

계층셀 시스템 환경에서 멀티미디어 호의 오버플로우를 허용한 채널할당기법 성능분석

(Performance Analysis of Channel Allocation Schemes Allowing
Multimedia Call Overflows in Hierarchical Cellular Systems)

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

요 약 본 논문에서는 음성호와 멀티미디어호가 공존하는 환경에서 트래픽의 특성을 이용한 두 가지 적응적 채널할당 기법들을 제안하고 분석한다. 제안된 채널 할당 기법들은 매크로셀과 마이크로셀이 중첩되어 있는 계층셀 구조 환경에서 저속 음성호의 마이크로셀로의 오버플로우와 테이크백, 적응성 멀티미디어 호의 매크로셀로의 오버플로우 및 테이크백을 허용한다. 또한 제안하는 채널할당기법 II[5]에서는 비적응성호의 QoS보장을 위하여 적응성호의 채널 전송속도를 조절하여 비적응성호에게 제공할 수 있도록 하였다. 제안된 기법들은 각 계층에 따라 2차원 마코프 과정을 이용하여 분석되었으며, 본 논문에서는 제안하는 기법 I에 대한 수학적 분석 모델을 제시한다. 제안하는 2가지 적응적 채널 할당 기법과 수학적 분석의 결과는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 고정적인 시스템 및 계층셀 구조를 고려한 2가지 기존 시스템들과 성능을 비교하였다. 또한 제안하는 기법들의 효율을 확인하기 위하여 오버플로우와 테이크백 확률을 도출하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 2가지 기법 모두 고정적인 시스템 및 기존 시스템에 비해 채널의 효율적인 사용 및 핸드오프 호 강제종료율의 측면에서 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

키워드 : 계층셀 시스템, 오버플로우, 테이크백, 적응적 채널할당 기법

Abstract In this paper, we propose and analyze two adaptive channel allocation schemes for supporting multimedia traffics in hierarchical cellular systems. It is guaranteed to satisfy the required quality of service of multimedia traffics according to their characteristics such as a mobile velocity for voice calls and a delay tolerance for multimedia calls. In the scheme I, only slow-speed voice calls are allowed to overflow from macrocell to microcell and only adaptive multimedia calls can overflow from microcell to macrocell after reducing its bandwidth to the minimum channel bandwidth. In the scheme II, in addition to the first scheme, non-adaptive multimedia calls can occupy the required channel bandwidth through reducing the channel bandwidth of adaptive multimedia calls. The proposed scheme I is analyzed using 2-dimensional Markov model. Through computer simulations, the analysis model and the proposed schemes are compared with the fixed system and two previous studies. In the simulation result, it is shown that the proposed schemes yield a significant improvement in terms of the forced termination probability of handoff calls and the efficiency of channel usage.

Key words : hierarchical cellular system, overflow, takeback, adaptive channel allocation schemes

1. 서 론

[†] 비 회 원 : 아주대학교 정보통신공학과
dreami@ajou.ac.kr

^{**} 종신회원 : 아주대학교 정보통신대학 교수
jaslim@ajou.ac.kr

논문접수 : 2001년 12월 17일
심사완료 : 2003년 3월 4일

초기의 이동통신 환경에서는 가입자 대부분이 전화를 이용한 통화만을 목적으로 하였기 때문에, 이동환경에 대한 연구 역시 음성호만을 전제로 수행되어 왔다. 그러나 이동통신 기술이 발전함에 따라 음성 서비스뿐만 아니라 웹서핑, 파일 송수신과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 이동환경에서 제공하기에 이르렀고, 이에 따라 무

선 환경에서의 채널 할당 기법에 관한 연구에서도 음성 호뿐만 아니라 멀티미디어호들도 고려하는 추세이다.

특히 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 데이터호들에 대한 연구는 서비스를 제공받기 위하여 넓은 대역폭을 요구하므로, 기존에 존재하는 협대역의 매크로셀보다는 넓은 대역폭을 제공하는 마이크로셀 환경에서 주로 수행되었으나[1], 최근에는 매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 환경에서 음성호와 멀티미디어 데이터호를 함께 고려한 채널할당 및 핸드오프 기법들이 제시되고 있다 [2,3].

이러한 무선 멀티미디어 환경에서의 시스템 내에 존재하는 멀티미디어 트래픽 모델을 항상 일정한 대역폭을 제공해 주어야 하는 비적응성호(non-adaptive call)와 최소 요구 대역폭만으로도 서비스가 가능한 적응성호(adaptive call)로 구분할 수 있다[4,5]. 이 경우에서 적응성호는 시스템이 혼잡하여 가용한 채널이 없을 때 비적응성 호에게 채널을 빌려줄 수 있는데, 이러한 방식은 시간 지연에 영향을 적게 받는 적응성호의 채널을 이용하여 시간 지연에 민감하고 항상 요구되는 전체 QoS를 유지하여 주어야 하는 비적응성호의 강제 종료율을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 비적응성호의 측면에서는 큐를 이용하는 방식에서의 무한 지연의 문제점을 해결할 수 있는 방안이다.

이러한 요구에 따라 계층셀 구조 시스템에서 음성호와 데이터호 모두를 고려한 기법[5]이 제안되었다. 제안된 기법은 계층셀 구조 시스템 하에서 음성호의 경우에는 셀 거주 시간이 긴 저속호의 특성을, 멀티미디어 호의 경우에는 보다 낮은 전송 속도와 채널 대역폭에서도 서비스가 가능한 적응성호의 특성을 이용한다. [5]에서는 부분적인 오버플로우와 더불어 비적응성 멀티미디어 호의 높은 핸드오프 강제 종료율을 낮추기 위하여 적응성호의 채널의 일부를 비적응성호에게 대여해주는 방식을 도입한다. 따라서, 본 논문에서는 [5]의 기법에서 제안된 기법을 적응적 채널할당 기법 II로 정의하고, 기법 II에서 채널의 일부를 대여해 주는 방식은 사용하지 않고 부분적인 오버플로우와 테이크백을 고려하여 복잡성을 줄여준 적응적 채널할당 기법 I을 추가로 정의하여 2차원 마코프 모델을 이용하여 분석하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교하였다.

2장에서는 기본적인 시스템 가정 및 제안하는 두 가지 채널할당기법들을 설명하고 3장에서는 제안하는 기법에 대한 수학적 분석을 위한 2차원 마코프 모델을 제시한다. 4장에서는 수학적 분석 결과와 제안된 채널 할당 기법들의 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교하고 5

장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 구성

제안하는 기법의 시스템 구조는 매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 구조로 이루어진 계층셀 구조이며, 시스템 내에 도착하는 호들이 핸드오프 호를 위한 전용 채널 할당이나 큐의 도입없이 높은 QoS를 보이도록 하기 위하여 매크로셀과 마이크로셀간에 부분적인 오버플로우와 테이크백을 허용한다. 매크로셀로 진행중이던 음성 핸드오프 호의 경우 새로운 셀에 가용 채널이 존재하지 않으면 저속 핸드오프 호의 경우에는 중첩되어 있는 마이크로셀로 오버플로우된다. 반면, 고속 핸드오프 호의 경우에는 마이크로셀에서 진행하게 될 경우 너무 짧은 핸드오프를 겪게 되므로 강제 종료된다.

한편, 마이크로셀로 진행 중이던 멀티미디어 핸드오프 호는 새로운 셀에 가용 채널이 존재하지 않으면 먼저 마이크로셀 내에서 채널을 점유하고 있는 비실시간 멀티미디어호들의 점유 채널 수를 최소 QoS 유지를 위한 채널 수로 줄이고, 이 채널을 핸드오프 호에게 제공한다. 이 때, 실시간 핸드오프 호는 요구 채널 수를 모두 확보하나 비실시간 핸드오프 호는 자신의 최소 요구 채널 수만을 할당받는다.

다음은 제안하는 기법의 시스템 모델에 필요한 기본적인 가정이다.

- 시스템 구조는 매크로셀과 마이크로셀로 이루어진 계층셀 구조를 형성하며, 각 매크로셀들은 4개의 마이크로셀과 중첩되어 있다. 또한, Macrocell의 셀 반경을 R_M , 마이크로셀의 셀 반경을 R_m 으로 정의한다.
- 전체 시스템내의 가용 채널의 수는 C 이고, 매크로셀의 채널 용량은 C_M , 마이크로셀의 채널 용량은 C_m 이다.
- 하나의 채널은 TDMA시스템의 타임 슬롯 또는 CDMA 시스템에서의 PN-code를 의미한다. 또한, 음성호의 경우 동일하게 하나의 채널을 할당하지만, 멀티미디어호의 경우 서비스 종류에 따라 다양한 대역폭을 요구하므로 요구 대역폭을 다수의 채널로 정의한다.
- 시스템 내에서 발생하는 호는 평균 λ 의 발생율을 가진 포아송 분포를 따르며, $\lambda = \lambda_V + \lambda_D$ 이다.
- 각 트래픽의 특성에 따라, 시스템 내에서 생성되는 신규 호 발생율을 다음과 같이 표현한다. 음성호의 경우 속도에 따라 고속호의 발생율을 λ_{IV} 로 저속호의 발생율을 λ_{SV} 로 정의한다. 멀티미디어 호의 경우 서비스 종류에 따라 적응성 호는 λ_{AD} 로, 비적응성호의 경우에는 λ_{nAD} 로 표시한다.
- 이웃셀로부터의 핸드오프 호의 경우, 고속 및 저속

핸드오프 호 발생율을 각각 λ_{fVH} , λ_{sVH} 로 표기하고, 적응성호와 및 비적응성호의 핸드오프 발생율을 각각 λ_{ADH} , λ_{NADH} 로 정의한다.

- 특별히 핸드오프 호 중에서 저속 음성호와 적응성 멀티미디어호의 경우 시스템 특성에 따라 중첩 셀로의 오버플로우가 허용된다. 저속 음성호의 오버플로우 발생율은 λ_{OF_slow} 로, 적응성 멀티미디어호의 오버플로우 발생율은 $\lambda_{OF_adaptive}$ 로 정의한다.
- 시스템 내의 발생 호의 평균 지속 시간은 기본적으로 지수 분포를 따른다. 따라서, 각 호의 한 셀에 머무르는 시간(Cell dwell time), 채널 점유 시간(channel holding time), 하나의 호가 진행 중에 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(unencumbered call duration time)은 모두 지수 분포를 따른다. 그러나, 최소 대역폭으로 서비스 받는 적응성 멀티미디어호의 경우에는 최소 대역폭으로 서비스되는 시간에 비례하여 지속 시간이 증가한다.
- 하나의 호가 진행 중에 강제 종료되지 않고 지속되는 시간을 T_c 라하며, 이 때의 호 완료율은(call completion rate)은 μ_c 이다. 호의 특성에 따라 음성호의 강제 종료되지 않고 지속되는 시간을 T_{vc} 라하고 이 때의 호 완료율은 μ_{vc} 이다. 멀티미디어호의 강제 종료되지 않고 지속되는 시간은 T_{DC} 이고, 이 때의 호 완료율은 μ_{DC} 이다.
- 단말이 한 셀에 머무르는 시간(cell dwell time)은 매크로셀에서 고속 음성호와 저속 음성호의 경우에는 각각 $T_{dwell}(fast\ voice\ in\ Macro)$, $T_{dwell}(slow\ voice\ in\ Macro)$ 이며, 이때의 셀 이탈율(cell departure rate)은 μ_{Mdf} , μ_{Mds} 이다. 특별히, 오버플로우가 가능한 저속 음성호의 경우 마이크로셀에 머무르는 시간은 $T_{dwell}(slow\ voice\ in\ micro)$ 이며, 이 때의 셀 이탈율은 μ_{mds} 이다.
- 단말이 한 셀에 머무르는 시간은 마이크로셀에서 적응성 멀티미디어호와 비적응성 멀티미디어호에 대하여 각각 $T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ micro)$, $T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ macro)$ 이며, 이때의 셀 이탈율은 μ_{mdAD} , μ_{mdnAD} 이다. 특별히, 오버플로우가 가능한 적응성 멀티미디어 호의 경우 매크로셀에 머무르는 시간은 $T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro)$ 이며, 이 때의 셀 이탈율은 μ_{MdAD} 이다.
- 고속 음성호의 채널 점유 시간(channel holding time)은 $T_{holding}(fast\ voice\ in\ Macro)$ 이며, 저속 음성호의 경우에는 마이크로셀로 오버플로우가 가능하므로 저속 음성호의 채널 점유 시간은 매크로셀에 대해서 $T_{holding}(slow\ voice\ in\ Macro)$ 이고, 오버플로우된 마이

크로셀에서는 $T_{holding}(slow\ voice\ in\ micro)$ 이다. 이 때, 고속 및 저속 음성호의 채널 해제율(channel release rate)을 각각 μ_r , μ_s 이다.

- 비적응성 멀티미디어호의 채널 점유 시간은 $T_{holding}(non\ adaptive\ in\ micro)$ 이다. 적응성호의 경우 매크로셀로 오버플로우가 가능하기 때문에 적응성 호의 채널 점유 시간은 매크로셀에 대하여 $T_{holding}(adaptive\ in\ Macro)$, 마이크로셀에 대하여 $T_{holding}(adaptive\ in\ micro)$ 이다. 또한, 적응성 멀티미디어호와 비적응성 멀티미디어호의 채널 해제율은 각각 μ_{AD} , μ_{NAD} 이다.
- 오버플로우된 저속 음성호와 적응성 멀티미디어호의 데이크백율은 각각 μ_{TB_slow} , $\mu_{TB_adaptive}$ 이다.

3. 제안하는 채널할당 기법

제안하는 채널할당 기법들에서는 서비스 품질을 크게 좌우하는 통화중 호 차단을 줄이기 위하여 저속으로 이동하는 저속 핸드오프 음성호와 서비스 특성에 따라 전송 지연에 덜 민감한 적응성 핸드오프 멀티미디어호에 대하여 중첩되어 있는 상이한 계층으로의 오버플로우와 테이크백을 허용한다. 이러한 방식은 기존에 핸드오프 호의 강제종료율을 최소화하기 위하여 사용되었던 핸드오프 전용 채널 예약이나 큐의 도입없이 높은 서비스 품질을 보장한다.

제안된 두 가지 채널할당 기법을 이용한 시스템에 음성 신규호나 핸드오프호가 도착하면 다음과 같은 과정을 수행한다.

· 음성호

- 1) 음성 신규호가 새로 발생하면 먼저 매크로셀에 가용채널이 있는지 확인하고, 매크로셀에 더 이상 가용한 채널이 존재하지 않는다면(즉, $j=CM$) 호는 차단된다.
- 2) 음성 핸드오프호의 경우에도 먼저 매크로셀에 가용 채널이 있는지 확인한다. 만약, 매크로셀에 가용 채널이 없다면, 중첩되어 있는 마이크로셀에 가용 채널이 있는지 확인한다. 그러나, 마이크로셀에 가용 채널이 존재하는 경우에도 저속 음성 핸드오프 호만이 마이크로셀로 오버플로우할 수 있다.
- 3) 오버플로우된 저속 음성호는 매번 마이크로셀의 경계에 도달하면 매크로셀로의 오버플로우를 시도할 수 있다.
- 4) 시스템 내의 모든 채널이 사용 중인 경우 신규호와 핸드오프 호 모두 차단된다.

다음은 제안하는 기법들의 음성 호 처리 절차를 순서대로 나타낸 것이다.

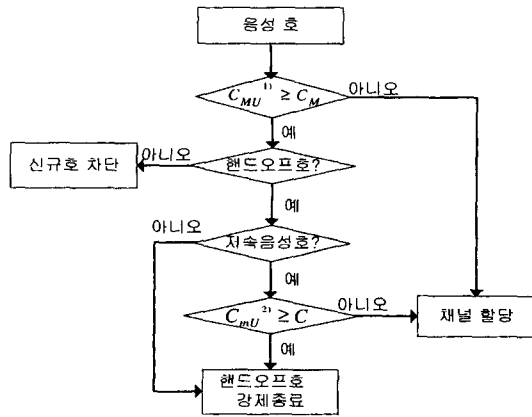


그림 1 제안한 채널할당 기법의 음성호 처리 절차

그림 1에서 보는 바와 같이 제안하는 알고리즘에서는 오직 저속 핸드오프 호에 대해서만 오버플로우를 허용한다. 이는 고속 핸드오프 호를 마이크로셀로 오버플로우시킬 경우, 작은 셀 반경 때문에 잦은 핸드오프를 야기시킬 뿐만 아니라, 잦은 핸드오프 요구를 처리하기 위한 부가적인 망 부하를 초래하기 때문이다.

음성호와 비슷하게, 멀티미디어 신규 호나 핸드오프 호가 도착하면 다음과 같은 과정을 수행한다.

· 멀티미디어 호

- 1) 신규 멀티미디어 호는 먼저 마이크로셀에 가용 채널이 있는지 확인하고, 마이크로셀의 사용중인 채널 수가 자신이 요구하는 QoS를 보장해 줄 채널 용량이 확보되지 않는 경우에는 차단된다.
- 2) 핸드오프 멀티미디어 호의 경우 제안된 기법에 따라 두 가지 다른 방식으로 처리된다.
 - 2-1) 제안된 채널 할당 기법 I에서, 핸드오프 호는 먼저 마이크로셀에 자신이 요구하는 QoS를 보장해 줄 채널 용량이 확보되어 있는지를 확인한다. 마이크로셀에 충분한 채널 수가 보장되지 않는다면, 최소한의 QoS로도 서비스를 받을 수 있는 적응성 멀티미디어 호만이 서비스를 받는다. 이 경우, 비적용성 멀티미디어호의 경우에는 차단된다.
 - 2-2) 만약, 마이크로셀의 모든 채널이 사용 중인 경우 적응성 멀티미디어호는 매크로셀에 자신의 최소 요구 채널용량을 만족할 만한 채널이 확보되는지를 확인하고 매크로셀의 채널 사용이 가능하다면 오버플로우한다.

1) C_{MU} 는 매크로셀에 사용중인 채널 수
2) C_{mU} 는 마이크로셀에 사용중인 채널 수

2-3) 제안된 채널 할당 기법 II에서, 핸드오프호는 먼저 마이크로셀에 자신이 사용가능한 채널이 있는지 확인한다. 만약 모든 채널이 사용 중이고, 중첩된 매크로셀에 가용한 채널이 존재하는 경우에는 다음과 같은 2가지 과정을 수행한다.

- i. 핸드오프 호가 적응성 호인 경우에는 최소한의 QoS를 가지고 매크로셀로 오버플로우를 시도한다.
- ii. 만약 핸드오프 요청이 비적용성 호인 경우에는 비적용성호는 자신이 핸드오프하고자 하는 마이크로셀의 적응성호의 채널을 빌릴 수 있다. 즉, 마이크로셀에서 요구 채널 용량을 보장받아 서비스 받고 있는 적응성호들이 자신의 채널을 최소 요구 채널 수로 줄이고 이 채널을 비적용성 핸드오프 호에게 일시적으로 빌려주는 것이다.

- 3) 만약 시스템 내의 전체 채널이 사용 중이면 신규 호와 핸드오프 호 모두 차단된다.
- 4) 최소한의 채널 수를 가지고 서비스 중인 적응성호의 경우 마이크로셀에 요구 채널 수만큼의 가용 채널이 생기면 바로 요구 QoS를 보장받는다.
- 5) 오버플로우된 적응성 호는 매크로셀에 가용한 채널이 생기면 바로 테이크백을 요청한다.

그림 2와 3은 각각 제안하는 기법I과 II의 멀티미디어 호 처리 절차를 순서도를 나타낸 것이다.

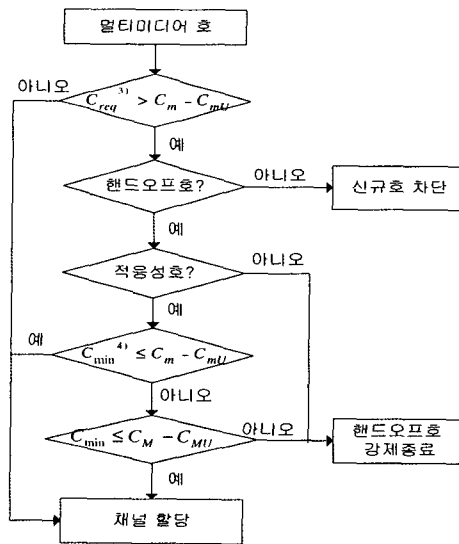


그림 2 제안한 채널할당기법 I의 멀티미디어호 처리 절차

3) C_{req} 는 멀티미디어호의 요구 채널 수
4) C_{min} 는 적응성호의 최소 요구 채널 수

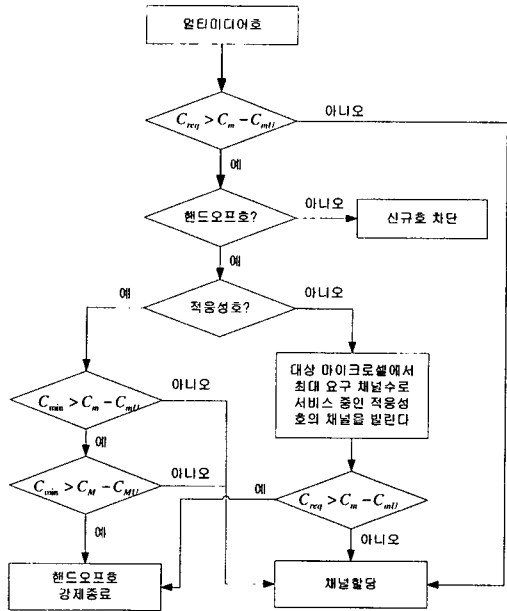


그림 3 제안한 채널할당기법 II의 멀티미디어호 처리 절차

4. 시스템 성능분석

4.1 트래픽 모델

제안한 시스템의 성능 분석을 위하여, 먼저 시스템과 관련된 다음의 파라미터들을 구할 수 있다.[7]

- 하나의 호가 진행 중에 강제 종료되지 않고 지속되는 시간(unencumbered call duration time)
- 단말이 한 셀에 머무르는 시간(cell dwell time)
- 단말의 채널 점유시간(channel holding time)

단말의 셀 거주 시간은 셀 이탈율(cell departure rate)의 역으로 나타낼 수 있으므로, 각 음성호들의 셀 거주 시간은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{dwell}(fast\ voice\ in\ Macro) = \frac{1}{\mu_{Mdf}} = \frac{\pi R_M}{2V_f} \quad (1)$$

$$T_{dwell}(fast\ voice\ in\ micro) = \frac{1}{\mu_{mef}} = \frac{\pi R_m}{2V_f} \quad (2)$$

$$T_{dwell}(slow\ voice\ in\ Macro) = \frac{1}{\mu_{Mds}} = \frac{\pi R_M}{2V_s} \quad (3)$$

$$T_{dwell}(slow\ voice\ in\ micro) = \frac{1}{\mu_{mfs}} = \frac{\pi R_m}{2V_s} \quad (4)$$

본 논문에서는 음성호의 경우에서 저속 음성호의 오버플로우만을 허용하므로, 위의 식 (2)의 값은 0이 된다.

유사하게, 각 셀 계층에서 멀티미디어호의 셀 거주 시간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro) = \frac{1}{\mu_{MAd}} = \frac{\pi R_M}{2V_D} \quad (5)$$

$$T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ micro) = \frac{1}{\mu_{mAd}} = \frac{\pi R_m}{2V_D} \quad (6)$$

$$T_{dwell}(non-aptive\ multimedia\ in\ Macro) = \frac{1}{\mu_{MnAd}} = \frac{\pi R_M}{2V_D} \quad (7)$$

$$T_{dwell}(non-aptive\ multimedia\ in\ micro) = \frac{1}{\mu_{mnAd}} = \frac{\pi R_m}{2V_D} \quad (8)$$

음성호에서와 마찬가지로, 멀티미디어 호에 대해서도 적응성 멀티미디어 호의 오버플로우만이 허용되므로, 비 적응성 멀티미디어호의 매크로셀에서의 거주시간 식 (7)은 0이 된다.

또한, 마이크로셀의 경제에서만 테이크백을 시도할 수 있는 오버플로우된 저속 음성호와는 달리, 적응성 멀티미디어호의 경우에는 마이크로셀에 가용한 채널이 생기면 언제든지 테이크백을 수행하므로, 오버플로우된 적응성 멀티미디어호의 매크로셀에서의 거주 시간 식 (5)는 다음과 같이 재정의될 수 있다.

$$0 < T'_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro) \leq T_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro) \quad (9)$$

$$0 < 1/\mu_{MAd}' \leq 1/\mu_{MAd}$$

한편, 단말의 채널 점유 시간은 단말이 다른 셀로 핸드오프하기 전까지 채널을 점유하고 있는 시간으로 단말의 셀 거주시간과 마찬가지로 호의 특성과 셀 계층에 따라 구분할 수 있다. 채널 점유 시간은 호의 셀 거주시간과 호가 강제 종료되지 않고 지속되는 시간 중 작은 값이 된다. 따라서, 진행중인 음성 호의 매크로셀과 마이크로셀에서의 채널 점유시간들은 각각 다음 식 (10)~(13)으로 나타낼 수 있다.

$$T_{holding}(fast\ voice\ in\ Macro) = \min [T_{VC}, T_{dwell}(fast\ voice\ in\ Macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{VC} + \mu_{Mdf}} \quad (10)$$

$$T_{holding}(fast\ voice\ in\ micro) = \min [T_{VC}, T_{dwell}(fast\ voice\ in\ micro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{VC} + \mu_{mef}} \quad (11)$$

$$T_{holding}(slow\ voice\ in\ Macro) = \min [T_{VC}, T_{dwell}(slow\ voice\ in\ Macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{VC} + \mu_{Mds}} \quad (12)$$

$$T_{holding}(slow\ voice\ in\ micro) = \min [T_{VC}, T_{dwell}(slow\ voice\ in\ micro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{VC} + \mu_{mfs}} \quad (13)$$

위와 같은 방법으로, 멀티미디어 호에 대한 채널 점유 시간은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$T_{holding}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro) = \min [T_{DC}, T'_{dwell}(adaptive\ multimedia\ in\ Macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{DC} + \mu_{MAdAD}} \quad (14)$$

$T_{holding} (adaptive multimedia in macro)$

$$= \min [T_{DC}, T_{dwell} (adaptive multimedia in macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{DC} + \mu_{MAdAD}} \quad (15)$$

$T_{holding} (non-aptive multimedia in Macro)$

$$= \min [T_{DC}, T_{dwell} (non-aptive multimedia in Macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{DC} + \mu_{MdnAD}} \quad (16)$$

$T_{holding} (non-aptive multimedia in macro)$

$$= \min [T_{DC}, T_{dwell} (non-aptive multimedia in Macro)]$$

$$= \frac{1}{\mu_{DC} + \mu_{mdnAD}} \quad (17)$$

셀 거주시간에서와 같이, 채널 점유 시간에서도 고속 음성호와 비적용성 멀티미디어호의 중첩된 셀에서의 채널 점유 시간은 존재하지 않으므로 식 (11)과 (16)은 0이 된다. 또한, 적용성 멀티미디어호의 경우 (5) 대신 (9)의 셀 거주 시간을 이용하여 채널 점유 시간을 유도하게 된다.

여기에서, 적용성 호의 매크로셀의 채널 해제율(μ_{MAdAD})은 적용성호의 테이크백 확률($\mu_{TB_adaptive}$)을 의미하며, 저속 음성호의 경우에도 마이크로셀의 채널 해제율(μ_{Mds})은 저속 음성호의 테이크백 확률(μ_{TB_slow})과 동일하다.

4.2 수치적 성능분석

2차원 마코프 과정을 이용하여, 제안하는 채널할당기법의 분석 모델을 제시한다. 제안하는 채널할당 기법 I은 채널을 빌려주는 개념(concept of lending channel)을 제외하고는 제안된 채널 할당 기법 II와 동일하므로, 본 논문에서는 채널할당 기법 I에 대한 모델만을 분석하였다. 제안된 기법의 상태 전이도는 그림 4와 같다. 여기에서, 각 셀의 상태는 (i,j)에 의해 나타내어지며, i는 마이크로셀에서 사용 중인 채널의 수를 j는 매크로셀에서 사용 중인 채널의 수를 나타낸다. 제안하는 기법에서 음성호는 한 번에 하나의 채널만을 요구하는 데 반하여, 멀티미디어호의 경우에는 다수개의 채널을 요구하므로 하나의 멀티미디어 호가 요구하는 채널의 수를 X로 나타내었다. 또한, 마이크로셀의 경우 자신의 요구 채널 수만큼 확보하여 서비스 받고 있던 멀티미디어 호가 자신의 서비스를 끝내고 채널을 해제할 경우 기존에 최소 요구채널 수로 서비스 받고 있던 적용성 멀티미디어호에게 우선권이 주어지며 바로 해당 채널을 점유한다. 따라서, 상태 (a, j)부터 상태(C_m, j)에서 요구 채널 수로

서비스 받던 멀티미디어호가 해제될 경우 상태 (a, j)로 전이하여, 최소 요구 채널수로 서비스받던 적용성 멀티미디어호가 해제된 것처럼 처리된다.

제안하는 기법들에서는 상태에 따라 다양한 종류의 호들이 존재한다. 특정 상태 (i,j)에서 채널을 점유하고 있는 각 호들의 수를 다음과 같이 정의하였다.

- a : 상태 (i, j)에서 적용성 멀티미디어호의 수
- b : 상태 (i, j) 비적용성 멀티미디어호의 수
- c : 상태 (i, j)에서 최소 요구 채널수로 서비스 받는 적용성 멀티미디어호의 수
- d : 상태 (i, j)에서 마이크로셀로 오버플로우된 저속 음성호의 수
- y : 상태 (i, j)에서 고속 음성호의 수
- z : 상태 (i, j)에서 저속 음성호의 수
- w : 상태 (i, j)에서 매크로셀로 오버플로우된 적용성 멀티미디어호의 수

또한, 그림 4에서 $\frac{a}{X}$ 는 오버플로우된 음성호가 없을 때 요구하는 채널 용량하에서 서비스 받을 수 있는 멀티미디어호의 최대 수를 나타내며, a 는 이 때 도달할 수 있는 상태 즉 점유 채널의 수를 나타낸다. β 는 마이크로셀의 상태 i에서 요구 채널 용량하에서 서비스 받고 있는 멀티미디어 호의 수를 나타내며, γ 는 a 에서 C_m 사이 구간에서 최소 요구 채널로 서비스 중인 적용성 멀티미디어 호의 수를 나타낸다.

$$a = \left\lfloor \frac{C_m}{X} \right\rfloor \cdot X \quad (18)$$

$$\beta = \left\lfloor \frac{i}{X} \right\rfloor \quad (19)$$

$$\gamma = i \bmod X \quad (20)$$

여기에서, $\lfloor X \rfloor$ 는 x보다 작은 수 중에서 가장 큰 정수를 의미한다. 따라서, $\left\lfloor \frac{C_m}{X} \right\rfloor$ 는 마이크로셀에서 자신의 최대 QoS를 보장받기 위한 요구 채널 수로 서비스 받을 수 있는 멀티미디어호의 수를 나타낸다.

위의 정의에 따라 마이크로셀에 존재하는 호의 수는 $a+b+c+d$ 로 나타낼 수 있으며, 이 때 마이크로셀의 점유 채널 수는 $aX+bX+c+d$ 이다. 한편 매크로셀에서 존재하는 전체 호의 수와 점유 채널 수는 동일하게 $y+z+w$ 로 표현할 수 있다. 특별히 마이크로셀에서 상태 I에서 X개 채널을 점유하고 있던 호가 종료되어 X개 이전 상태인 i-X상태로 전이하는 경우는 바로 이전의 상태인 상태 i-1로 전이할 경우와는 구별되어 나타낼 수 있다. 따라서 a와 b, c와 d의 상태 전이는 구분하여 생각할 수 있으며, a와 b의 합은 마이크로셀에서 X개의 채널을 점

유하고 서비스 받고 있는 멀티미디어호의 수인 β 이며, c 와 d 의 합은 ρ 로 정의하였다.

그림의 복잡도를 줄이기 위하여, 그림 4에서는 각각의 파라미터들을 알파벳 문자로 대체하여 나타내었다.⁵⁾

특별히 각 호의 한 셀에서의 서비스 후 채널 해제율은 4.1절에서 구한 채널 점유 시간과 관련하여 식 (21)-(25)와 같이 계산할 수 있다.

$$B = a\mu_{AD} + b\mu_{nAD}$$

$$= a \cdot 1/T_{\text{holding (adaptive multimedia in micro)}} + b \cdot 1/T_{\text{holding (non-adaptive multimedia in micro)}} \quad (21)$$

$$B' = w\mu_{TB_adaptive} = w \cdot 1/T_{\text{holding (adaptive multimedia in Micro)}} \quad (22)$$

$$B'' = c\mu_{AD} = c \cdot 1/T_{\text{holding (adaptive multimedia in micro)}} \quad (23)$$

$$D = y\mu_f + z\mu_s = y \cdot 1/T_{\text{holding (fast voice in micro)}} + z \cdot 1/T_{\text{holding (slow voice in micro)}} \quad (24)$$

$$D' = d\mu_{TB_slow} = d \cdot 1/T_{\text{holding (slow voice in micro)}} \quad (25)$$

그림 4의 상태 전이도에 따라 시스템 내의 평형 상태 확률(equilibrium probability) $P(i,j)$ 를 다음의 상태 평형 방정식들(state balance equations)을 이용하여 표현할 수 있다. 여기에서 각 상태와 다음 상태의 관계를 나타내기 위하여 X 개의 채널로 서비스 중인 비적응성 멀티미디어호를 b 대신 $\beta - a$ 로 표현하였다.

· 매크로셀과 마이크로셀 모두 가용 채널이 충분하여 모든 종류의 호를 요구하는 채널 수만큼 제공하며 수락할 수 있는 경우이다.

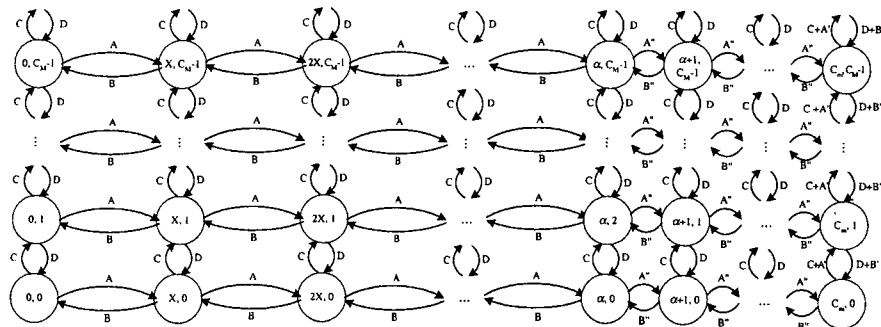
$$\{(\lambda_{nAD} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH}) + (\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH}) + \delta(i, 0) \cdot (a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD}) + \delta(i, 0) \cdot (y\mu_f + (j - y)\mu_s)\}P(i, j) = \delta(i, 0) \cdot (\lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH})P(i - X, j) + (a\mu_{AD} + (\beta + 1 - a)\mu_{nAD})P(i + X, j) \quad (26)$$

$$0 \leq i \leq a, \quad 0 \leq j \leq C_M$$

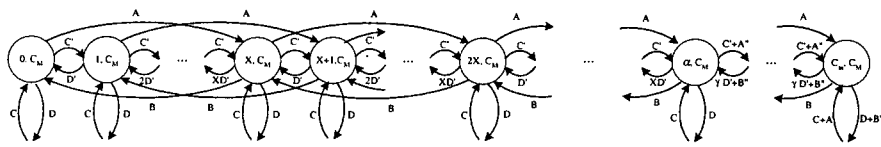
· 매크로셀의 채널은 충분하여 모든 종류의 음성호를 수용할 수 있으나, 마이크로셀에서는 더 이상 멀티미디어 호들의 요구 QoS를 만족시킬만한 채널의 양이 존재하지 않으므로, 적응성 핸드오프 멀티미디어 호만을 수용할 수 있는 경우이다.

$$\{\lambda_{ADH} + (\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH}) + \delta(i, 0) \cdot (a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD}) + \delta(i, 0) \cdot (y\mu_f + (j - y)\mu_s)\}P(i, j) = \delta(i, 0) \cdot (\lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH})P(i - X, j) + c\mu_{MIN_AD}P(i + 1, j) + \delta(j, 0) \cdot (\lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH})P(i, j - 1) + (y\mu_f + (j + 1 - y)\mu + s)P(i, j + 1) \quad (27)$$

$$i = a, \quad 0 \leq j \leq C_M$$



(a) Markov chain set 1 : $0 \leq i \leq C_m, 0 \leq j < C_m$



(b) Markov chain set 2 : $0 \leq i \leq C_m, j = C_m$

그림 4 시스템 상태 전이도

$A = \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH}$	$A' = \lambda_{OF_adaptive}$	$A'' = \lambda_{ADH}$	$C = \lambda_f + \lambda_{fH} + \lambda_s + \lambda_{sH}$	$C' = \lambda_{OF_slow}$
$B = a\mu_{AD} + b\mu_{nAD}$	$B' = W\mu_{TB_adaptive}$	$B'' = c\mu_{AD}$	$D = y\mu_f + z\mu_s$	$D' = d\mu_{TB_slow}$

5) $A = \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH}$

매크로셀의 채널은 충분하여 모든 종류의 음성호를 수용할 수 있으나, 마이크로셀에서는 더 이상 멀티미디어 호들의 요구 QoS를 만족시킬만한 채널의 양이 존재하지 않으므로, 비적응성 핸드오프 멀티미디어 호만을 수용할 수 있는 경우이다.

$$\begin{aligned} & \{\delta(i, C_m) \cdot \lambda_{ADH} + \bar{\delta}(i, C_m) \cdot \lambda_{OF_adaptive} + \lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH} + c\mu_{MIN_AD} + \delta(j, 0) \cdot [(y\mu_f + (j-y)\mu_s)]\}P(i, j) \\ & = \lambda_{ADH}P(i-1, j) + \{\delta(i, C_m) \cdot [c\mu_{MIN_AD}]\}P(i+1, j) \quad (28) \\ & + \delta(j, 0) \cdot [\lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH} + \delta(i, C_m)\lambda_{ADH}]P(i, j-1) \\ & + \{[(y\mu_f + z\mu_s) + \bar{\delta}(i, C_m) \cdot [(j+1-y-z)\mu_{TB_adaptive}]]\}P(i, j+1) \\ & \alpha < i \leq C_m, 0 \leq j < C_m \end{aligned}$$

마이크로셀의 채널은 가용하나 매크로셀의 모든 채널은 이미 사용중인 경우이다. 따라서, 저속 핸드오프 음성호는 마이크로셀로 오버플로우한다. 현재 마이크로셀에서 사용중인 채널 수가 X보다 작으므로, 현재 마이크로셀에서 서비스 중인 멀티미디어호는 존재하지 않으며, 음성호만이 존재하는 환경임을 의미한다.

$$\begin{aligned} & \{\lambda_{OF_slow} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH} + \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} \\ & + \delta(i, 0) \cdot [i\mu_{TB_slow}] + (y\mu_f + (C_m - y)\mu_s)\}P(i, j) \\ & = \delta(i, 0) \cdot \lambda_{OF_slow}P(i-1, j) + (i+1)\mu_{TB_slow}P(i+1, j) \quad (29) \\ & + (\mu_{AD} + \mu_{nAD})P(i+X, j) + (\lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH})P(i, j-1) \\ & 0 \leq i \leq X, j = C_m \end{aligned}$$

마이크로셀의 채널은 가용하나 매크로셀의 모든 채널은 이미 사용 중인 경우이다. 따라서, 저속 핸드오프 음성호는 마이크로셀로 오버플로우한다. 마이크로셀에서는 오버플로우된 저속 음성호와 요구 채널 수만큼을 확보하여 서비스 받고 있는 멀티미디어 호가 존재한다.

$$\begin{aligned} & \{\lambda_{OF_slow} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH} + \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH} + d\mu_{TB_slow} \\ & + (a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD}) + (y\mu_f + (C_m - y)\mu_s)\}P(i, j) \\ & = \lambda_{OF_slow}P(i-1, j) \quad (30) \\ & + (\lambda_{OF_slow} + \lambda_{AD} + \lambda_{ADH} + \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH})P(i-X, j) \\ & + (a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD})P(i+X, j) \\ & + (\lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH})P(i, j-1) \\ & X \leq i \leq a, j = C_m \end{aligned}$$

마이크로셀에서는 더 이상 멀티미디어 호들의 요구 QoS를 만족시킬만한 채널의 양이 존재하지 않고 매크로셀의 모든 채널은 이미 사용중인 경우이다. 따라서, 마이크로셀에서는 비적응성 핸드오프 멀티미디어 호와 오버플로우된 저속 핸드오프 음성호만이 서비스를 받을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \{\delta(i, C_m)(\lambda_{OF_slow} + \lambda_{ADH}) + (a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD}) \\ & + (c\mu_{MIN_AD} + (\rho - c)\mu_{TB_slow}) + (y\mu_f + (C_m - y)\mu_s)\}P(i, j) = \lambda_{OF_slow} + \lambda_{ADH})P(i-1, j) \\ & + (\lambda_{AD} + \lambda_{ADH} + \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH})P(i-X, j) \quad (31) \\ & + \delta(i, C_m) \cdot (c\mu_{MIN_AD} + (\rho + 1 - c)\mu_{TB_slow})P(i+1, j) \\ & + (\lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH})P(i, j-1) \\ & a \leq i \leq C_m, j = C_m \end{aligned}$$

매크로셀과 마이크로셀의 모든 채널이 사용중인 경우이다. 이 경우에는 더 이상 호를 수락할 수 없다.

$$\begin{aligned} & \{(a\mu_{AD} + (\beta - a)\mu_{nAD}) + (c\mu_{AD} + (\rho - c)\mu_{TB_slow}) \\ & + (y\mu_f + z\mu_s + (C_m - y - z)\mu_{TB_adaptive})\}P(i, j) \\ & = \lambda_{OF_slow} + \lambda_{ADH})P(i-1, j) \quad (32) \\ & + (\lambda_{AD} + \lambda_{ADH} + \lambda_{nAD} + \lambda_{nADH})P(i-X, j) \\ & + (\lambda_f + \lambda_{FH} + \lambda_s + \lambda_{SH})P(i, j-1) \\ & i = C_m, j = C_m \end{aligned}$$

위의 식 (28)과 (31)에서와 같이 마이크로셀의 사용채널이 a개 이상인 환경에서는 오직 핸드오프를 요구하는 적응적 멀티미디어호와 오버플로우된 저속 음성호만이 서비스를 받을 수 있다. 즉, 멀티미디어 호의 경우에는 마이크로셀의 사용중인 채널수 i가 a이상 C_m이하인 환경에서는 적응성 핸드오프호만이 가용채널을 점유할 수 있다(그림 4(a)). 또한, 그림 4(b)에서 나타낸 바와 같이 매크로셀에 가용채널이 전혀 없는 경우에는 저속 음성호만 중첩되어 있는 마이크로셀로 오버플로우하여 서비스를 받을 수 있는데, 식 (31)에서는 마이크로셀의 사용중인 채널수 i가 a이상 C_m이하인 환경에서 저속 음성호도 서비스가 가능함을 나타낸다.

한편, 3장의 제안하는 기법에서 설명한 바와 같이 마이크로셀에 가용 채널이 생기면 최소 요구 채널수로 서비스 받는 적응성 멀티미디어호에게 해당 채널들을 제공함으로써 서비스 품질을 보장해 주게 되므로, 그림 4에서 상태 i가 a이상 C_m이하인 환경에서 기존의 적응적 멀티미디어호나 비적응적 멀티미디어호, 그리고 최소 요구 채널로 서비스를 받고 있는 적응적 멀티미디어호 중 어떤 것이 채널을 해제해도 i-1 상태로 전이하게 되는 것이다(식 26, 29).

그림 4에 대한 상태 평형 방정식 (26)부터 (32)에서, $\delta(x, y)$ 와 $\bar{\delta}(x, y)$ 는 크로네커 델타 함수(kronecker delta function)로 각각 다음의 식 (33), (34)와 같이 정의된다.

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 0, & x = y \\ 1, & x \neq y \end{cases} \quad (33)$$

$$\bar{\delta}(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq y \end{cases} \quad (34)$$

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

$$\sum_{i+j=0}^C P(i, j) = 1 \quad (35)$$

위의 방정식에서 구해진 P(i,j)를 이용하여, 시스템의 성능 평가를 위한 성능 분석 파라미터를 구할 수 있다.

먼저 매크로셀과 마이크로셀간의 오버플로우와 테이크백 확률을 구할 수 있다. 식 (36)과 (37)은 각각 저속 음성호의 오버플로우 확률과 적응성 멀티미디어호의 오버플로우 확률을 나타낸 것이다.

$$P_{slow_overflow} = \sum_{i=0}^{C_n} \sum_{j=C_M}^{C_M} P(i, j) \quad (36)$$

$$P_{adaptive_overflow} = \sum_{i=C_n}^{C_n} \sum_{j=0}^{C_M} P(i, j) \quad (37)$$

동일한 방법으로, 식 (38)과 (39)는 각각 저속 음성호와 적응성 멀티미디어호의 테이크백 확률을 나타낸 것이다.

$$P_{slow_takeback} = \frac{\mu_{TB_slow}}{P_{slow_overflow} \cdot \lambda_{SVH}} \quad (38)$$

$$P_{adaptive_takeback} = \frac{\mu_{TB_adaptive}}{P_{adaptive_overflow} \cdot \lambda_{ADH}} \quad (39)$$

제안하는 기법에서 저속 음성호와 적응성 멀티미디어 호 모두 핸드오프 호에 대해서만 오버플로우를 허용하였으므로 핸드오프 호 중 식 (37)과 식 (38)의 조건을 만족하는 경우에만 오버플로우가 발생한다. 또한, 테이크백의 경우 오버플로우된 호 중에서 평균 음성호와 멀티미디어 호에 대하여 각각 평균 μ_{TB_slow} , $\mu_{TB_adaptive}$ 의 발생율을 가짐으로 식 (38)과 (39)처럼 표현된다.

또한 신규 호 차단 확률에 대해서는 음성 호의 경우 매크로셀의 모든 채널이 점유되어 있을 때 발생하므로 식 (40)과 같이 구해질 수 있으며, 멀티미디어호의 경우 마이크로셀이 더 이상 멀티미디어호의 요구 QoS를 만족시킬 수 없게 되었을 때, 즉, a 개의 채널이 점유 중인 경우에 발생하므로 식 (41)과 같이 얻어진다.

$$P_{voice_Blocking} = \sum_{i=0}^{C_n} \sum_{j=C_M}^{C_M} P(i, j) \quad (40)$$

$$P_{multimedia_Blocking} = \sum_{i=\alpha}^{C_n} \sum_{j=0}^{C_M} P(i, j) \quad (41)$$

한편, 그림 4의 상태전이도를 기초하여 음성 및 멀티미디어 호의 핸드오프 호 강제종료율은 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{NV_HFT} = \sum_{i=0}^{C_n} \sum_{j=C_M}^{C_M} P(i, j) \quad (42)$$

$$P_{SV_HFT} = \sum_{i=C_n}^{C_n} \sum_{j=C_M}^{C_M} P(i, j) \quad (43)$$

$$P_{AD_HFT} = \sum_{i=C_n}^{C_n} \sum_{j=C_M}^{C_M} P(i, j) \quad (44)$$

$$P_{nAD_HFT} = \sum_{i=\alpha}^{C_n} \sum_{j=0}^{C_M} P(i, j) \quad (45)$$

5. 시뮬레이션

제안하는 기법들의 성능을 평가하기 위하여, 다음과 같은 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다[5,6]. 시스템 구조는 하나의 매크로셀은 4개의 마이크로셀들과 중첩되어 있으며, 매크로셀과 마이크로셀의 반지름은 각각 400m와 200m이다. 매크로셀의 전체 채널 수는 29개이며, 마이크로셀의 전체 채널 수는 28개로 정의하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터들은 각 호의 종류에 따라 다음과 같은 값으로 정의하였다.

	멀티미디어 호		음성호	
	적용성호	비적용성호	고속호	저속호
요구 채널 수	4	4	1	1
최소 요구 채널 수	4	1	1	1
평균 속도(km/h)	5		30	5
평균 호 지속 시간(sec)	300		110	

이러한 시뮬레이션 환경을 기반으로 제안하는 기법의 성능 비교를 위하여 다음과 같은 4가지 경우를 나타내었다.

- 1) 고정적인 시스템(non-flexible scheme): 이 시스템은 트래픽의 특성을 고려하지 않고, 음성호는 매크로셀에서, 멀티미디어호는 마이크로셀에서 요구 채널을 확보한다. 이 시스템에서 음성호와 멀티미디어호는 동일한 방법으로 처리되며, 오버플로우와 테이크백은 허용되지 않는다.
- 2) 기존 시스템 I: 이 시스템은 [8-9]에서와 같이 음성호의 속도를 고려한다. 고속 음성호는 매크로셀에서, 저속 음성호는 마이크로셀에서 채널을 할당받는다. 저속 핸드오프 음성호의 경우에는 중첩되어 있는 매크로셀로 오버플로우할 수 있으며, 멀티미디어호는 마이크로셀에서 채널을 할당받는다.
- 3) 기존 시스템 II: 기존 시스템 I에서 음성호의 속도만을 고려한 것에 더하여 적응성 멀티미디어호에 융통성을 부여한 시스템[10]이다. 고속 음성호는 매크로셀, 저속 음성호는 마이크로셀의 채널을 할당 받으며, 저속 핸드오프 음성호의 경우에는 중첩

되어 있는 매크로셀로 오버플로우가 가능하다. 멀티미디어 호는 마이크로셀의 채널을 사용하나 마이크로셀에 충분한 채널 용량이 존재하지 않으면 적응성 핸드오프 멀티미디어호의 경우에는 최소 요구 채널 수로 서비스될 수 있다.

- 4) 제안하는 기법 I: 저속 음성호와 적응성 멀티미디어호의 경우 핸드오프 트래픽에 한하여 오버플로우와 테이크백을 허용한다.
- 5) 제안하는 기법 II: 제안하는 기법 I에서와 같이 저속 음성호와 적응성 멀티미디어호의 경우 핸드오프 트래픽에 한하여 오버플로우와 테이크백을 허용한다. 추가적으로, 마이크로셀에 가용 채널이 없는 경우 비적용성 멀티미디어 핸드오프 호가 적응성 멀티미디어호의 채널을 빌려 사용하는 것을 허용한다.
- 6) 성능 분석 결과: 신규 호 발생률에 따라 2차원 마코프 과정을 이용하여 분석한 4장의 수식에서 얻어진 결과를 그래프로 표현한다. 따라서, 이 결과는 제안하는 기법 I의 결과와 비교하여 살펴볼 수 있다.

그림 5와 6은 위의 6가지 경우에 대한 음성 신규호와 멀티미디어 신규호의 호 차단율을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과들을 비교해 보면, 제안하는 기법 I, II가 전체 채널 중 핸드오프 호에 비해 신규호가 채널을 점유할 기회가 적어지므로 고정적인 시스템보다 높은 신규호 차단율을 보인다. 반면, 수치적 성능 분석 결과의 경우에는 세 가지 시뮬레이션 결과들보다 낮은 신규호 차단율을 보이는데 이는 식 (40)에서부터 식 (45)를 통해서 나타난 것과 같이 분석 결과 나타나는 신규호 차단율 값이 음성 호에 대한 값은 고속 음성호의 핸드오프 강제종료율과, 멀티미디어 호에 대한 값은 비적용성 멀

티미디어호의 핸드오프 강제 종료율과 동일한 방법으로 계산되기 때문이다. 뿐만 아니라 그림 5부터 12에서 수치적 성능 분석 결과와 제안하는 기법 I의 결과가 약간의 차이를 보이는데 이는 수치적 성능 분석의 경우에서 식 (40)부터 (45)에서 오버플로우된 저속 음성호는 마이크로셀에서 채널을 점유하게 되는데 저속 호의 테이크백이 동시에 4개 이상 발생하는 경우에는 인접한 4번째 상태로 전이한다고 가정⁶⁾ 하고, 테이크백율이 4개 이하일 경우의 테이크백만을 고려하였기 때문이다(그림 4 (b)). 전자의 수학적 문제는 시뮬레이션 결과와의 차이를 줄이기 위하여 향후 해결되어야 할 문제이나 후자의 가정은 실제적으로 음성호가 오버플로우하는 경우에는 매크로셀에 가용한 채널이 없는 경우, 즉 트래픽이 많은 경우이므로 동시에 4개 이상의 채널이 해제되어 테이크백할 확률은 사실상 적기 때문에 유효하며 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 결과 그래프와 유사한 모양으로 나타난다.

그림 7부터 12는 6가지 경우에 대한 핸드오프 강제종료율을 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 음성호의 경우에는 6가지 경우가 대체적으로 비슷한 결과를 나타내는 반면, 데이터 호의 경우에는 제안하는 두 가지 채널할당 기법들이 훨씬 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다. 이는 제안하는 기법이 멀티미디어 호의 특성을 고려하여 채널의 할당을 유동적으로 변화시킴으로써 얻어지는 결과라고 볼 수 있다. 이러한 시뮬레이션 결과들을 통하여 제안한 채널 할당 기법들이 이러한 기법을 적용하지 않은 경우보다 효과적으로 채널을 사용할 수 있다.

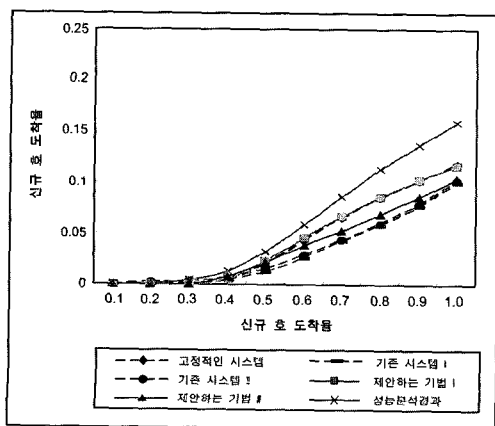


그림 5 음성 신규호의 신규 호 차단율

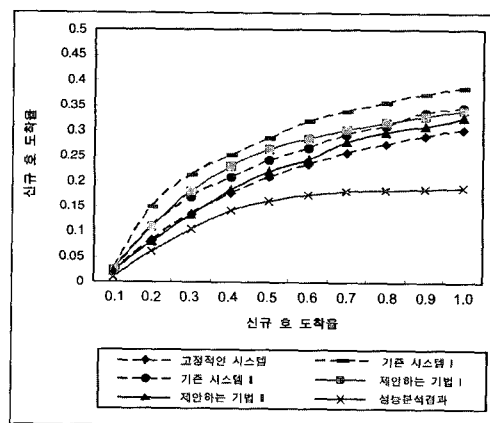


그림 6 멀티미디어 신규호의 신규 호 차단율

6) 예를 들어, 상태 X와 2X 사이에서 4개의 저속 호의 테이크백이 발생한다면, 상태 X로 전이한다.

그림 7과 8은 각각 음성호와 멀티미디어호의 강제 종료율을 나타낸 것이고, 그림 9부터 12는 각각의 음성호와 멀티미디어호들의 트래픽 특성, 즉 음성호의 경우에는 이동 속도를, 멀티미디어호의 경우에는 해당 멀티미디어 서비스 특성을 기준으로 보다 자세히 표현한 것이다. 고속 음성호에 대한 핸드오프 호 강제 종료율을 나타낸 그림 9에서 기존 시스템 I과 II의 핸드오프 호 강제 종료율이 월등히 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이는 두 가지 시스템에서는 매크로셀로 적용성 멀티미디어호의 오버플로우가 일어나지 않기 때문이다. 특히 기존 시스템 I의 경우에는 매크로셀의 모든 채널을 고속 음성호가

사용하기 때문에 매우 낮은 핸드오프 호 강제 종료율을 보인다. 이에 반해 그림 10에서는 기존 시스템 I과 II의 저속 음성호의 핸드오프 호 강제 종료율이 다른 기법들에 비해 월등히 높게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 마이크로셀에 저속 음성호와 멀티미디어호들이 모두 할당되므로 상대적으로 점유할 수 있는 채널 수가 줄어들기 때문이다. 이러한 현상은 비록 전체 음성호의 핸드오프 호 강제 종료율은 낮게 나타나지만(그림 7), 호의 특성 즉, 이동 속도에 따라 큰 성능 차이를 보이므로 서로 다른 이동 속도를 갖는 트래픽간에 불공평한 서비스를 제공하게 된다.

또한, 그림 7에서 시뮬레이션 결과 제안하는 기법 I과

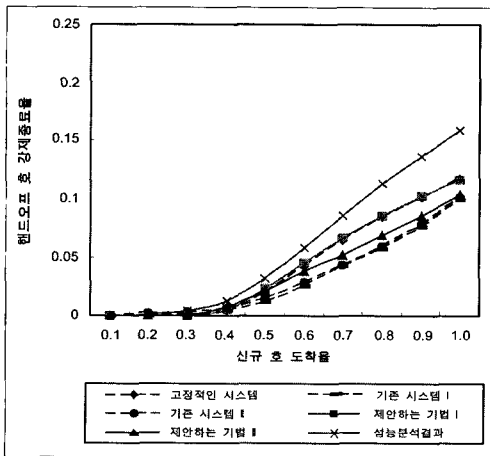


그림 7 음성 핸드오프호의 핸드오프 호 강제 종료율

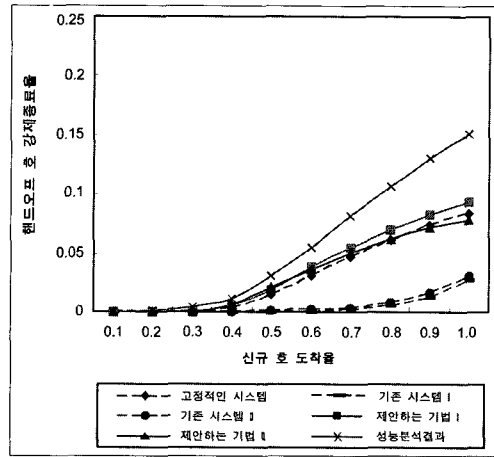


그림 9 고속 음성호의 핸드오프 호 강제 종료율

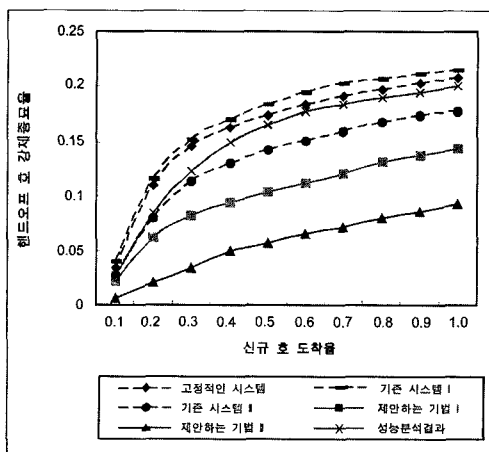


그림 8 멀티미디어 핸드오프호의 핸드오프 호 강제 종료율

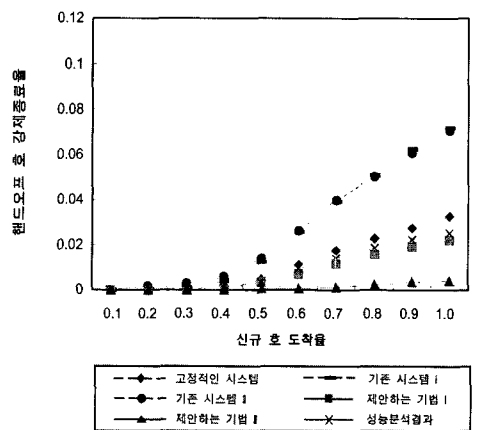


그림 10 저속 음성호의 핸드오프 호 강제 종료율

제안하는 기법 II의 음성호의 핸드오프 강제 종료율을 비교해보면 신규 호 도착율이 0.5이하일 때는 두 기법의 성능이 비슷하게 나타나나 0.6 이상일 때는 제안하는 기법 II가 약간 높은 성능 즉, 낮은 핸드오프 호 강제종료율을 보임을 알 수 있다. 이러한 결과는 제안하는 기법 II의 저속 음성호의 핸드오프 강제 종료율이 낮기 때문인데, 제안하는 기법 II에서는 대부분의 적응성 멀티미디어 호들이 최소 요구 채널 수, 즉 1개의 채널로 서비스를 받게 되어 나타나는 효과이다. 제안하는 기법 I에서는 호 발생 초기 혹은 핸드오프시에 4개의 채널을 점유한 적응성 멀티미디어호들은 그대로 4개의 채널로 서비스를 받으며 진행하지만, 제안하는 기법 II에서는 가용채널 수가 적어지면 기존에 4개의 채널로 서비스 받던 적응성 멀티미디어호도 1개의 채널로 줄여서 서비스를 받게 된다. 따라서 상대적으로 마이크로셀에 사용 가능한 채널 용량이 많은 것과 같은 효과를 얻게 되고, 오버플로우된 저속 음성호들 역시 이러한 이득을 보게 되는 것이다.

그림 11과 12는 멀티미디어호의 핸드오프 호 강제 종료율을 나타낸 것이다. 그림에서 적응성 멀티미디어호와 비적용성 멀티미디어 호 모두 제안하는 기법 I, II가 가장 낮은 핸드오프 호 강제 종료율을 보인다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 제안한 기법들이 멀티미디어 호의 특성에 따라 채널을 적응적으로 할당함으로써 얻어진 이득이다. 기존 시스템 I과 II 경우에는 마이크로셀을 저속 음성호와 멀티미디어호가 공유하여 사용하기 때문에 낮은 성능을 보인다. 특별히 고정적인 시스템과 기존 시스템 I은 적응성 멀티미디어호와 비적용성 멀티미디어호의 핸드오프 호 강제종료율이 동일하게 나타나는데 이는

이 두 시스템에서는 멀티미디어호에 대해서는 특성을 고려한 우선 순위를 제공하지 않았기 때문이다. 즉, 시스템 내에 적응성 호와 비적용성 호의 비율이 동일하고 둘 다 요구 채널 수인 4개의 채널이 확보되어야만 서비스를 제공받기 때문이다.

그림 13과 14는 제안하는 기법들의 오버플로우 확률과 테이크백 확률을 나타낸 것이다. 제안한 두 가지 기법의 오버플로우와 테이크백 확률을 비교하기 위하여 제안하는 2가지 기법에 대해서만 그래프로 표현하였다. 그림 11에서 호 도착율이 0.4 이후에는 테이크백 확률이 감소함을 볼 수 있는데, 이를 통하여 호 도착율이 0.4

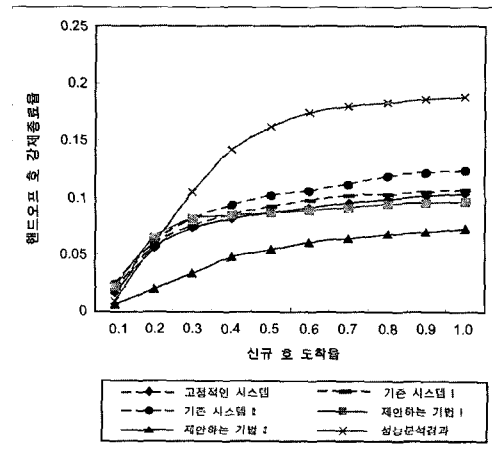


그림 12 비적용성 멀티미디어호의 핸드오프 호 강제 종료율

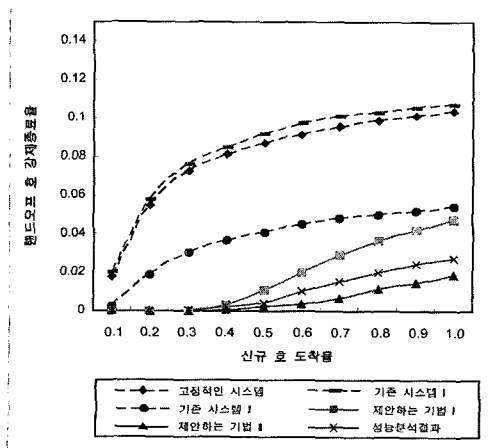


그림 11 적응성 멀티미디어호의 핸드오프 호 강제 종료율

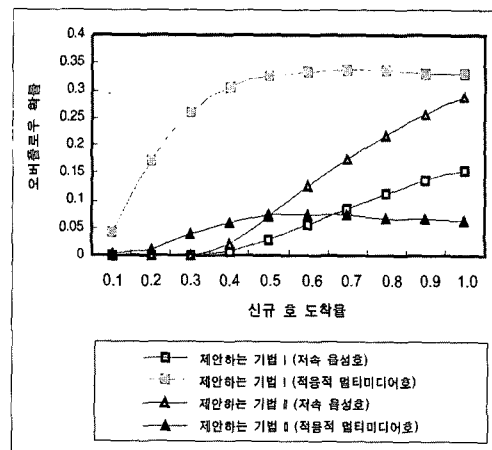


그림 13 오버플로우가 허용된 호들의 평균 오버플로우 확률

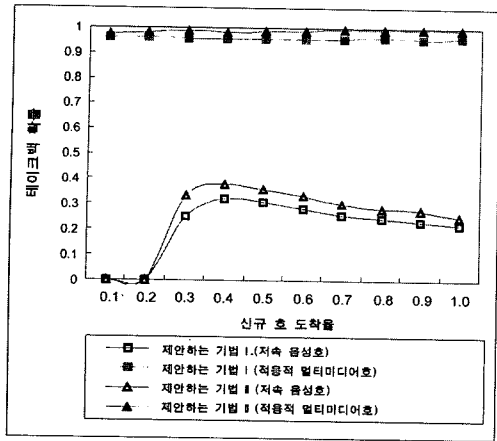


그림 14 오버플로우된 호들의 평균 테이크백 확률

이상이 되면 도착 호가 많기 때문에 오버플로우 되었던 호가 올바른 셀 계층으로 테이크백할 확률이 줄어들 수 있다.

6. 결론

계층별 구조 시스템을 기반으로 제안하는 두 가지 채널 할당 기법을 분석하였다. 제안하는 채널할당 기법들은 지속 음성호와 적응성 멀티미디어호에 오버플로우와 테이크백 전략을 도입하였으며, 셀의 채널 용량에 따라 적응성 멀티미디어호의 대역폭을 융통성있게 조절하도록 하였다. 이러한 오버플로우 방식의 도입은 기존의 채널 예약 방식이나 큐를 이용한 방식에서의 채널 낭비나 큐잉 지연없이 우수한 성능을 보장할 수 있게 하는 장점을 갖는다. 또한 본 논문에서는 제안하는 채널할당 기법들을 2차원 마코프 과정을 이용하여 수치적인 분석을 시도하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안하는 채널 할당 기법들이 핸드오프 호 강제종료율에서 충분히 향상된 결과를 보임을 확인하였다. 특히 제안하는 채널 할당 기법 II에서는 목적지 셀 내에 가용한 채널이 없을 때 비적용성 멀티미디어 핸드오프호에 대하여 요구 채널 수 만큼의 채널 용량을 확보하고 서비스 중인 적응성 호가 채널의 일부를 빌려주는 방식을 사용함으로써 채널 할당 기법 I에서와 같이 트래픽 특성에 의해 나타나는 성능 차이를 다소 극복하였다.

참고 문헌

[1] Y. S. Hwang, Y. N. Han and Y. H. Kim, "Performance analysis of mixed voice/data services in a microcell-based PCS network," IEICE Trans. on Fundamentals, E81-A(6), 1998, 1136-1144.

[2] J. Y. Kim and G. L. Stuber and B.Y. Chung, "Soft Handoff Analysis for hierarchical CDMA Cellular Systems," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, 2001, pp.261-265.

[3] K. L. Yeung and S. Nanda, Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems, IEEE Trans. Vehicular Technol., 45(4), 1996, 601-611.

[4] B. Bensaou, K. C. Chua and W. Zhuang, "Call and packet level performance of an adaptive QoS handoff priority scheme for mobile multimedia networks," Proc. 47th IEEE International Conf. on Communications, Vancouver, 1999, 754 -759.

[5] 이상희, 임재성, "계층별 시스템에서 다양한 트래픽 특성을 기반으로 한 핸드오프 기법," 한국통신학회 99'추계종합학술발표회, pp. 1999.

[6] B. Jabbari and W. F. Fuhrmann, Teletraffic Modeling and Analysis of Flexible Hierarchical Cellular Networks with Speed-Sensitive Handoff Strategy, IEEE Journal on Selected Areas in Commun., 15(8), 1997, 1539-1648.

[7] 이상희, 임재성, "계층별 시스템에서 고속 이동체의 QoS보장을 위한 핸드오프 기법의 성능분석," 정보과학회 논문지, vol.27, no.4, Dec. 2000.

[8] E. Ekici and C. Ersoy, "Multi-Tier Cellular Network Dimensioning," Wireless Networks, vol. 7, no.4, pp.401-411, 2001.

[9] N. D. Tripathi, J. H. Reed and H. F. VanLandingham, "Radio Resource Management in Cellular Systems," Kluwer Academic Publishers, 2001.

[10] W. S. Jeon and D. G. Jeong, "Call Admission Control for Mobile Multimedia Communications with Traffic Asymmetry between Uplink and Downlink," IEEE Trans. Veh. Technol., 50(1), pp.59-66, Jan. 2001.



이 상 희

1998년 2월 강남대학교 전자계산학과 졸업(학사). 2002년 2월 아주대학교 정보통신공학과 졸업(석사). 2000년 9월~현재 아주대학교 정보통신공학과 박사 과정 관심분야는 이동통신 및 무선 인터넷



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)디지콤 정보통신연구소 책임연구원. 1995년 10월~1998년 1월 SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원. 1998년 3월~현재 아주대학교 정보통신대학 부교수. 관심분야는 이동통신 및 무선인터넷