

UMTS 시스템에서 기지국 버퍼에 대한 실험 및 분석

김 남 기[†] · 박 인 용^{**} · 정 혜 영^{***} · 윤 현 수^{****}

요 약

도시 인구 집중과 이동 인구의 증가로 이동 통신 시스템은 90년대 이후 급격한 발전을 하고 있다. 그러나 현재 널리 사용되고 있는 2세대 이동 통신 시스템은 음성에만 치중하여 개발되었고 시장이 거의 포화상태에 이르렀다. 따라서 앞으로 다가올 UMTS와 같은 제 3세대 이동 통신 시스템에서는 무선 인터넷과 같은 본격적인 데이터 서비스를 위해 패킷 데이터 통신이 매우 중요한 부분으로 떠오르고 있다. 음성 서비스와는 달리 패킷 데이터 특성에 갖는 패킷 데이터 서비스를 제공하기 위해서 UMTS 시스템에서는 전송하기 전에 반드시 데이터를 버퍼에 저장해야 한다. 하지만 지금까지 패킷 데이터 서비스를 위한 버퍼가 어떻게 얼마큼 필요하고 트래픽에 따라 그 상태가 어떻게 변화하는지에 관한 연구는 거의 진행되어 있지 않다. 본 논문에서는 UMTS 시스템에서 BS (Base Station)에 놓이는 버퍼 상태가 어떻게 변화하는지 알아 보기 위해 버퍼 상태 분석을 위한 UMTS 시스템 모델을 구성하고 실험을 통해 그 결과를 관찰 분석한다. 그리고 버퍼 상태를 확률론을 통해 수식적으로도 분석한다.

Simulation and Analysis of Base Station Buffer in UMTS Systems

Namgi Kim[†] · Inyong Park^{**} · Hyeyoung Jung^{***} · Hyunsoo Yoon^{****}

ABSTRACT

The mobile telecommunication system has been growing exponentially after 1990s due to the high population in a city and the growth of mobile user. In this time, the current mobile system mainly concentrates on the voice communication. However, in the next generation, mobile users want to get very diverse services via mobile terminal such as the Internet access, web access, multimedia communication, and etc. For this reason, the next generation system, such as the UMTS system, has to support the packet data service and it will play the major role in the system. In different from the voice service, the packet data service should store packet data in a buffer at base station before it forwards. Consequently, the performance closely related to the buffer management and its operation. However, until now, there are rare study on the buffer behavior and management. In this paper, we will observe the buffer behavior in the UMTS systems by using simulation and analyze the results. For this research, we generate packet data traffics and model the UMTS system for a simulation. Then we analyze the buffer state by a simulation and calculate the buffer overflow probability by mathematical methods.

키워드 : UMTS, 기지국(Base Station), 버퍼(Buffer)

1. 서 론

음성이 주요 서비스인 2세대 이동 통신 시스템에서는 음성의 트래픽 특성과 단일 종류의 서비스 제공으로 인해 통신망의 구조 및 제어가 단순한 편이었다. 그래서 2세대 이동 통신 시스템에서 음성 서비스는 일정한 전송률과 실시간 트래픽이란 특성을 갖기 때문에, 버퍼의 역할이 크지 않았다. 즉, 일정한 전송률로 들어오는 음성 데이터를 전송하기 때문에 버퍼에 데이터를 저장할 필요가 없었다. 반면 3세대 이동 통신 시스템인 UMTS(Universal Mobile Telecommunication Service) 시스템은 2세대 이동 통신 시스템

과 달리 다양한 서비스의 제공을 목적으로 하고 있기에 그 구조 및 제어가 2세대 시스템보다 크고 복잡하다. 하지만 지금까지 UMTS 시스템에서 패킷 데이터 서비스를 위한 버퍼가 어떠한 방법으로 존재해야 하는지 그리고 그 상태가 어떻게 변화하는지 연구되어진 바가 거의 없었다.

따라서 본 논문에서는 UMTS 시스템에서 패킷 서비스를 제공할 경우 버퍼 상태가 어떻게 변화하는 실험을 통해 관찰하고 그 결과를 수식적으로 분석한다. 그리고 각 연결마다 버퍼를 어떻게 분배하는 것이 효율적인지 논한다.

2. UMTS 서비스를 위한 UTRAN 시스템 구조

라디오 기초 서비스(Radio Bearer service)를 설정하고 수정, 해제하기 위해서는 RIP 프로토콜(Radio Interface Protocol)이 필요하다. RIP 프로토콜의 구성은 다음 그림과 같

[†] 준 회원 : 한국과학기술원 대학원 전자전산학과

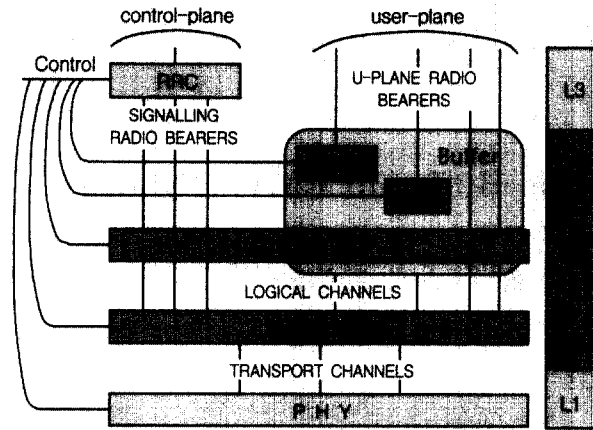
^{**} 준 회원 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수

^{***} 준 회원 : 한국과학기술원 대학원 전자전산학과

^{****} 정 회원 : 한국과학기술원 전산학과 교수

논문접수 : 2002년 4월 23일, 심사완료 : 2002년 8월 6일

다. 프로토콜 계층(Protocol layer)은 L1, L2, L3 계층으로 구성되어 있으며 L1 계층은 물리적 계층(Physical layer), L2 계층은 MAC(Medium Access Control) 계층과 RLC(Radio Link Control) 계층이 바탕에 있고 서비스 의존 프로토콜(service-dependent protocol)로 PDCP 프로토콜(Packet Data Convergence Protocol)과 BMC 프로토콜(Broadcast/Multicast Control Protocol)이 있다. L3 계층에는 제어면(control plane)에 RRC(Radio Resource Control) 프로토콜만이 존재하는데 RRC 프로토콜은 각 계층의 프로토콜로부터 정보를 받아 들이고 자원을 분배하는 역할을 한다.



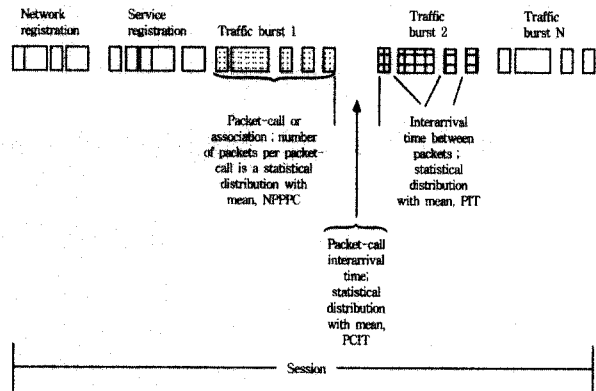
(그림 1) UTRAN 라디오 인터페이스 프로토콜 구조

본 연구에서 분석 대상이 되는 버퍼는 사용자면(user plane)에서 L3에 속한다. 즉 라디오 네트워크 대역폭이 작고 채널 상황이 좋지 못하기 때문에 CN(Core Network)으로부터 패킷 데이터가 들어오면 UTRAN으로 전송하기 전에 데이터를 저장할 필요가 있다. 이때 트래픽 특성에 따라 버퍼의 상태가 어떻게 변하는지 실험을 통해 그 결과를 관찰하고 분석하는 것이 본 연구의 목표이다. 현재 버퍼의 위치는 RLC 프로토콜에서 PDCP 위 또는 아래에 위치할 수 있다. PDCP 프로토콜 아래 있다면 PDCP 프로토콜이 TCP/IP 헤더 압축(TCP/IP header compression)을 수행하므로 버퍼에서 저장해야 할 데이터가 작아지는 장점이 있고 PDCP 위에 있다면 CN으로부터 도착한 데이터를 가공 없이 그대로 가지고 있을 수 있는 장점이 있다.

3. 패킷 데이터 트래픽 모델

ITU-R에서는 차세대 이동 통신 망에서 사용될 패킷 데이터 모델을 제시하였다. ITU-R에서 제시한 패킷 데이터 모델은 (그림 2)와 같다. ITU-R에서는 미래의 이동 통신 망에서 사용될 서비스도 여러 가지로 분류하고 제시하였는데 그중 MMM(Medium Multimedia)과 HMM(High Multimedia) 트래픽은 차세대 이동 통신 시스템의 패킷 데이터 서비

스에서 가장 널리 사용될 것으로 예상된다. 또 ITU는 서비스 받는 사용자 특성에 따라 사용자를 중앙 비즈니스 구역(central Business District), 도시 보행 이동(Urban pedestrian), 도시 차량 이동(Urban vehicular)으로 나누고 각각에 대해 업링크와 다운링크 서비스 트래픽 특성을 분류하고 그에 따른 파라미터를 제시하였다[1]. 본 연구에서는 ITU-R에서 제시하는 서비스 종류와 특성 중에서 MMM 서비스 트래픽과 HMM 서비스 트래픽에 중점을 두며 도시 보행자 다운 링크(Urban pedestrian downlink)를 위한 트래픽 파라미터를 2010년에 예상되는 값으로 보정하여 사용했다[4]. 보정된 트래픽 파라미터는 <표 1>과 같다.



- NPCPS : Mean number of packet-calls per session (114, 5, 5)
- NPPPC : Mean number of packets per packet-call (1, 25, 25)
- NBPP : Mean number of byte per packet(90, 480, 90)
- PCIT : Mean packet-call interarrival time for packet-calls within a session (1, 120, 120 sec.)
- PIT : Mean interarrival time for packets within a packet-call (0, 0.01, 0.01 sec)

(그림 2) ITU-R에서 제시하는 패킷 통신 모델

<표 1> 2010년 도시 보행자 다운 링크에 맞게 보정된 ITU-R패킷 통신 모델 파라미터

	MMM	HMM
Number of packet-calls per session (NPCPS)	30	30
Number of packets per packet-call (NPPPC)	150	781.2
Number of bytes per packet (NBPP)	480	480
Packet-call interarrival time (PCIT) (s)	120.00	120.00
Packet interarrival time (PIT) (s)	0.002	0.0003
Transmission rate (kb/s)	384	2048
Packet transmission time (s)*	43.945	42.913
Total session time (s)**	3532.885	4774.412
Activity factor***	0.0124	0.008988

* Packet transmission time = NPCPS × NPPPC × NBPP × 8 / (Transmission rate × 1024)
 ** Total session time = (Packet transmission time + PIT × (NPPPC - 1)) × NPCPS + PCIT × (NPCPS - 1)
 *** Activity factor = Packet transmission time / Total session time

이렇게 보정 되어진 값을 가지고 본 논문에서는 UMTS 시스템에서 사용될 트래픽을 실험을 통해 생성해 보았다. 실험에서 사용된 각 파라미터의 분포는 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 트래픽 생성에 사용된 변수에 따른 분포와 파라미터들

Random Variables	Distribution	Parameters
Session Interarrival Time	Exponential (Pareto)*	$E(x) = 1(\text{hour}) \text{ Avg Session Time}(\text{hour}) \times \text{BHCA}$ ($\alpha = 1.2, E(x) = \text{PCIT}$)*
Number of Packet Call Time	Exponential	$E(x) = \text{NPCPS}$
Length of Packet Call Time	Pareto	$\alpha = 1.7,$ $E(x) = \text{NPPPC} \times \text{NBPP} \times 8 / (\text{Transmission rate} \times 1024) + \text{PIT} \times (\text{NPPPC} - 1)$
Packet Time	Pareto	$\alpha = 1.7,$ $E(x) = \text{NBPP} \times 8 / (\text{Transmission rate} \times 1024)$
Packet Interarrival Time	Exponential	$E(x) = \text{PIT}$
Packet Call Interarrival Time	Pareto	$\alpha = 1.2, E(x) = \text{PCIT}$

* Used in practical simulation

4. 버퍼 상태 실험 및 분석

4.1 라디오 네트워크 모델

라디오 네트워크 모델은 RIP 프로토콜(Radio Interface Protocol)에서 버퍼에 영향을 미치는 요인들만을 찾아 시뮬레이터에 구현한 것이다. 라디오 네트워크 모델은 RRC(Radio Resource Control)와 RLC(Radio Link Control)의 일부로서 버퍼에 영향을 미치는 메시지 오버헤드와 재전송 오버헤드, 상태전이 오버헤드 등을 표현하였다.

메시지 오버헤드는 RLC 헤더와 LI(Length Indicator)로써 각 프레임에 추가된다. RLC 헤더는 각 프레임마다 2바이트로 구성되고 LI는 각 프레임이 구성된 패킷의 수에 따라 달라지게 된다. 각 프레임에 메시지 오버헤드가 클수록 단위 시간 내에 처리할 수 있는 데이터 패킷을 길이가 짧아지므로 버퍼에 더 많은 패킷이 쌓이게 된다.

재전송 오버헤드로는 라디오 네트워크에서 FER(Frame Error Rate)에 따라 프레임 에러가 발생한다고 보고 프레임을 재전송하도록 하였다. 이때 재전송되는 패킷은 이전에 버퍼에서 꺼내와 재전송버퍼에 넣어둔 것으로써 이 시간동안 버퍼에 있는 패킷을 처리할 수 없다.

상태전이 오버헤드는 FACH나 PCH 상태에 있다가 채널을 할당 받아 DCH 상태로 천이시 소요되는 지연시간을 말한다. 이 시간동안 버퍼에 쌓여있는 패킷을 처리할 수 없으므로 버퍼에는 더 많은 패킷이 쌓이게 된다.

4.2 버퍼 상태 실험 관찰 및 분석

실험에서는 MMM과 HMM 트래픽을 사용하였다. 트래픽 생성기에서 생성되는 트래픽의 대역폭은 MMM의 경우 384 Kbps, HMM의 경우 2048Kbps를 사용했으며, 라디오 네트워크로 전송되는 대역폭은 두 경우 모두 384Kbps로 두었다.

라디오 네트워크에서 상태천이는 6초간 트래픽이 전혀 없었다면 할당된 채널이 해제되었다고 가정하였다. 실험 데이터는 FER(Frame Error Rate)이 10%일때와 30%일때, 상태천이 지연 시간은 500msec와 1000msec일때로 각각 설정하여 실험하였다.

실험 결과 나온 그래프는 입력 트래픽으로 MMM 트래픽과 HMM 트래픽을 사용하고 시뮬레이션을 3천초, 3만초, 30만초 동안 했을때 버퍼 상태를 나타낸 것이다. x축은 시간을 y축은 패킷 수와 바이트 수를 나타내고 있다. Max nPkt은 관찰 단위 시간 안에서 버퍼에 최대한 쌓인 패킷 수를 나타내고 nPkt은 관찰 단위 시간 끝에 버퍼에 남아 있는 패킷 수를 나타낸다. 그리고 Max KByte는 단위 시간당 버퍼에 쌓인 데이터의 최대 바이트 수를 나타내고 KByte는 단위 시간이 끝났을 때 버퍼에 남아 있는 바이트 수를 표시하고 있다.

4.2.1 FER 10%일때와 30%일때 비교

(그림 3)과 (그림 4)는 MMM 트래픽을 사용하여 실험한 그래프로써, 라디오 네트워크의 상태 천이 지연 시간은 500 msecs로 하였다. (그림 3)은 FER이 10%일때의 결과이고 (그림 4)는 FER이 30%일때의 결과이다.

FER이 10%라는 것은 라디오 네트워크에서 전송된 프레임이 성공적으로 전송될 확률이 90%라는 것이다. 즉, 총 전송된 프레임 중 10%는 재전송이 이루어진다는 것을 의미한다. 실험 전 FER이 30%로 증가할때 결과는 FER 10%일때보다 버퍼에 쌓이는 데이터의 양이 약 20%정도 증가할 것이라고 예측하였다. (그림 3)과 (그림 4)의 그래프를 보면 3천초 동안의 시뮬레이션 그래프는 FER 10%일때보다 FER 30%일때 가끔 peak가 생기는 것을 제외하면 약 20%정도 증가한 값을 보이고 있다. 하지만 3만초, 30만초 동안 시뮬레이션한 결과를 보면 20%보다 훨씬 많은 데이터들이 버퍼에 쌓이게 됨을 알 수 있다. 이것은 FER 10%일때는 데이터가 발생하지 않는 off time동안 on time에 발생한 데이터를 모두 전송할 수 있었는데 FER이 30%로 증가하면서 데이터의 재전송이 많이 일어나 off time동안 on time에 발생한 데이터를 모두 전송하지 못하고 버퍼에 쌓여있는데 다음 on time이 발생하여 전송할 데이터들이 버퍼로 계속 들어옴으로써 버퍼에 쌓인 데이터양이 계속 증가하기 때문이다. on time에 발생한 데이터 양이 단위 시간동안 처리할 수 있는 데이터 양보다 작아져야 버퍼에 쌓인 데이터들을 없애게 됨으로 on time동안 계속 많은 트래픽이 발생하면 peak로 올라가는 데이터의 양도 크게 생기게 되는 것이다.

이 실험을 통해 FER의 변화가 버퍼 상태에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 특히 무선 환경이 악화되어 FER이 증가하게 되면 순간적으로 버퍼에 쌓이는 데이터량도 크게 증가함을 알 수 있었다.

4.2.2 상태천이 지연시간이 500msecs일때와 1000msecs일때 비교

(그림 3)과 (그림 5)는 MMM 트래픽을 사용하여 실험한 그래프로써, 라디오 네트워크의 FER은 10%로 하였고 상태천이 지연시간을 각각 500msecs와 1000msecs로 두고 실험한 경우이다.

상태천이 지연은 라디오 네트워크에서 6초간 트래픽이 전혀 없으면 할당된 채널이 해제되고 다음에 트래픽이 생길 때 다시 채널을 할당 받게 되는데 이때 채널을 할당 받기 위해 발생하는 지연을 말한다. 실험전 지연시간을 1000msecs로 했을때 500msecs때보다 전송속도의 반 즉, MMM 트래픽 사용시 약 192 Kbits 정도의 데이터가 버퍼에 더 쌓이게 될 것이라고 예측하였다. 그리고 결과는 (그림 3)보다 (그림 5)에서 약 20Kbytes 정도의 데이터가 버퍼에 더 쌓이므로 예측이 어느 정도 정확했다고 볼 수 있다.

그러나 전반적으로 상태 천이 시간 지연에 따른 버퍼량 증가는 FER의 증가로 인한 버퍼량 증가에 비해 그리 크지 않음을 알 수 있었다. 즉 상태 천이 시간 지연에 비해 FER의 변화가 버퍼 상태에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

4.2.3 HMM 트래픽을 사용한 경우

HMM 트래픽은 입력 트래픽 대역폭을 2Mbps, 출력 라디오 네트워크 대역폭을 384Kbps로 놓고 실험하였다. (그림 6)은 HMM 트래픽을 사용하여 실험한 그래프로써, 라디오 네트워크의 상태 지연 시간은 500msecs로 FER은 10%일때의 결과이다. 다른 결과들은 지면 관계상 생략하였다.

HMM 트래픽은 입력 트래픽 대역폭이 2Mbps이고 출력 라디오 네트워크 대역폭이 384Kbps이기 때문에 입력, 출력 모두 384Kbps인 MMM 트래픽에 비해 전반적으로 버퍼에 쌓이는 데이터량이 많음을 알 수 있다. 그렇기 때문에 버퍼에서 데이터가 처리되는 속도가 MMM에 비해 느려졌고 버퍼가 비어 있는 경우가 줄어들었다. 그리고 데이터가 버퍼에 쌓이는 형태가 더욱 더 급격하고 burst 해졌다. 따라서 단위 시간 후 버퍼에 남아 있는 데이터량이 증가할때는 단위 시간내 입력되는 최대 데이터량을 따라 가다가 더 이상 입력되는 데이터가 없을때 시간을 두고 단계적으로 떨어지는 현상도 나타났다. 이때 데이터가 줄어 드는 속도는 출력 라디오 네트워크의 대역폭과 성능에 비례하게 된다. 따라서 입력되는 트래픽의 대역폭과 양이 라디오 네트워크의 대역폭 보다 클 경우, 데이터가 버퍼에 머무르는 시간이 길어지고 또 burst 해진다. 이는 데이터의 전송에 있어서 지연 시간과 jitter를 크게 하고 그 결과 TCP/IP의 전송 성능과 실시간 데이터의 품질에 많은 손상을 가져올 것이다. 그리고 전체 시뮬레이션 시간이 길어 짐에 따라 버퍼에 입력되는 최대 데이터량의 최대치가 증가하는 현상을 통해 HMM 트래

픽의 경우에도 순간적인 버퍼 부족으로 인한 데이터 손실은 피할 수 없음을 예측할 수 있다.

본 실험을 통해 출력 대역폭이 입력 대역폭에 비해 작은 환경에서는 버퍼 요구량이 MMM에 비해 대단히 커지게 되는 것을 알 수 있었다. 즉 입력 대역폭 대 출력 대역폭 비(Bandwidth ratio)가 버퍼 상태에 아주 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 그리고 HMM 트래픽에서도 역시 버퍼 상태는 상태 천이 지연 시간 보다 FER에 더 민감함을 알 수 있었다.

4.2.4 전체 분석

지금까지 라디오 네트워크에서 FER과 상태 천이 시간 그리고 대역폭 비를 변화시켜 UMTS 시스템에서 패킷 서비스를 위한 버퍼 상태를 실험을 통해 관찰하고 분석하였다.

실험 결과 FER이 커질 수록, 또 출력 대역폭이 입력 대역폭에 비해 작을 수록, 그리고 상태 천이 지연 시간이 클 수록 버퍼에 쌓이는 데이터 양이 늘어 나고, 그리고 순간적으로 쌓이는 데이터 크기도 커짐을 알 수 있었다. 그중 대역폭 비에 의한 버퍼 상태 변화가 가장 크게 나타났고 그 다음으로 FER에 의한 변화가 큰 것을 알 수 있었다. 마지막으로 상태 천이 시간 지연에 의한 버퍼 상태 변화는 상대적으로 그리 크지 않음을 알 수 있었다.

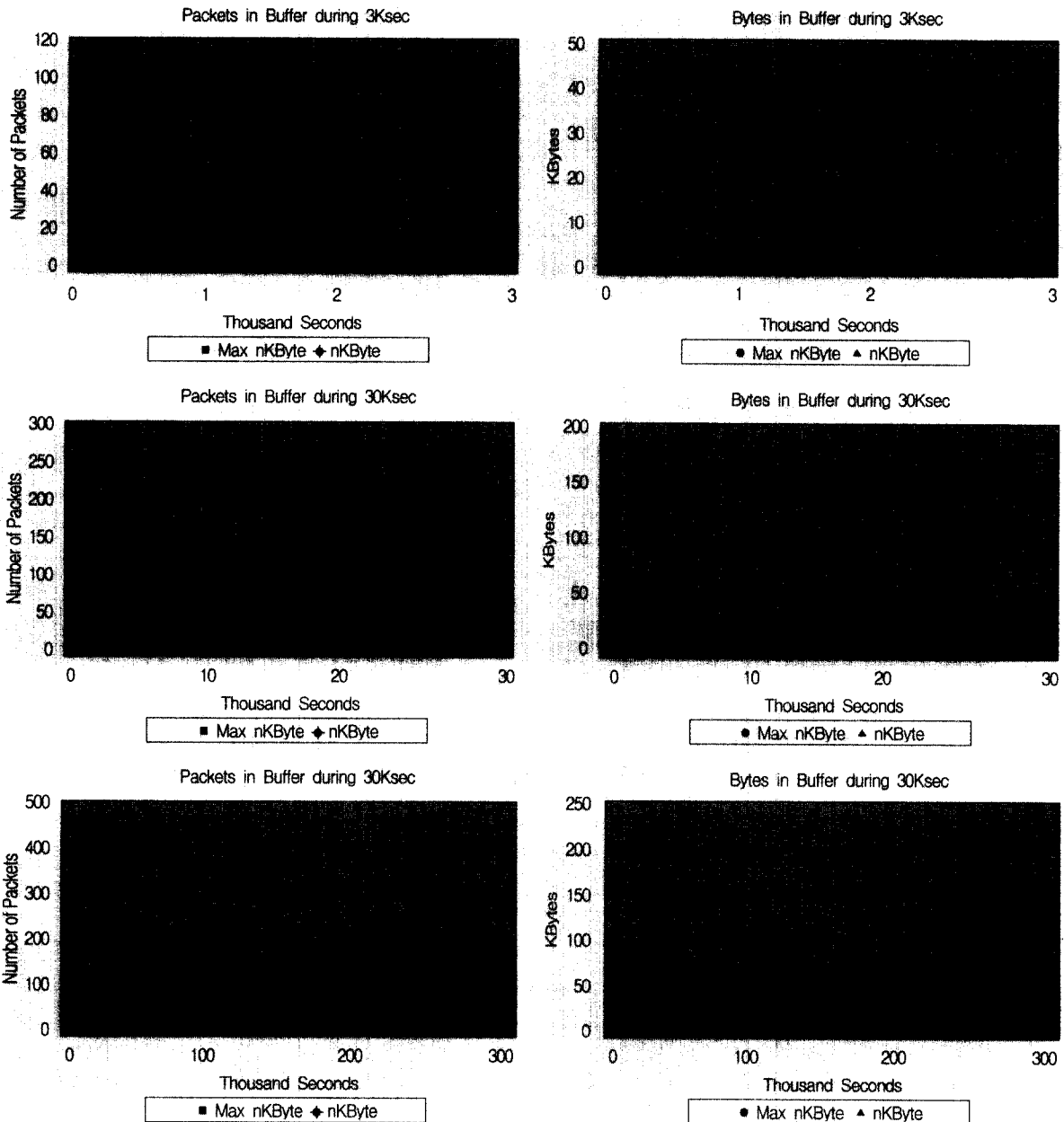
그리고 각 실험에서 다음과 같은 특징을 관찰할 수 있었다. 실험에서, 특히 입력 대역폭과 출력 대역폭이 같은 경우, 측정 단위 시간이 지난 후 버퍼에 남아 있는 패킷 수와 바이트 수는 거의 0에 가까움을 알 수 있다. 하지만 단위 시간 내에 버퍼에 쌓이는 최대 패킷 수와 바이트 수는 단위 시간 후 버퍼에 남아 있는 데이터에 비해 크고 burst하다. 그러므로 평균 버퍼 사용량은 매우 작지만 순간적인 버퍼 부족으로 인한 데이터 손실이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 특히 입력 대역폭에 비해 출력 대역폭이 작은 경우 버퍼 부족으로 인한 데이터 손실 확률은 매우 커진다. 그리고 버퍼 용량이 대단히 커서 모든 데이터를 전부 수용할 수 있을지라도 그에 따라 늘어 나는 데이터 재전송과 jitter는 전체 네트워크 성능에 많은 영향을 미칠것으로 판단된다.

5. 수식적 버퍼 상태 분석

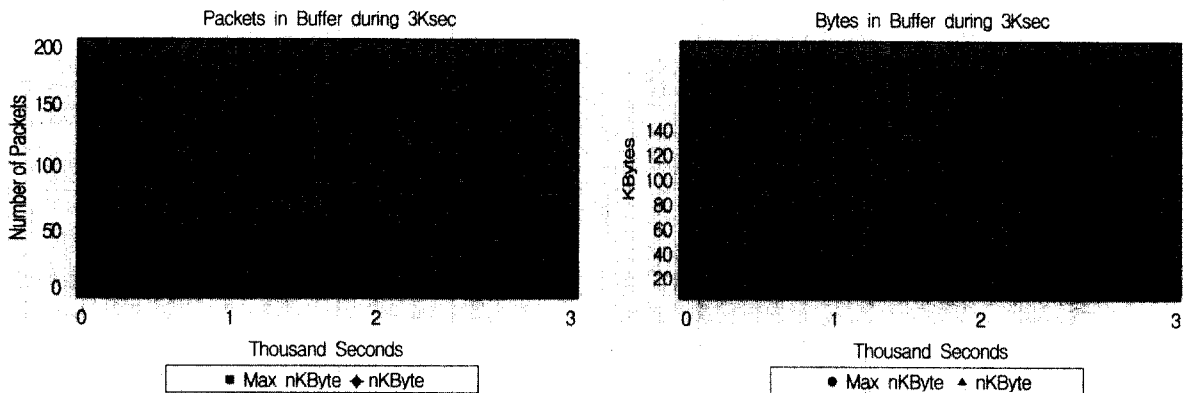
본 장에서는 앞서 실험을 통해 보인 버퍼 상태 분석을 수식을 동원해 확률적으로 분석한다.

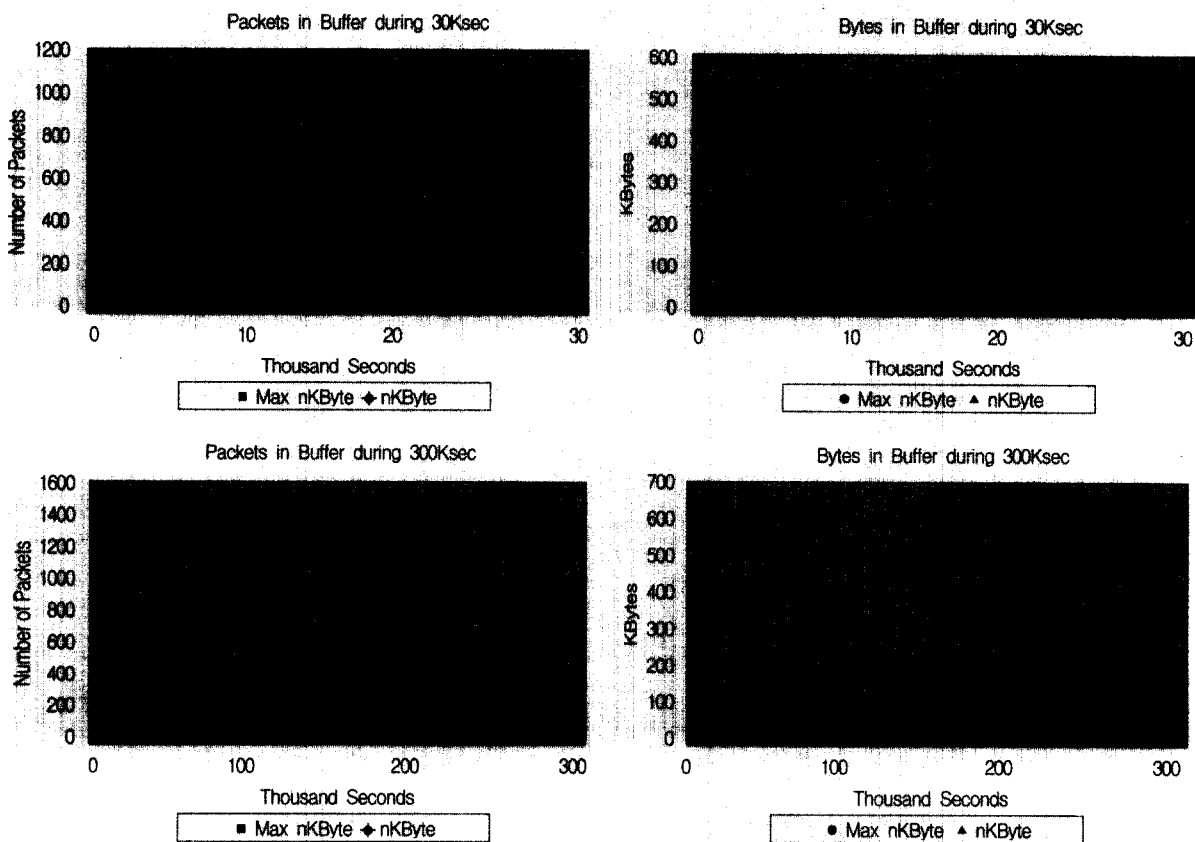
5.1 수식적 트래픽 모델

버퍼 상태를 수식적으로 해석하기 위해 ITU-R에서 제시하는 패킷 데이터 트래픽 모델을 다음 그림과 같이 단순화시켰다. 트래픽 데이터는 시간에 따라 오른쪽에서 왼쪽으로 흘러 들어 온다. 한 state 마다 데이터가 들어오는 on 구간

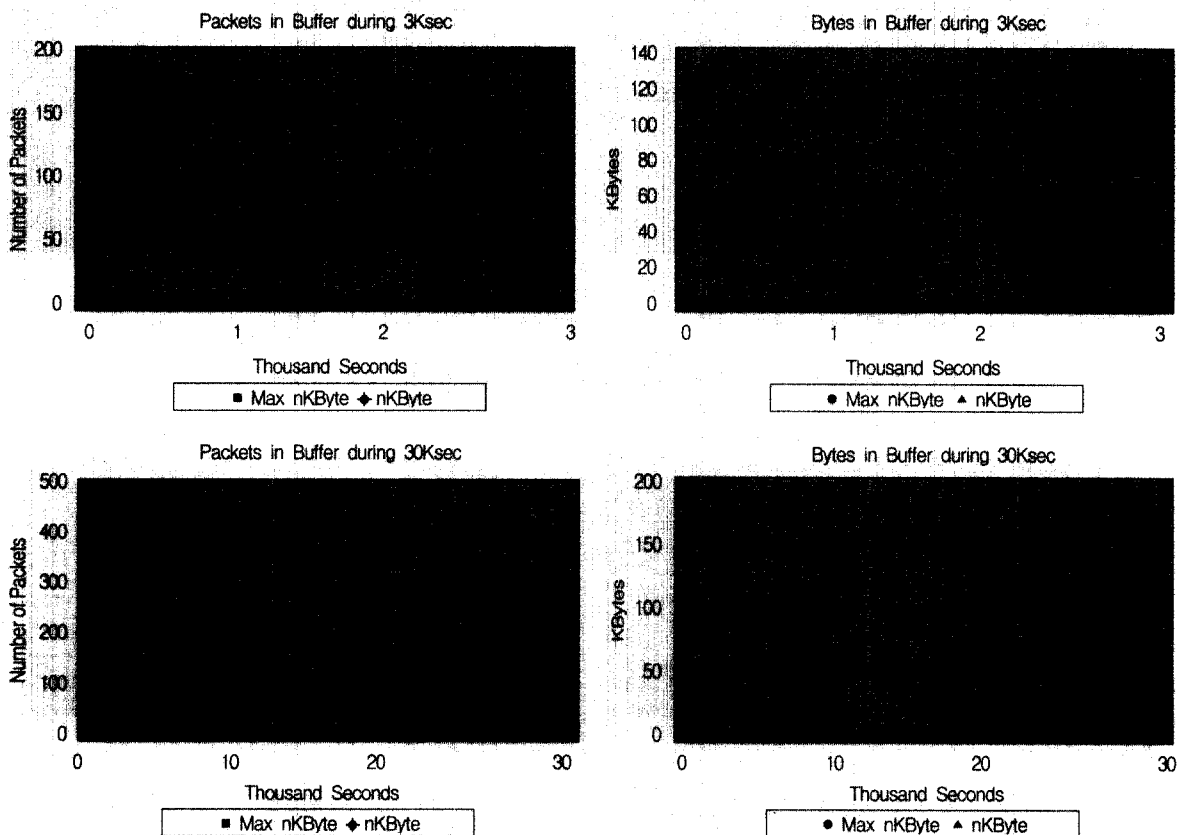


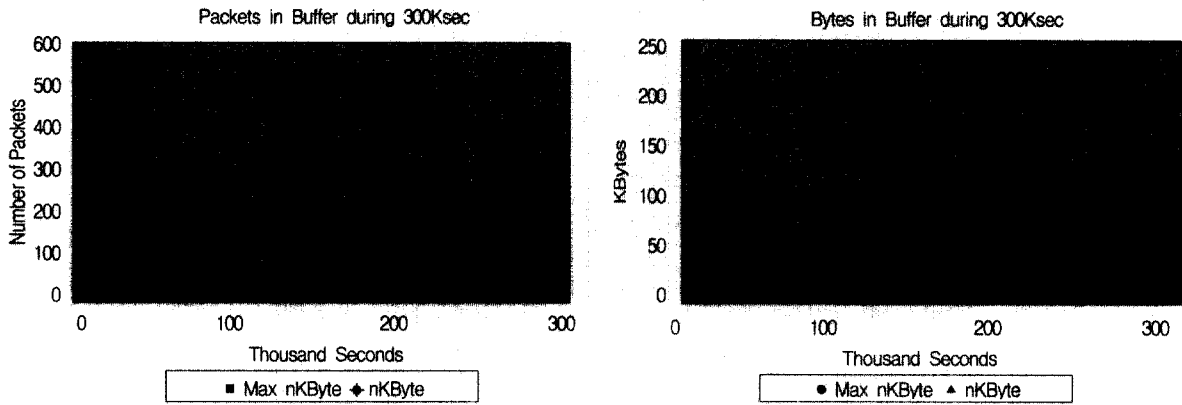
(그림 3) FER 10%이고 상태전이 지연시간 500msec일때 MMM 트래픽 특성을 사용하여 실험한 결과



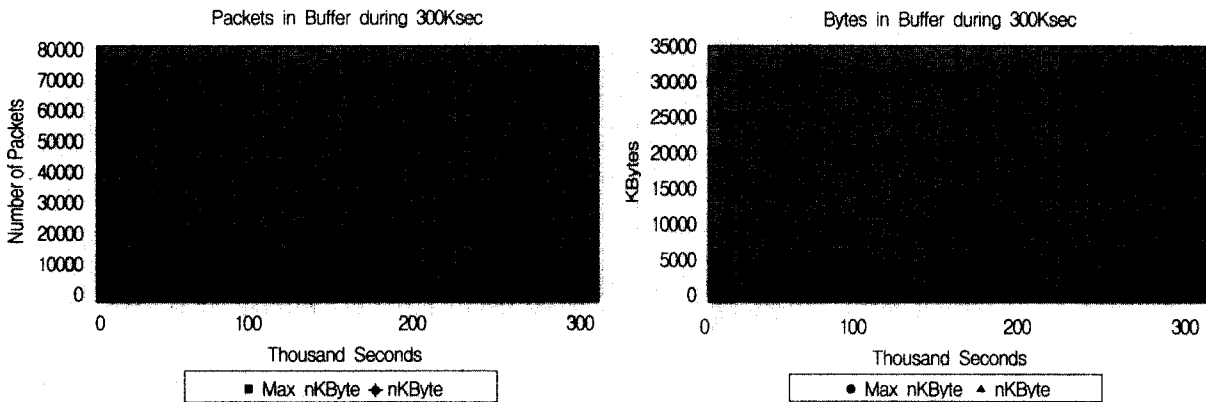
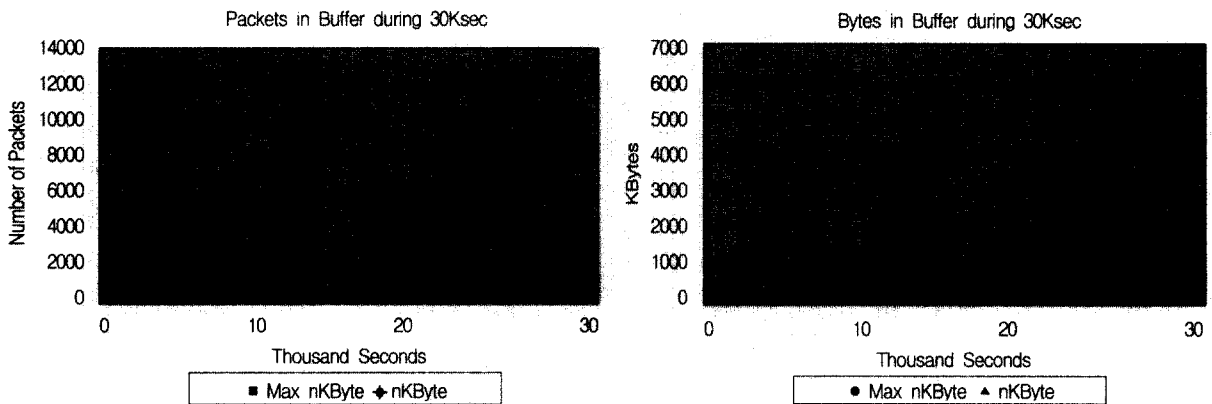
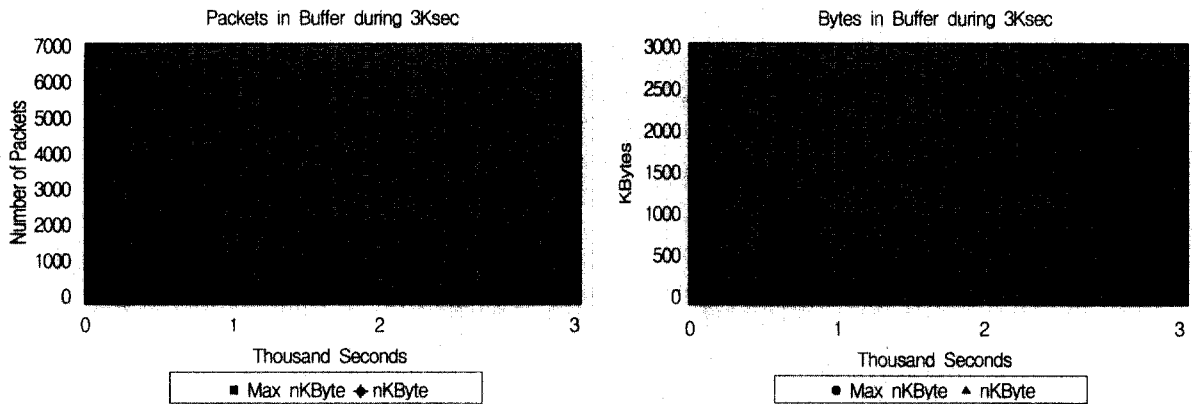


(그림 4) FER 30%이고 상태천이 지연시간 500msec일때 MMM 트래픽 특성을 사용하여 실험한 결과



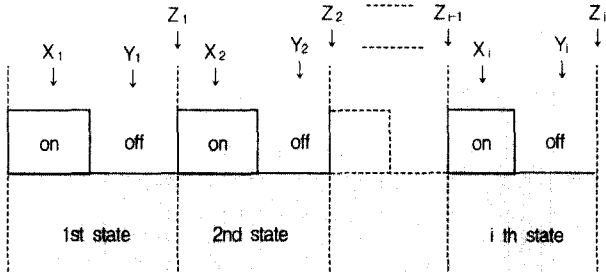


(그림 5) FER 10%이고 상태전이 지연시간 1000msec일때 MMT 트래픽 특성을 사용하여 실험한 결과



(그림 6) FER 10%이고 상태전이 지연시간 500msec일때 HMM 트래픽 특성을 사용하여 실험한 결과

과 데이터가 들어 오지 않는 off 구간으로 나눈다. on 구간에서는 그 시간 동안 데이터가 입력 대역폭을 가지고 버퍼로 들어오게 된다. 확률 변수 X_i 는 i 번째 state에서 on 구간이 지속되는 시간을 나타내고 Y_i 는 i 번째 state에서 off 구간이 지속되는 시간을 나타낸다. 그리고 Z_i 는 i 번째 state가 끝났을 때 버퍼에 남아 있는 데이터를 시간 단위로 나타내는 확률 변수이다.



(그림 7) 수식적 분석을 위해 단순화 시킨 트래픽 모델

5.2 입출력 대역폭에 따른 버퍼 상태 분석

입력 대역폭과 출력 대역폭이 다른 경우 버퍼의 이전 상태가 이후 상태에 계속적으로 영향을 주게 된다. 이럴 경우 한 시점에서 버퍼 상태는 첫 번째 상태에서부터 바로 직전의 상태까지 영향을 받게 되므로 수식적으로 분석하기가 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 MMM 트래픽과 HMM 트래픽에서 입출력 대역폭이 같은 경우에 한해서 버퍼 상태를 확률적으로 분석한다.

입력 대역폭과 출력 대역폭 384Kbps로 서로 같은 트래픽을 사용했을 때 실험 결과를 관찰해 보면 데이터가 순간적으로 버퍼에 burst하게 쌓이기는 하나 그 지속 시간이 짧음을 알 수 있었다. 이를 통해 입출력 대역폭이 동일한 경우 임의의 state에서 버퍼는 그 state에서 on 구간에 의해 발생하는 데이터 양만을 저장할 수 있다면 충분하다고 유추할 수 있다.

on 구간 분포로 파레토 분포를 사용할 때 i 번째 state에서 on 시간이 x 일 확률은 식 (1)과 같다. 이때 식 (1)은 파레토 분포의 PDF(probability Density Function)와 같다.

$$P[X_i = x] = f_{on}(x; \alpha_{on}, \beta_{on}) = \frac{\alpha_{on} \beta_{on}^{\alpha_{on}}}{(x + \beta_{on})^{\alpha_{on} + 1}} \quad (1)$$

on 구간 분포로 사용되는 파레토 분포의 기대값은 한 packet call 당 지속되는 transmission time으로 식 (2)와 같다. 이 식을 통해 얻은 기대값을 가지고 on 구간 분포에서 사용될 β 를 구할 수 있다.

$$E(x) = NPPPC \times NBPP \times 8 / (\text{Transmission rate} \times 1024) \quad (2)$$

식 (2)를 바탕으로 MMM 트래픽과 HMM 트래픽을 사용할 경우 식 (1)의 on 구간 분포에 들어갈 파라미터는 <표 3>과 같다.

<표 3> on 구간 분포에서 사용되는 파라미터들

	α	$E(x)$	β
MMM	1.7	1.464844	1.025391
HMM	1.7	1.430420	1.001294

식 (1)을 바탕으로 하여 i 번째 상태에서 on 시간이 x 보다 작거나 같을 확률을 구해 보면 식 (3)과 같다. 이때 식 (3)은 파레토 분포의 CDF(Commutative Density Function)와 같음을 알 수 있다.

$$P[X_i \leq x] = F_{on}(x; \alpha_{on}, \beta_{on}) = \int_0^x f_{on}(k) dk \quad (3)$$

$$= 1 - \left(\frac{\beta_{on}}{x + \beta_{on}} \right)^{\alpha_{on}}$$

Buffer Time은 on 구간일 때 버퍼에 쌓이는 데이터 양을 시간 단위로 나타낸 것이다. 즉 버퍼에 쌓인 데이터 양이 Buffer Time 1초이고 입력 대역폭이 384kbps라면 현재 버퍼 안에는 384kbits 만큼의 데이터가 쌓여 있는 것이다. 버퍼에 쌓인 데이터와 Buffer Time과의 관계는 식 (4)와 같다.

$$DataInBuffer = BufferTime \times InputBandwidth \quad (4)$$

식 (1), 식 (3), 식 (4)를 통해 버퍼에 최대 저장할 수 있는 데이터의 Buffer Time (Max Buffer Time)이 b 일 때 i state에서 버퍼가 넘치지 않을 확률에 대한 식 (5)를 구할 수 있다.

$$P[X_i \leq b] = F_{X_i}(b) = \int_0^b f_{on}(x) dx \quad (5)$$

$$= 1 - \left(\frac{\beta_{on}}{b + \beta_{on}} \right)^{\alpha_{on}}$$

5.2.1 MMM 트래픽

식 (5)를 MMM 트래픽의 경우에 적용하면 다음과 같이 버퍼 오버플로우를 막기 위한 확률에 따른 최소 버퍼 크기에 대한 결과를 얻을 수 있다. MMM 트래픽의 경우 식 (5)에서 α 값은 1.7, β 값은 1.025391를 사용하였다.

버퍼 오버플로우로 인한 데이터 손실을 확률적으로 95% 이상 막으려면 최소 237.481 KBytes 크기의 버퍼가 필요하고 99% 이상 막으려면 최소 689.708 KBytes가 필요하며 99.9% 이상 막으려면 2813.882 KBytes가 필요하다. MMM 트래픽을 위한 버퍼 분석 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> MMM 트래픽의 경우 버퍼 overflow를 막기 위한 버퍼 크기 예측치

Probability Traffic	70%	80%	90%	95%	99%	99.9%
MMM (KBytes)	50.714	77.631	141.488	237.481	689.708	2813.882

5.2.2 HMM 트래픽

식 (5)를 HMM 트래픽의 경우에 적용하면 다음과 같이 버퍼 오버플로우를 막기 위한 확률에 따른 최소 버퍼 크기에 대한 결과를 얻을 수 있다. HMM 트래픽의 경우 식 (5)에서 α 값은 1.7, β 값은 1.001294를 사용하였다.

버퍼 오버플로우로 인한 데이터 손실을 확률적으로 95% 이상 막으려면 최소 1236.853 KBytes 크기의 버퍼가 필요하고 99% 이상 막으려면 최소 3501.997 KBytes가 필요하며 99.9% 이상 막으려면 14654.69 KBytes가 필요하다. HMM 트래픽을 위한 버퍼 분석 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> HMM 트래픽의 경우 버퍼 overflow를 막기 위한 버퍼 크기 예측치

Probability Traffic	70%	80%	90%	95%	99%	99.9%
HMM (KBytes)	264.118	404.302	736.869	1236.853	3501.997	14654.69

6. 결 론

본 연구에서는 UMTS 시스템에서 버퍼 상태에 대한 실험 및 분석을 수행하였다. 이를 위해 UMTS 시스템에서 패킷 서비스의 중요성에 대해 알아 보았고 실험을 통해 버퍼 상태 변화를 관찰하고 분석해 보았다. 그리고 확률을 통해 수치적으로 버퍼 상태를 분석해 보았다.

본 연구에서는 실험을 위해 우선 UMTS 시스템이 보편적으로 사용될 것으로 전망되는 2010년을 기준으로 패킷 데이터 트래픽을 생성하였다. 둘째로 이 트래픽을 이용하여 환경에 따라 UMTS 시스템에서 버퍼 상태가 어떻게 변화하는지 실험해 보았다. 실험 결과, 입출력 대역폭 차이, FER, 상태 천이 지연시간 등이 버퍼 상태에 영향을 미침을 알 수 있었다. 특히 입력 대역폭에 비해 출력 대역폭이 작을수록, FER이 클수록 그리고 상태 천이 지연 시간이 길수록 버퍼에 쌓이는 데이터 양은 늘어났다. 이중 입출력 대역폭의 차이와 FER의 변화는 버퍼 상태에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 반면 상태 천이 지연 시간 변화는 앞선 입출력 대역폭과 FER에 비해서는 큰 영향을 미치지 못함을 알았다.

그리고 대부분의 경우, 특히 입력 트래픽의 대역폭과 라디오 네트워크의 출력 대역폭이 같은 경우, UMTS 시스템에서는 대부분의 경우에 대하여 모든 데이터를 무리 없이 잘 전송함을 알 수 있었다. 하지만 인터넷 트래픽의 burst한 특성에 의해 짧은 시간에 많은 양의 데이터가 들어 오는 경우

가 많기 때문에 순간적인 버퍼 부족으로 인한 데이터 손실이 발생할 것으로 예상된다. 또 버퍼의 이용률이 시간에 따라 매우 burst하게 변하기 때문에 각 사용자에게 각각 다른 버퍼를 할당하는 dedicated 버퍼 할당 방식 보다 한 버퍼를 여러 사용자가 공유해서 사용하는 shared 버퍼 할당 방식이 더 효율적인 것으로 예상 되어진다.

앞으로 향후 연구 계획으로는 입력 트래픽의 대역폭에 비해 라디오 네트워크의 출력 대역폭이 작은 경우 버퍼 상태에 대해 수치적으로 분석해 볼 예정이다.

참고 문헌

- [1] ITU-R, "Spectrum Requirements for IMT-2000," Apr., 1999.
- [2] R. Jain and S. A. Routhier, "Packet Trains: Measurements and a new model for computer network traffic," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.4, pp.986-995, 1986.
- [3] Matthew Cheng and Li Fung Chang, "Wireless Dynamic Channel Assignment Performance Under Packet Data Traffic," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.17, No.7, Jul., 1999.
- [4] 조기호, "UMTS에서 서비스의 종류 및 트래픽 특성", 삼성전자, Jul., 2000.
- [5] Harri Holma and antti Toskala, "WCDMA for UMTS," John Wiley & Sons, Ltd., 2000.
- [6] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network, "RLC Protocol specification," 3G TS 25.322 version 3.0, October, 1999.

김 남 기

e-mail : ngkim@camars.kaist.ac.kr
 1997년 서강대학교 컴퓨터학과 학사
 2000년 한국과학기술원 전자전산학과 석사
 2000년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 박사 과정 재학중
 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 인터넷, 이동통신, Adhoc망



박 인 용

e-mail : iypark@se.kumoh.ac.kr
 1990년 연세대학교 전산학과 학사
 1992년 한국과학기술원 전산학과 석사
 2002년 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 2002년 한국과학기술원 정보전자연구소 연수연구원
 2002년~현재 금오공과대학교 컴퓨터공학과 전임강사
 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 분산처리





정혜영

e-mail : hyjung@camars.kaist.ac.kr

2001년 숭실대학교 컴퓨터학부 학사

2001년~현재 한국과학기술원 전자전산학과

석사 과정 재학중

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, Adhoc망



윤현수

e-mail : hyoon@camars.kaist.ac.kr

1979년 서울대학교 전자공학과 학사

1981년 한국과학기술원 전산학과 석사

1981년~1984년 삼성전자 연구원

1988년 오하이오 주립대학 전산학 박사

1988년~1989년 AT&T Bell Labs. 연구원

1989년~현재 한국과학기술원 전산학과 교수

관심분야 : Adhoc망, 암호학, 상호연결 네트워크, 병렬 컴퓨터