의 불균형을 초래하게 된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 저속 단말의 오버플로우와 테이크백 뿐만 아니라, 고속 단말의 마이크로셀로의 오버플로우와 테이크백까지 허용하는 융통성 있는 계층셀 방식이 제안되었다[9]. 이 방식에서 발생한 호는 먼저 자신의 셀에 채널 할당을 요청하고, 가용 채널이 없을 경우에는 중첩되어 있는 다른 계층의 셀로 오버플로우를 시도할 수 있다. 또한, 자신의 셀 계층에 가용 채널이 생기면 마이크로셀 경계에서 테이크백도 가능하다. 따라서, 이 방식은 기존의 속도를 고려한 채널 할당 기법과는 달리 시스템 내 전체 채널 용량을 모두 사용하면서, 동시에 잦은 핸드오프의 발생을 막을 수 있다. 그러나 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 고속 단말의 QoS 측면에서 기존의 방식들에 비해서는 향상된 성능을 보이지만, 동일한 조건하에서 저속 핸드오프 호와 비교해 볼 때 고속 핸드오프 호의 QoS는 여전히 낮게 나타났다. 결과적으로 고속 단말과 저속 단말의 오버플로우와 테이크백을 모두 허용한 환경에서도 고속 단말은 저속 단말에 비해 상대적인 불이익을 겪게 된다.

한편, [10]의 Zeng 역시 마이크로셀 환경에서 호의 속도 정보를 이용하여 채널을 할당하는 방식을 제안하였다. 이 논문에서 Zeng은 채널의 형태를 호의 종류에 따라 3가지로 구분하여 고속 핸드오프 호는 전체 채널

을, 저속 핸드오프 호는 고속 핸드오프 호 전용 채널을 제외한 나머지 채널들을, 초기 호는 이러한 핸드오프 호 전용 채널을 제외한 나머지 채널만을 사용할 수 있게 하였다. 또한 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호를 위한 2개의 큐를 도입하였다. 그러나 이 논문에서는 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호를 위한 전용 채널을 도입하여 지나친 채널의 낭비를 초래할 수 있으며, 2개의 상이한 큐를 도입함으로써 인하여 3차원 마코프 과정을 풀어야 하므로 계산의 복잡도와 계산량이 상당히 많아지고 시스템의 복잡도가 높아지게 되는 문제를 안고 있다.

본 논문에서 제시하는 핸드오프 기법들은 기존의 전용 채널 기법과 큐를 도입하는 방식을 매크로셀과 마이크로셀로 구성된 계층셀에 적절히 사용하였다. 우선 전용 채널의 경우 저속 핸드오프 호에 비해 상대적으로 더 잦은 핸드오프를 겪게 되는 고속 핸드오프 호에만 적용하여 핸드오프 호 강제 종료를 뿐만 아니라 초기 호 차단을 역시 낮추고자 하였다. 다음으로 큐의 도입에 있어서도 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호에 각각 큐를 도입한 것이 아니라 공용큐를 사용함으로써 시스템 복잡도를 낮추었고, 이에 따라 2차원 마코프 과정만으로 시스템 모델링이 가능하게 하였다.

먼저 첫 번째 핸드오프 기법에서는 고속 단말을 위한 핸드오프 예약 채널을 도입하여 고속 단말의 핸드오프 강제 종료율을 효과적으로 낮추어 고속 및 저속 단말간의 강제 종료율 차에 의한 QoS의 차를 줄이기 위한 방안을 제시한다. 두 번째 핸드오프 기법에서는 예약 채널과 함께 핸드오프 호를 위한 전용 큐를 두어 트래픽 부하가 증가하는 조건하에서도 핸드오프 호의 우수한 성능을 보장한다. 제안하는 2가지 핸드오프 기법들은 2차원 마코프 과정을 이용하여 분석하고, 초기 호 차단율과 핸드오프 호 강제종료율과 같은 다양한 성능 파라미터들을 수치적인 분석값과 시뮬레이션 결과의 비교를 통하여 제안한 기법의 우수한 특성들을 확인한다.

2장에서는 시스템 모델과 제안하는 두 가지 핸드오프 기법들을 기술한다. 3장에서는 수치적 분석을 위한 트래픽 모델을 제시하고 마코프 과정을 이용하여 시스템의 성능을 분석한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 핸드오프 기법들의 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 제안한 핸드오프 기법

2.1 시스템 모델

시스템 모델은 그림 1과 같이 하나의 매크로셀이 N

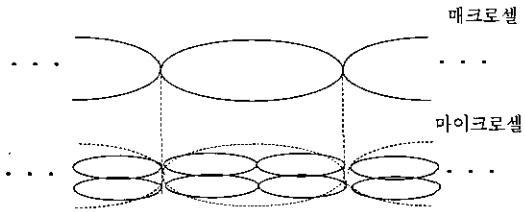


그림 1 계층적 시스템 구조

개의 마이크로셀과 중첩되어 있는 계층적 셀 구조이며, 같은 계층에 속하는 모든 셀들은 동일한 형태를 갖는다고 가정한다. 따라서, 매크로셀의 경우에는 $R_M^{(1)}$, 마이크로셀의 경우에는 R_m 의 셀 반경을 갖는다. 또한, 시스템 내에 새로 발생하는 호는 평균 λ 의 포아송 분포로 전체 시스템 영역에서 균일하게 발생하고, 각 단말은 호 발생 초기의 속도에 따라 고속 단말 그룹과 저속 단말 그룹으로 구분되며, 각각 $V_H^{(2)}$ 와 V_S 의 평균 속도를 갖는 것으로 가정한다. 호 발생시에 고속 단말의 경우에는 매크로셀에 저속 단말의 경우에는 마이크로셀에 할당한다. 각 단말의 이동 속도와 방향은 하나의 호가 진행되는 동안에는 일정하다고 가정한다. 한편, 전체 시스템내의 가용한 채널의 수를 C 라 할 때, 매크로셀에 할당된 채널 수는 C_M 이며, 이 중 C_{H1} 개는 고속 단말의 핸드오프를 위한 예약채널이다. 마이크로셀의 경우에서 전체 채널 수는 C_m 이며, 핸드오프를 위해 따로 채널을 예약하지 않는다. 따라서, 새로 도착한 호의 경우 사용 가능한 채널은 속도에 관계없이 $C - C_{H1}$ 개이고, 핸드오프 호의 경우에는 고속 단말은 전체 채널을 모두 사용할 수 있지만, 저속 단말은 새로 발생한 호와 같은 $C - C_{H1}$ 개의 채널만을 사용 가능하다.

본 논문에서는 핸드오프와 오버플로우, 테이크백의 세 가지 채널 할당 기법을 모두 허용한다. 핸드오프는 동일 셀 간 핸드오프로 한정되고, 오버플로우는 새로 발생한 호나 기존의 호가 자신의 계층셀에 가용한 채널이 없어 중첩되어 있는 다른 계층셀의 채널을 확보하는 경우이며, 이렇게 오버플로우되어 다른 계층에서 채널을 잡고 이동하던 단말이 본래 자신의 속도 그룹에 맞는 계층셀로 가용한 채널을 확보하여 되돌아가는 경우를 테이크백이라 한다. 특별히 잦은 핸드오프로 인한 망의 부담을 줄이고자 진행중인 호의 오버플로우와 테이크백은 마이크로셀의 경계에서만 가능하도록 한다. 따라서, 매크로

셀에서 이동중인 저속 단말은 중첩되어 있는 마이크로셀의 경계에 도달하면 테이크백을 시도할 수 있다.

다음은 단말의 속도에 따라 정의되는 파라미터들이다.

- 시스템에 발생하는 호의 발생율은 고속 단말은 λ_H , 저속 단말은 λ_S 이며, 핸드오프 호의 도착율은 고속 단말의 경우에는 λ_{MH} , 저속 단말의 경우에는 λ_{MS} 이다. 호 발생시에 일어나는 오버플로우인 경우에는 λ_H, λ_S 에 포함되고 마찬가지로 핸드오프 호의 오버플로우 경우에는 $\lambda_{MH}, \lambda_{MS}$ 에 포함되므로 따로 명시하지 않는다.

- 하나의 호가 진행 중에 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(unencumbered call duration time)을 T_C 라 하며, 이 때의 호 완료율(call completion rate)은 μ_C 이다.

- 단말이 한 셀에서 머무르는 시간(cell dwell time)은 고속 단말은 매크로셀에서 T_{Mdf} , 마이크로셀에서 T_{mdf} 이며, 저속 단말의 경우에는 각각 T_{Mds}, T_{mds} 이다. 이 때 고속 단말과 저속 단말의 셀 이탈율(cell departure rate)은 고속 단말의 경우에는 μ_{Mdf}, μ_{Mds} , 그리고 저속 단말의 경우에는 각각 μ_{mdf}, μ_{mds} 이다.

- 단말의 채널 점유 시간(channel holding time)은 고속 단말의 경우에는 매크로셀 T_{Mct} , 마이크로셀 T_{mct} 이며, 저속 단말의 경우에는 매크로셀에서 T_{Mcs} , 마이크로셀에서는 T_{mcs} 이다. 이 때 시스템 내의 고속단말과 저속 단말의 채널 해제율(channel release rate)은 각각 μ_t, μ_s 이다.

- 단말의 핸드오프 영역 이탈율(handoff area departure rate)은 고속 단말의 경우에는 μ_{Ht} , 저속 단말의 경우에는 μ_{St} 이며, 오버플로우 호의 테이크백율(takeback rate)은 각각 μ_{TBH}, μ_{TBS} 이다.

- 큐의 최대 길이는 Q_M 이고, 큐에 도착하는 호의 도착율은 평균이 λ_Q ($\lambda_Q = \lambda_{HQ} + \lambda_{SQ}$)인 포아송 분포로 가정한다.

2.2 우선 순위 핸드오프 기법 I

고속 단말의 높은 호 강제 종료율을 감소시키기 위해서 특별히 매크로셀에 고속 단말만이 사용할 수 있는 고속 핸드오프 전용 채널을 할당한다. 이는 저속 단말에 비해 상대적으로 한 셀에 머무르는 시간이 짧은 고속 단말이 마이크로셀로 오버플로우하여 진행되는 경우에 겪게 되는 잦은 핸드오프로 인한 핸드오프 호 강제 종료율을 낮추고자하는 방안이다.

다음은 제안하는 핸드오프 기법의 세부 진행 절차이다.

- 1) 속도가 빠른 호와 느린 호는 먼저 각각 자신의 계층 셀에 가용채널이 있는지 확인하고, 가용 채널이 없는 경우에는 중첩되어 있는 다른 계층의 셀로 오버플로우할 수 있다.

1) 매크로셀은 M으로, 마이크로셀은 m으로 표기한다.

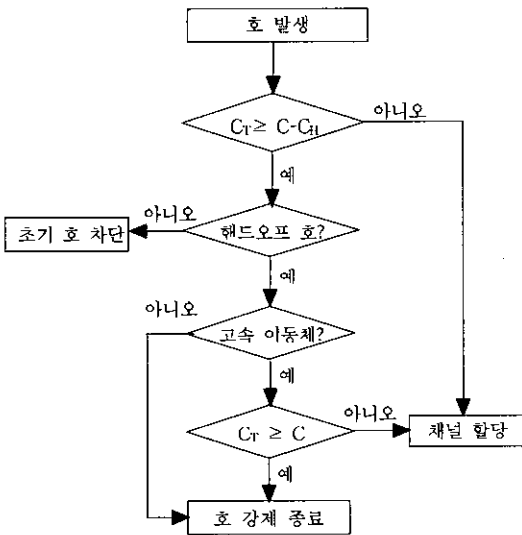
2) 고속 단말과 관련된 파라미터들은 f로, 저속 단말과 관련된 파라미터들은 s로 표기한다.

2) 오버플로우된 호는 올바른 계층의 셀에 가용 채널이 생긴 경우 테이크백을 요청할 수 있는데, 이는 마이크로셀의 경계에 도달해서만이 가능하다. 따라서, 매크로셀로 오버플로우된 호의 경우 실제 매크로셀의 경계가 아닌 가상의 마이크로셀의 경계에 도달하면 테이크백을 요청하게 된다.

3) 만약 전체 $C-C_{H1}$ 개의 채널이 모두 사용중이라면, 새로 발생한 호와 저속 핸드오프 호는 차단된다. 특별히 고속 핸드오프 호의 경우에는 사용중인 채널의 수가 전체 채널 C 보다 작다면, 핸드오프 전용채널을 이용할 수 있다.

4) 가용 채널이 없다면 모든 호는 차단된다.

그림 2는 우선 순위 핸드오프 기법 I의 호 처리 절차를 나타낸다.



* C_T 는 시스템 내에 현재 사용중인 전체 채널의 수를 나타낸다.

그림 2 우선 순위 핸드오프 기법 I의 호 처리 절차

2.3 우선 순위 핸드오프 기법 II

핸드오프 우선 순위 기법 I을 도입함으로써 고속 단말과 저속 단말간의 핸드오프 강제종료율 차이를 줄일 수 있었다. 그러나 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이, 시스템에 도달하는 트래픽의 양이 증가하면 전체 시스템의 핸드오프 호 강제 종료율이 크게 증가하게 된다. 고속 핸드오프 호 전용 채널과 함께 핸드오프 호를 위한 큐를 도입한다. 큐는 서로 다른 두 속도 그룹의 핸드오프 호를 모두 수용하며 큐에 저장된 호들은 FIFO 방식으로 처리함으로써, 고속 핸드오프 호 전용 채널의 사

용으로 얻게 된 고속 및 저속 단말간의 핸드오프 호 강제 종료율의 차에 대한 이득은 그대로 유지하면서 전체적인 핸드오프 호 강제 종료율은 낮추어 주도록 하였다.

핸드오프 우선 순위 기법 II를 이용한 시스템은 다음과 같은 단계로 진행된다.

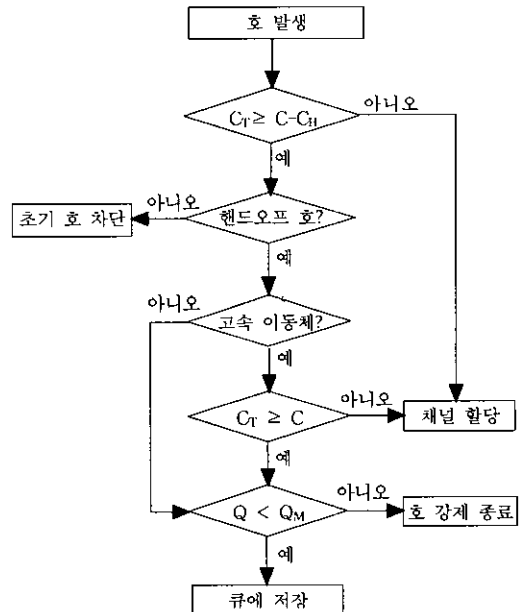
1) 고속과 저속 단말의 호는 새로운 셀에 도착하면, 우선 자신의 올바른 계층의 셀에 가용채널이 있는지 확인한다.

2) 적절한 셀에 가용 채널이 없는 경우에 호는 다른 계층의 셀로 오버플로우할 수 있다. 이 때, 중첩되어 있는 다른 계층에도 가용한 채널이 없다면 새로 발생한 호는 차단된다.

3) 오버플로우된 호는 올바른 계층의 셀에 가용 채널이 생긴 경우에는 테이크백을 요청할 수 있는데, 이는 마이크로셀의 경계에 도달해서만이 가능하다. 따라서, 매크로셀로 오버플로우된 호의 경우에 실제 매크로셀의 경계가 아닌 가상의 마이크로셀의 경계에 도달하면 테이크백을 요청하게 된다.

4) 2)에서 채널을 할당받지 못한 호가 핸드오프 호인 경우에 핸드오프 큐가 다 차지 않았다면 큐에 저장되고 가용 채널이 생기면 우선적으로 처리된다.

5) 전체 채널이 모두 사용중이고, 큐의 버퍼가 다 차면 호는 차단된다.



* Q 는 시스템 내에 현재 사용중인 큐의 길이를 나타낸다.

그림 3 우선 순위 핸드오프 기법 II의 호 처리 절차

그림 3은 우선 순위 핸드오프 기법 II의 호 처리 절차를 나타낸다.

3. 시스템 성능 분석

3.1 트래픽 모델

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

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

유사하게, 저속 단말에 대한 매크로셀에서의 거주시간(T_{Mds})과 마이크로 셀 거주 시간(T_{mds})을 다음과 같이 정의할 수 있다.

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

$$T_{mds} = \frac{1}{\mu_{mds}} = \frac{\pi R_m}{2V_s} \quad (4)$$

고속 단말의 마이크로셀에서의 거주 시간(T_{mdf})이나 저속 단말의 매크로셀에서의 거주 시간(T_{Mds})은 오버플로우된 호들의 거주 시간을 나타내는 것이므로, 다음과 같이 다시 정의할 수 있다.

$$T_{mdf}' = \frac{1}{\mu_{frn}} = \frac{\pi R_m}{2V_f} = T_{mdf} \quad (5)$$

$$T_{Mds}' = \frac{1}{\mu_{str}} = \frac{\pi R_M}{2V_s} * \frac{1}{N} = T_{Mds} \quad (6)$$

한편, 단말의 채널 점유 시간은 단말이 다른 셀로 핸드오프하기 전까지 채널을 점유하고 있는 시간으로 단말의 셀 거주 시간과 마찬가지로 단말의 속도와 셀 계층에 따라 구분할 수 있다. 채널 점유 시간은 호의 셀 거주시간(T_{Mdf} , T_{Mds})과 호가 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(T_C) 중 작은 값이 된다. 셀 거주시간 T_{Mdf} , T_{Mds} 는 각각 평균 $1/\mu_{Mdf}$, $1/\mu_{Mds}$ 를 가진 지수 분포를 갖고, 호의 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(T_C)는 평균 $1/\mu_C$ 의 지수 분포로 표현된다. 따라서, 진행중인 고속 단말의 매크로셀에서의 채널 점유 시간(T_{Mcf})과 마이크로셀에서의 채널 점유시간(T_{mcf})은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{Mcf} = \min[T_C, T_{Mdf}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{Mdf}} \quad (7)$$

$$T_{mcf} = \min[T_C, T_{mdf}'] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{frn}} \quad (8)$$

(8)에서 고속 단말의 마이크로셀에서의 채널 점유 시간은 오버플로우된 호가 마이크로셀의 셀 경계에 도착할 때까지 마이크로셀의 채널을 점유하고 있는 시간을 나타낸다. 고속 단말과 마찬가지로 저속 단말의 매크로셀과 마이크로셀에서의 평균 채널 점유 시간(T_{Mcs} , T_{mcs})은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{Mcs} = \min[T_C, T_{Mds}, T_{mds}'] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{Mds} + \mu_{str}} \quad (9)$$

$$T_{mcs} = \min[T_C, T_{mds}] = \frac{1}{\mu_C + \mu_{mds}} \quad (10)$$

(9)에서 오버플로우된 저속 단말은 중첩된 마이크로셀의 경계에 도달할 때마다 테이크백을 시도하며, 마이크로셀로의 테이크백이 이루어질 때까지 매크로셀의 채널을 점유한다. 따라서, 저속 단말의 매크로셀에서의 평균 채널 점유 시간은 호가 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(T_C)과 매크로셀에서의 셀 거주 시간(T_{Mds})과 마이크로셀 경계에서 테이크백할 때까지 매크로셀에서 머무르는 시간(T_{Mds}')의 세 가지 성분을 모두 포함한다.

3.2 수치적 성능 분석

제안한 시스템의 성능을 분석하기 위하여 2차원 마코프 과정을 도입한다. 셀의 상태는 (i,j,k)에 의해 나타내며, i는 매크로셀에서 사용중인 채널의 수, j는 마이크로셀에서 사용중인 채널의 수, 그리고 k는 큐에 대기중인 호의 수를 각각 나타낸다. 제안하는 계층 구조 시스템의 상태 전이도는 그림 4와 같다. 제안된 핸드오프 기법 I은 큐의 사용을 제외하면 핸드오프 기법 II와 동일하므로, 그림 4에서 k=0일 때와 같이 생각할 수 있다.

그림 4의 상태 전이도에 따라 시스템내의 평형 상태 확률(equilibrium probability) $P(i,j,k)$ 를 다음의 상태 평형 방정식들(state balance equations)을 이용하여 나타낼 수 있다.

· 가용 채널이 충분하여 모든 종류의 호를 수락할 수 있는 경우이다.

$$\begin{aligned} & [\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH} + \delta^-(i,0) \mu_f + \delta^-(j,0) \mu_s] P(i, j, 0) \\ & = [\delta^-(i,0) (\lambda_f + \lambda_{fH})] P(i-1, j, 0) + (i+1) \mu_f P(i+1, j, 0) \\ & + [\delta^-(j,0) (\lambda_s + \lambda_{sH})] P(i, j-1, 0) + (j+1) \mu_s P(i, j+1, 0) \\ & 0 \leq i < C_M - C_H, 0 \leq j < C_m, k = 0 \quad (11) \end{aligned}$$

· 마이크로셀의 채널은 가용하나 매크로셀의 경우에는 고속 핸드오프 호 전용 채널만이 가용한 경우이다. 따라서 고속 초기호는 마이크로셀로 오버플로우한다.

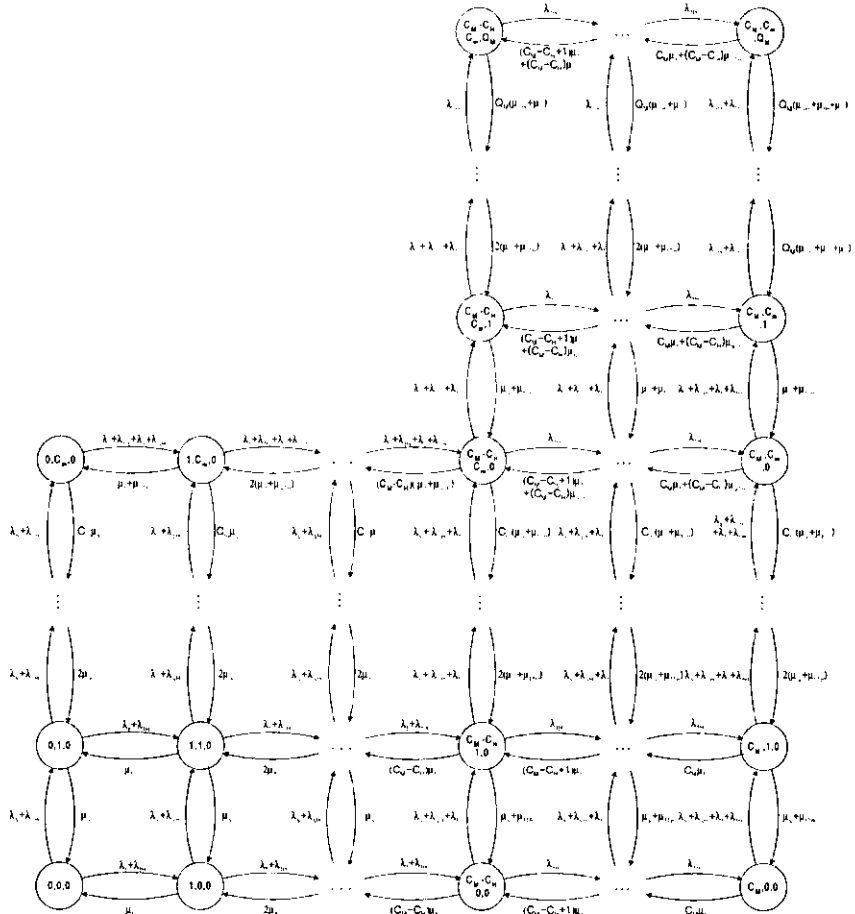


그림 4 시스템 상태 전이도

$$\begin{aligned}
 & [\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH} + i\mu_f + \bar{\delta}(j,0)j(\mu_s + \mu_{fTB})]P(i, j, 0) \\
 & = [\delta(i, C_M - C_H)\lambda_f + \lambda_{fH}]P(i-1, j, 0) + (i+1)\mu_f P(i+1, j, 0) \\
 & + [\bar{\delta}(j, 0)(\lambda_f + \lambda_s + \lambda_{sH})]P(i, j-1, 0) \\
 & + (j+1)(\mu_s + \mu_{fTB})P(i, j+1, 0)
 \end{aligned}$$

$$C_M - C_H \leq i < C_M, \quad 0 \leq j < C_m, k=0 \quad (12)$$

• 마이크로셀의 채널은 가용하나 매크로셀의 모든 채널은 이미 사용중인 경우이다. 따라서, 고속 초기호와 고속 핸드오프호는 마이크로셀로의 오버플로우한다.

$$\begin{aligned}
 & [\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH} + C_M \mu_f + \bar{\delta}(j, 0)j(\mu_s + \mu_{fTB})]P(i, j, 0) \\
 & = \lambda_{fH} P(i-1, j, 0) + [\bar{\delta}(j, 0)(\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH})]P(i, j-1, 0) \\
 & + (j+1)(\mu_s + \mu_{fTB})P(i, j+1, 0)
 \end{aligned}$$

$$i = C_M, \quad 0 \leq j \leq C_m, \quad k=0 \quad (13)$$

• 마이크로셀의 채널은 모두 사용중이고 매크로셀의 채널은 사용가능한 경우이다. 따라서 저속호의 매크로셀로의 오버플로우가 발생한다.

$$\begin{aligned}
 & [\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH} + \bar{\delta}(i, 0)i(\mu_f + \mu_{sTB}) + C_M \mu_S]P(i, j, 0) \\
 & = [\bar{\delta}(i, 0)(\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH})]P(i-1, j, 0) \\
 & + (i+1)(\mu_f + \mu_{sTB})P(i+1, j, 0) + (\lambda_s + \lambda_{sH})P(i, j-1, 0)
 \end{aligned}$$

$$0 \leq i < C_M - C_H, \quad j = C_m, \quad k=0 \quad (14)$$

• 매크로셀의 고속 핸드오프 호 전용 채널을 제외한 모든 채널이 사용중인 경우이다. 이 경우에는 고속 핸드오프 호 만이 채널을 점유할 수 있고, 다른 호들은 채널을 점유하지 못하고 강제종료된다.

$$\begin{aligned}
 &[\lambda_{fH} + i\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB} + C_m(\mu_s + \mu_{fTB})]P(i, j, 0) \\
 &= [\delta(i, C_M - C_H)(\lambda_s + \lambda_{sH} + \lambda_f) + \lambda_{fH}]P(i-1, j, 0) \\
 &+ [(i+1)\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB}]P(i+1, j, 0) \\
 &+ (\lambda_f + \lambda_s + \lambda_{sH})P(i, j-1, 0) + (\mu_{sH} + \mu_C)P(i, j+1, k+1)
 \end{aligned}$$

$$C_M - C_H \leq i < C_M, \quad j = C_m, \quad k = 0 \quad (15)$$

• 매크로셀과 마이크로셀의 모든 채널이 점유되어 있는 경우의 상태 평형 방정식을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 &[\lambda_{fH} + \lambda_{sH} + C_M\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB} + C_m(\mu_s + \mu_{fTB})]P(i, j, 0) \\
 &= \lambda_{fH}P(i-1, j, 0) + (\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH})P(i, j-1, 0) \\
 &+ (\mu_{fH} + \mu_{sH} + \mu_C)P(i, j+1, k+1)
 \end{aligned}$$

$$i = C_M, \quad j = C_m, \quad k = 0 \quad (16)$$

• 매크로셀의 고속 핸드오프 호 전용 채널을 제외한 모든 채널이 사용중인 경우이다. 이 경우에는 고속 핸드오프 호만이 채널을 점유할 수 있고, 초기호들은 차단된다. 단, 저속 핸드오프 호의 경우에는 큐가 다 차지 않았다면 큐에서 가용 채널이 생길때까지 대기할 수 있다. 큐에서의 상태 전이를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 &[\lambda_{fH} + \delta(k, Q_M)\lambda_{sH} + \delta(i, C_M - C_H)(i\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB}) \\
 &+ k(\mu_{sH} + \mu_C)]P(i, j, k) \\
 &= \delta(i, C_M - C_H)\lambda_{fH}P(i-1, j, k) + [(C_M - C_H)\mu_f \\
 &+ ((i+1)\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB})P(i+1, j, k) \\
 &+ \lambda_{sH}P(i, j, k-1) + \delta(k, Q_M)(k+1)(\mu_{sH} + \mu_C)]P(i, j, k+1)
 \end{aligned}$$

$$C_M - C_H \leq i < C_M, \quad j = C_m, \quad 0 < k \leq Q_M \quad (17)$$

• 매크로셀과 마이크로셀의 모든 채널이 사용중인 경우이다. 이 때, 큐가 다 차지 않은 경우에는 고속 및 저속 핸드오프 호는 큐에서 대기할 수 있다. 큐에서의 상태 전이를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 &[\delta(k, Q_M)(\lambda_{fH} + \lambda_{sH}) + C_M\mu_f + (C_M - C_H)\mu_{sTB} \\
 &+ k(\mu_{fH} + \mu_{sH} + \mu_C)]P(i, j, k) \\
 &= (i-1)\lambda_{fH}P(i-1, j, k) + (\lambda_{fH} + \lambda_{sH})P(i, j, k-1) \\
 &+ [\delta(k, Q_M)(k+1)(\mu_{sH} + \mu_{fH} + \mu_C)]P(i, j, k+1)
 \end{aligned}$$

$$i = C_M, \quad j = C_m, \quad 0 < k \leq Q_M \quad (18)$$

그림4의 상태 평형 방정식에서 $\delta(x, y)$ 와 $\bar{\delta}(x, y)$ 는 크로네커 델타 함수(kronecker delta function)로 다음과 같이 정의된다.

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq y \end{cases} \quad (19)$$

$$\bar{\delta}(x, y) = \begin{cases} 1, & x \neq y \\ 0, & x = y \end{cases} \quad (20)$$

한편 모든 시스템 내의 상태 확률(state probability)의 합은 1이므로 시스템의 상태 전이도를 이용하여 다음의 수식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{i=0}^{C_M} \sum_{j=0}^{C_m} \sum_{k=0}^{Q_M} P(i, j, k) = 1 \quad (21)$$

위의 방정식에서 구해진 $P(i, j, k)$ 를 이용하여, 시스템의 성능 평가를 위한 성능 분석 파라미터를 구할 수 있다. 우선 순위 핸드오프 기법 I은 우선 순위 핸드오프 기법 II에서 큐를 나타내는 k 가 0인 경우와 동일한 결과를 나타내므로, 본 논문에서는 상태 전이도에서와 마찬가지로 우선 순위 핸드오프 기법 II만을 분석한다. 초기호 차단은 참조 계층셀의 고속 핸드오프 호 전용 채널을 제외한 모든 채널이 점유되어 있을 때 발생하므로 초기 호 차단 확률(new call blocking probability)은 그림 4의 상태 전이도를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_B = \sum_{i=C_M - C_H + 1}^{C_M} \sum_{j=C_m}^{Q_M} P(i, j, k) \quad (22)$$

마찬가지로 매크로셀과 마이크로셀간 오버플로우와 테이크백 확률을 구할 수 있다. 식(23) - (26)은 단말의 오버플로우 확률(overflow probability)을 나타내는 것으로 식(23)과 (24)은 각각 고속 단말의 초기 호와 핸드오프 호의 오버플로우 확률을, 식(25)와 (26)은 저속 단말의 초기 호와 핸드오프 호의 오버플로우 확률을 나타낸다.

$$P_{fNor} = \sum_{i=C_M - C_H + 1}^{C_M} \sum_{j=1}^{C_m - 1} P(i, j, 0) \quad (23)$$

$$P_{fHor} = \sum_{i=C_M}^{C_m} \sum_{j=1}^{C_m - 1} P(i, j, 0) \quad (24)$$

$$P_{sNor} = \sum_{i=1}^{C_M - C_H} \sum_{j=C_m} P(i, j, 0) \quad (25)$$

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

유사하게, 식(27)과 (28)은 각각 고속 단말의 초기 호와 핸드오프 호의 테이크백 확률(take-back probability)을, 식(29)과 (30)은 저속 단말의 초기 호와 핸드오프 호의 테이크백 확률을 나타낸다.

$$P_{fTB} = \frac{\mu_{fTB}}{P_{fNor} \cdot \lambda_f} \quad (27)$$

$$P_{fHTB} = \frac{\mu_{fHTB}}{P_{fHor} \cdot \lambda_{fH}} \quad (28)$$

$$P_{sNrb} = \frac{\mu_{srb}}{P_{sNor} \cdot \lambda_s} \quad (29)$$

$$P_{sHrb} = \frac{\mu_{srb}}{P_{sHor} \cdot \lambda_{sH}} \quad (30)$$

따라서, 시스템에서 발생하는 오버플로우 대 테이크백의 비율(γ)을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\gamma = \frac{P_{\beta Nrb} + P_{\beta Hrb} + P_{sNrb} + P_{sHrb}}{P_{\beta Nor} + P_{\beta Hor} + P_{sNor} + P_{sHor}} \quad 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (31)$$

여기에서 γ 은 채널 부족으로 인하여 자신의 올바른 셀에 할당되지 못한 호들이 오버플로우 된 후 마이크로셀 경계에서 얼마나 많이 자신의 셀로 테이크백되는지를 나타낸다. 따라서, γ 의 값이 클수록 더 많은 호들이 올바른 셀로 이동하게 되고 전체 시스템이 보다 효율적임을 나타낸다.

한편, 고속 및 저속 핸드오프 호의 핸드오프 호 차단율(handoff dropping probability)은 각각 식(32)와 (33)으로 나타낼 수 있다.

$$P_{\beta HD} = \sum_{i=C_M} \sum_{j=C_M} \sum_{k=Q_M} P(i, j, k) \quad (32)$$

$$P_{sHD} = \sum_{i=C_M-C_H+1}^{C_M} \sum_{j=C_M} \sum_{k=Q_M} P(i, j, k) \quad (33)$$

$$Q_L = \sum_{i=C_M-C_H}^{C_M} \sum_{j=C_M} \sum_{k=1}^{Q_M} P(i, j, k) \quad (34)$$

구해진 큐의 길이를 이용하여 큐에 대기중인 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호가 서비스를 받지 못하고 핸드오프 영역을 벗어날 확률을 다음과 같이 각각 구할 수 있다[11].

$$P_{\beta TO} = \frac{\mu_{\beta} \cdot Q_L}{(1 - P_{\beta HD}) \cdot \lambda_{\beta H}} \quad (35)$$

$$P_{sTO} = \frac{\mu_{sH} \cdot Q_L}{(1 - P_{sHD}) \cdot \lambda_{sH}} \quad (36)$$

따라서 식 (32)에서 (36)를 통하여 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프 호의 강제 종료율을 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$P_{\beta FT} = P_{\beta HD} + (1 - P_{\beta HD}) \cdot P_{\beta TO} \quad (37)$$

$$P_{sFT} = P_{sHD} + (1 - P_{sHD}) \cdot P_{sTO} \quad (38)$$

4. 시뮬레이션

제안하는 두 가지 핸드오프 기법의 성능을 분석하기 위하여, 다음과 같은 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수

행하였다. Jabbari의 모델과의 비교를 위하여 시뮬레이션 환경은 [9]를 기반으로 구축하였다. 시스템 구조는 그림 1에서와 같이 하나의 매크로셀이 4개의 마이크로셀과 중첩되어 있고, 매크로셀과 마이크로셀 반경은 각각 400m, 200m이다. 일반적으로 매크로셀에서 셀 반경의 20%를 핸드오프 영역으로 두는데 반해 본 논문에서는 마이크로셀 반경의 10%를 핸드오프 영역으로 두었다. 이는 마이크로셀이 매크로셀에 비해 짧은 핸드오프 영역을 가짐을 기반으로 한 것이다. 하나의 매크로셀의 가용 채널 수 C_M 은 29개, 각 마이크로셀의 채널 수 C_m 은 7개로 두었다. 고속 단말의 평균 속도 V_h 는 30km/h, 저속 단말의 평균 속도 V_s 는 5km/h로 주었으며, 단말의 이동 방향은 한 호가 유지되는 동안 일정하게 유지되도록 하였다. 발생한 호의 평균 호 지속 시간은 110초로 두었으며, 시뮬레이션의 결과는 3장의 확률값을 이용한 이론적인 분석 결과와 핸드오프 호에 우선 순위를 부여하지 않은 Jabbari 모델[9]과 비교하여 나타낸다.

그림 5는 제안한 첫 번째 핸드오프 우선순위 기법의 초기 호 차단율을 나타내고, 그림 6과 7은 고속 및 저속 핸드오프 호 강제종료율을 각각 나타낸 것이다. 핸드오프 호 전용 채널의 개수가 초기호와 핸드오프 호 차단율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 핸드오프 호 전용 채널수를 3개까지 변화시켜 가며 실험하였다. 또한, 실험 결과는 앞서 3장에서 제안한 마코프 과정을 이용하여 얻은 이론적인 결과와 비교하여 나타내었다. 이론치의 계산은 핸드오프 호 전용 채널을 하나만 두었을 때에만 수행하였다. 따라서, 핸드오프 기법 I의 하나의 전용 채널을 둔 경우와 비교해서 살펴볼 수 있다. 특별히 저속 핸드오프 호의 강제종료율을 나타낸 그림 7에서 이론적인 결과치는 시뮬레이션 결과값과 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 3장의 수식에서 큐를 두지 않은 경우의 저속핸드오프 호 강제종료율은 초기 호 차단율과 동일하게 나타나기 때문이다.

한편, 핸드오프 전용 채널 수를 변화시켜 가며 실험한 경우, 그래프에서도 알 수 있듯이 핸드오프 호 전용 채널의 수를 늘이면 핸드오프 호 강제 종료율은 당연히 낮아지지만, 전용 채널이 1개인 경우에 고속 핸드오프 호와 저속 핸드오프호의 강제종료율의 차가 가장 적게 나타남을 볼 수 있다. 또한 고속 호 전용 채널을 증가시키면 저속 핸드오프 호의 강제 종료율이 상대적으로 높아짐을 알 수 있다. 따라서, 지나친 채널의 낭비를 막고 고속 호와 저속 호의 강제 종료율에서의 QoS를 동일하게 유지하기 위하여 주어진 환경에서는 하나의 전용 채널을 사용하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

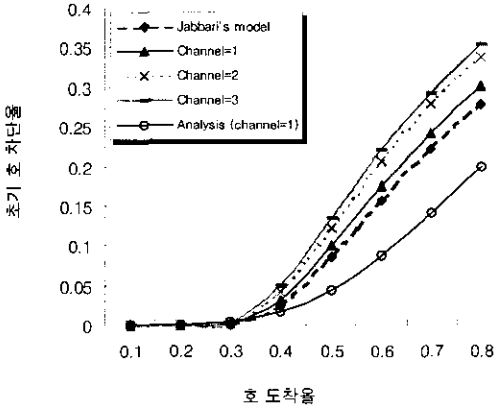


그림 5 핸드오프 기법 I에서의 초기 호 차단율

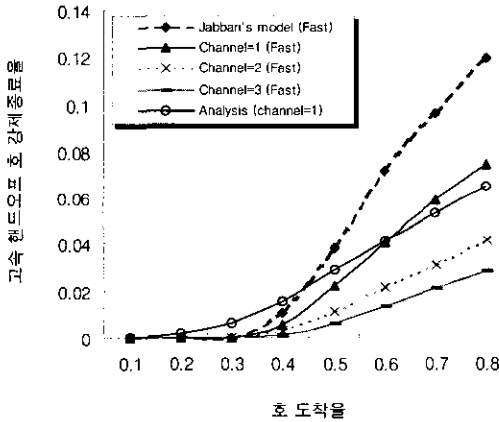


그림 6 핸드오프 기법 I에서의 고속 핸드오프 호 강제 종료율

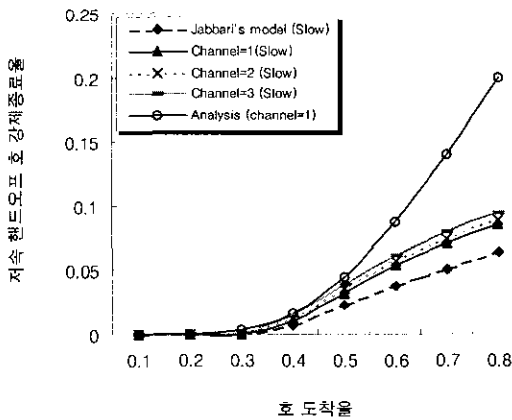


그림 7 핸드오프 기법 I에서의 저속 핸드오프 호 강제 종료율

다음으로, 제안된 핸드오프 기법 II에서는 하나의 고속 핸드오프 호 전용 채널을 기본으로 두고 큐의 길이를 변화시켜가며 실험하였다. 그림 8은 큐의 길이 변화에 따른 초기 호 차단율을 나타낸 것이고, 그림 9와 10은 핸드오프 호 강제 종료율을 나타내었다. 본 시뮬레이션 결과에서 유의하여 볼 점은 큐의 길이가 무한으로 제공될 때와 큐의 길이가 2인 경우의 초기 호 차단율과 핸드오프 호 강제종료율이 동일하게 나타난다는 점이다. 이는 큐를 도입함으로써 호가 핸드오프 순간에 채널을 확보하지 못하여도 바로 강제 종료되지 않고 큐에 대기하여 핸드오프 재시도를 할 수 있으나, 한 호가 큐에 머무를 수 있는 시간이 핸드오프 영역에 의해 제한되기 때문에 나타난 결과이다. 따라서, 본 논문에서 제공하는 것과 같은 환경에서는 큐의 길이가 2일 때 큐의 효율이 가장 높게 나타난다.

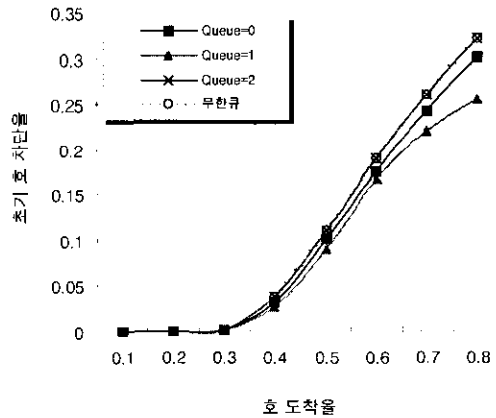


그림 8 핸드오프 기법 II에서의 초기 호 차단율

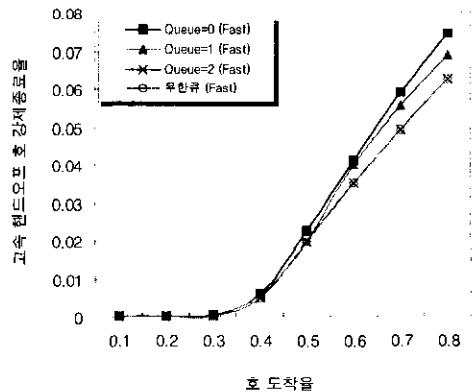


그림 9 핸드오프 기법 II에서의 고속 핸드오프 호 강제 종료율

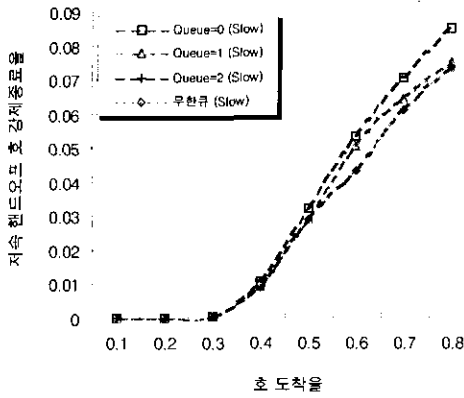


그림 10 핸드오프 기법 II에서의 저속 핸드오프 호 강제 종료율

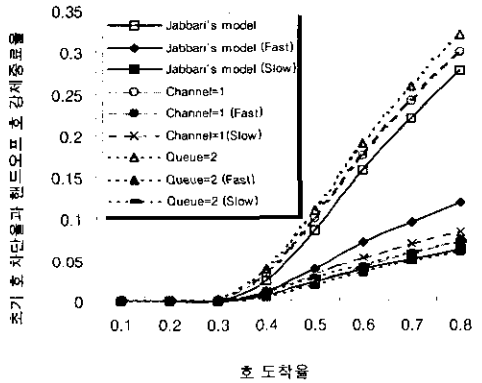


그림 11 초기 호 차단율과 핸드오프 호 강제 종료율

그림 11은 그림 5부터 10에서 각각 채널의 수와 큐의 길이를 조정하여 분석한 결과를 제안된 환경에서 하나의 고속 핸드오프 전용 채널과 길이가 2인 큐를 두고 Jabbari의 핸드오프 기법과 제안한 핸드오프 기법 I 그리고 핸드오프 기법 II의 결과를 비교하기 위해 통합하여 나타낸 그래프이다. 먼저, 초기 호 차단율을 비교해 볼 때, 핸드오프 기법 II의 결과가 가장 높게 나타남을 볼 수 있다. 이는 셀에 새로 발생하는 발생 호보다 큐에서 대기중인 핸드오프 호를 우선적으로 처리해 줌으로써 나타나는 결과이다. 한편, 핸드오프 호 강제 종료율에서는 제안된 두 가지 핸드오프 기법들은 고속 핸드오프 호 전용 채널을 사용함으로써 초기 호 차단율에서 약 2% 정도의 증가를 초래하지만 고속과 저속 단말간의 핸드오프 호 강제 종료율에 있어서는 차이가 크게 감소함을 알 수 있다. 특히, 핸드오프 기법 II는 초기 호 차

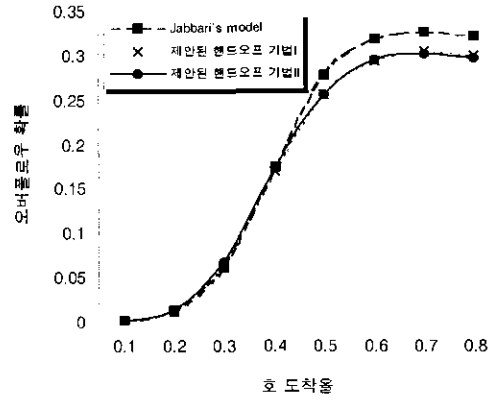


그림 12 핸드오프 기법에 따른 오버 플로우 확률

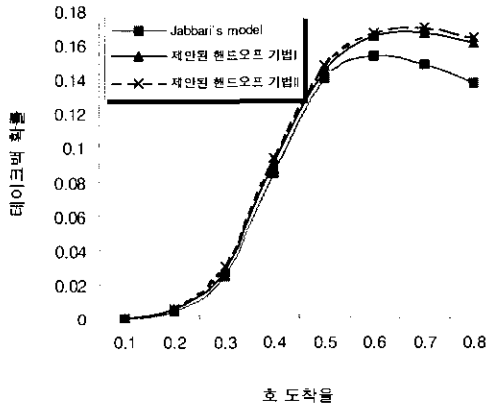


그림 13 핸드오프 기법에 따른 테이크백 확률

단율은 약 5% 정도로 조금 높게 나타나지만, 고속 핸드오프 호 전용 채널의 도입으로 얻어진 고속 호와 저속 호 간의 강제 종료율의 차를 그대로 유지하면서 전체적인 핸드오프 강제 종료율을 낮추어줌을 볼 수 있다. 이는 제안된 핸드오프 기법 II에 도입된 큐가 고속 호와 저속 호 모두에 공평하게 제공됨을 나타낸다.

그림 12와 13은 각각 오버플로우와 테이크백 확률을 나타낸 것이다. 제안된 두 가지 핸드오프 기법은 기존의 모델에서 보다 낮은 오버플로우 확률과 보다 높은 테이크백 확률을 나타낸다. 이러한 결과를 통하여 제안된 두 가지 핸드오프 기법은 기존의 방식에 비해 보다 많은 호가 자신의 올바른 셀 계층의 채널을 할당받도록 함을 알 수 있다. 그림 14에서는 초기 호 도착율의 증가에 따른 γ 값의 변화량을 나타낸 것이다. 이는 실제로 얼마나 많은 수의 오버플로우된 호들이 자신의 올바른 셀 계층으로 테이크백 되는지를 나타낸 것으로, 제안된 핸드오

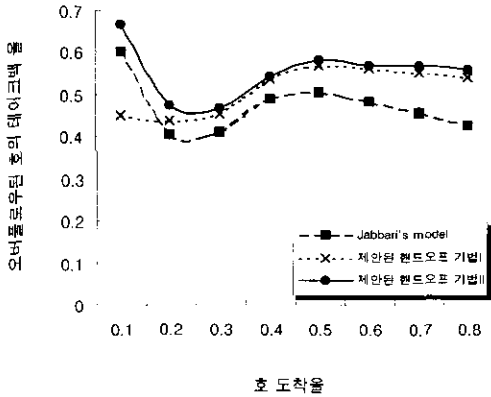


그림 14 핸드오프 기법에 따른 오버플로우 대 테이크백 비율

프 기법 II가 가장 높은 오버플로우 대 테이크백율을 나타냄을 알 수 있다. 그림 14의 결과를 통하여 제안된 두 가지 핸드오프 기법들이 기존의 방식에 비해 훨씬 더 효율적임을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 채널의 효율적인 사용을 위해 매크로셀과 마이크로셀 간 오버플로우와 테이크백을 허용하는 두 가지의 핸드오프 우선순위 기법들을 제안하였다. 우선 고속 단말의 핸드오프 강제 종료율을 낮추기 위한 방안으로 매크로셀에 고속 핸드오프 호 전용 채널을 도입하였으며, 다음으로 속도에 관계없이 시스템 내의 전체적인 핸드오프 호 강제 종료율을 낮게 유지하도록 하기 위하여 마이크로셀 경계에 핸드오프 호만을 위한 큐를 도입하는 핸드오프 기법을 제안하였다. 또한, 제안된 두 가지 핸드오프 기법들을 2차원 마코프 과정을 이용하여 수치적으로 분석하고, 보다 다양한 성능 파라미터들을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 특별히 초기 호 차단율과 핸드오프 호 강제 종료율 이외에 단말의 오버플로우 및 테이크백 확률, 핸드오프 영역에서 머무를 확률 등 다양한 확률들의 수치적인 분석을 시도하였다.

시뮬레이션 결과 고속 핸드오프 호 전용 채널을 두었을 때, 고속 단말의 핸드오프 호 강제 종료율이 저속 단말의 핸드오프 호 강제 종료율과 유사하게 유지됨을 보였다. 제안된 핸드오프 기법 II에서는 고속 핸드오프 호 전용 채널과 핸드오프 호를 위한 큐를 동시에 사용하여 서로 다른 속도 그룹에 속한 호들의 강제 종료율을 유사하게 유지하면서 전체적인 핸드오프 호 강제 종료율을

을 낮게 유지할 수 있음을 입증하였다. 또한, 오버플로우와 테이크백율의 비교를 통하여 제안된 두 가지 핸드오프 기법들이 기존의 핸드오프 기법보다 효율적임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] B. Senadji, "New Handover Decision Algorithm for Microcellular Systems," in Proc. IEEE VTC'97, pp. 314-318, May, 1997
- [2] D. J. Lee, C. K. Un and B. C. Kim, "An Improved Soft Handover Initiation Algorithm in Microcellular Environment," in IEEE ICUPC'96, pp.310-314, 1996
- [3] M. Ruggieri, "A Handoff Algorithm for DS-CDMA Mobile Networks in a Urban Microcellular Environment," in IEEE ICUPC'96, pp.300-304, 1996
- [4] R. Beraldi, S. Marano, and C. Mastroianni, "A Reversible Hierarchical Scheme for Microcellular Systems with Overlaying Macrocells," in Proc. IEEE INFOCOM'96, pp. 51-58, 1996
- [5] S. Marano, C. Mastroianni, "A Hierarchical Network Scheme for Multilayered Cellular Systems," in Proc. IEEE VTC'97, pp. 1792-1796, May, 1997
- [6] 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
- [7] 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
- [8] C. Mihailescu, X. Lagrange and D. Zeghlache, "Analysis of a Two-Layer Cellular Mobile Communication System," in Proc. IEEE VTC'97, pp. 954-958, 1997
- [9] B. Jabbari and W. F. Fuhrmann, "Teletraffic Modeling and Analysis of Flexible Hierarchical Cellular Networks with Speed-Sensitive Handoff Strategy," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 15, no. 8, pp. 1539-1648, Jan. 1997
- [10] Q. A. Zeng, K. Mukumoto and A. Fukuda, "Performance Analysis of Mobile Cellular Radio System with Two-level Priority Reservation Handoff Procedure," IEICE Trans. Commun., vol. E80-B, pp. 598-607, April 1997
- [11] B. Jabbari, "Teletraffic aspects of Evolving and Next Generation Wireless Communication Networks," IEEE Personal Commun., pp. 4-9, Dec. 1996



이 상 희

1998년 2월 강남대학교 전자계산학과 졸업, 학사. 2000년 2월 아주대학교 정보통신공학과 졸업. 석사. 2000년 9월 ~ 현재 아주대학교 정보통신공학과 박사 과정. 관심분야는 이동통신, 핸드오프, 무선 인터넷, Mobile IP



임 재 성

1983년도 2월 아주대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1985년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (석사). 1994년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (박사). 1985년 1월 ~ 1988년 3월 대우통신(주) 전임연구원. 1988년 4월 ~ 1995년 9월 (주)디지털 정보통신연구소 책임연구원. 1995년 10월 ~ 1998년 1월 SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원. 1998년 3월 ~ 현재 아주대학교 정보통신전문대학원 조교수. 관심분야는 이동 통신, 디지털 통신, 디지털 신호처리