셀집단화 방식에 근거한 무선 ATM 호제어절차의 성능분석

조 영 종† · 김 성 수†

요 약

본 논문에서는 마이크로셀이나 피코셀과 같은 아주 작은 규모의 셀 영역 범위를 사용하는 차세대 무선 ATM 환경에서 효과적으로 이용될 수 있는 호제어절차 방식을 제시하고 개방형 큐잉 네트워크를 사용해 이의 성능분석을 행한다. 셀집단화 방식이라고 불리는 이 호제어절차는 단말의 이동성을 고려하여 새로운 호가 망 내로 수락될 때 단말이 이동할 확률이 높은 이웃한 물리적인 마이크로셀이나 피코셀들을 집합으로 모아서 지역적으로 매크로셀 정도로 넓은 영역을 담당하는 가상셀을 만들어 주는 방식으로, 높은 주파수 재사용 효율을 보장받으면서도 핸드오버에 따른 호제어절차의 개입을 줄일 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 셀집단화 방식에서는 일단 새로운 호가 가상셀 내의 영역으로 수락되고나면 제약없이 기지국 사이를 핸드오버하여 셀집단 내의 한 기지국에 집중하여 과부하 현상을 초래한다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 셀집단화 방식이 사용하는 호수락제어의 판별기준으로서 기지국의 과부하 확률과 기지국이 과부하 상태에 머무르는 평균시간을 정의하고, 셀집단 내에 존재할 수 있는 전체 통화호의 수를 일정한 값 이하로 제한할 경우와 그렇지 않을 경우를 비교하여 성능분석을 행하고 수치 결과를 보임으로써 셀집단화 방식의 효율성을 살펴본다.

Performance Analysis of a Cell-Cluster-Based Call Control Procedure for Wireless ATM Networks

Young-Jong Cho† · Sung-Soo Kim†

ABSTRACT

In this paper, an efficient call control procedure is presented for next generation wireless ATM networks and its performance is mathematically analyzed using the open queueing network. This procedure is based on a new scheme called as the cell clustering. When we use the cell clustering scheme, at the time that a mobile connection is admitted to the network, a virtual cell is constructed by choosing a group of neighboring base stations to which the call may probabilistically hand over and by assigning to the call a collection of virtual paths between the base stations. Within a microcell/picocell environment, it is seen that the cell clustering can support effectively a very high rate of handovers, provides very high system capacity, and guarantees a high degree of frequency reuse over the same geographical region without requiring the intervention of the network call control processor each time a handover occurs. But since mobiles, once admitted, are free to roam within the virtual cell,

※본 논문은 1996학년도 아주대학교 연구비 지원에 의해 연구되었음

† 정 회 원:아주대학교 정보통신대학 정보 및 컴퓨터 공학부

논문접수:1996년 9월 5일, 심사완료:1997년 5월 6일

overload condition occurs in which the number of calls to be handled by one base station to exceed that cell site's capacity of radio channel. When an overload condition happens, the quality of service is abruptly degraded. We refer to this as the overload state and in order to quantify the degree of degradation we define two metrics, the probability of overload and the normalized average time spent in the overload state. By using the open network queueing model, we derive closed form expressions for the maximum number of calls that can be admitted into the virtual cell such that the two defined metrics are used as the acceptance criteria for call admission control.

1. 서 론

현대의 정보통신망은 고속 광대역화하고 이동성을 지원하는 두 가지 큰 특성을 가지고 있다. 비동기식 전송모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)가 다양한 종류의 데이터를 수용하고 필요한 서비스품질(QoS : Quality of Service)을 효과적으로 보장할 수 있다는 장점으로 인해 광대역종합정보통신망(B-ISDN : Broadband Integrated Services Digital Network)의 기본적인 구현 기술로 정착됨에 따라, 고속의 무선 LAN이나 PCS(Personal Communication Service), FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System)등의 차세대 이동무선망의 근간전달망(backbone transport network)으로 ATM 망을 활용하고자 하는 노력이 최근에 활발히 시도되고 있다[1]-[5]. 이러한 추세에 발맞추어 ITU-R과 ATM 포럼에서는 무선 ATM(WATM : Wireless ATM) 작업그룹(working group)을 최근에 발족하고 개인용 이동단말의 이동성 지원을 위한 상위계층 기능을 규정하는 Mobile ATM 분야와, 무선 ATM 억세스를 위한 무선 링크 프로토콜을 다루는 Radio Access 분야에 대한 표준을 진행하고 있다[10]. 이 중에서도 Mobile ATM 분야는 새로이 많은 연구가 진행 중이며 이 분야의 세부 주제들로서는 핸드오버(handover) 제어와 이에 따라 수정 확장되어야 하는 ATM 신호절차 기능, 이동단말의 위치관리, ATM 상의 무선 IP 데이터그램 전달서비스 기능, 경로설정 기능, 호수락제어(CAC : Call Admission Control)와 QoS 제어 기능 등이 있다[11]-[13].

현재까지의 무선 ATM 분야의 초기 연구 결과에 따르면[6]-[9], 고정 형태의 유선망(fixed wired network)만을 대상으로 했던 기존의 ATM 표준 프로토콜의 사용자 평면(user plane)에다 무선 환경에 고유한 새로운 MAC (Medium Access Control) 계층과 DLC (Data Link Control) 계층을 추가하고, ATM 제어 및 관리 평면(control and management plane)에는 단말의 이동성(mobility) 지원 기능을 추가로 정의하고 첨가함으로써 무리 없이 무선 ATM 환경을 구축할 수 있을 것으로 분석되고 있다. 따라서 가까운 장래에 유무선이 통합된 ATM 망을 이용하여 단말의 위치에 관계없이 종단대종단(end-to-end)으로 요구되어지는 높은 수준의 QoS를 보장받으면서 멀티미디어 응용서비스를 구축하는 것이 가능할 것이다.

셀룰라 개념을 기초로 한 무선이동통신 환경에서는 통화가 진행되는 중에 단말이 한 셀(cell) 영역에서 다른 셀 영역으로 이동하는 핸드오버가 발생한다. 핸드오버 시에도 호의 연속성과 통화 품질은 유지될 수 있게끔 단말기제어, 망제어, 또는 단말기보조 방식 등의 다양한 핸드오버 제어 방식이 연구되었다[14]-[16]. 특히 한정된 주파수를 재사용(frequency reuse) 하기 위해 마이크로셀이나 피코셀을 사용하는 PCS 환경에서와 같이 고정망의 종단점인 기지국(BS : Base Station)에 할당된 무선채널의 수가 적고 단말의 이동성이 상대적으로 높은 시스템에서는, 핸드오버의 발생 빈도수가 굉장히 높다. 핸드오버호(handover call)가 이동하려는 셀에 활용 가능한 채널이 없어 중단되거나 종료되는 핸드오버호 차단(blocking) 현상은 이동통신망의 성능을 결정하는 중요한 조건으로 이는 새로운 초기개시호(new call)가 실패하는 경우보다도 더 신뢰성에 악영향을 미친다. 이 때문에 초기개시호와 핸드오버호를 구별하여 무선채널을 할당하는 여러 방법들이 연구되었는데, 예비채널(guard channel)방식, 우선순위큐잉(queueing priority)방식 또는 부속도(sub-rating) 방식 등이 예에 속한다[18]-[21].

현재의 기존 유선 ATM 환경에서는 사용자와 망간의 인터페이스(user network interface)의 위치는 호를 개시할 때 결정되어 호가 종료될 때까지 그 위치를

변경할 수 없다. 하나의 새로운 호가 망에 연결을 요구하면 CAC 기능에 의해 새로운 호를 수락해야 할지, 거부할지가 결정된다. 만약 이미 설정되어 있는 기존의 호에 영향을 미치지 않는 범위에서 새로이 요구된 서비스의 QoS를 만족시킬 망 자원이 있으면 새로운 호는 수락된다. 이와 동시에 경로설정 기능에 의해 새로운 호를 위한 망 내의 경로가 결정되며 이 경로는 통화 중에는 변경될 수 없다. 그러나 무선 ATM 환경에서는 핸드오버가 발생하면 사용자와 망 간 인터페이스의 위치가 바뀌는 경우에 해당되므로 기지국제어기(BSC:Base Station Controller) 내의 호제어처리기(call control processor)에 의해 ATM 전달망 내에서 기지국 간에 호접속 경로를 재설정해야 하고 이에 따라 ATM 신호절차(signalling procedure)를 빈번히 수행해야 하는 문제점이 발생한다. 즉 매크로셀을 사용하는 셀룰라 환경에서는 주파수 재사용 효율은 떨어지지만 핸드오버에 따른 호제어의 문제는 심각하지 않은데 비해, 한정된 주파수 대역을 재사용하여 시스템의 용량을 증가시킬 목적으로 마이크로셀이나 피코셀을 사용하고 따라서 핸드오버의 발생빈도가 높은 차세대 이동통신 환경에서는, 기존의 호제어절차는 호제어처리기에 과부하를 발생시켜 망 전체의 성능이 급격하게 저하되는 결과를 초래함으로 용이하게 사용될 수 없다. 이러한 문제점을 해결하여 차세대 이통통신망에 쓰일 수 있도록 앵커형 경로 재설정(anchor re-routing) [14], [15], 동적 경로 재설정(dynamic re-routing) [13], 가상 접속 나무 구조형 경로 재설정(virtual connection tree re-routing)[12] 등의 다양한 핸드오버 제어 방식들이 연구되었다.

호제어처리기에 과부하가 발생하는 이유는 담당 범위가 지역적으로 좁은 마이크로/피코셀들 사이의 물리적 핸드오버마다 신호절차가 반복적으로 수행되어야 함에 기인한다. 이를 피하기 위해 본 논문에서 다루게 되는 셀집단화(cell clustering) 방식에서는 단말의 이동성을 고려하여 새로운 호가 망 내로 수락될 때 단말이 이동할 확률이 높은 이웃한 몇 개의 물리적 셀들을 집합으로 모아서 기존의 셀룰라 통신이 사용하는 매크로 셀 정도의 규모로 지역적으로 넓은 영역을 담당하는 가상셀을 구성하여 호 하나당 하나씩 할당하고 그 셀집단(cell cluster) 내에 포함되는 기지국들 사이에 미리 새로운 호를 위한 경로 설정을 집합적으로 행해 둔다. 이러한 셀집단화 방식에서는 단말이 이동하더라도 계속 가상셀의 영역 내에 머무는 확률이 높으므로 핸드오버가 일어나더라도 가상셀을 구축하는 ATM 전달망 내에서는 새로운 경로를 다시 설정할 필요가 없고 단말이 셀집단을 벗어날 경우에만 새로운 신호절차를 수행하면 된다. 실제로 보행자 위주의 서비스가 주된 대상인 PCS 환경에서는 셀집단의 크기를 효과적으로 넉넉하게 설정할 수 만 있다면 단말이 가상셀을 벗어날 확률은 극히 적을 것으로 예측된다. 기지국들 사이의 경로를 설정하는 방식은 기지국과 기지국제어기의 연결 형태에 따라 링 형태, 스타 형태 또는 나무 형태 등이 고려될 수 있고, 셀집단화 방식은 이러한 구성 형태에 상관없이 적용할 수 있으므로 본 논문에서는 어떻게 구체적으로 호제어 절차 시스템의 구현할 것인가를 논하는 것은 생략하고 단지 셀들을 집단으로 모아 호제어를 할 때 얻어지는 효과를 분석하는 것에 초점을 맞춘다. 본 논문은 위에서 언급한 대로 마이크로셀이나 피코셀과 같은 아주 작은 규모의 셀 영역 범위를 사용하는 무선 ATM 환경에 적합한 셀집단화 방식에 기초한 호제어 절차 시스템을 가정하고 이의 특성을 관찰하기 위해, 개방형 큐잉 네트워크 기법[25], [26]을 사용하여 전체 시스템을 일괄적으로 모델링한 후 자세한 수학적 성능분석을 행하고자 함이 그 목적이다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 ATM 시스템의 구조를 조감하고 무선 ATM 환경에 적합한 셀집단화 방식에 대해 자세히 기술하고, 3 장에서는 셀집단화 방식에 기초한 호제어절차의 특성을 수학적으로 분석하기 위한 모델을 설정한 뒤 호수락제어를 행할 때와 행하지 않을 때를 구별하여 과부하 상태 분석 등의 여러 가지 성능 분석을 행한다. 4 장에서는 3장에서 얻어진 수식을 토대로 수치 결과를 구하고 중요한 시스템 특성들을 관찰하고 분석 결과를 검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 셀집단화 방식에 의한 호제어절차

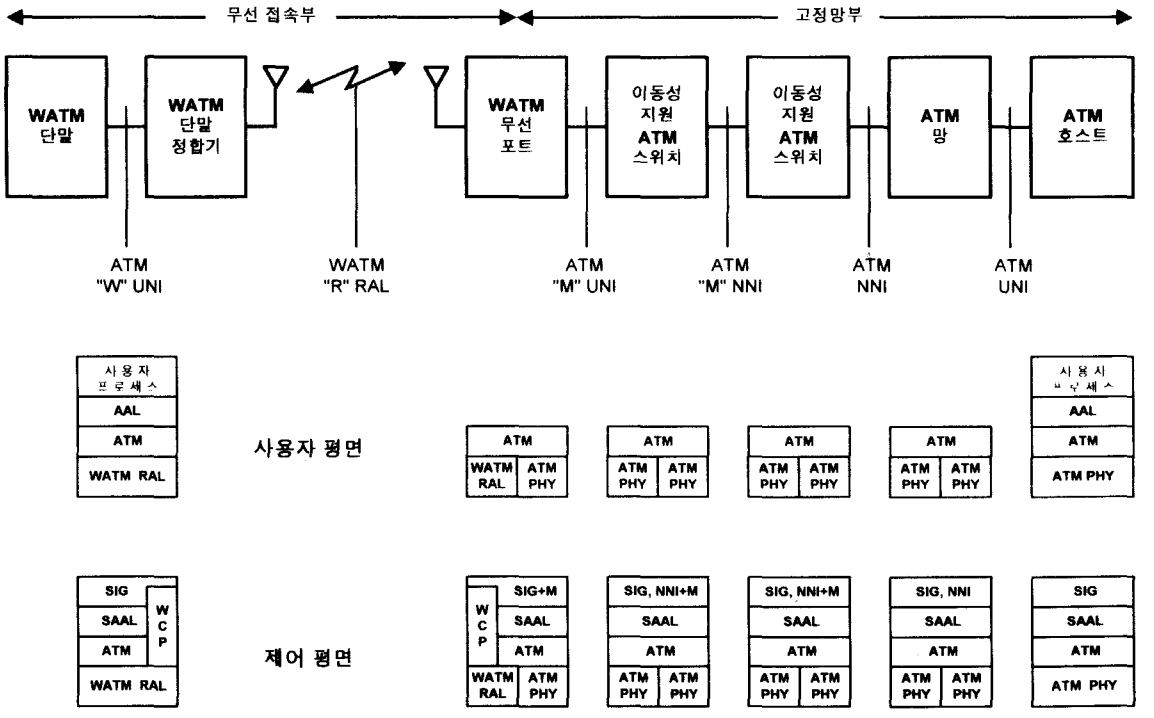
2.1 무선 ATM 시스템의 구조

무선 ATM 시스템의 참조 모델은 그림 1에 도시되어 있으며, 이에 대응하는 프로토콜 구조는 그림 2에 제시되어 있다. 그림 1에서 보다시피 WATM의 시스

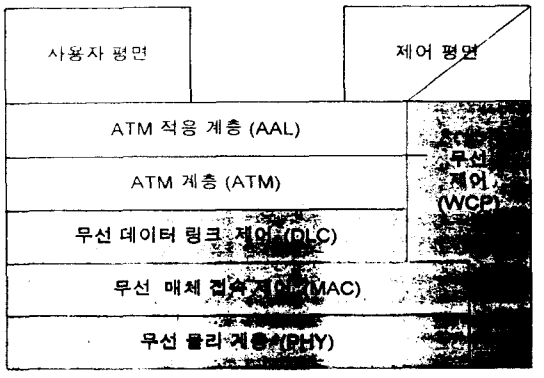
템 규정은 무선접속부와 고정망부로 구성된다. 고정망부는 이동성 지원을 위한 선택사양인 "M" (Mobile) UNI(User Network Interface)와 NNI(Network Node Interface)에 대한 규정에 의해 정의된다. 종단대종단간의 ATM을 위한 무선접속부는 "R" (Radio) RAL (Radio Access Layer)에 대한 규정에 의해 정의된다. 완전한 무선 ATM을 위한 "W" UNI 규정은 "M" UNI 규정과 "R" RAL 규정의 합으로 정의된다.

ATM 포럼의 WATM 작업그룹은 그림 1의 시스템 규정에 맞추어 표준화 작업을 상위계층 기능을 규정하는 Mobile ATM 분야와 무선 링크 프로토콜을 다루는 Radio Access 분야로 나누어 진행하고 있다. Radio Access 분야에 속하는 주요 주제들로서는 무선 PHY(Physical Layer), 무선 MAC (Medium Access Control), 무선 DLC (Data Link Control), 무선 자원관리를 위한 WCP (Wireless Control Protocol)가 있다. 이 중에서도 ATM 포럼 UNI 4.0 규정 [17]이 정의하는 ABR, VBR, CBR, UBR 등의 표준 ATM 서비스를 무선 환경에서도 똑같이 보장하기 위해 무선 MAC과 무선 DLC 규정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 MAC은 복수 개의 단말들이 한정되어 있는 무선채널을 나누어 쓰게끔 하는 기능이다. 이에 반해 종단대종단의 ATM 서비스품질은 셀 손실에 민감하므로, 무선 DLC는 무선환경에서 발생하기 쉬운 전송오류를 효과적으로 제어하는 기능이다.

Mobile ATM 분야에 속하는 주요 주제들로서는 이동 단말의 위치관리(location management), MIoA (Mobile IP over ATM) 기능, 핸드오버 제어와 이에 따른 ATM 신호절차 규정, Mobile 연결의 경로설정 (routing) 기능, CAC와 QoS 제어들이 있다. 이동 단말의 위치관리 기능은 각 단말이 현재 어느 기지국의 관리영역 내에 있는가를 추적하고 단말의 자격검증 (authentication)이나 등록절차(registration)를 다루는 기능이다. 이 기능은 MAP(Mobile Application Part) [16]라고 불리는 상위계층 프로토콜로 정의되며, 공중 PCS나 셀룰라 망의 위치관리를 위해 유럽형의 GSM



(그림 1) WATM 시스템 참조 모델
(Fig. 1) WATM System Reference Model



(그림 2) WATM 프로토콜 구조
(Fig. 2) WATM Protocol Architecture

[14]이나 북미형의 IS-41[15] 표준들이 이미 존재한다. 따라서 무선 ATM 환경에서도 위치관리를 위해 기존의 GSM MAP 이나 IS-41 MAP을 활용할 수도 있으나, 보다 고성능의 위치관리 서비스를 위해서는 무선 ATM 고유의 MAP 프로토콜이 연구되어 "M" NNI 프로토콜에 합해져야 할 것으로 예측된다. MIoA는 비연결형 서비스(connectionless service)인 IP 기반의 컴퓨터 통신 단말 간의 통신을 연결지향 서비스(connection-oriented service)인 무선 ATM 환경에서도 지원하기 위한 기능이다. 단말들이 IP 주소를 가질 때의 종단대종단 WATM 환경에서나, IP 서브네트(subnet)를 ATM을 기반으로 연결(interconnection)할 때 해결되어야 하는 문제점들, 예를 들어 LANE (LAN Emulation)이나 MPOA (Multi-Protocol over ATM)에서 필요한 이름-위치의 해소(resolution), Mobile ATM 구조와 IPv6에 규정된 Mobile IP 구조를 서로 연관시키는 등이 이 주제에 포함된다.

상위계층 기능을 다루는 Mobile ATM 분야 중에서도 가장 중요한 주제는 단말의 핸드오버를 고려하여 기존의 UNI와 NNI 신호절차 규정을 수정하거나 확장하는 문제이다. 여기에는 핸드오버 도중에도 CAC를 재호출하는 능력이나 연결 도중 동적으로 QoS를 재협상(renegotiation)하는 능력을 추가하는 것, 핸드오버 중에도 ABR 트래픽의 제어를 지속할 수 있는 능력을 추가하는 것, 핸드오버를 위한 OAM(Operations & Management) 셀을 추가한다던 지, 단말의 이동성을 고려하여 단말들 사이에 루프가 존재하지 않도록 주기적으로 경로를 최적화하는 기능이 NNI 규정으로 확장되어야 하는 것 등이 포함된다. 따라서 신호절차와 경로설정, CAC와 QoS 제어 등은 서로 밀접한 관계를 갖고 있다. 다음절에서는 이러한 관계를 살펴보면서 WATM에 효율적인 셀집단화 방식을 기술하고자 한다.

2.2 셀집단화 방식의 설명

기존 유선 ATM 환경에서는 UNI의 위치는 사용자가 망에게 호를 개시할 때 결정되어 호가 종료될 때까지 사용자는 그 위치를 변경할 수 없다. 사용자가 하나의 새로운 호 연결을 망에 요구하면 호제어절차 기능의 하나인 CAC를 통해 망은 새로운 호를 수락해야 할 지, 거부할지를 결정한다. 만약 이미 설정되어 있는 기존의 호에 영향을 미치지 않는 범위에서 새로운 호가 요구하는 서비스의 QoS를 만족시킬 망 자원이 가용하면 새로운 호는 수락된다. 이와 동시에 또 다른 호제어절차 기능의 하나인 경로설정에 의해 새로운 호가 개설되는 망 내의 경로가 결정되며 이 경로는 통화 중에는 변경될 수 없다. 그러나 무선 ATM 환경에서는 핸드오버가 발생하면 사용자와 망간 인터페이스의 위치가 바뀌는 경우에 해당되므로 기지국제어기 내의 호제어절차 소프트웨어에 의해 ATM 전달망 내에서 기지국 간에 호접속 경로를 재설정해야 하고, 재설정되는 경로를 따라 버퍼나 링크의 대역폭 등의 가용자원이 있는 지가 확인 된 후, 종단대종단으로 경로 상에 있는 모든 스위치들은 새로운 가상채널을 할당하기 위한 ATM 신호절차를 새로이 수행해야만 하는 문제점이 발생한다. 따라서 기존의 호제어절차 방식으로는 기지국제어기 내의 호제어처리기에 과부하가 발생하여 망 전체의 성능이 급격하게 저하되는 결과를 초래한다.

호제어처리기에 과부하가 발생하는 이유는 영역범위가 지역적으로 좁은 셀들 사이를 단말이 빈번히 이동하면서 만들어내는 많은 횟수의 물리적 핸드오버마다 일대일의 비율로 신호절차가 반복적으로 수행되어야 하는 사실에 기인한다. 이를 피하기 위해 셀집단화 방식에서는 단말의 이동성을 고려하여 새로운 호가 망 내로 수락될 때 단말이 이동해 갈 확률이 높은 이웃한 몇 개의 물리적 셀들을 집합으로 모

아서 기존의 셀룰라 통신이 사용하는 매크로 셀 정도의 규모로 지역적으로 넓은 영역을 담당하는 가상셀을 정하여 할당하고, 셀집단 내에 포함되는 각 기지국 사이에 미리 새로운 호를 위한 일련의 가상채널들을 할당하고 경로설정을 행해 둔다. 이런 경우 단말이 이동하더라도 계속 가상셀의 영역 내에 머무는 확률이 높아지므로 단말이 기지국을 바꾸는 핸드오버가 일어나더라도 가상셀에 포함시킨 ATM 전달망 내에서는 다시 신호절차 기능이 개입하여 경로를 재설정할 필요가 없고, 단말이 셀집단을 벗어나는 셀집단 사이의 핸드오버(일종의 inter-system handover) 시에만 호제어처리기가 개입하여 신호절차를 수행하면 된다. 실제로 통화 시간이 짧고 보행자 위주의 서비스가 주된 대상인 PCS 환경에서는 셀집단의 크기를 효과적으로 예상하여 포함되는 기지국의 수를 넉넉하게 정할 수 만 있다면 단말이 가상셀을 벗어날 확률은 극히 적을 것으로 예측된다. 각각의 기지국 사이의 일련의 경로 집합을 설정하는 방식은 기지국과 기지국제어기의 연결 형태에 따라 링, 스타 또는 나무형 등이 고려될 수 있으며, 특히 루트 기지국을 두고 나머지 기지국 사이의 연결은 루트 기지국을 통해 모두 접속되는 나무 구조 형태의 경로배정 방식이 많이 연구되었다[12]. 가상셀 기법은 이동 컴퓨터 통신에서 IP 데이터그램을 효율적으로 전송하기 위한 Mobile IP의 표준 구조로 가능한 가를 확인하기 위해 널리 연구되었다[23], [24].

그러나 셀집단화 방식에서는 새로운 호 하나마다 가상셀에 포함되는 기지국 수의 제곱에 비례하는 많은 수의 경로를 미리 예약해야 하며 이에 따라 호제어절차의 수행시간이 길어지는 단점과, 일단 새로운 호가 가상셀 내의 영역으로 수락되고나면 임의로 아무런 제약없이 기지국 사이를 핸드오버하여 셀집단 내의 유한한 망 자원, 특히 한정된 무선 채널들, 을 서로 사용하려 함으로 인해 폭주현상(congestion)을 초래한다는 문제점이 있다. 따라서 WATM을 위한 셀집단화 방식이 효율적이 되기 위해서는 정해진 기준(criteria)에 따라 셀집단 내에 존재할 수 있는 전체 통화호의 수를 일정한 값으로 제한하는 기능이 호수락제어 절차에 첨가되어야 한다.

한편, 호수락제어에 의해 셀집단 내에 존재하는 전체 호의 수를 한정시키더라도 임의의 기지국 하나만을 분리하여 생각해 보면 해당 기지국이 지원하는 무선채널의 수가 한정되어 있고 이들이 다툼의 주된 대상(bottleneck)이 되므로 기지국이 과부하상태에 도달하는 현상이 발생한다. 따라서 해당 기지국이 어느 정도의 과부하인 지를 정량적으로 계산하기 위한 척도(metric)로서 과부하 확률과 기지국이 과부하 상태에 머무르는 평균시간을 정의하여 각각의 표현식을 유도하고, 이들을 CAC의 판별 기준으로 사용하는 방안을 생각한다. 즉 새로운 호의 수락 판정 시에 망 내에 이미 서비스되고 있는 기존의 호에 영향을 미치는가의 여부를 판단할 때, CAC는 과부하 확률과 평균 과부하 시간을 판별 기준으로 삼아, 셀집단 내의 전체 호의 수를 제한해야한다. 아래의 3.2 절과 3. 3 절에서는 호의 수를 제한하는 호수락제어가 행해지는 경우와 그렇지 않은 경우를 구별하여 각각의 성능분석을 행하도록 한다.

본 논문은 위에서 기술한 대로 특히 마이크로셀이나 피코셀과 같은 아주 작은 규모의 셀 영역 범위를 사용하는 차세대 무선 ATM 환경에 적합한 셀집단화 방식에 기초한 호제어절차 시스템의 특성을 관찰하기 위해, 개방형 큐잉 네트워크 기법을 사용하여 시스템을 모델링한 후 자세한 수학적 성능분석을 행하고자 함이 그 목적이다.

3. 시스템 모델링 및 성능분석

본 논문에서는 2장에서 언급한 것과 같이 여러 개의 셀(또는 기지국)들을 모아 하나의 셀집단을 구성한다고 가정하고, 다음과 같은 몇 가지의 가정 하에 셀집단에서 새로이 발생하는 초기개시호, 통화 중 단말이 이동함에 따라 발생하는 핸드오버호 및 통화가 완료되어 호가 종료되는 전체 환경을 개방형 큐잉 네트워크(open queueing network)로 일괄적으로 모델링한다.

3.1 모델 설명

사용되는 가정들은 다음과 같다.

가정 1) 하나의 셀집단은 M개의 셀로 구성된다.

가정 2) 셀집단 내 임의의 기지국 i에 접근하는 초기개시호는 Poisson 분포를 갖고 단위시간당 λ_i(단 $i \in [1, M]$

인 정수)의 비율로 발생한다.
가정 3) 핸드오버가 일어날 때까지 임의의 셀 i내에서의 통화지속시간은 평균이 $1/\mu_i$(단 $i \in [1, M]$인 정수)인 지수분포를 갖는다. 즉 호 종료율은 μ_i이다.
가정 4) 임의의 셀 i 내에서 더 이상 다른 셀로 핸드오버하지 않고 통화를 종료할 확률은 $p_{i0}=1-f$이며, 다른 셀 j로 핸드오버할 확률은 p_{ij}(단, 같은 셀로 회귀할 확률 $p_{ii}=0$)이며, 모든 전이확률의 합은 $\sum_{j=0}^{M} p_{ij}=1$이다.

(가정 4)에 의해 호가 개시된 후 기지국 사이를 이동하는 호의 전이과정은 전이확률 (p_{ij})를 갖는 Markov chain으로 간주할 수 있다. 기지국 i에 접근하는 모든 호는 자체의 초기개시호와 다른 기지국에서 핸드오버되는 호들의 합이 되므로 다음과 같은 트래픽 관계식이 성립한다.

$$\alpha_i=\lambda_i+\sum_{j=1}^{M}\alpha_j\, p_{ji},\ i=1, 2,\cdots, M. \tag{1}$$

여기서 α_i는 단위시간당 기지국 i에 접근하는 호의 발생률이다. 식 (1)을 i에 대해 합하고 $\sum_{i=1}^{M} p_{ji}=1-p_{j0}=f$를 이용하면

$$\sum_{j=1}^{M}\alpha_j\, p_{j0}=\sum_{j=1}^{M}\lambda_j \tag{2}$$

을 얻을 수 있다. 식 (2)의 좌변은 호가 셀집단을 벗어나는 비율이며 우변은 셀집단 내부에서 새로이 발생하는 호의 비율이므로 식 (2)는 통화호의 트래픽 보존 관계식을 의미한다. 식 (1)을 다시 쓰면

$$\alpha=\lambda+\alpha P_0 \tag{3}$$

이 된다. 단 여기서 $\alpha=(\alpha_1,\cdots,\alpha_M)$인 벡터, $\lambda=(\lambda_1,\cdots,\lambda_M)$인 벡터, $P_0=(p_{ij})$, $1\le i, j\le M$인 행렬이다. 이러한 Markov chain에 있어서 셀집단 내의 호가 기지국 사이를 핸드오버하면서 i번째 기지국을 접근하는 평균 횟수를 v_i라고 하면

$$v_i=q_i+\sum_{j=1}^{M} v_j\, p_{ji},\ i=1, 2,\cdots, M \tag{4}$$

와 같은 식을 쓸 수 있으며, 식 (4)에서 q_i는 셀집단 내부에서 발생하는 전체 초기개시호와 i번째 셀에서 발생하는 초기개시호의 상대적 비율이다.

수식 유도를 간편하게 하고 실제로도 물리적 의미가 있는 가정 즉 '셀들 사이의 트래픽 특성과 경로선택 특성이 동질성을 가진다(homogeneous)'을 이용해 다음과 같은 전제조건들을 추가하자.

가정 5) 변수 λ_i와 μ_i는 i에 관계없이 λ와 μ로 일정하다.
가정 6) 변수 q_i는 i에 관계없이 1/M로 일정하다.
가정 7) 핸드오버 시에 하나의 기지국을 벗어나 $(M-1)$개의 다른 기지국 중 임의의 하나로 이동할 확률은 $1/(M-1)$로 항등 분포(uniform distribution)를 갖는다.

위와 같은 가정들로부터 행렬 P_0는 다음과 같이 간략히 주어진다.

$$P_0=\begin{bmatrix} 0 & f/(M-1) & \cdots & f/(M-1) \\ f/(M-1) & 0 & \cdots & f/(M-1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f/(M-1) & \cdots & 0 & f/(M-1) \\ f/(M-1) & \cdots & f/(M-1) & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

여기서 $M\times M$행렬 P_0는 임의의 i번째 행의 합이 f($f<1$인 확률) 이므로 substochastic 행렬이고 $\lim_{n\to\infty} P_0^n=0$이므로 기본행렬 $M_0=(I-P_0)^{-1}\equiv\sum_{n=0}^{\infty} P_0^n$가 존재함을 알 수 있다. (가정 5)-(가정 7)과 식 (5)를 이용하면 식 (1)로부터

$$\alpha_1=\cdots=\alpha_M=\frac{\lambda}{1-f} \tag{6}$$

와 같은 결과를 얻고, 식 (4)로부터는

$$v_1=\cdots=v_M=\frac{1}{M(1-f)} \tag{7}$$

를 구할 수 있다. (가정 5)에 의해 셀집단 내에서 발생하는 초기개시호의 총합은 $M\lambda$이므로 식 (6)과 (7)에 의해 다음과 같은 관계식을 찾아낼 수 있다.

$$\alpha_i = M\lambda \times v_i,\ i = 1, 2, \cdots, M. \tag{8}$$

아래에서는 jobshop-like queueing 기법 [26]을 이용하여 호수락제어가 있는 경우와 없는 경우를 구별하여 각각의 성능분석을 행하도록 한다.

3.2 호수락제어를 행하지 않는 경우

호수락제어를 행하지 않는 경우는 초기개시호가 발생하는 비율은 이미 셀집단에 존재하고 있는 기존 통화호의 갯수와 무관하므로 Jackson의 소위 항등발생 모델(constant arrival model) [26]을 적용할 수가 있다. Jackson의 정리를 적용하여 다음과 같은 결과를 유도하자.

결과 1) 호수락제어를 행하지 않을 때 M개의 셀들로 이루어진 셀집단 전체의 정상상태에서의 확률분포 $p(k)$는 각 셀 상태의 확률분포의 곱의 형태로 주어진다. 즉

$$p(k) = p(k_1, k_2, \cdots, k_M) = \prod_{i=1}^{M} p_i(k_i).$$

여기서 $k = (k_1, k_2, \cdots, k_M)$는 상태벡터이며, $p_i(k)$는 (단 k는 자연수) 정상상태에서 i번째 셀 내에 k개의 호(초기개시호 또는 핸드오버호)가 존재하는 확률이다. 보조함수 $w_i(k)$와 T_i를 사용해 이를 표시하면

$$p_i(k) = \begin{cases} \dfrac{w_i(k)}{T_i}, & T_i\text{가 존재할 때,} \\ 0, & T_i\text{가 존재하지 않을 때,} \end{cases}$$

$$T_i = \sum_{k=0}^{\infty} w_i(k),$$

$$w_i(k) = \prod_{n=1}^{k} \frac{\alpha_i}{\mu_i(n)}$$

과 같이 되는데, 여기서 α_i는 3.1절에서 정의된 대로 i번째 셀 내에서의 호 발생률이며 $\mu_i(n)$은 i번째 셀 내에 n개의 호가 존재할 때의 호 종료율이다.

위의 결과에서 T_i는 $p_i(k=0)$의 역수와 같으므로, $\sum_{k=0}^{\infty} p_i(k) = 1$을 만족시키는 일종의 정규화상수(normalization factor) 임을 알 수 있다. 셀집단 내의 모든 셀들이 서로 동질성을 가질 때 α_i는 i와 관계없이 $\lambda/(1-f)$이지만 $\mu_i(n)$은 셀 내의 기지국이 지원하는 최대 무선채널 수에 의존한다.

3.2.1 무한 채널일 경우

기지국당 지원하는 무선채널의 수가 무한대일 때는 현재 존재하는 n개의 모든 호가 같은 확률로 종료할 수가 있으므로 $\mu_i(n) = n\mu$이다. 따라서 (결과 1)에 의해 i번째 셀의 확률분포를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} w_i(k) &= \prod_{n=1}^{k} \frac{\lambda/(1-f)}{n\mu} \\ &= \frac{\left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^k}{k!}, \\ \sum_{k=0}^{\infty} w_i(k) &= e^{\frac{\lambda}{\mu(1-f)}} = 1/p_i(0), \\ p_i(k) &= e^{-\frac{\lambda}{\mu(1-f)}} \cdot \frac{\left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^k}{k!}. \end{aligned} \tag{9}$$

위의 식 (9)에서 유도된 $p_i(k)$는 널리 알려진 형태의 Poisson 분포, 즉 도착율(arrival rate)이 $\lambda/(1-f)$이고 서비스율(service rate)이 μ인 $M/M/\infty$ queue의 정상상태 확률분포, 형태를 갖추고 있음을 관찰할 수 있다. 따라서 셀집단 전체의 정상상태에서의 확률분포는 M개의 서로 독립적인 queue 각각의 확률분포의 곱으로 표시된다.

3.2.2 유한 채널일 경우

무선채널의 수가 c개로 한정될 때는 $\mu_i(n) = \mu \cdot \min(c, n)$로 결정된다. 이 경우는 식 (9)의 유도와 유사한 순서로 i번째 셀의 확률분포를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$1/p_i(0) = \sum_{k=0}^{c-1} \frac{\left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^k}{k!} + \frac{\left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^c}{c!} \cdot \frac{1}{1 - \dfrac{\lambda}{c\mu(1-f)}},$$

$$p_i(k) = \begin{cases} p_i(0) \cdot \dfrac{\left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^k}{k!} & k \le c, \\ p_i(0) \cdot \dfrac{\left(\dfrac{\lambda}{c\mu(1-f)}\right)^{k-c}}{c!} \left(\dfrac{\lambda}{\mu(1-f)}\right)^c & k > c. \end{cases} \tag{10}$$

식 (10)에서 유도된 $p_i(k)$는 서버의 개수가 c, 도착율이 $\lambda/(1-f)$이고 서비스율이 μ인 $M/M/c$ queue의 정상상태 확률분포 형태를 갖추고 있다. 따라서 셀집단 전체 시스템은 M개의 서로 독립적인 queue 로 분리(decomposition)하여 쉽게 처리할 수 있다.

3.3 호수락제어를 행하는 경우

호수락제어가 실행되어 셀집단 내에 존재할 수 있는 전체 통화호의 수를 항상 N으로 고정시킨 경우를 생각하자. 호수락제어 기능은 전체호의 수가 이미 지정된 N보다 작아지면 새로운 초기개시호가 발생되도록 허용하므로 Jackson의 소위 triggered arrival 모델[26]을 적용할 수 있다. Jackson의 정리를 적용하여 다음과 같은 결과를 유도한다.

결과 2) M개의 셀들로 이루어진 셀집단 내의 전체 통화호의 수를 N으로 고정시키면 셀집단 전체의 정상상태에서의 확률분포 $p(k)$는

$$p(k)=\frac{w^*(k)}{T^*(N)}$$

이다. 위에서 사용된 보조함수들은 다음과 같이 정의된다.

$$w^*(k)=\prod_{i=1}^{M}\prod_{n=1}^{k_i}\frac{v_i}{\mu_i(n)},$$

$$T^*(N)=\sum_{F(N)} w^*(k).$$

여기서 $F(N)=\{k\,|\,k_i\geq 0,\ i\in[1,\ M]$이고 $\sum_{i=1}^{M}k_i=N\}$인 집합이다. $F(N)$에 속하는 원소의 가짓수는 조화조합(harmonic combination) ${}_MH_N=\binom{M+N-1}{N}$이다.

3.3.1 확률분포의 유도

기지국당 지원하는 무선채널의 수가 무한할 경우는 $\mu_i(n)=n\mu$이고, 식 (7)로부터 $v_i=1/(M(1-f))$이므로 (결과 2)에 의해

$$w^*(k)=\prod_{n=1}^{k_1}\frac{1}{M(1-f)\cdot n\mu}\cdots\prod_{n=1}^{k_M}\frac{1}{M(1-f)\cdot n\mu} \tag{11}$$

$$=\left[\frac{1}{M(1-f)\mu}\right]^{k_1+k_2+\cdots+k_M}\frac{1}{k_1!\,k_2!\cdots k_M!}$$

을 구할 수 있다. 또한

$$T^*(N)=\sum_{k_1+k_2+\cdots+k_M=N}\left[\frac{1}{M(1-f)\mu}\right]^{k_1+k_2+\cdots+k_M}\frac{1}{k_1!\,k_2!\cdots k_M!} \tag{12}$$

$$=\left[\frac{1}{M(1-f)\mu}\right]^{N}\frac{1}{N!}\sum_{k_1+k_2+\cdots+k_M=N}\frac{N!}{k_1!\,k_2!\cdots k_M!}1^{k_1}1^{k_2}\cdots 1^{k_M}$$

$$=\left[\frac{1}{M(1-f)\mu}\right]^{N}\frac{M^N}{N!}$$

이다. 단 식 (12)의 유도 과정에서는 다음의 항등식을 이용하였다.

$$(x_1+x_2+\cdots+x_l)^n=\sum_{n_1+n_2+\cdots+n_l=n}\frac{n!}{n_1!\,n_2!\cdots n_l!}x_1^{n_1}x_2^{n_2}\cdots x_l^{n_l}. \tag{13}$$

따라서 확률분포 $p(k)$는 식 (11)과 식 (12)에 의해

$$p(k)=p(k_1,\,k_2,\cdots,k_M)=\frac{N!}{k_1!\,k_2!\cdots k_M!}\ \frac{1}{M^N} \tag{14}$$

로 계산된다. 위의 식 (14)를 이용하면 호수락제어를 행할 때 셀집단 내의 임의의 셀 i에 n개의 호만 존재할 확률 $p_i(n|N)$ (단 $0\leq n\leq N$인 정수)은 i에 관계없이 다음과 같이 이항분포를 갖는다는 사실을 관찰할 수 있다.

$$p_i(n|N)=\sum_{k\in F(N-n),\,k_i=n}p(k)$$

$$=\frac{1}{n!}\ \frac{N!}{M^N}\sum_{k\in F(N-n),\,k_i=n}\frac{(k_1+\cdots+k_M)!}{k_1!\cdots k_M!}\ \frac{1}{(N-n)!}$$

$$=\frac{1}{n!(N-n)!}\ \frac{N!}{M^N}\sum_{k\in F(N-n),\,k_i=n}\frac{(N-n)!}{k_1!\cdots k_M!} \tag{15}$$

$$=\frac{N!}{n!(N-n)!}\ \frac{(M-1)^{N-n}}{M^N}$$

$$=\binom{N}{n}\left(\frac{1}{M-1}\right)^n\left(\frac{M-1}{M}\right)^N\equiv p(n|N).$$

무선채널의 수가 c로 유한할 때는 $\mu_i(n)=\mu\cdot\min(c,\,n)$이므로, 상태벡터 $k=(k_1,\,k_2,\cdots,k_M)$가 주어지면 $w^*(k)$와 $T^*(N)$을 (결과 2)에 의해 구할 수 있다. 그러

나 이 경우는 ${}_MH_N$개의 가짓수를 갖는 k벡터 각각에 대해 k_i가 c보다 큰가, 작은가에 따라 여러 가지의 조합이 생기므로 무한채널 경우의 식 (11)과 (12)처럼 하나의 표현식으로 일률적으로 깨끗하게 정리되지는 않는다.

3.3.2 과부하 상태 분석

호수락제어에 의해 셀집단 내에 머무는 전체 호의 개수가 N으로 한정되더라도, 호수락제어 기능은 셀집단 전체에 대해서만 적용되므로 임의의 기지국(이하 테스트 기지국이라고 함) 하나만 국한시켜 보면 통신하고자 하는 이동단말국의 수는 테스트 기지국이 지원할 수 있는 채널 수인 c를 넘을 수도 있으므로 과부하 상태(overload state)가 발생한다. 과부하 상태 분석을 위해 테스트 기지국과 통신하고자 하는 단말들의 수를 finite state birth-death process로 모델링하도록 하고 k개의 단말이 있을 때의 생성율(birth rate)을 $\lambda(k)$, 종료율(death rate)을 $\mu(k)$라고 하면 각각은 아래와 같이 주어진다.

$$\lambda(k)=(N-k)\cdot\frac{f}{M-1}, \qquad 0\le k\le N, \tag{16}$$

$$\mu(k)=k\cdot f, \qquad 0\le k\le N. \tag{17}$$

여기서 f는 (가정 4)에 의해 하나의 단말이 테스트 셀을 벗어나서 다른 셀로 핸드오버할 확률 즉 단말당 종료율로 정의되어 있으므로 식 (17)은 테스트 셀에 머무르고 있는 k개의 모든 단말에 대한 종료율을 표시한다. 이와 유사하게 식 (16)에서 $f/(M-1)$은 다른 셀들로부터 넘어오는 핸드오버호들이 테스트 기지국으로 향할 확률 즉 단말당 생성율이므로 식 (16)은 테스트 셀 외에 머무르는 모든 $(N-k)$개의 단말에 대한 생성율을 의미한다. (가정 3)에 의해 단말이 테스트 셀 내에 머무르는 시간은 지수분포를 가지는 것으로 가정되어 있으므로 $1/f$는 단말이 테스트 셀 내에 머무르는 평균시간이 되고, $(M-1)/f$은 단말이 테스트 셀 외에서 머무르는 평균시간임을 알 수 있다.

과부하는 테스트 기지국과 통신하고자 하는 단말의 수가 c를 넘을 때 발생하므로 식 (13)로부터 과부하가 생길 확률인 p_v는

$$p_v=\sum_{n=c+1}^{N}p(n|N)$$

$$=\left(\frac{M-1}{M}\right)^N\sum_{j=c+1}^{N}\left(\frac{1}{M-1}\right)^j\binom{N}{j} \tag{18}$$

로 주어진다.

테스트 기지국이 과부하 상태에 머무르는 평균시간 τ는 finite state birth-death process의 first passage 시간을 이용하여 쉽게 유도할 수 있다[27]. $\gamma(k)$를 상태 k에서 상태 $k-1$까지의 평균 first passage 시간 즉 테스트 셀이 k개의 단말을 지원하고 있는 순간부터 $k-1$개의 단말만을 지원하는 상태로 바뀌는 순간까지의 평균시간이라고 하자. [27]에 의하면

$$\gamma(k)=\frac{1}{\lambda(k-1)\,b(k-1)}\sum_{j=k}^{\infty}b(j) \tag{19}$$

로 결정된다. 단

$$b(j)=\frac{\prod_{i=0}^{j-1}\lambda(i)}{\prod_{i=1}^{j}\mu(i)} \tag{20}$$

이다. 식 (16)과 (17)을 식 (19)와 (20)에 대입하여 정리하면

$$\gamma(k)=\frac{1}{kf}\cdot\frac{\left(\frac{1}{M-1}\right)^k\binom{N}{k}+\sum_{j=k+1}^{N}\left(\frac{1}{M-1}\right)^j\binom{N}{j}}{\left(\frac{1}{M-1}\right)^k\binom{N}{k}} \tag{21}$$

을 구할 수 있다. 재차 과부하 현상은 테스트 기지국과 통신하고자 하는 단말의 수가 c를 넘을 때 발생한다는 사실을 주시하면 τ는 $\gamma(c+1)$를 의미한다는 사실을 관찰할 수 있다. 따라서

$$\tau\equiv\gamma(c+1)=\frac{M-1}{(N-c)f}\cdot\frac{\sum_{j=c+1}^{N}\left(\frac{1}{M-1}\right)^j\binom{N}{j}}{\left(\frac{1}{M-1}\right)^c\binom{N}{c}} \tag{22}$$

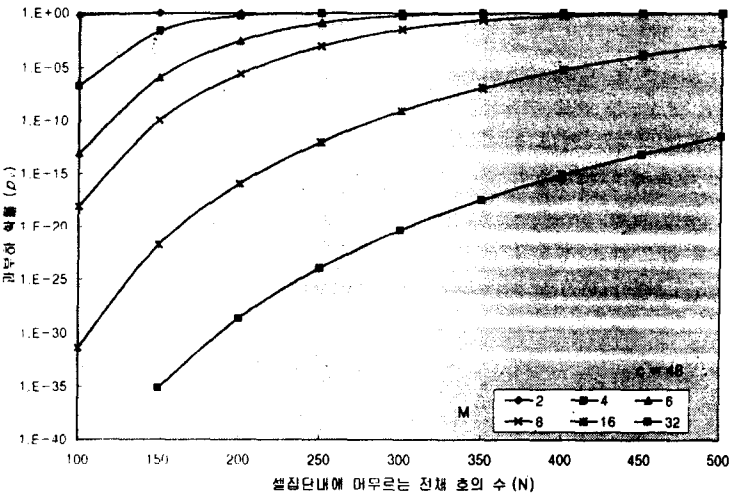
식 (22)를 약간 고쳐 아래와 같이 평균 과부하 시간을 과부하 확률의 함수로도 표시할 수 있다.

$$\tau_{norm}\equiv\frac{\tau}{1/f}=\frac{M-1}{N-c}\,\frac{p_v}{p(c|N)}. \tag{23}$$

위에서 $1/f$는 핸드오버와 핸드오버 사이의 평균시간 즉 단말이 테스트 셀 내에서 머무르는 평균시간이므로, τ를 $1/f$로 나눈 값 τ_{norm}은 정규화된(normalized) 평균 과부하 시간으로 정의된다.

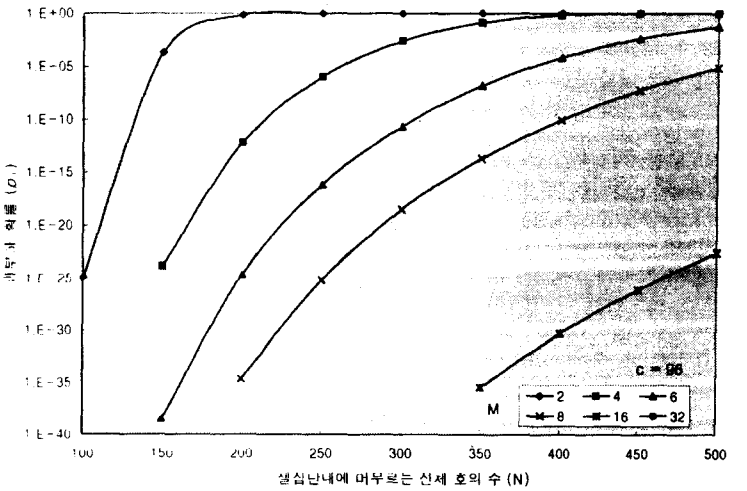
호수락제어의 기준으로 과부하 확률 또는 정규화된 평균 과부하 시간을 정하고 이들이 일정한 값을 넘지 않도록 셀집단 내에 존재하는 호의 수를 N으로 한정하면 셀집단 전체가 가지고 있는 무선채널들이 완전히 사용되지는 못한다. 즉 셀집단 내 M개의 기지국이 갖고 있는 무선채널의 총 수는 Mc이지만 N개의 호가 사용하는 무선채널의 수는 N개 뿐이다. 이런 단점을 정량적으로 표시하기 위해 다음과 같이 무선채널의 이용효율(utilization efficiency) η을 정의한다.

$$\eta \equiv \frac{N}{Mc}. \tag{24}$$



(그림 3a) 셀집단내 전체호의 수 증가에 따른 과부하 확률 (c = 48)

(Fig. 3a) Overload probability versus maximum number of calls in a virtual cell(c = 48)



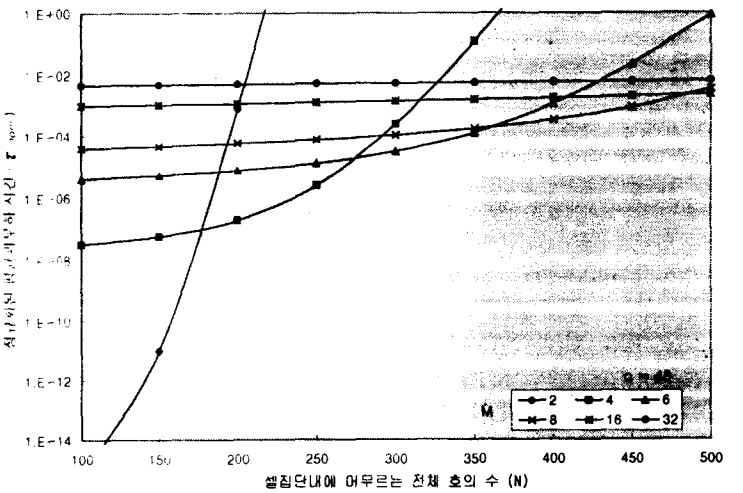
(그림 3b) 셀집단내 전체호의 수 증가에 따른 과부하 확률 (c = 96)

(Fig. 3b) Overload probability versus maximum number of calls in a virtual cell(c = 96)

4. 수치결과와 해석

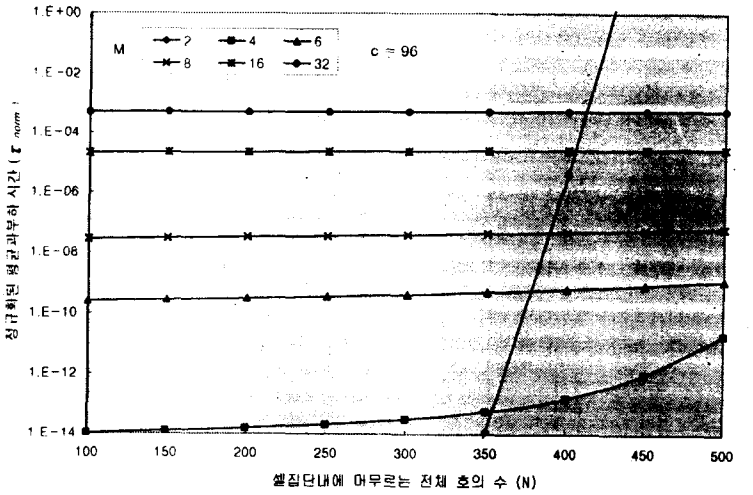
이 절에서는 3장에서 유도된 수식을 토대로 전형적인 시스템 파라미터를 이용하여 수치 결과를 구하여 중요한 시스템 특성들을 관찰하도록 한다. 먼저 그림 3a와 3b는 호수락제어를 행하고 기지국당 지원하는 무선채널의 수 c가 각각 48과 96로 주어질 때로 구별하여, 셀집단의 크기 M을 파라미터로 하여 셀집단 내에 머무르는 전체 통화호 N의 증가에 따른 과부하발생 확률 p_v를 도시한 것이다. 그림 3에서 셀집단의 크기가 증가할수록 과부하가 발생할 확률은 급격히 떨어지며, 셀집단의 크기를 아주 크게 설정하지 않고 적절한 크기만으로도(즉 $M \simeq 6$) 과부하가 발생하는 경우를 비교적 효과적으로(즉 $p_v < 0.1\%$ 이내) 막을 수 있다는 사실을 관찰할 수 있다. 또한 그림 3a와 3b를 비교해보면 c 값이 커질수록 과부하가 발생할 확률은 급격히 줄어든다는 사실을 확인할 수 있다. 한편 그림 4a와 4b는 셀집단의 크기 M을 파라미터로 하여 셀집단 내에 머무르는 전체 통화호 N가 커질 때 정규화된 평균과부하 시간 τ_{norm}을 도시한 것인데, M이 커질수록 셀집단 내의 전체호의 수 증가에 거의 무관하게 과부하 상태에 빠지는 빈도 수가 작고 비교적 안정된 상태($\tau_{norm} < 1\%$ 이하 상태)를 보인다는 사실을 관찰할 수 있다. 하지만 적절한 크기의 M에서도 안정된 과부하 현상을 충분히 얻어낼 수 있다. 예를 들면 그림 4a에서 M이 6일 경우는 여섯 개의 기지국이 제공하는 무선채널의 수는 모두 278이지만 거의 400개 정도의 호를 개설해도 과부하에 빠지는 시간의 비가 0.1% 이하에 지나지 않는다. 또 그림 3의 경우와 비슷하게, 그림 4a와 4b를 비교하면 c 값이 커질수록 평균 과부하 시간도 급격히 줄어든다는 사실을 확인할 수 있다.

이제 무선채널의 효율 특성을 여러 가지 측면에서 살펴보도록 하자. 그림 5는 셀집단의 크기 M이 4로 고정되어 있을 때 호수락제어의 판별기준을 p_v로 삼을 경우, 즉 p_v를 파라미터로 하여 셀집단 전체의 무선채널 이용효율 η를 기지국당 무선채널의 수 c의 함수로 표시한 것이다. 그림 5에서는 호수락제어에 의해 허용되는 과부하확률을 줄일수록 셀집단 전체의 무선이용효율은 역으로 감소하고, 기지국당 지원하는 무선채널의 수가 증가할수록 셀집단 전체의 무선이용효율도 증가한다는 사실을 관찰할 수 있다. 그림 6은 τ_{norm}을 호수락제어의 판별기준으로 삼아 τ_{norm}을 일정하게 유지하도록 셀집단 내에 허용되는 전체통



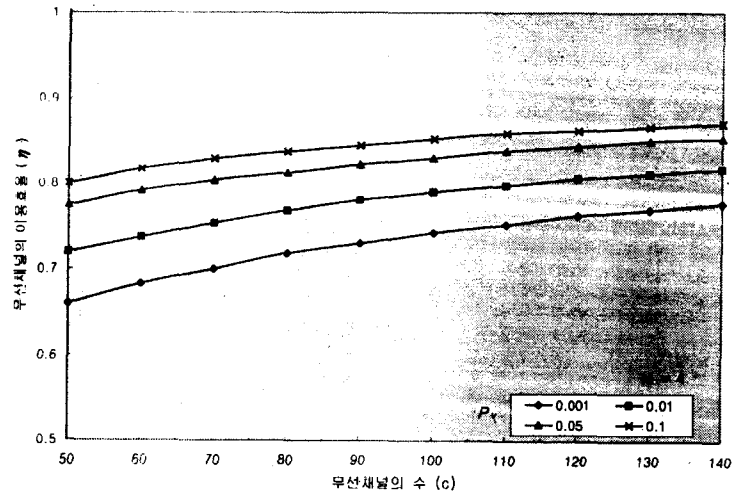
(그림 4a) 셀집단내 전체호의 수 증가에 따른 정규화된 평균과부하 시간(c = 48)

(Fig. 4a) Normalized mean overload duration versus maximum number of calls in a virtual cell(c = 48)



(그림 4b) 셀집단내 전체호의 수 증가에 따른 정규화된 평균과부하 시간(c = 96)

(Fig. 4b) Normalized mean overload duration versus maximum number of calls in a virtual cell(c = 96)

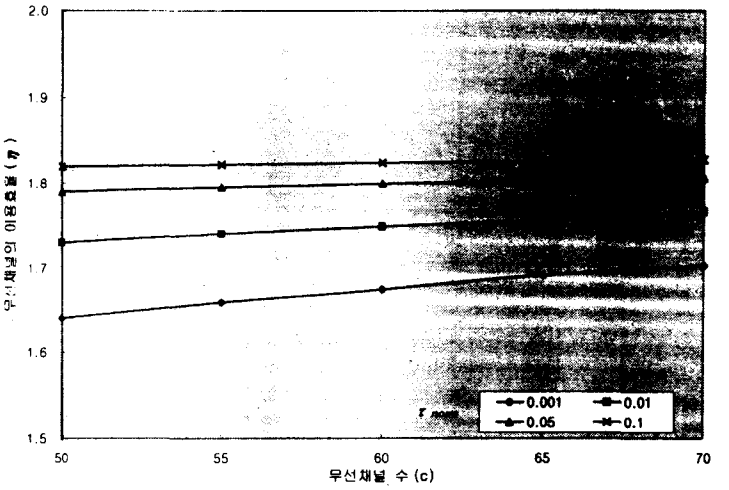


(그림 5) 기지국당 무선채널의 수에 대한 무선채널의 이용효율(P_v를 파라미터로 할 때)

(Fig. 5) Utilization efficiency as a function of radio channels per base station with P_v as a parameter

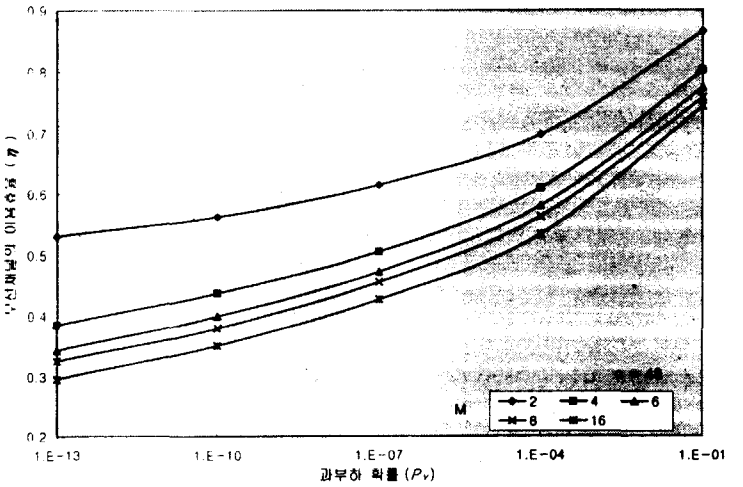
화 호의 수 N을 조정할 경우의 η, 즉 τ_{norm}을 파라미터로 하여 셀집단 전체의 무선채널효율을 c의 함수로 그린 것인데, 그림 5에서 관찰한 것과 유사하게 호수락제어에 의해 허용되는 평균과부하 시간을 줄일수록 셀집단 전체의 무선이용효율은 역으로 감소하고, 기지국당 지원하는 무선채널의 수가 증가할수록 셀집단 전체의 무선이용효율도 증가한다는 사실을 관찰할 수 있다. 그림 7과 8은 c를 48로 고정시키고 M을 파라미터로 하여 무선채널의 이용효율 η를 과부하 확률의 함수와 정규화된 평균과부하시간의 함수로

각각 표시한 것이다. 그림 7과 8을 통해 주어진 과부하확률과 평균과부하시간에 대해 셀집단 내의 기지국의 수 M이 많아지면 질수록 셀집단 전체의 무선채널의 이용효율은 떨어진다는 사실을 볼 수 있다. 이는 유한한 자원인 무선채널을 놓고 일어나는 간섭현상으로 설명될 수 있다. 즉 가상셀에 존재하는 기지국의 수를 늘일수록 일정한 크기의 지역을 지원하기 위한 셀 하나하나의 크기는 줄일 수 있고 이에 따라 각 셀의 주파수 재사용의 이점이 커지므로 셀집단의 크기를 증가시키는 것이 유리하지만, 호수락제어에



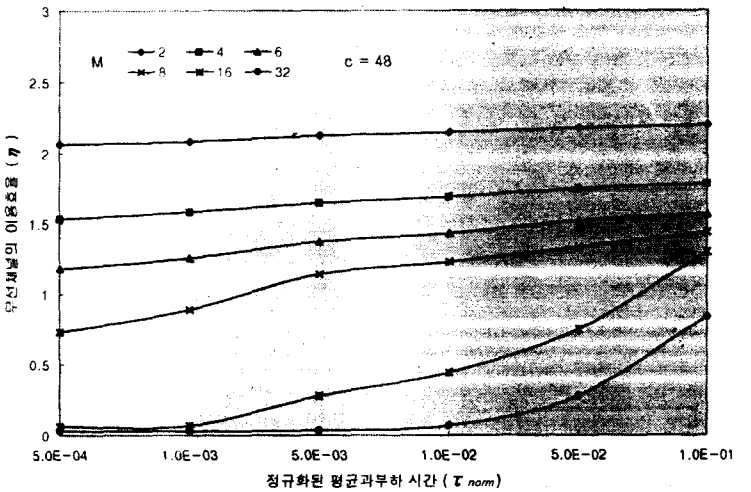
(그림 6) 기지국당 무선채널의 수에 대한 무선채널의 이용효율(τ_{norm}을 파라미터로 할 때)

(Fig. 6) Utilization efficiency as a function of radio per base station with τ_{norm} as a parameter



(그림 7) 과부하 확률에 대한 무선채널의 이용효율(M을 파라미터로 할 때)

(Fig. 7) Utilization efficiency as a function of overload probability with M as a parameter



(그림 8) 정규화된 평균 과부하 시간에 대한 무선채널의 이용효율(M을 파라미터로 할 때)

(Fig. 8) Utilization efficiency as a function of normalized mean overload duration with SM as a parameter

따라 셀집단 전체의 무선채널 이용효율은 오히려 감소된다는 점에서는 셀집단의 크기를 증가시키는 것이 불리하므로 적절한 M 값을 선택하는 것이 매우 중요하다.

5. 결 론

본문에서 살펴본 대로 셀집단화 방식은 마이크로셀이나 피코셀과 같은 아주 작은 규모의 셀 영역 범위를 사용하는 차세대 WATM 환경에 적합한 호제어 절차 방식이다. 이 방식은 마이크로셀이나 피코셀을 사용함으로 인해 주파수 재사용 효율을 높이면서도, 매크로셀이 요구하는 정도로 호제어절차의 개입의 횟수를 줄일 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 셀집단화 방식에서는 장차 사용되지도 않을 경로를 미리 예측하여 예약해야 하며 호제어절차의 수행시간이 집단의 크기에 비례하여 길어지는 단점과, 일단 새로운 호가 가상셀 내의 영역으로 수락되고나면 제약없이 기지국 사이를 핸드오버하여 셀집단 내의 한 기지국에 집중하여 과부하 현상을 초래한다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 셀집단화 방식이 사용하는 CAC의 판별기준으로서 기지국의 과부하 확률과 기지국이 과부하 상태에 머무르는 평균시간을 정의하고, 개방형 큐잉 네트워크 기법을 사용하여 시스템 전체를 모델링한 후 판별 기준으로 과부하확률이나 정규화된 평균과 부하시간을 사용하여 셀집단 내에 존재할 수 있는 전체 통화호의 수를 일정한 값 이하로 제한할 경우를 성능분석하고 수치 결과를 보임으로써 셀집단화 방식이 효율적으로 사용 가능함을 관찰할 수 있었다.

향후 연구 과제들로서는 WATM의 표준화가 심도깊게 진행되어 나가는 것과 보조를 맞추어 셀집단화 방식에 기초한 구체적인 호제어절차 시스템의 구현 구조를 연구하는 분야와, 호수락제어 시에 종단대종단으로 유무선 망자원을 통합시켜 망자원의 가용 여부를 판단할 수 있는 CAC의 새로운 QoS 판별 기준으로는 어떠한 것들이 있는 가를 연구하는 분야일 것이다.

참 고 문 헌

[1] D. Raychaudhuri and N. Wilson, "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communications Network," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, Vol. 12, No. 8, pp. 1401-1414, Oct. 1994.

[2] N. F. Huang and K. S. Chen, "A Distributed Paths migration Scheme for IEEE 802. 6 Based Personal Communication Networks," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, Vol. 12, No. 8, pp. 1415-1425, Oct. 1994.

[3] T. Ohuchi, S. Tanabe and H. Kawanishi, "A Network Control Architecture for Advanced Personal Communications," in *Proc. Globecom'94*, pp. 1707-1711, Dec. 1994.

[4] T. H. Wu and L. F. Chang, "Architectures for PCS Mobility Management on ATM Transport Networks," in *Proc. ICUPC'95*, pp. 763-768, Nov. 1995.

[5] M. Umehira, A. Hashomoto and H. Matsue, "An ATM Wireless Access System for Tetherless Multimedia Services," in *Proc. ICUPC'95*, pp. 858-862, Nov. 1995.

[6] E. Hyden et. al., "SWAN: An Indoor Wireless ATM Network," in *Proc. ICUPC'95*, pp. 853-857, Nov. 1995.

[7] K. Y. Eng et. al., "BAHAMA: A Broadband Ad-Hoc Wireless ATM Local Area Network," in *Proc. ICC'95*, pp. 1216-1223, 1995.

[8] L. French and D. Raychaudhuri, "The WATMnet System: Rationale, Architecture and Implementation," in *Proc. IEEE Computer Commun. Workshop*, Sep. 1995.

[9] J. Porter and A. Hopper, "An Overview of the ORL Wireless ATM System," in *Proc. IEEE ATM Workshop*, Sep. 1995.

[10] D. Raychaudhuri et. at., "Charter, Scope and Work Plan for Proposed Wireless ATM Working Group," *ATM Forum Contribution 96-0053*, Apr. 1996.

[11] R. Yuan, S. K. Biswas and D. Raychaudhuri, "An Architecture for Mobility Support in ATM Networks," in *Proc. 5th WINLAB Workshop on Third Generation Wireless Networks*, Apr. 1995.

[12] A. Acampora and M. Naghshineh, "An Architecture and Methodology for Mobile-Executed Handoff in Cellular ATM Networks," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, Vol. 12, No. 8, pp. 1365-1375, Oct. 1994.

[13] L. Van Hauwermeiren et. al., "Requirements for Mobility Support in ATM," in *Proc. Globecom'94*, pp. 1691-1695, Dec. 1994.

[14] ETSI: GSM Recommendations

[15] EIA/TIA IS-41 Revision B and C, Cellular Radio Telecommunications Intersystem Operations.

[16] PCS Network Access Services to PCS Providers, Bellcore document SR-TSV-002459, Oct. 1993.

[17] S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0," *ATM Forum Contribution 95-0013*, May, 1995.

[18] Y.-B. Lin, S. Mohan and A. Noerpel, "Queueing Priority Channel Assignment Strategies foe PCS Handoff and Initial Access," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 43, No. 3, Aug. 1994.

[19] S. Tekinary and B. Jabari, "A Measurement-Based Prioritization Scheme for Handovers in Mobile Cellular Networks," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, Vol. 10, No. 8, pp. 1343-1350, Oct. 1992.

[20] D. H. Hong and S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff procedures," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 35, No. 3, Aug. 1986.

[21] C. H. Yoon and C. K. Un, "Performance Analysis of Personal Radio Telephone System with and without Guard Channels," *IEEE J. Selected Areas on Commun.*, Vol. 11, No. 6, pp. 911-917, 1993.

[22] R. Guerin, "Channel Occupancy Time Distribution in a Cellular radio System," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 36, No. 3, Aug. 1987.

[23] J. Ioannidis et. al., "IP-based Protocols for Mobile Internetworking," *ACM SIGCOMM'91*, pp. 235-245, 1991.

[24] F. Teraoka, Y. Yokote and M. Tokoro, "A Network Architecture Providing Host Migration Transparency," *ACM SIGCOMM'91*, pp. 209-220,

1991.

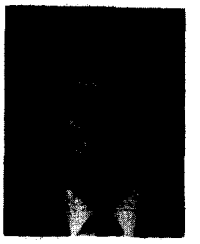
[25] J. R. Jackson, "Networks of Waiting Lines," *Operations Research*, Vol. 5, No. 4, pp. 518-521, Aug. 1957.

[26] J. R. Jackson, "Jobshop-like Queueing Systems," *Management Science*, Vol. 10, No. 1, pp. 131-142, Oct. 1963.

[27] D. Heyman and M. Sobel, *Stochastic Models in Operations Research*, Vol. I, New York: McGraw-Hill, 1982.

조 영 종

1983년 서울대학교 전자공학과(공학사)
1985년 한국과학기술원 전기및 전자공학과(공학석사)
1989년 한국과학기술원 전기및 전자공학과(공학박사)
1985년~1988년 금성전기연구소 네트워크연구실(주임연구원)
1989년~1995년 LG정보통신 중앙연구소 ATM 교환연구실(책임연구원)
1991년 : AT&T Bell Lab 파견연구원
1996년~현재 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 조교수
관심분야 : 컴퓨터네트워크, 초고속통신망, 무선통신망, 무선ATM 등



김 성 수

1982년 서강대학교 전자공학과(공학사)
1984년 서강대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 Texas A&M University, 전산학과(공학박사)
1983년~1986년 삼성전자(주) 종합연구소 주임연구원
1986년~1996년 삼성종합기술원 수석연구원
1991년~1992년 Texas Transportation Institute 연구원
1993년~1995년 Texas A&M University, 전산학과, T.A.
1996년~현재 아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부 조교수
1997년~현재 한국 정보처리학회, 한국 정보과학회 논문지 편집위원
관심분야 : 결함 허용, 멀티미디어 시스템, 이동 컴퓨팅, VLSI, 성능평가 등