

이동통신 멀티미디어 데이터서비스의 트래픽 특성 모델링 및 성능분석*

정용주** · 백천현*** · 김후곤**** · 최택진***** · 양원석***** · 황흥석***

Traffic Modeling and Performance Analysis of Mobile Multimedia Data Services*

Yong-Joo Chung** · Chun-Hyun Paik*** · Hu-Gon Kim****
Taek-Jin Choi***** · Won-Suk Yang***** · Heung-Suk Hwang***

■ Abstract ■

The aim of this study is to identify the data traffic capacity of 3G mobile communication networks, especially of cdma2000-1X networks. Three-layered ON/OFF traffic model is used to describe the dynamics of data traffics and the process of data transmission such as packet scheduling. We construct a simulator fully incorporating packet handling process of cdma2000-1X data network as well as three-layered ON/OFF traffic model describing the behavior of source data traffics. To get influence of traffic parameters on performance measures, the extensive simulations were performed for several data sets which are obtained from real trace data or previous studies. The experimental results show that the engineered throughput satisfying QoS criteria is approximately 25% of total capacity. Finally, some proposals to improve the system capacity are followed.

Keyword : Mobile Communication Networks, cdma2000-1X, Performance Evaluation, Data Service, Traffic Modeling, Simulation, Self-Similarity

논문접수일 : 2002년 11월 6일 논문게재확정일 : 2002년 6월 3일

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00508) 지원으로 수행되었음.

** 부산외국어대학교 정보시스템학과

*** 동의대학교 정보산업공학과

**** 경성대학교 경영정보학과

***** LG 텔레콤 기술기획팀

1. 서 론

최근 통신서비스는 음성 위주에서 멀티미디어 데이터서비스로, 유선에서 유무선 복합서비스로 발전하고 있다. 특히, 다양한 서비스의 개발과 데이터 서비스를 위한 망의 고도화로 이동통신 데이터 서비스의 비중도 날로 증대되어 가까운 장래에 음성 서비스 못지않은 비중을 차지할 것으로 예상된다. 이러한 추세에 따라 이동통신 데이터 서비스를 위한 이동통신 망구조와 표준화과정, 용량 및 데이터 트래픽 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

데이터 트래픽의 특성과악과 모델링에 관한 그동안의 연구 결과들은 대부분이 유선망을 대상으로 하였다. 이러한 연구들은 유선망에서의 데이터 트래픽은 다양한 시간척도(time scale) 상에서 변동성(variability) 즉, 자기유사성(self similarity)이 존재한다는 결과를 제시하고 있다[1-3]. 연구는 상대적으로 적지만 이동통신망을 통한 데이터 서비스도 유사한 특성을 지니는 것으로 조사되고 있다 [30, 31]. 이러한 특성은 음성 서비스망의 설계를 위하여 통상적으로 사용되고 있는 얼랑(Erlang) B/C 등의 대기행렬모형을 데이터 망에 그대로 적용할 수 없음을 의미한다. 음성서비스 망의 트래픽 요소, 시스템용량, 성능척도(performance measure)를 연결하는 가장 근간이 되는 얼랑 B/C 모형은 트래픽 단위가 포아송과정(또는 도착시간간격(inter-arrival)이 지수분포)에 따른다는 전제가 충족되어야 하는데, 자기유사성을 가지는 데이터 트래픽은 전혀 그러한 속성을 지니지 않는다.

이동통신 데이터 망의 용량과 관련된 대부분의 기존연구는 이론적인 접근법으로 대상 이동통신시스템의 특징, 무선에서의 간섭과 전파전파 특성을 반영하여 한 셀에서 수용할 수 있는 데이터의 최대 전송속도를 제시하고 있다[29]. 그러나, 이러한 연구결과로서 나오는 데이터의 속도는 순간 최대 전송속도로서 데이터 트래픽의 고유한 특성인 지연(delay), 전송자원공유(resource sharing) 및 자기

유사성을 반영하지 않았기 때문에 망설계자가 필요로 하는 데이터 망이 수용할 수 있는 트래픽의 정도 등의 구체적인 정보를 제공할 수 없다.

데이터 트래픽 특성과 이동통신 데이터 망의 특성을 모두 고려하여 이론적으로 대기행렬모형으로 모형화하여 접근하는 것은 현실적으로 불가능하다. 왜냐하면 모형의 복잡성으로 인해 해석적인 분석이 거의 불가능할 뿐만 아니라, 트래픽 모형과 관련된 분포가 긴 꼬리 분포의 특성을 가져 라플라스 변환(Laplace transform)이 불가능한 파레토(Pareto), 로그정규(lognormal), 와이불(Weibull) 분포 등이 포함되어 있기 때문이다.

따라서 본 연구는 위에서의 현실적인 여건을 감안하여 해석적 분석을 시도하지 않고 cdma2000-1X망에서의 트래픽의 발생과 이의 처리과정에 대한 시뮬레이션을 통하여 cdma2000-1X 무선망의 데이터 트래픽 용량도출을 목적으로 한다. 각종 모수(parameter)와 여러 가지 성능척도간의 관계를 규명하고 최종적으로 cdma2000-1X 데이터 서비스의 성능척도 한계(QoS bound)를 고려한 용량을 제시하고자 한다. 시뮬레이션을 위하여 먼저 cdma2000-1X 데이터 서비스 및 트래픽의 특성을 반영하여 각 서비스의 트래픽을 ON/OFF 모형에 따라 모형화하고, 그 모형에 따라 각 수준별 트래픽을 발생시킨다. 트래픽 발생은 자기유사성을 가지는 분포를 선택할 수 있도록 하였다. 또한, cdma2000-1X 망의 특징과 발생된 패킷을 하향링크로 전송하는 과정을 시뮬레이터에 반영하여 현실성을 최대화하였다. 궁극적으로 실제 이동통신사업자의 망설계 과정에서 의사결정을 지원하기 위한 도구로 사용될 있도록 하는 것이 본 연구의 목표이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 제 2장에서는 데이터 트래픽의 특성과 관련된 기존의 연구 결과들을 살펴보고 본 연구에서 사용하고자 하는 ON/OFF 모델링 기법을 소개한다. 본 연구에서 대상으로 하는 cdma2000-1X의 데이터 서비스의 종류, 데이터 서비스를 위한 망의 특징 및 처리과정 등은 제 3장에서 소개한다. 제 4장에서는 cdma

2000-1X 데이터 서비스로부터 발생하는 패킷 트래픽의 생성과 전달과정을 모사하기 위한 시뮬레이터의 구조 및 입출력 요소들에 대하여 소개한다. 제 5장에서는 시뮬레이터의 반복적인 수행을 통하여 얻게 된 실험결과들과 이에 대한 분석결과를 소개한다.

2. 데이터 트래픽의 특성 및 모형

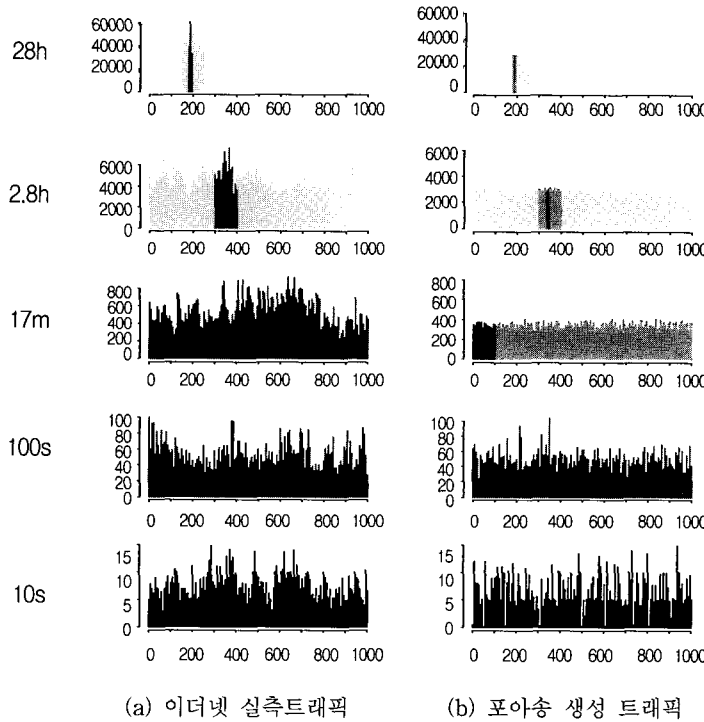
2.1 데이터 트래픽의 특성

실측자료를 통한 데이터 트래픽 특성에 대한 본격적인 연구는 [1]에서 이루어졌다. 이더넷(Ethernet) LAN 트래픽에 대한 방대한 실측자료를 바탕으로 이루어진 연구에서 자기유사성을 가진 트래픽 특성이 검출되었다. 그 후 WAN 트래픽[3], WWW 트래픽[2, 4], FTP 트래픽 등 현재 인터넷 등을 중심으로 이루어지는 서비스에 대한 트래픽

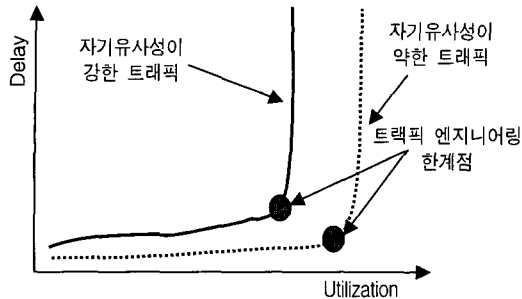
특성에 대한 연구는 데이터 트래픽이 음성 트래픽과는 달리 자기유사성 특성을 보유하고 있음을 지적하고 있다.

자기유사성 특성은 다양한 시간척도 상에서 트래픽 행태가 유사한 모습을 보이는 현상을 의미한다. [그림 1]은 이더넷 실측 트래픽과 포아송(Poisson) 과정에 의해 생성된 트래픽을 비교한 것이다.

[그림 1]에서 보듯이, 시간척도가 넓어짐에 따라 포아송 과정에 의해 생성된 트래픽 행태는 일정한 수준(평균)으로 수렴하는 모습을 보이는 반면, 이더넷 트래픽은 시간척도가 변화하더라도 트래픽 변동성이 감소하지 않는다. 이러한 자기유사성은 데이터 트래픽의 대표적인 성능척도인 지연에 매우 커다란 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다[6, 7, 28]. 또한, [그림 2]에서 보여지듯이 자기유사성을 무시한 트래픽 엔지니어링은 매우 왜곡된 결과를 초래할 수 있는 것으로 알려졌다.



[그림 1] 자기유사성 트래픽과 그렇지 않은 트래픽간 실측데이터 비교(출처 [1])



[그림 2] 자기유사성이 delay와 트래픽 엔지니어링에 미치는 영향

2.2 이동통신망의 데이터 트래픽 특성에 대한 연구

이동통신망의 데이터 트래픽의 특성에 대한 본격적인 연구는 유선망보다 훨씬 늦게 이루어졌는데 이는 1990년대 후반에 이르러서야 이동통신망을 통한 데이터 서비스가 본격적으로 도입되었기 때문이다.

이동통신 데이터 트래픽에 대한 연구는 유·무선망을 대상으로 하는 기존연구와는 다른 특성을 지니고 있다. 먼저, 유선망에서의 실측자료를 바탕으로 한 데이터 트래픽의 특성에 대한 연구가 라우터, 서버, 클라이언트 등의 다양한 호스트에서 발생하는 트래픽의 실측정보(패킷의 크기, 발생시점, 발생장소 등)를 필요로 한다. 반면, 이동통신을 통한 데이터 트래픽은 항상 게이트웨이(gateway)를 경유하기 때문에 게이트웨이에서 흐르는 패킷만 추적하면 필요로 하는 대부분의 정보는 취득할 수 있다. 또한, 유선망에서는 세션의 시작과 종료가 명확하지 않고 이를 추적하기도 용이하지 않지만, 이동통신망에는 단말기에 내장된 브라우저의 시작과 종료를 세션의 시작과 끝으로 명확하게 정의할 수 있고 이러한 정보는 게이트웨이에서 쉽게 추적할 수 있다. 마지막으로 음성서비스가 주된 서비스인 고전적인 이동통신 시스템에서의 무선자원에 대한 연구가 상대적으로 전송환경이 취약한 역방향 링크의 최적화에 많은 관심을 가지고 있었다.

반면, 하향 데이터의 전송량이 상대적으로 훨씬 많은 데이터 서비스의 특성으로 인하여, 이동통신 시스템의 데이터 서비스와 관련한 연구는 주로 하향 링크를 주 연구대상으로 하고 있다.

이동통신 데이터 트래픽에 대한 연구는 주로 유선망에서의 연구결과가 무선망에서도 유효한가를 검증하는데 집중하고 있다. 즉, 자기유사성이 존재하고 특정 서비스들로부터 발생하는 패킷의 분포적 특성은 어떠한가 등의 질문에 대한 해답을 구하기 위한 연구들이다[30, 31]. 그러나, 이러한 연구들은 주로 이동통신 단말기로 접속하는 텍스트 중심의 WAP 서비스만을 대상으로 하고 있기 때문에 최근에 도입된 다양한 미디어와 접속방법을 사용하는 신규 서비스들의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 또한, 대부분의 연구들이 서비스별 데이터 트래픽의 분포적 특성을 파악하는데 집중하고 있으며, 데이터 서비스의 특성을 반영한 무선망의 데이터 트래픽 측면에서의 용량에 대한 연구는 없었다. 무선의 전파전파 환경을 고려하여 동시에 가능한 음성 채널의 수와 데이터 트래픽의 전송가능속도의 조합을 이론적으로 구하고 있지만[29], 데이터 트래픽의 주된 성능척도인 지연과 시스템에 고유한 전송스킴 및 무선자원의 공유 메커니즘을 전혀 고려하지 않고 있기 때문에, 구체적인 용량에 대한 정보(특정한 조건하에서 어떤 트래픽 특성을 가진 가입자를 어느 정도까지 수용할 수 있는지)를 제공하지 못하고 있다.

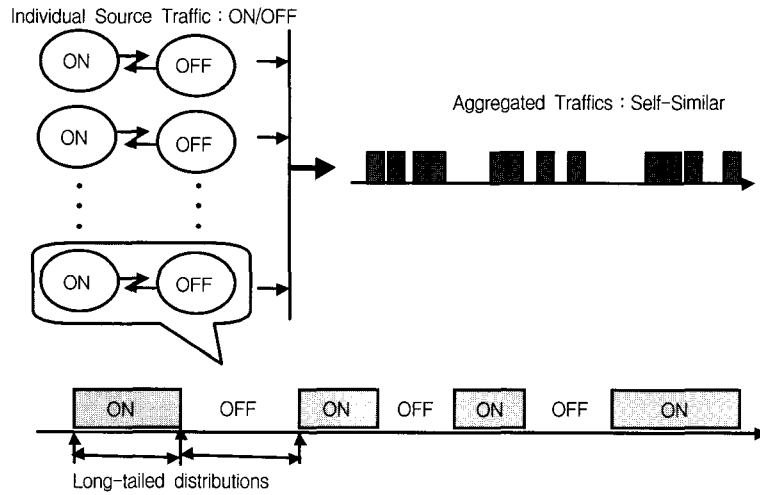
2.3 ON/OFF 트래픽 모델링 기법

자기유사성을 나타내는 확률과정 모형으로는 Fractional Gaussian Noise(fGn), Fractional Brownian Motion(fBm)[17], Fractional ARIMA(fARIMA)[18] 모형과 독립적인 확률과정의 결합(Aggregation) 등이 대표적인 방법으로 알려져 있다[2, 3, 5]. 이 중 fGn, fBm과 fARIMA에 비해 독립적인 확률과정의 결합방법(ON/OFF 모형)이 현실에 널리 이용되고 있다. 이는 앞의 방법들이 탄

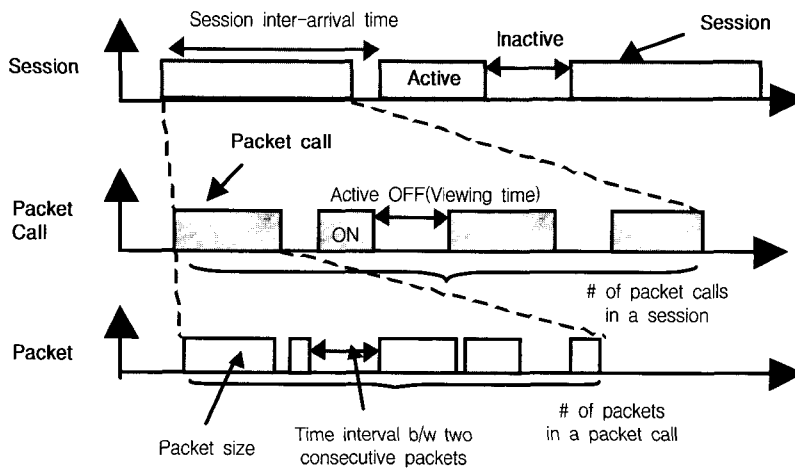
탄한 이론적인 근거에도 불구하고 현실의 트래픽 현상을 직접적으로 표현하고 있지 않아 현장에서 사용하기에 너무 이론에 가까운 것으로 인식되고 있기 때문이다. 또한, ON/OFF 모형으로 트래픽의 자기유사성을 보장할 수 있기 때문이다. 이는 [그림 3]과 같이 On-time과 Off-time이 긴꼬리 분포(long-tailed distribution)에 의해 생성되는 ON/OFF 확률과정 N개가 합쳐지는 결합 확률과정(aggregated stochastic process)은 만약 N이 충분히 큰 경우 자기유사성을 가진다는 이론을 바탕으

로 하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 ON/OFF 모델링 방법을 이용하여 트래픽을 생성한다.

[그림 4]는 ON/OFF 트래픽 모형에 따른 WWW 트래픽을 모형화하는 과정을 나타낸다. 사용자가 브라우저를 오픈하여 항해(navigation)를 종료할 때까지의 기간은 세션(session)으로 표현되고 활성/비활성(active/inactive)으로 구분된다. 세션이 유지되는 활성기간은 다시 사용자의 웹요구(web request)에 따라 웹페이지에 해당하는 패킷콜(packet call)의 도착과 웹페이지를 사용자가 보는 시간인



[그림 3] 개별 트래픽과 결합된 트래픽



[그림 4] 데이터 트래픽의 ON/OFF 일반모형

보는시간(viewing time)이 반복되는 ON/OFF 형태로 묘사된다. 웹페이지가 브라우저로 전달되는 ON 상태에서 웹서버는 패킷콜을 다시 트래픽의 최종단위인 패킷으로 잘게 쪼개어 전송한다.

패킷콜을 웹페이지 주 객체(main object)와 여기에 포함된 객체(inline object) 등으로 구분하고 단계를 보다 세분화하여 [그림 4]보다 정교하게 모델링하는 기법이 소개되었다. 그러나 이러한 접근법은 너무 많은 입력요소를 필요로 하고 기존의 연구에서도 일관된 결과를 찾을 수 없을 정도로 동일한 트래픽 특성에 대하여 서로 다른 분포와 모수값이 제안되고 있다. 따라서, 보다 간단하면서도 현실 트래픽 행태를 반영하고, FTP 및 이메일(e-mail) 등의 다양한 서비스를 포함할 있는 [그림 4]와 같은 일반적인 트래픽 모형이 많이 사용되고 있으며, 본 연구에서도 이 모형을 사용한다.

2.4 본 연구의 접근법

[그림 4]에 주어진 트래픽 모형은 ON/OFF 모델을 근간으로 응용서비스 수준에서 전송 최소 단위인 패킷 수준까지 연계가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 따라서 트래픽 모델에 필요한 모든 입력자료(분포 및 모수)가 알려져 있는 경우 현실 트래픽 특성을 가장 반영하는 정확하고 융통성 있는 모형이 된다. 그러나, 트래픽 모형에 필요한 이러한 상세한 입력 자료를 현실적으로 확보하기 매우 어렵고, 미확보된 자료에 대해 임의적인 가정을 바탕으로 한 입력요소 설정은 트래픽 모형의 신뢰성에 부정적인 영향을 끼치게 된다.

뿐만 아니라 모형의 복잡성으로 인해 해석적인 분석이 거의 불가능하다. 해석적인 분석을 어렵게 하는 가장 큰 요인은 기존연구에서 트래픽 모형과 관련된 분포가 긴 꼬리 분포의 특성을 가져 라플라스 변환이 불가능한 파레토, 로그정규, 와이불 분포 등이 포함되어 있기 때문이다. 대부분의 대기행렬 이론은 대기행렬 시스템의 도착시간간격 및 서비스 시간이 라플라스 변환이 가능한 분포를 가지는

경우에 한한다. 긴 꼬리 분포를 페이즈타입(phase type) 분포로 근사화 하는 방법[20, 23], TAM(Transform Approximation Method) [24]등 해석적인 분석이 가능한 형태로 긴꼬리 분포를 근사화한 후 일반적인 대기행렬이론을 이용한 트래픽 모형 개발에 대한 연구가 진행되고 있지만, 최근까지 해석적 분석이 가능한 일반적으로 인정되는 트래픽 모형은 존재하지 않는다.

따라서 본 연구에서는 해석적 분석을 시도하지 않고 시뮬레이션을 통하여 각종 트래픽 모수와 여러 가지 성능척도간의 관계를 규명하고 최종적으로 지연 등의 cdma2000-1X 데이터 서비스의 주요 성능척도에 대한 한계를 고려한 용량을 도출하고자 한다. 시뮬레이터는 먼저 cdma2000-1X 데이터 서비스의 특성을 반영하여 각 서비스의 트래픽을 ON/OFF 모형에 따라 단계적으로 모형화하고, 그 모형에 따라 각 수준별 트래픽을 발생시켜 최종적으로 패킷 단위의 트래픽을 발생시킨다. 발생된 패킷은 일차적으로 BSC의 버퍼에 저장되고 패킷 스케줄러(packet scheduler)에 의해 cdma2000-1X의 하향링크를 통하여 단말기로 전송되는데 시뮬레이터는 이 과정을 그대로 모사하고 시뮬레이션의 결과로서 각종 성능척도들에 대한 값들을 결과물로 출력한다.

3. 시뮬레이션 대상 시스템(cdma 2000-1X)

3.1 무선 접속기술의 특징

cdma2000-1X 시스템은 하나의 FA를 데이터 서비스 목적으로 전용하는 경우에 한 기지국 당 약 307Kbps의 전송속도의 데이터 서비스를 지원할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 cdma2000-1X 시스템에서의 데이터 서비스는 가변속도를 지원하는데 이는 기본채널(fundamental channel), 부가채널(supplementary channel) 등 두 개의 무선채널을 사용함으로써 가능하다. 9.6Kbps의 고정속도를 가

지는 기본채널의 연결은 기본적으로 유지하고 가변적인 부가채널의 전송속도를 변경시킴으로써 가변전송속도를 지원한다.

또한, 데이터 서비스를 위한 무선자원 사용의 효율성을 제고하기 위하여 단말기와 BSC간의 연결 상태를 활성상태(active state), 휴지상태(dormant state)로 세분화하였다¹⁾. 즉, 데이터 전송이 없을 경우에도 계속해서 채널을 점유하는 것이 아니라 일정시간 동안 계속해서 데이터전송이 없으면 점유하고 있던 무선채널을 해지(release)한다. 이와 같이 연결은 유지하지만 무선자원은 점유하지 않는 상태를 휴지상태라 한다. 다시 전송해야 할 데이터가 발생하게 되면 다시 채널을 할당받아 활성상태가 된다²⁾.

3.2 데이터 서비스 종류

현재 cdma2000-1X망을 통하여 제공되고 있는 이동통신 인터넷 서비스는 크게 다음과 같이 네 개의 그룹으로 분류할 수 있다.

- 대화형 서비스 : WAP이나 ME 브라우저가 이동통신 단말기에 내장되고 WAP 또는 ME 서버에 접속하는 서비스이다 유선에서의 WWW 서비스와 유사한 특징을 가지고 있지만 상대적으로 전송되는 데이터의 크기가 훨씬 적다. 현재 대부분의 무선 인터넷 콘텐츠가 이를 통하여 제공된다.
- 모뎀접속형 서비스 : 이동통신 단말기 또는 무선 모뎀을 노트북이나 PDA에 연결하여 일반적인

1) 규격에는 휴지상태가 IS-95B부터 도입되었지만 실제로 구현되지 않았고, cdma2000-1X에 이르러서야 구현되었다. 또한, 휴지상태와 활성상태간의 상태 전이를 빠르게 하기 위하여 control hold state, suspended state 등의 두 개의 중간적인 상태가 추가로 정의되었다.

2) 데이터 전송시에만 채널을 점유하고 전송할 데이터가 없을 경우에는 채널을 점유하지 않는 방안을 생각할 수 있으나, Dormant상태에서 채널을 다시 할당하여 연결상태로 복귀하는 일정시간이 소요되기 때문에 현실적으로 적용이 불가능하다.

인터넷 서비스를 사용하는 것으로서 유선인터넷과 아주 유사한 트래픽 특징을 가진다. 접속횟수는 적더라도 한번 사용하게 되면 대량의 트래픽이 발생하게 된다.

- 다운로드형 서비스 : 단말기에 내장된 JVM, BREW 등의 플랫폼에서 동작하는 S/W를 다운로드하기 위한 서비스로서 사용자가 원하는 S/W를 검색하고 선택하는 과정을 거치고 난 후 큰 사이즈의 파일이 다운로드되고 접속이 종료된다. 따라서 FTP와 유사한 특징을 지닌다. WAP이나 ME가 웹과 같이 범용 브라우저를 통하여 일반적인 콘텐츠를 제공할 수 있는 서비스인 반면, JVM과 BREW는 게임, 채팅, 증권정보 등의 특정 서비스에 특화된 S/W를 실행할 수 있는 환경을 제공한다.
- 스트리밍 서비스 : 오디오, 비디오 등의 파일을 서버로부터 RTP/UDP를 통하여 다운로드하면서 실시간으로 플레이할 수 있는 서비스로서 유선 인터넷에서의 스트리밍 서비스와 유사한 특징을 지닌다. 그러나, 전송속도가 느리고 불안정하기 때문에 현재까지는 거의 다운로드하여 플레이하는 형태로 제공되고 있다.

본 연구에서는 위에서 제시한 서비스 중 비중이 가장 큰 3개의 서비스를 대상으로 한다.

3.3 패킷전송 기법

이동통신 시스템에서는 기본적으로 무선자원을 여러 사용자가 공유하여야 하는데 그 방법은 크게 다음과 같이 두 가지로 분류할 수 있다. [그림 5]에서 파이프의 크기(높이)를 순간 최대전송속도라고 했을 때, 각 블록의 높이는 사용자에게 할당되는 전송속도이고 블록의 길이는 전송시간에 해당한다. 따라서, 각 블록의 면적은 패킷의 크기가 된다. CDM 기법은 각 사용자에게 서로 다른 코드를 할당하여 동일시간에 여러 사용자가 동시에 데이터를 전송할 수 있게 하는 방법으로서 cdma2000-1X에서 사용하는 방법이다. 전송속도에 따라 다른 코

드셋을 할당하게 된다.

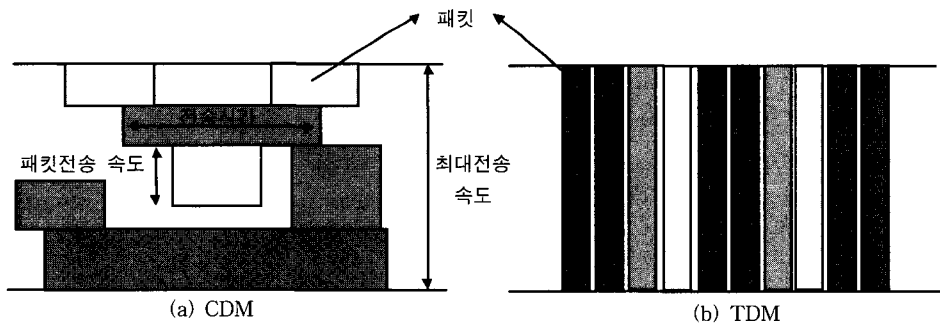
한편, TDM은 cdma2000-1X EV DO에서 사용하는 방법으로서 무선자원을 타임슬롯으로 분할하고 전송할 데이터가 많은 사용자에게는 많은 타임슬롯을 할당하여 속도를 조절한다. 따라서, 특정 시간대에는 한 사용자만 데이터를 전송할 수 있다.

[그림 6]은 cdma2000-1X망의 사용자가 데이터 서비스를 사용함에 따라 발생하는 패킷을 무선망을 통하여 전송하는 BSC의 처리과정에 대한 예다. 그림에서 현재 4개의 세션이 진행중임을 알 수 있다. 사용자가 데이터 서비스를 시작함과 동시에 BSC에는 그 세션으로부터 발생하는 패킷을 임시적으로 저장하기 위한 버퍼(buffer)가 생성되고 사용자가 데이터 서비스를 사용함에 따라 서버로부터 발생하는 패킷은 일차적으로 버퍼에 저장된다. 세션의 종료와 함께 그 버퍼는 소멸된다.

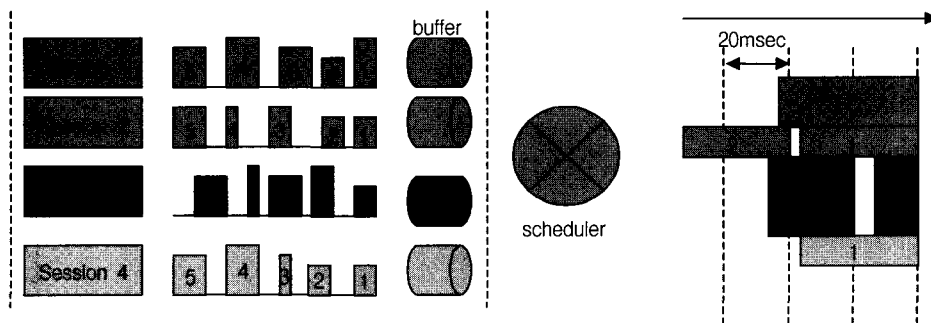
패킷 스케줄러는 주기적으로 버퍼의 상태를 확인하여 버퍼에 저장되어 있는 패킷을 선택하여 이동

단말기로 전송한다. 여기서, 패킷의 FIFO에 의하여 전송순서가 결정되는 것으로 가정하였다. 또한, 패킷의 전송속도는 그 세션에 정의된 참조속도(reference rate)를 참조하여 결정되는데, 참조속도는 세션의 버퍼에서 대기하고 있는 패킷들의 크기합에 따라 변한다. 기본적으로 버퍼에 대기하고 있는 데이터의 양이 많으면 참조속도를 높이고 적으면 참조속도를 내리는 상식적인 원리를 따른다. 이러한 동작과정은 네 개의 모수를 필요로 한다. 즉, 버퍼에 있는 데이터의 크기가 속도증가타임아웃(rate up timeout)동안 속도증가임계치(rate up threshold) 이상 유지되면 참조속도를 한 단계 높이고, 반대로 속도감소타임아웃(rate down timeout)동안 속도감소임계치(rate down threshold)이하로 유지되면 참조속도를 한 단계 내린다.

또한, 무선링크는 20ms단위의 프레임으로 분할되어 있어 패킷 스케줄러는 항상 프레임의 시작시점에만 패킷을 전송할 수 있다. 일반적으로 패킷의



[그림 5] CDM과 TDM



[그림 6] 패킷의 전달과정

크기가 한 프레임으로 다 전송할 수 없기 때문에 연속되는 여러 개 프레임에 걸쳐서 패킷을 전송된다.

4. 시뮬레이터 구조

4.1 시뮬레이터 구성요소

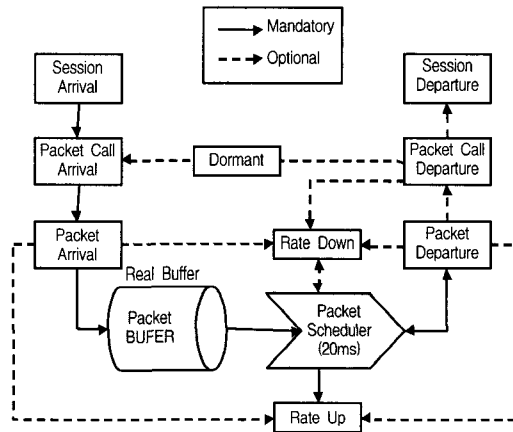
본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 이벤트기반(event driven) 시뮬레이터로서 많은 입출력 데이터를 효율적으로 처리하기 위하여 MS Visual Basic 과 Excel을 기반으로 개발되었다. 시뮬레이터는 [그림 7]과 같이 입력모듈, 시뮬레이터 엔진 모듈, 결과 및 분석 모듈로 구성된다. 입력모듈은 모듈 시스템, 트래픽 및 시뮬레이션 관련 입력 요소를 처리하는 모듈이다. 시뮬레이터 엔진 모듈은 입력 모듈에서 주어진 입력 모수 들을 기반으로 세션, 패킷콜 및 패킷을 생성하고 cdma2000-1X의 패킷 처리 과정을 구현하는 부분으로 시뮬레이터의 핵심요소이다. 결과 및 분석 모듈은 시뮬레이션 과정에서 발생하는 모든 이벤트로부터 각종 데이터를 수집하고 성능척도로써 의미있는 정보를 출력하게 된다.



[그림 7] 시뮬레이터 구성요소

4.2 주요 이벤트 및 이벤트 흐름도 (Event Flow)

cdma2000-1X 데이터망을 시뮬레이션하기 위하여 정의한 이벤트와 그들간의 관계는 [그림 8]과 같다. 트래픽 요소는 앞에서의 계층별 분류체계를 따라 세션, 패킷콜, 패킷으로 구분되고 각 트래픽 요소는 도착(arrival), 대기(waiting) 및 전송(departure)의 과정을 거치게 된다.



[그림 8] 이벤트 흐름도

세션은 세션도착시간간격(session inter-arrival time)의 분포에 따라 발생하고 세션이 발생하게 되면 한세션의 패킷콜 수(no. of packet calls in a session)에 따라 패킷콜의 개수가 결정된다. 각 패킷콜의 도착시각은 이전 패킷콜의 전송시각에서 보는시간(viewing time)을 더한 시각으로 결정되므로 세션이 도착할 때 미리 미래 이벤트 리스트(future event list : FEL)로 등록할 수 없고 시뮬레이션을 진행하면서 패킷콜이 전송완료되는 순간 정의된 분포에 따라 보는시간을 발생시키고 그에 따라 다음 패킷콜의 도착시각이 결정된다. 패킷콜이 발생하게 되면 그 패킷콜에 속한 패킷의 수(no. of packets in a packet call), 각 패킷들의 도착시각(packet arrival time) 및 패킷의 크기(packet size)를 해당 분포에 따라 결정하고 미래 이벤트 리스트에 등록한다. 발생한 패킷들은 일차적으로

해당 세션의 버퍼에 저장된다. 전송완료된 세션, 패킷콜 및 패킷에 대한 정보는 삭제된다. 또한, 만약 패킷콜이 전송된 후 해당 세션의 버퍼가 빈 상태에서 휴지상태타임아웃(dormant timeout)보다 다음 패킷콜의 도착시각까지의 시간이 길 경우, 그 세션은 휴지상태로 들어가게 되어 다음 패킷콜이 도착할 때까지 무선자원을 점유하지 않게 된다.

속도증감(rate up/down)은 패킷스케줄러가 참조하는 참조속도의 올림과 내림에 해당하는 이벤트로써, 패킷도착(packet arrival), 패킷전송(packet departure) 등의 버퍼내 패킷수에 변화를 주는 이벤트가 발생할 때마다 버퍼에 있는 데이터 크기와 지속기간을 체크하여 참조속도를 올리거나 내린다.

패킷 스케줄러는 다른 이벤트가 발생할 때마다 동작하게 되는데 모든 세션의 버퍼를 체크하여 전송할 패킷을 FIFO 원칙에 따라 결정하고, 각 패킷의 전송속도는 전체 파이프크기(pipe size)에 대한 점유상태를 고려한 가용 속도중에서 패킷이 속한 세션의 참조속도를 초과하지 않는 가장 높은 속도로 결정한다.

4.3 입력 요소

시뮬레이션을 수행하기 위한 입력요소는 <표 1>과 같이 시스템, 트래픽, 시뮬레이션 관련 모수로 분류된다. 시뮬레이터에서는 사용자가 각 모수의 값을 직접 설정할 수 있는 엑셀 시트(EXCEL Sheet)를 제공하고 종속관계에 있는 모수는 그 관계에 의하여 자동적으로 값이 설정되도록 하였다.

시스템 모수는 시스템의 특징을 나타내는 파이프크기, 속도증감 모수, 성능척도의 한계치 등이

포함된다.

트래픽과 관련된 입력요소는 트래픽 수준별로 필요한 분포의 종류와 그 분포에 정의되는 모수다. 분포 종류를 선택할 수 있는 메뉴를 제공하고 해당 분포의 모수는 직접 설정할 수 있도록 함으로써 사용자의 편의를 지원하였다. 또한, 트래픽의 자기유사성을 반영할 수 있는 분포로서 로그정규, 파레토 등의 분포도 포함하였다.

4.4 출력 요소

시뮬레이션을 수행의 결과로서 다음과 같은 주요한 성능척도 수치들을 출력한다. 패킷을 단위로 하는 지연과 QoS 기준척도(criterion), 휴지상태 횟수/비율, 버퍼에 있는 데이터의 평균 크기 등 아래에 열거된 것보다 훨씬 많은 정보를 출력하지만 본 연구에서는 직접적으로 성능과 관계가 있는 성능척도 결과들을 제시한다.

4.4.1 처리량(Throughput)

서비스 k 의 처리량은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\text{시뮬레이션 기간동안 전송된 서비스 } k \text{에 소속된 패킷크기의 합}}{\text{유효 시뮬레이션 시간}}$$

총 처리량(total throughput)은 서비스별 처리량의 합으로 정의된다.

4.4.2 페이지 지연(Page Delay)

페이지 지연은 패킷콜의 발생시점에서부터 패킷콜이 전송완료되는 시점까지의 시간간격을 일컫는다. 서비스별 페이지 지연, 전체 페이지 지연(overall page delay)으로 구분할 수 있다.

<표 1> 입력요소

System Parameters	Traffic Parameters	Simulation Parameters
<ul style="list-style-type: none"> • Pipe Size • Rate Up/Down parameters • Dormant parameters • 서비스의 수 • 서비스별 Profile 	<ul style="list-style-type: none"> • Session Inter-Arrival Time • No. of Packet Calls in a Session • Viewing Time • No. of Packets in a Packet Call • Packet Inter-Arrival Time Packet Size 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation Time • Iteration 횟수 • Events to be traced • Randomize or Not

4.4.3 페이지 QoS 기준척도(Page QoS Criterion)

QoS 한계치를 초과하는 페이지 지연의 비율로서 서비스별, 전체(overall) 페이지 QoS 기준척도로 분류할 수 있다.

4.4.4 점유파이프크기(Occupied Pipe Size)

전체 파이프 중에서 트래픽 처리를 위하여 점유되고 있는 파이프크기를 나타낸다.

4.4.5 혼잡비율(Congestion Ratio : CR)

각종 서비스에 의하여 점유되는 전체 파이프크기가 일정수준을 넘는 시간의 비율을 의미한다. 즉,

$$CR(\alpha) = \frac{C_Time(\alpha)}{Total_Time}$$

Total_Time는 유효한 시뮬레이션 총 시간이고 C_TIME(α)은 Pipe 점유용량이 αC이상인 시간들의 합이다. 여기서, C는 파이프크기, α는 주어진 모수로 0 ≤ α < 1의 범위를 갖는다.

5. 실험 및 결과분석

5.1 입력요소 기본 값

대상으로 하는 cdma2000-1X 무선데이터 네트워크에서

하향링크의 순간 최대전송속도(= 파이프 크기)는 307Kbps로 설정하였다. 휴지상태 타임아웃(dormant timeout)은 30초로 설정하였다. 시스템과 관련된 나머지 모수는 <표 2>와 같다.

<표 2> 시스템 모수

서비스	비율	Rate Up		Rate Down	
		Timeout (sec)	Buffer Size (Bytes)	Timeout (sec)	Buffer Size (Bytes)
대화형	0.8	0.2	300	0.6	200
다운로드	0.1	0.2	300	0.6	200
모뎀접속	0.1	1	1500	0.6	200

트래픽과 관련된 입력정보는 <표 3>과 같다. 표에서의 분포종류와 모수 값은 기존의 연구결과를 참조하거나 국내 모 이동통신사업자의 측정자료를 바탕으로 하였다. 이동통신의 실측데이터는 평균 패킷콜의 크기, 보는시간 등 패킷콜 레벨의 평균값만 제공한다. 따라서, 모든 분포의 종류와 패킷레벨의 트래픽 관련 모수는 기존의 연구결과와 가정을 통하여 역산한 값들이다.

- 세션 도착시간간격(session inter-arrival time) : 각 서비스별 트래픽 밀집도(traffic density)를 나타내는 척도로서 기존의 연구결과에 따라 지수분포를 따르는 것으로 가정하였다[26, 30].

<표 3> 트래픽 모수

트래픽 발생 요소	사용 분포(모수)	모수 값		
		대화형	다운로드	모뎀접속
Session Inter-Arrival Time	Exponential(λ)	-	-	-
No. of Packet Calls in a Session	Geometric(p)	1/7	1	1/6
Viewing Time	Lognormal(μ, σ)	(2.95, 0.82)	-	(4.90, 0.83)
No. of Packets in a Packet Call	Geometric(p)	1/10	1/53	1/115
Packet Inter-Arrival Time	Lognormal(μ, σ)	평균 : 전송속도에 비해 분산 : 고정		
Packet Size	Discrete	40 bytes : 46.77% 576 bytes : 27.96% 1500 bytes : 8.1% other (~U(40,1500)) : 17.17%		

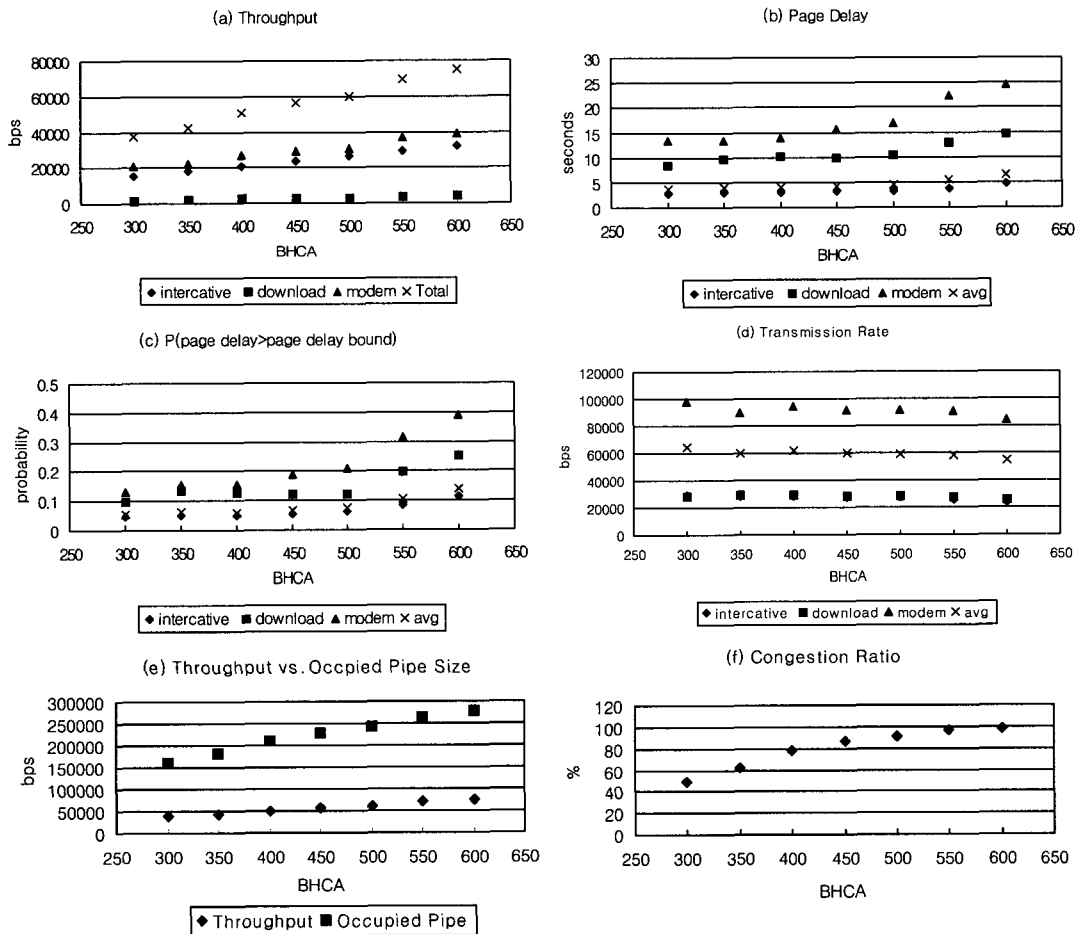
- 한세션의 패킷수(no. of packet calls in a session) : 기하분포(geometric distribution)를 따르는 것으로 가정하였고, 관련 모수(p)는 게이트웨이 측정자료를 바탕으로 계산하였다[22, 32].
- 보는시간(viewing time) : 트래픽의 자기유사성의 정도를 나타내는 척도로서 본 연구에서는 가장 자기유사성이 강한 특징을 지닌 로그정규분포를 가정한다. 관련 모수(μ, σ)는 측정자료를 바탕으로 역산한 값이다. 즉, 모수 (2.95,0.82)는 평균과 분산이 각각 27,687초인 경우의 값이다 [30].
- 패킷 도착시간간격(packet inter-arrival time) : 실측 데이터로 구해질 수 없기 때문에 기존 연

구결과에 따라 로그정규 분포를 따르되 평균은 세션의 실제 전송속도에 비례하고 분산은 고정된 값을 가지도록 설정하였다[26, 22].

- 패킷크기(packet size) : 서비스의 종류에 관계없이 동일한 분포와 모수를 가지는 것으로 가정하였다. 인터넷 상에서의 패킷 크기에 대한 실측 데이터를 참고한 것으로 최대전송단위(Maximum Transmit Unit : MTU)를 반영하고 있다 [26].

5.2 트래픽 증가에 따른 성능분석

[그림 9]는 위에서 주어진 입력요소를 사용하고



[그림 9] 트래픽 증가에 따른 성능척도 변화

트래픽 밀도의 증가에 따른 각종 성능척도치들에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 트래픽 밀도는 세션도착율(Busy Hour Call Attempts : BHCA)을 변화시킴으로써 조절된다. 모든 결과치들은 5번의 시뮬레이션을 수행한 결과들의 평균값이다.

(a), (b), (c)에서 보는 바와 같이 세션도착률이 증가함에 따라 즉, 트래픽 밀도가 증가함에 따라 처리량은 선형적으로 증가하는 형태를 보이고 있다. 반면, 주요한 성능척도인 페이지지연과 QoS 기준척도는 500 BHCA까지는 선형적으로 증가하다가 이후에는 급격하게 증가하는 형태를 보이고 있다. 특히, 모뎀접속형 서비스와 다운로드 서비스의 페이지지연은 매우 빠르게 증가하고 있다.

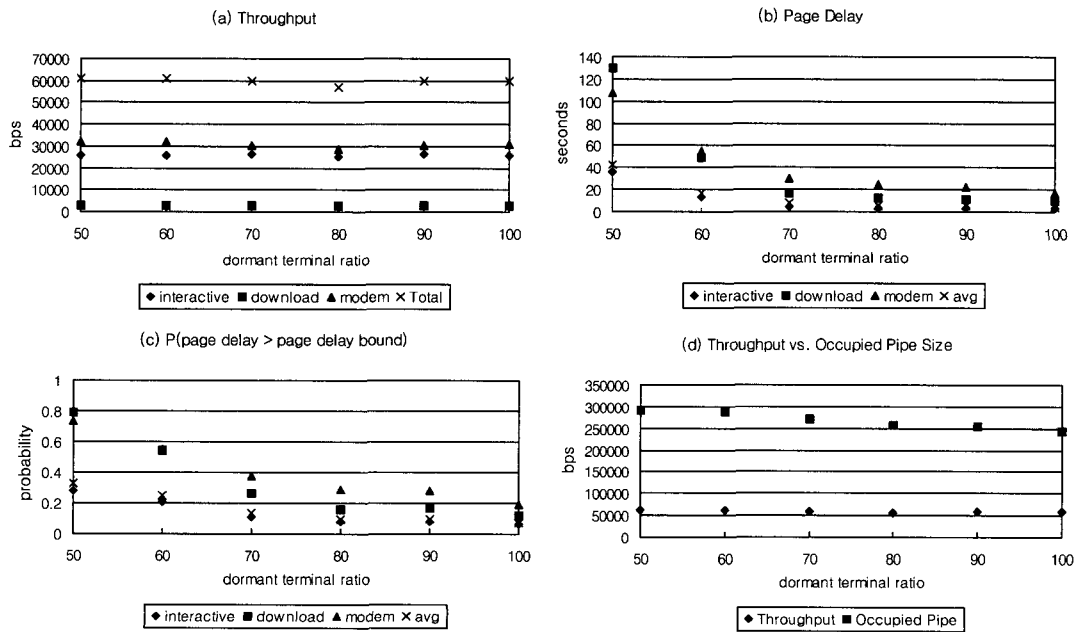
(a), (b), (c)의 결과를 통하여 한 기지국에서 수용할 수 있는 트래픽의 밀도를 구할 수 있다. 예를 들어, 서비스별 수용할 수 있는 페이지지연의 한계 및 QoS 기준척도의 한계값을 각각 20초, 20%라 했을 때, 시스템 용량은 500 BHCA라 할 수 있다. 이 때의 처리량은 60Kbps이다. 물론 이러한 트래

픽 용량은 <표 3>와 <표 5>에서 주어진 시스템과 트래픽 요소가 유효하다는 가정하에서만 가능한 추론이며 다른 환경하에서는 그 환경에 적합한 모수로 시뮬레이션을 수행해야 한다.

각 패킷들의 실제 전송속도는 (d)에서와 같이 트래픽의 증가와 더불어 조금씩 감소하는데 이는 참조속도는 증가하더라도 여유 파이프가 부족하여 실제로 전송할 수 있는 속도가 낮아지기 때문이다. (e)는 처리량과 점유파이프크기를 비교하고 있다. 트래픽의 증가와 함께 이들간의 비율은 23%에서 27%로 점차 증가하고 있어 자원사용의 효율성은 조금씩 나아진다고 할 수 있지만 전체적으로 25% 정도밖에 점유되는 자원의 나머지 75%는 실제 데이터 전송으로 사용되지 않고 낭비되는 현상을 보이고 있다.

5.3 휴지상태 관련 모수의 효과분석

[그림 10]은 BHCA(=500)를 비롯한 다른 입력요소는 고정시킨 채 휴지상태를 지원하는 단말기의



[그림 10] 휴지상태 지원단말기 비율의 증가에 따른 성능척도 변화

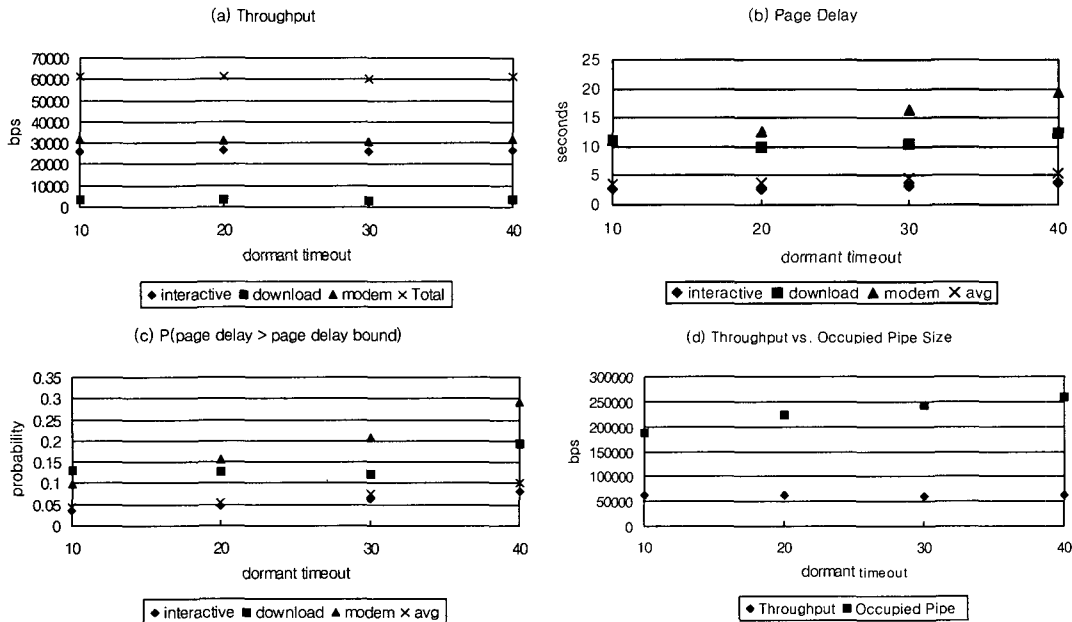
비율의 변화에 따른 성능척도의 행태를 보이고 있다. 모든 경우에 전체 트래픽 밀도는 동일하기 때문에 처리량 측면에서는 변화가 없고 페이지지연, 페이지의 QoS 기준척도 등에서 차이를 보인다. 예상대로 휴지상태가 지원되는 단말의 비율이 높을수록 페이지지연, 페이지의 QoS 기준척도 및 점유파이프크기 등에서 우수한 결과를 보이고 있다. 실제로 50%와 100%는 극심한 차이를 보이고 있다. 즉, 100%일 경우에는 어느 정도 수용할 수 있지만 70% 미만인 되는 시점부터 급격하게 나빠져 50%가 되면 대화형 서비스도 수용할 수 없는 상황이 된다.

휴지상태 타임아웃의 변화에 따른 성능척도 변화는 [그림 11]에 나타내었다. 휴지상태 타임아웃이 짧을수록 점유하고 있던 무선자원을 빨리 해지하기 때문에 성능측면에서 우수한 결과를 보이고 있다. 특히, 점유파이프크기 대비 처리량의 비율은 휴지상태 타임아웃이 40초일 때 약 22%인 반면에 10초일 때는 30%로서 자원사용의 효율성이 향상되는 것을 알 수 있다. 하지만, 휴지상태 타임아웃

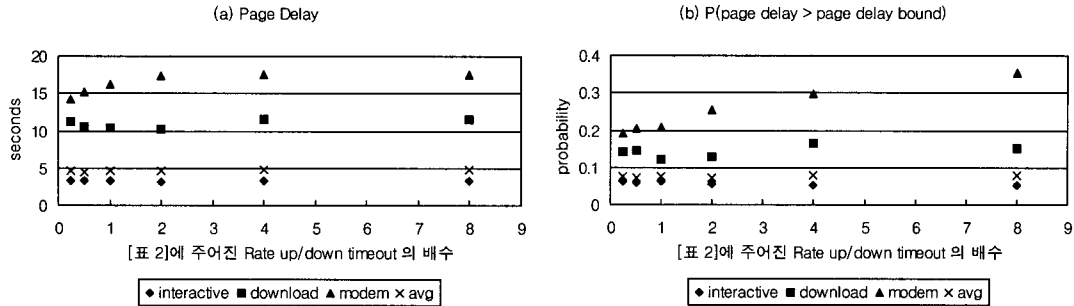
이 짧아짐에 따라 휴지상태와 활성상태간의 상태전이(state transition)가 많아지게 된다. 본 연구에서는 다루지 않았지만 상태전이 기간동안에는 데이터 전송이 불가능하고 시스템에 많은 부하를 주게 되어 과도한 상태전이는 오히려 전체적인 성능은 떨어뜨리게 된다. 따라서, 휴지상태 타임아웃의 변화에 따라 점유한 무선자원의 해지 속도와 상태전이 빈도는 서로 상충관계에 있으며, BSC에 대한 부하를 고려하고 시스템의 성능을 최대화할 수 있는 휴지상태 타임아웃을 구하는 연구가 필요하다. 물론 상태전이의 소요시간 및 상태전이가 BSC에 미치는 영향 등에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

5.4 속도증감 모수 효과분석

[그림 12]는 속도증감 타임아웃을 <표 2>에서 주어진 값의 배수로 증감시켰을 때 성능의 변화를 보이고 있다. 예상대로 타임아웃을 작게 하여 시스템의 상태변화에 민감하게 참조속도를 변화시키게



[그림 11] 휴지상태 타임아웃 변화에 따른 성능척도 변화



[그림 12] 속도증감 타임아웃 변화에 따른 효과

되면 성능을 향상시키는 효과가 있다. 그러나, 전송속도를 변경하기 위해서는 코드집합(code set)을 제한당해야 하는데 이는 또 다른 부하와 시간을 필요로 한다. 따라서, 지나치게 낮은 타임아웃은 오히려 전체적인 성능을 저하시키게 된다.

6. 결론 및 추후연구방향

본 연구에서는 멀티미디어 데이터 서비스를 지원하기 위한 이동통신 시스템(cdma2000-1X)의 성능 및 용량을 도출하기 위하여, 이동통신 멀티미디어 서비스의 특성을 반영하고 cdma2000-1X 시스템의 동작과정을 모사하는 시뮬레이터를 구현하였다.

먼저 이동통신 데이터 트래픽의 특성을 반영하기 위하여 이에 대한 기존 연구와 결과들을 조사하고, 이를 바탕으로 데이터 트래픽을 ON/OFF 모형으로 모델링하였다. 이는 시뮬레이터의 트래픽 생성 모듈을 구성한다. 또한, cdma2000-1X 시스템의 데이터 서비스를 처리하는 과정 및 무선접속상의 특징을 분석하여 시뮬레이터의 패킷 스케줄러에 구현하였다. 그리고 시뮬레이터는 실험자가 다양한 환경과 모수를 용이하게 설정하고 결과를 분석할 수 있도록 GUI 환경을 지원하였다.

시뮬레이터의 반복실행을 통하여 다음과 같은 각종 환경요소와 성능척도간의 관계를 규명하였다. 먼저, 트래픽 밀도가 증가함에 따라 처리량은 선형적인 증가추세를 보이고 있는 반면, 페이지 지연과 QoS 기준척도는 특정한 밀도를 경계로 급격하게

증가하는 형태를 보이고 있다. 또한, 이의 결과를 바탕으로 주어진 환경하에서의 수용가능한 트래픽의 밀도를 제시하였다. 그러나 이 수치는 주어진 환경하에서만 의미있는 수치이기 때문에 다른 환경에서의 용량을 도출하기 위해서는 별도의 추가적인 실험이 요구된다.

휴지상태 타임아웃이 짧고 휴지상태 기능 단말기 비율이 높을수록 자원의 낭비를 감소시켜 성능을 개선하는 효과를 보이고 있다. 그러나, 휴지상태 타임아웃은 짧게 하는 것은 상태전이의 빈도를 증가시키게 되어 성능을 저하시키는 역효과가 있기 때문에 시스템의 성능을 최적화하기 위해서는 적절한 휴지상태 타임아웃을 설정하여야 한다. 이에 대한 연구는 추후 연구과제로 남겨두었다.

그리고, 참조속도를 시스템의 상태의 변화에 민감하게 올리게 내리는 것은 성능을 향상시키는 효과가 있다. 그러나, 휴지상태 타임아웃과 마찬가지로 속도증감 타임아웃을 짧게 하는 것은 코드집합의 제한당 빈도수를 증가시켜 성능을 저하시키는 역효과가 있다. 최적의 속도증감 타임아웃을 도출하는 연구도 추후 연구과제로 한다.

참고문헌

- [1] W.E. Leland, M. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson, "On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version)," IEEE/ACM Trans. Networking, 2(1)(1994),

- pp. 1-13.
- [2] M.E. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in world wide web traffic : evidence and possible causes," Proc. of ACM SIGMETRICS '96, 1996.
- [3] V. Paxson and S. Floyd, "Wide-area traffic : the failure of Poisson modeling," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.3(1995), pp. 226-244.
- [4] H. Choi and J. Limb, "A Behavioral Model of Web Traffic," International Conference of Networking Protocol '99 (ICNP '99), (Sep. 1999).
- [5] T.B. Fowler, "A short tutorial on fractals and internet traffic," *The Telecommunications Review*, Vol.10(1999), pp.1-15.
- [6] K.W. Fendick, V.R. Saksena, and W. Whitt, "Investigating dependence in packet queues with the index of dispersion for work," *IEEE Trans. Communications*, 39(1991), pp. 1231-1244.
- [7] P. Barford, P. and M. Crovella, "Generating representative workloads for network and server performance evaluation," Proceedings of ACM SIGMETRICS '98, (June 1998), pp.151-160.
- [8] J. Beran, *Statistics for Long-Memory Processes*, Chapman & Hall, New York, 1994.
- [9] M. Greiner, M Jobmann, and L. Lipsky, "The importance of power-tail distributions for modeling queuing system," *Operations Research*, 47(1999), pp.313-326.
- [10] D. Staehle, K. Leibnits, and P. Tran-Gia, "Source traffic modeling of wireless applications," University of Wurzburg, Technical Report No.261, 2000.
- [11] M. Anagnostou, et. al., "A multiservice user descriptive traffic source model," *IEEE Trans. Communications*, Vol.44, No.10(1996).
- [12] E. Anderlind and J. Zander, "A traffic model for non real-time data users in a wireless radio network," *IEEE Comm. Letters*, Vol. 1, No.2(1997).
- [13] D.L. Jagerman, B. Melamed, and W. Willinger, "Stochastic modeling of traffic processes," in *Frontiers in Queuing : Models, Methods and Problems*, J.H. Dshalalow, Ed. 1996, CRC Press.
- [14] J. Beran, "Estimation, testing, and prediction for self-similar and related process," PhD Thesis, ETH, Zurich, Switzerland, 1986.
- [15] P. Abry and D.Veitch, "Wavelet analysis of long-range dependent traffic," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 44, No.1(1998), pp. 2-15.
- [16] B. Hill, "A simple approach to inference about the tail of a distribution," *Annals of Statistics*, 3(1975), pp.1163-1174.
- [17] B.B. Mandelbrot and J.W. Van Ness, "Fractional Brownian motion, fractional noises and applications," *SIAM Review* 10, (1969), pp.422-437.
- [18] W. Willinger, M.S. Taqqu, R. Sherman, and D.V. Wilson, "Self-similarity through high-variability : statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.5, No.1(1997) pp.71-86.
- [19] H.J. Jeong, D. McNickle, and K. Paqlikowski, "A comparative study of generators of synthetic self-similar teletraffic," Technical Report TR-COSC 03/98.
- [20] A. Feldman and W. Whitt, "Fitting mixtures of exponentials to long-tail distributions to analyze network performance," *Per-*

- formance Evaluation*, 31(1998), pp. 245-279.
- [21] A.T. Anderson and B.F. Nielsen, "A Markovian approach for modeling packet traffic with long-range dependence," *IEEE JSAC*, Vol.16, No.3(1998), pp.719-732.
- [22] "Universal Mobile Telecommunication System (UMTS); selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS," Technical Report TR 101 112 v3.2.0, ETSI, April 1998.
- [23] R.G. Addie, M. Zukerman, and T.D. Neame, "Broadband traffic modeling : simple solutions to hard problems," *IEEE Comm Magazine*, Vol.36, No.8(1998).
- [24] M.J. Fischer, D. Gross, D.M. Bevilacqua Masi, and J.F. Shortle, "Analyzing the waiting time process in internet queueing systems with the transform approximation method," *The Telecommunication Review*, (2001), pp.21-32.
- [25] ITU : US TG 8/1, Radio Communication Study Group, The Radio cdma2000 RTT Candidate submission, TR45-5, June 1998.
- [26] Christoph Lindemann, Marco Lohmann, Axel Thummler, "Adaptive Performance Management for UMTS Networks Adaptive performance management for universal mobile telecommunications system networks," *Computer Networks*, Vol.38(2002), pp.477-496.
- [27] 김동일, 김창호, "Ethernet 트래픽의 장기간의존성 및 Self-similar 트래픽소스 모델링에 관한 연구", *Telecommunication Review*, 제11권, 제6호(2001), pp.868-886.
- [28] Kihong Park, Gitae Kim and Mark Crovella, "On the Effect of Traffic Self-similarity on Network Performance," Proc. of SPIE International Conference on Performance and Control of Network Systems, 1997.
- [29] Christoph Lindemann and Axel Thummler, "Performance Analysis of the General Packet Radio Service," Proc. Of Int. Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), (Apr. 2001), pp.673-680.
- [30] A. Klemm, C. Lindemann and M. Lohmann, "Traffic modeling and characteristics for UMTS networks," Proc. of the IEEE Globecom 2001.
- [31] Xinan Zhou, "Cellular Data Traffic : Analysis, Models, and Scenarios," Master Thesis, Carleton University.
- [32] Bong Dae Choi, Yeon Hwa Chung, Changsun Choi, "Performance Evaluation of a Mobile Servicing Data Traffics in cdma 2000," *IEICE Trans. Commun.* Vol.R85-B, No.1(Jan. 2002).
- [33] www.3gpp.org.
- [34] www.3gpp2.org.