

인터넷 전화 품질 기준 측면에서 인터넷 백본 네트워크의 용량 평가

중신회원 김 태 준*

Evaluating the Capacity of Internet Backbone Network in Terms of the Quality Standard of Internet Phone

Tae-Joon Kim* *Lifelong Member*

요 약

인터넷 전화와 같이 품질 보장을 요구하는 서비스가 널리 보급되고 있으나 대부분의 인터넷 백본 네트워크는 이들을 최선형 서비스와 구별할 수 없다. 따라서 백본 네트워크가 품질 보장형 서비스의 품질조건을 충족시키면서 수용할 수 있는 최대 트래픽 량인 유효 용량을 파악하는 것은 인터넷 서비스 제공자 입장에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 인터넷 백본 네트워크의 유효 용량을 평가할 수 있는 ns-2 기반 테스트-베드를 제안한 후 이를 이용하여 인터넷 전화 품질 기준 측면에서 실험 백본 네트워크의 유효 용량을 평가한다. 평가결과 실험 백본 네트워크의 유효 용량은 최대지연 보장 확률에 따라 물리적 용량의 12% ~ 55%로 추정되었으며, 인가되는 트래픽의 유형과 인터넷 전화 품질 기준에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 특히 백본 네트워크의 유효 용량을 높이기 위해서 인터넷 전화의 단대단 최대 지연시간의 보장 확률을 낮출 필요가 있음을 보였다.

Key Words : 백본 네트워크(backbone network), 용량(capacity), 서비스 품질(Quality of Service), 인터넷 전화(VoIP)

ABSTRACT

Though services requiring Quality-of-Service (QoS) guarantees such as Voice over Internet Protocol (VoIP) have been widely deployed on the internet, most of internet backbone networks, unfortunately, do not distinguish them from the best-effort services. Thus estimating the effective capacity meaning the traffic volume that the backbone networks maximally accommodate with keeping QoS guarantees for the services is very important for Internet Service Providers. This paper proposes a test-bed based on ns-2 to evaluate the effective capacity of backbone networks and then estimates the effective capacity of an experimental backbone network using the test-bed in terms of the service standard of the VoIP service. The result showed that the effective capacity of the network is estimated as between 12% and 55% of its physical capacity, which is depending on the maximum delay guarantee probability, and strongly affected by not only the type of offered workload but also the quality standard. Especially, it demonstrated that in order to improve the effective capacity the maximum end-to-end delay requirement of the VoIP service needs to be loosened in terms of the probability to guarantee

* 공주대학교 정보통신공학부(tjkim@kongju.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-06-263, 접수일자 : 2008년 6월 6일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 9일

1. 서 론

그 동안 별도의 전용망으로 안정적인 서비스를 제공해온 음성전화 서비스, 방송 서비스 등의 고품질 서비스까지 인터넷에 수용함으로써 인터넷 백본 네트워크에 가해지는 부하의 유형이 매우 다양해지고 있을 뿐만 아니라 부하의 량 역시 크게 증가하고 있다. 따라서 백본 네트워크는 이제 정보통신 서비스의 품질과 성능을 결정하는 핵심적인 인프라가 되고 있다. 하지만 인터넷은 본질적으로 최선형 서비스만을 지원하도록 설계되어 있어 고품질 서비스의 수용에는 많은 제약이 따른다. 품질 보장형 서비스의 트래픽을 별도로 수용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있고^[1-3], 차세대 인터넷에 대한 연구도 진행되고 있으나^[4], 현실적으로 당분간은 최선형의 단일 클래스 트래픽만 지원하는 고전적인 인터넷으로 품질 보장형 서비스 트래픽을 수용해야 할 것으로 예상된다. 따라서 인터넷 서비스 제공자(ISP: Internet Service Provider)(이하 ISP 사업자) 입장에서 고 품질을 요구하는 유료 서비스의 품질을 보장하면서 최선형 서비스 트래픽을 보다 많이 수용하도록 해야 하므로 상업적으로 수용할 수 있는 백본 네트워크의 최대 트래픽 량인 유효 용량을 파악하는 것은 매우 중요하다. 유효 용량을 평가하기 위해서는 먼저 인가되는 백본 네트워크의 작업부하 유형과 부하레벨에 따라 백본 네트워크가 어떤 특성을 보이는지 분석하고 이해해야 한다.

백본 네트워크의 특성을 이해하기 위해 네트워크에 인가되는 소스(source) 트래픽에 대한 많은 연구가 진행되었다^[5-13]. 웹 페이지 크기분포, ftp(file transfer protocol)에서 파일크기 분포, 패킷 크기 분포 등은 꼬리분포가 큰 값을 가져 포와슨 분포로 모형화 하는 세션 도착 등과 달리 파레토(Pareto) 분포로 모형화 한다^[5]. [6]에서 고전적인 인터넷 응용인 전자우편과 ftp 서비스를 포와슨과 파레토 분포로 모형화 하여 캠퍼스 네트워크에 적용하였다. 많은 트래픽을 유발시키는 ftp에 대해 이용자 습성을 이산 마코브 모델을 사용하여 분석하였다^[7]. 웹(web) 서비스는 초기 단순한 하이퍼텍스트의 전달에서 정교한 클라이언트-서버 시스템으로, 더 나아가 동적 멀티미디어 서비스를 수용하는 종합 서비스로 발전하여 주된 인터넷 서비스로 자리잡고 있다. [8]에서 웹 기반 e-business 작업부하를 비즈니스, 세션, 기능 및 http의 4 계층으로 모형화 한 후 인기 경매 사

이트를 대상으로 모형을 검증하였고, [9]에서 페이지 기반 모델링과 TCP 연결기반 모델링의 두 가지 웹 서비스 모델링 방법을 비교 분석한 결과 후자가 보다 더 우수함을 보였다. [10]에서 비디오를 포함하는 멀티미디어 트래픽에 대한 계층적 모형을 개발하여 VoIP(Voice of IP), Video 및 웹 서비스의 트래픽 모델링에 적용하였다. 최근 들어 널리 보급되고 있는 인터넷 라디오와 VoD(Video-on-Demand) 같은 스트림 서비스에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. [11]에서 인터넷 라디오 서비스에 대해 트래픽 뿐만 아니라 이용자의 습성을 연구하여 서비스 모형을 개발하였다. 앞으로 VoD가 발전한 형태인 IPTV가 인터넷의 주된 서비스로 자리매김 할 것으로 예상된다. 현재 서비스 중인 대부분의 IPTV는 300Kbps에서 1Mbps사이의 채널속도를 갖는다^[12]. [13]에 따르면 IPTV에 있어 서비스 요청과 해지 등의 이용자 습성은 기존 TV와 유사하고, 특히 TV 시청시 데이터 속도측면에서 310~340kbps의 트래픽을 발생시킨다.

개별 소스 트래픽은 네트워크에 인가된 후 라우터를 거치면서 군집한다. [14]에서 군집 흐름을 포와슨 shot-noise 프로세스로 모형화 하고 스프린트 IP 백본 네트워크에서 측정된 데이터로 제한한 모형을 검증하였다. [15]에서 wavelet 기법으로 백본 트래픽을 분석한 후 백본 트래픽의 모형을 개발하였고, [16]에서 실제 측정된 ATM 네트워크의 트래픽 데이터를 바탕으로 장거리 인터넷 트래픽에 대해 패킷 도착간 시간의 모델링 방법을 개발하였다. [17]에서 가동 중인 백본 네트워크에서 점대점 지연시간을 실시간으로 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 백본 네트워크에서 과도한 지연과 패킷 손실은 품질 보장형 서비스의 품질 보장에 있어 큰 장애요소가 된다. 이러한 배경으로 [18]에서 백본 네트워크에서 음성 통신의 품질을 평가하였는데, 일부 ISP 사업자 네트워크에서 음성 서비스가 적절히 제공될 수 있으나 많은 백본 네트워크 경로에서 음성 통신의 품질이 크게 저하됨을 밝혔다. 최근에 [19]에서 스프린트 등 7개 ISP 사업자의 백본 토폴로지에 대해 IP-NPAT(Internet Protocol-Network Performance and Analysis Tool)을 사용하여 백본 네트워크의 성능 특성을 시뮬레이션 기법으로 체계적으로 분석하였다. 발생하는 작업부하의 량은 백본 네트워크 토폴로지에서 지역적인 인구 분포에 비례하는 것으로 간주하였고, 인구통계학적 정보를 사용하여 트래픽의 발착신 주소를

구하였다. 각 백본 링크에서의 패킷 도착 프로세스는 포와슨 이론을 사용하여 모형화 하였으며, 각 링크에 유한버퍼를 가정하였다. 이러한 환경하에서 백본 네트워크의 주요 링크에 대해 지연, 지터, 패킷 손실 등의 성능 특성을 IP-NPAT를 이용하여 평가하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이 인터넷 백본 네트워크의 특성을 이해하기 위해 많은 연구가 진행되었지만 ISP 사업자가 관심을 갖는 백본 네트워크의 자원 이용도 평가에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 이러한 배경으로 본 논문에서 먼저 품질 보장형 서비스와 최선형 서비스를 하나의 트래픽 클래스로 취급하는 인터넷 백본 네트워크의 유효 용량을 평가하기 위한 ns-2 기반 테스트-베드를 제안한다. 여기서 유효 용량이란 백본 네트워크가 품질 보장형 서비스의 품질조건을 충족시키면서 수용할 수 있는 최대 트래픽 량을 의미한다. 제안된 테스트-베드를 이용하여 실험 백본 네트워크의 유효 용량을 인터넷 전화 품질기준 측면에서 평가하고, 평가 결과를 바탕으로 현재 국내에서 적용되고 있는 인터넷 전화의 품질기준을 재검토한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 백본 네트워크의 유효 용량을 평가하기 위한 테스트-베드를 설계한다. III장에서 실험 백본 네트워크를 소개하고, 여기에 인가할 백본 작업부하와 실험 백본 네트워크가 보장해야 할 품질 조건에 대해 살펴본다. IV장에서 실험 백본 네트워크의 평가 결과를 기술하고 이로부터 유효 용량을 추정한다. 그리고 V장에서 결론을 도출한다.

II. 제안된 테스트-베드

백본 네트워크의 품질과 성능을 평가하여 네트워크의 유효 용량을 추정하기 위해 본 논문에서 제안하는 ns-2 기반 시뮬레이션 네트워크, 이하 테스트-베드에 대해 기술한다. 백본 네트워크를 그림 1과 같이 에지(edge)노드와 코어(core)노드로 구성한다. 코어노드는 백본 네트워크의 내부를 구성하는 중심 라우터에 해당하며 코어노드로 구성되는 백본 네트워크 부분을 코어 네트워크라 한다. 코어 네트워크내 링크는 모두 양방향 특성이 동일한 대칭형 링크로 가정한다. 에지노드는 LAN이나 홈 네트워크를 코어 네트워크에 연결하는 게이트웨이 또는 에지 라우터에 해당하며 에지노드는 코어 네트워크내 가장자리 중심 라우터에 연결한다. 대부

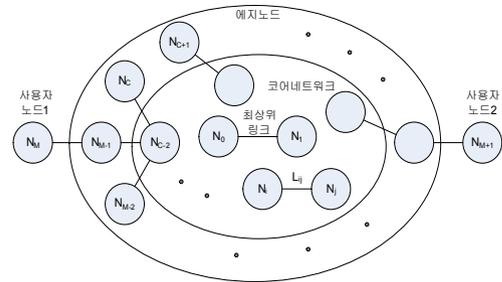


그림 1. 백본 네트워크 구성도

분의 게이트웨이와 에지라우터는 스타형 구조로 코어노드에 연결되며 일부 링 토폴로지가 적용되는 경우도 논리적으로 스타형으로 구성할 수 있으므로 그림 1의 구성도를 적용할 수 있다. 사용자 노드는 LAN이나 홈 네트워크에 접속되어 있는 사용자 단말이다. 전체 백본노드의 수를 M , 코어노드의 수를 C , 에지노드의 수를 E 라 하자. 코어노드부터 번호를 할당하고, 이어서 각 에지노드에 순차적으로 번호를 할당한다. 그러면 $N_0 \sim N_{C-1}$ 는 코어노드, $N_C \sim N_{M-1} (=N_C+E-1)$ 은 에지노드가 된다.

백본 네트워크가 수용하는 트래픽, 즉 백본 트래픽은 사용자 노드 사이의 트래픽 흐름의 집합이다. 사용자 노드는 에지노드에 연결되므로 백본 트래픽은 바로 에지노드 사이에 형성되는 트래픽 흐름의 집합이 된다. 트래픽 흐름이란 서비스에 수반되는 단대단(end-to-end) 데이터 흐름으로 품질 보장형 서비스 트래픽의 경우 IPv6의 흐름 라벨(flow label)로 구별할 수 있는 것을 의미한다. 그리고 트래픽 흐름은 음성 트래픽, 오디오 트래, 웹 트래픽 등의 유형으로 나눌 수 있고, 임의 트래픽 흐름, 예로 웹 트래픽 흐름도 홈뱅킹, 전자상거래 등의 유형으로 세분화 할 수 있다. 모든 흐름은 요청과 응답의 두 반이중 흐름을 갖는 전이중 흐름이다.

에지노드는 자신의 형상정보와 트래픽 흐름 수용 등에 관한 정보를 담고 있는 프로파일을 가지며, 프로파일은 다음과 같은 영역들을 포함한다.

- 링크용량: 에지노드와 코어노드 사이의 링크의 물리적 전송용량으로 대칭형 링크를 고려한다. 참고로 비대칭형 링크인 경우는 아래의 요청·응답대역폭한계 영역을 활용하여 논리적으로 수용할 수 있다.
- 요청·응답대역폭한계: 에지노드에서 코어노드로 향하는 요청흐름 집합과 코어노드에서 에지노드로 향하는 응답흐름 집합 각각에 대해

허용할 수 있는 최대 대역폭

- 요청·응답흐름수한계: 에지노드에서 코어노드로 향하는 요청흐름 집합과 코어노드에서 에지노드로 향하는 응답흐름 집합 각각에 대해 허용할 수 있는 최대 흐름 수
- 요청·응답흐름가중치: 에지노드에서 코어노드로 향하는 요청흐름의 수와 코어노드에서 에지노드로 향하는 응답흐름의 수 각각에 대한 가중치. 예로 요청흐름가중치가 0이면 요청흐름을 전혀 허용할 수 없는 일종의 서버 전용 에지노드가 된다.
- 흐름수용상태: 요청·응답 흐름 모두 수용 가능하면 unblock, 아니면 block 의 값을 가지며, 초기화시 모두 unblock 의 값으로 설정됨

본 테스트베드에서는 우선적으로 유니캐스팅(unicasting) 흐름만 수용하고, 멀티캐스팅(multicasting) 흐름은 추후 고려한다. 유니캐스팅 흐름은 모두 요청과 응답의 두 반이중 흐름을 갖는다. 흐름 수용이 가능한 모든 에지노드에 대해 먼저 요청노드를 랜덤하게 선택한 후 응답노드를 랜덤하게 선택한다. 요청노드와 응답노드를 선택할 때 요청·응답흐름가중치를 반영하여 각 에지노드별로 요청·응답 흐름의 수를 각각 달리할 수 있다. 예로 서버가 위치하는 에지노드의 경우 대부분 응답흐름이 발생하며, 클라이언트가 위치하는 에지노드의 경우 대부분 요청흐름이 발생할 것이다.

다음은 코어 네트워크내 각 링크의 용량 설정과 백본 네트워크의 물리적 용량에 대하여 기술한다. 트래픽 흐름의 유형별로, 동일 유형내 각 트래픽 흐름별로 데이터 속도가 서로 다르고, 각 흐름에 대해서도 요청과 응답 반이중 흐름의 속도가 서로 다르다. 백본 네트워크에 수용되는 모든 전이중 흐름의 평균 데이터 속도를 R 이라 하자. 여기서 전이중 흐름의 속도란 요청과 응답 반이중 흐름의 데이터 속도의 합을 의미한다. 코어 네트워크내 링크의 구성은 코어노드와 에지노드의 수 뿐만 아니라 이들이 어떠한 토폴로지를 갖느냐에 따라 다르다. 따라서 여기서는 일반적인 링크 용량 산정 방법만 기술하고, IV장의 실험 백본 네트워크에서 구체적인 예를 기술한다. 임의 노드 N_i 와 N_j 사이의 링크, $L_{(i,j)}$ 로 표기함, 의 용량산정에 대해 살펴보자. 먼저 모든 에지노드의 프로파일을 참고하여 $L_{(i,j)}$ 를 지나갈 수 있는 흐름의 최대 수를 계산한다. 참고로 흐름의 수를 계산하는 방법은 노드의 수와 토폴로지에 의존하므로 일반화 할 수는 없다. 흐름의 최대 수를 $F_{(i,j)}$ 라 하자. 그러면 $L_{(i,j)}$ 의 용량

은 $F_{(i,j)}R$ 이 된다. 그런데 이러한 값으로 용량을 설정하게 되면 이 링크 단에 가해진 과부하가 $F_{(i,j)}R$ 의 속도로 셰이핑(shaping) 되므로 다음 단의 여유자원을 충분히 활용할 수 없는 문제가 있다. 따라서 일부 부분적인 과부하를 수용하기 위해서 여분의 용량을 추가로 할당하는 것이 바람직하다. 그러나 $L_{(0,1)}$ 은 바로 백본 네트워크의 총 용량을 결정하는 최상위 링크이므로 백본 네트워크의 용량을 분석하는 본 연구의 목적상 여유자원을 할당하지 않는다. 백본 네트워크에 인가할 수 있는 흐름의 최대 수를 F_{total} , $L_{(i,j)}$ 의 용량을 $C_{(i,j)}$ 라 하자. 백본 네트워크에 F_{total} 의 흐름이 인가될 때 $L_{(0,1)}$ 에 $F_{(0,1)}$ 의 흐름이 지나가므로 백본 네트워크의 물리적 용량 C_{phy} 는 다음과 같이 계산할 수 있다; $C_{phy}=F_{total} * R = (F_{total}/F_{(0,1)}) * C_{(0,1)}$.

테스트-베드의 흐름 수락 제어 알고리즘은 그림 2에 도시되어 있다. 이 알고리즘은 백본 네트워크로 트래픽이 인가되는 입구인 에지 노드에 탑재된다. 제안된 알고리즘은 트래픽 흐름 유형별로 수용흐름의 수와 수용 대역폭 측면에서 가중치를 달리하여 다양한 트래픽 유형을 인가할 수 있도록 하였다. 구체적으로 살펴보자. 인가할 흐름 유형의 수를 N_{type} 라 하고 흐름의 수 측면에서 가중치를 $W_{type}[i]$, 흐름의 대역폭 측면에서 가중치를 $W_{BW}[i]$, 그리고 각 흐름 유형의 평균속도를 $M_{rate}[i]$ 라 하자. 여기서 $i=0, 1, \dots, N_{type}-1$. 본 논문에서 네트워크에 인가하는 작업부하 량의 단위로 네트워크의 물리적 용량 C_{phy} 로 정규화한 작업부하 량의 백분율을 사용하며, 이를 간단히 부하레벨 L 이라 부른다. 초기화 부분에서 인가할 부하레벨 L 에 대해 인가할 총 트래픽 량 V_L 을 다음과 같이 계산한다; $V_L = LC_{phy}/100$ bps. 각 에지노드의 요청·응답흐름가중치를 고려하여 랜덤하게 요청·응답 노드 쌍을 선정하고, 흐름 유형의 수 또는 흐름 유형별 대역폭 측면에서 가중치를 고려하여 랜덤하게 흐름 유형을 선정한 후 선정된 노드 쌍에 할당한다. 이때 각 노드의 프로파일내 요청·응답 수락 흐름 수를 갱신하고, 요청·응답 수락 대역폭 레지스터 값을 갱신한다. 선정된 흐름에 대해 요청흐름은 요청노드에서 응답노드로, 응답흐름은 응답노드에서 요청노드로 할당한다. 요청·응답 수락 대역폭이 요청·응답대역폭한계를 초과하면 더 이상의 흐름을 수락하지 못하도록 해당 노드를 block 시킨다. 그리고 총 수락 대역폭이 한계, 즉 V_L 을 초과하지 않는 한 계속 흐름 수락 과정을 반복한다.

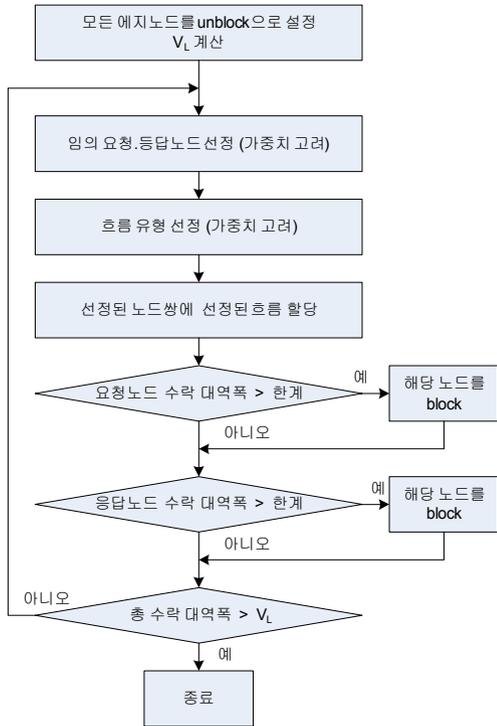


그림 2. 테스트베드의 흐름 수락제어 알고리즘

III. 실험 백본 네트워크

3.1 네트워크 구성

현재 전 세계적으로 수많은 ISP 사업자가 있으며, 네트워크를 임차한 일부 사업자를 제외한 모든 ISP 사업자가 모두 독자적인 백본 네트워크를 구축하여 운영하고 있다. 이들 백본 네트워크는 모두 서로 다른 토폴로지를 가질 뿐만 아니라 물리적 용량 역시 서로 다르다. 따라서 본 연구에서는 특정 ISP 사업자의 백본 네트워크 대신 전형적인 토폴로지를 갖는 실험 백본 네트워크를 정의하여 사용한다. 실험 백본 네트워크는 시뮬레이션 컴퓨터의 성능을 고려하여 그림 3과 같이 $M=38$, $C=8$, $E=30$ 으로 하였다. 그리고 사용자 트래픽을 인가하기 위해 두 개의 사용자 노드, N_{38} 과 N_{39} 를 추가하였다. 링크는 $L_{(0,1)}$ 의 최상위계층, $L_{(2,0)}$, $L_{(3,0)}$, $L_{(7,0)}$, $L_{(4,1)}$, $L_{(5,1)}$ 및 $L_{(6,1)}$ 의 계층 2, 에지노드와 코어네트워크 사이의 링크인 계층 3, 그리고 사용자 노드를 에지노드에 접속하는 계층 4의 4 계층으로 구성한다. 시뮬레이션 소요시간을 고려하여 R 을 0.1Mbps로 하였고, 모든 에지노드의 요청·응답흐름가중치를 동일하게 하였다. 백본 네트워크에

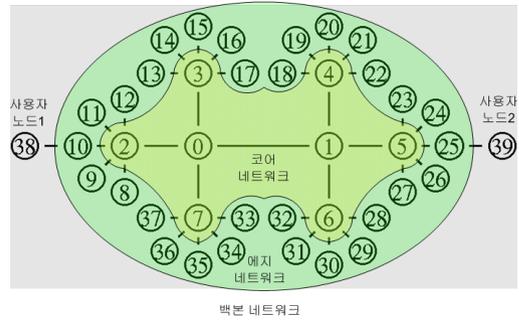


그림 3. 실험 백본 네트워크 구성

인가할 수 있는 흐름의 최대 수를 백본 네트워크에서 요청·응답 노드 쌍이 서로 다른 경우의 수로 할 경우 $F_{total}=30C_2=870$ 이 된다. 따라서 실험 백본 네트워크의 물리적 용량 C_{phy} 는 다음과 같이 계산된다; $C_{phy}=870*0.1=87Mbps$.

그림 3으로부터 백본 네트워크내 각 링크의 용량을 산정해보자. 임의 링크 $L_{(i,j)}$ 에 대한 $F_{(i,j)}$ 는 $L_{(i,j)}$ 의 왼쪽에 위치하는 에지노드 수 $N_L(L_{(i,j)})$ 과 $L_{(i,j)}$ 의 오른쪽에 위치하는 에지노드 수 $N_R(L_{(i,j)})$ 를 곱한 값이 된다. 따라서 $L_{(i,j)}$ 의 용량 $C_{(i,j)}$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다; $C_{(i,j)}=N_L(L_{(i,j)})*N_R(L_{(i,j)})*R$. 2장에서 언급한 바와 같이 각 링크에 여유자원을 할당할 필요가 있다. 네트워크 토폴로지, ISP 사업자의 사업전략, 인가되는 트래픽의 특성 등을 종합적으로 고려하여 여유 자원을 산정해야 하나 본 연구에서는 최상위 계층 링크의 병목현상을 충분히 관찰할 수 있도록 하기 위해 계층 2와 3의 링크에 각각 링크 용량의 50%와 200%의 여유 용량을 고려하였다. 이 결과 각 계층의 링크 용량은 다음과 같이 계산된다.

- $C_{(0,1)}= N_L(L_{(0,1)})*N_R(L_{(0,1)}) *R=15*15*0.1=22.5Mbps$
- $C_{(2,0)}=C_{(3,0)}=C_{(7,0)}=C_{(4,1)}=C_{(1,5)}=C_{(6,1)}=1.5*N_L(L_{(2,0)}) *N_R(L_{(2,0)})*R =1.5*5*25*0.1=18.75Mbps$
- 계층 3 링크의 용량 = $3*N_L(L_{(2,10)})*N_R(L_{(2,10)})*R =3*1*29*0.1=8.7Mbps$

사용자 노드의 전송선로인 계층 4 링크의 용량은 10Mbps로 한다. 그림 3에서 노드 38과 노드 39 사이의 사용자 트래픽의 수용을 위해 이들 트래픽이 지나가는 경로인 $L_{(10,2)}$, $L_{(2,0)}$, $L_{(0,1)}$, $L_{(1,5)}$ 및 $L_{(5,25)}$ 에 각각 0.5Mbps의 용량을 추가로 할당한다. 따라서 $C_{(0,1)}$ 은 23Mbps, $C_{(2,0)}$ 과 $C_{(1,5)}$ 는 각각 19.25Mbps, 그리고 $C_{(10,2)}$ 와 $C_{(5,25)}$ 는 각각 9.2Mbps

표 1. 인터넷 전화의 품질기준

품질지표		품질기준
통화품질	R값	70 이상
	단대단 지연	150ms 이하
접속품질	호성공율	95% 이상

여기서 R(Rating Value)은 ITU 표준 음성품질 측정값

로 설정된다. 그 외 링크는 위에서 계산한 값의 용량을 설정한다. 다음은 링크의 길이에 대해 살펴 보자. 최 상위 계층은 250Km, 계층 2는 100Km, 계층 3은 40Km, 그리고 계층 4는 10Km로 한다.

3.2 품질과 성능 조건

[20]에 따르면 정보통신부가 제시한 인터넷 전화의 품질기준은 표 1과 같다. 표 1에서 단대단 지연은 단말기에 포함된 코덱, 패킷조립 및 분해, 그리고 지터버퍼에서의 지연과 순수한 네트워크 지연을 모두 포함한 것이다. [21]에 따르면 표 1의 조건을 만족하는 네트워크 지연시간은 27ms에서 56ms, 패킷 손실율은 0.1%에서 2.5% 사이에 분포하며 구체적인 값은 코덱의 종류, 패킷당 음성 프레임 수, 지터버퍼 크기 등에 의존한다.

표 1의 품질기준에서 150ms 이하의 지연이 모든 패킷에 대해 100% 보장되어야 하는지에 대해서 좀 더 논의가 필요하다. 왜냐하면 대부분의 인터넷 전화 음성에 대해서 150ms 이내의 지연품질을 보장하고 이를 다소 초과하는 패킷이 발생할 경우 그 때만 음성을 다소 늦게 들려준 후 이내 원래의 지연품질로 복구시켜도 실제 전화통화에 별다른 지장을 초래하지 않을 수 있기 때문이다. 이는 마치 일상대화에서 일부 음절을 좀 늦게 끝다가 이내 원래의 속도로 이야기 하는 것과 유사하다. 이러한 가변 지연품질 방법은 최근에 연구되고 있는 적응적 지터버퍼 기법[22]을 사용하여 구현할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단대단 지연의 100% 보장 시간을 다소 길게 하는 대신 비100% 보장 시간을 다소 짧게 하는 방안을 고려한다.

인터넷 전화의 서비스 품질을 높이려면 많은 비용이 초래되므로 서비스 품질과 통화비용은 비례한다. 따라서 인터넷 전화사업자의 사업방향에 따라 고품질/고비용 또는 저품질/저비용의 전략을 수립할 것으로 기대된다. 이러한 배경으로 본 연구에서는 다음과 같이 3가지 품질등급을 고려한다; 통

표 2. 인터넷 전화 서비스의 품질등급과 품질내역

품질등급	최대손실율	네트워크 지연	
		비100% 보장	100%보장
기준	2.5%	-	56ms
A	0.1%	27ms	81ms
B	1.3%	41.5ms	124.5ms
C	2.5%	56ms	168ms

화요금이 비싸지만 고품질을 제공하는 프리미엄 서비스(A등급), 품질은 나쁘지만 통화요금이 저렴한 보급형 서비스(C등급), 그리고 품질과 요금이 모두 중간정도인 일반서비스(B등급). 편의상 등급별 품질기준은 등급에 선형적으로 비례하도록 정하며, 구체적인 사항은 표 2와 같다. 여기서 100% 보장 지연시간은 비100% 보장 지연시간의 3배로 한다. 그렇게 하여도 최악의 경우 112ms가 더 지연되므로 일상대화에서 별 문제가 없으리라 본다. 표 2에서 비100% 보장은 90%, 95% 및 99% 보장의 세 가지를 고려한다. 예를 들어 A 등급의 경우 90%, 95% 및 99% 보장은 임의 패킷에 대해 그 패킷의 네트워크 지연이 27ms 이내일 확률이 90%, 95% 및 99%임을 뜻한다.

인터넷 전화 서비스의 품질기준과는 달리 인터넷의 성능에 대해서는 구체적 기준은 없다. 대부분의 ISP 사업자는 성능에 관한 사항을 서비스 약관에 기술하고 있으나 성능 불만족으로 해지하고자 할 경우 활용할 수 있는 기준 성능으로만 사용되고 있는 실정이다. 널리 이용되고 있는 성능 척도는 ftp 로딩(loading)속도이다.

3.3 백본 작업부하와 인터넷 서비스

서론에서 살펴본 바와 같이 인터넷 트래픽의 모델링에 대해 많은 연구가 수행되었으나 인터넷 서비스가 여전히 급변하고 있어 모든 서비스 유형을 모두 수용할 수 있는 모델은 아직 없는 실정이다. 특히 그 동안 웹 서비스가 주된 트래픽 발생원이었으나 근래에 들어 IPTV 트래픽이 급격히 늘어나고 있어 트래픽 모델링 기법 역시 변하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 주로 이용되고 있는 인터넷 서비스 유형에 따른 작업부하를 고려한다. 최근에 수행한 정보화 실태조사[23]에 따르면 인터넷 서비스 이용 목적 별 비율 분포는 표 3과 같다. 표 3은 서비스에 관한 것이므로 각 서비스가 유발시키는 트래픽에 관해서는 상세히 알 수 없다. 그래서 본 연구에서는 표 3에 나열된 13가지 서비스 각각에 대해 대표적인 서비스를 직

표 3. 인터넷 이용목적 별 비율 및 측정 대상 서비스

이용목적	비율[%]	측정 대상 서비스
자료 정보습득	17	네이버 포털사이트 정보 검색
여가활동	16.5	네이버 포털사이트 TV 중계
커뮤니케이션	16.2	학교 웹 메일
인터넷 쇼핑	9.6	오픈마켓(G마켓) 쇼핑
교육.학습	9.0	인터넷(토크앤조이) 화상영어
개인홈페이지	8.0	학교 강의 안내 사이트
동호회.커뮤니티	7.4	다음 포털사이트 카페
인터넷 금융	5.5	국민은행 홈뱅킹
파일공유	3.3	학교 웹하드 접근
S/W 다운/업그레이드	3.0	MS윈도우 업데이트
전자민원	2.5	시청 전자민원사이트
구직활동	1.9	노동부 구직사이트 접근

접 사용하면서 그 서비스가 유발시키는 트래픽을 직접 수집한 후 수집된 트래픽 데이터를 작업부하로 사용한다. 이와 같은 작업부하를 실제유형 작업부하라 부른다. 트래픽 수집에 사용된 측정 대상 서비스는 표 3의 3번째 행(column)과 같다. 그리고 표 3의 비율 데이터는 이용 목적에 대한 자료일 뿐 흐름의 수, 흐름에 수반되는 데이터 속도 등에 대한 정보는 없어 본 연구에서는 이 비율을 흐름의 수가 아니라 트래픽의 량, 즉 대역폭 비율로 간주하였다. 실제유형 작업부하에 더하여 고정속도(CBR: Constant Bit Rate) ON/OFF 유형의 작업부하도 고려한다. 이 유형은 트래픽의 변동성(burstiness)이 없는 가장 이상적인 작업부하로서 백본 네트워크의 이상적인 유효 용량을 추정하는데 유용하다. 참고로 CBR ON/OFF 유형 작업부하는 ns-2가 제공하는 트래픽 생성기능을 이용하여 발생시킨다. CBR ON/FF 유형을 적용할 때 실제유형과 흐름 발생 및 흐름의 트래픽 속성을 동일하게 하였다. 구체적으로 실제 유형에 적용된 12가지 서비스의 요청과 응답 흐름을 모두 CBR ON/FF 유형의 흐름으로 변환하여 사용하였다. 이때 패킷크기는 모두 실제 유형의 평균 패킷크기로 설정하였다. 참고로 본 연구는 백본 네트워크에 가해지는 작업부하의 량과 시간측면에서 변동성, 그리고 품질 보장형 트래픽의 품질 만족에 주안점을 두므로 TCP, UDP 등과 같은 특정 프로토콜과 무관하다. 따라서 모든 작업부하는 IP 패킷 형태로 생성하여 네트워크에 인가한다.

본 연구에서 사용한 실제유형 작업부하 트래픽을

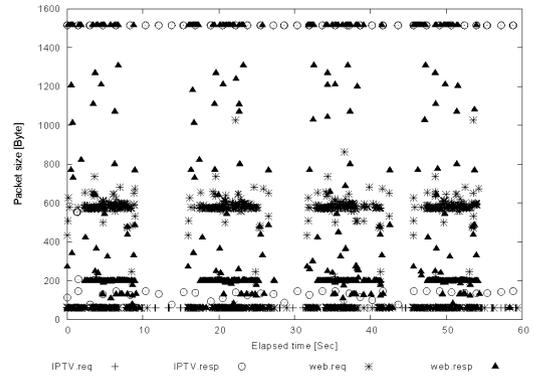


그림 4. 웹 검색과 IPTV에 대한 측정 트래픽

구체적으로 살펴보자. 먼저 표 3의 12가지의 이용목적에 대한 측정 대상 서비스를 실제로 이용하면서 수반되는 트래픽을 1분씩 클라이언트 측에서 측정하였다. 응답 트래픽은 서버단에서 측정해야 하나 인터넷의 부하가 심하지 않은 이른 아침 시간대에 측정하였으므로 서버단에서 인가되는 트래픽과 같은 것으로 간주할 수 있다. 측정된 트래픽 중 가장 많은 부분을 차지하는 자료 정보습득에 해당하는 웹 검색과 여가활동에서 가장 널리 애용되는 IPTV 트래픽에 대해 요청(req) 흐름과 응답(resp) 흐름을 그림 4에 도시하였다. 스트림 형태로 도착하는 IPTV.resp 흐름은 거의 일정한 속도를 갖는 반면 웹 검색 결과인 web.resp 흐름은 심한 속도변화를 보이는 것을 관찰할 수 있다. 사용자 노드 1과 2사이에 품질 보장을 요구하는 인터넷 전화 서비스와 성능 평가에 사용할 다운로드의 두 가지 서비스를 인가한다. 다운로드의 경우 ns-2가 기본적으로 제공하는 ftp 기능을 이용하고, 인터넷 전화의 경우 ns-2의 CBR ON/OFF 트래픽 발생기능을 이용하여 0.5Mbps 속도의 트래픽을 인가한다.

IV. 유효 용량 평가 및 추정

먼저 CBR ON/OFF 유형 작업부하에 대해 사용자 서비스 트래픽을 인가한 상태에서 작업부하 레벨을 증가시키면서 인터넷 전화 패킷의 패킷 손실율과 단방향 지연을 측정하였다. 90%의 부하레벨까지 패킷 손실이 발생하지 않았으며 지연특성은 그림 5와 같다. 백본 네트워크의 유효 용량을 C_{eff} 로 표기하고 C_{eff} 의 단위는 C_{phy} 대비 백분율로 한다. 그림 5에 표 2의 품질등급과 품질내역을 적용하면 표 4와 같이 실험 백본 네트워크의 유효 용

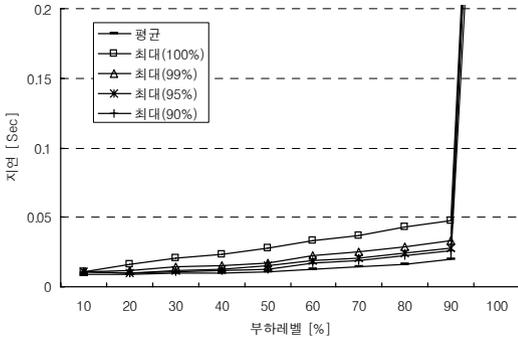


그림 5. CBR ON/OFF 유형 작업부하에서 인터넷 전화 패킷의 네트워크 지연

표 4. CBR ON/OFF 유형 작업부하에 대한 추정 Ceff

품질등급	최대지연 100% 보장	최대지연 비100% 보장		
		99%	95%	90%
기준	90%	-	-	-
A	50%	90%	90%	91%
B	76	90%	90%	92%
C	90%	90%	90%	93%

량을 추정할 수 있다. 한 예로 A 등급 100% 보장의 경우 표 2로부터 최대허용 지연이 27ms이며 그림 5에서 이를 만족하는 부하레벨은 50%이므로 C_{eff}는 50%가 된다.

표 4로부터 기준 품질등급의 경우 90%의 C_{eff}를 달성할 수 있으나 A 등급의 경우 100% 최대지연 보장시 50%로 저하된다. 하지만 패킷 중 1%만 81ms까지 최대지연을 허용할 경우 C_{eff}가 90%로 개선된다.

이제 실제유형 작업부하에 대해 실험 백본 네트워크에서 인터넷 전화 패킷의 품질특성을 분석하고, 이로부터 백본 네트워크의 유효 용량을 추정해보자. 인터넷 전화 패킷의 손실과 최대지연 특성은 노드의 큐(queue) 크기 Q에 큰 영향을 받는다. 큐란 노드의 출력링크 단에 탑재되어 전송 대기중인 패킷을 잠시 저장하는 패킷 버퍼로서 모든 노드가 동일한 큐 크기를 갖는 것으로 가정한다. 각각의 Q 값에 대해 인터넷 전화와 ftp의 두 가지 사용자 서비스 트래픽을 인가한 상태에서 부하레벨을 10%에서 5% 단위로 95%까지 증가시키면서 각 부하레벨 별로 10분씩 시뮬레이션 하였다. 인터넷 전화 패킷의 손실률을 측정하고, 10, 30, 60, 100, 200, 500 및 1000의 7가지 대표적인 Q 값에 대해 그림 6에 도시하였다.

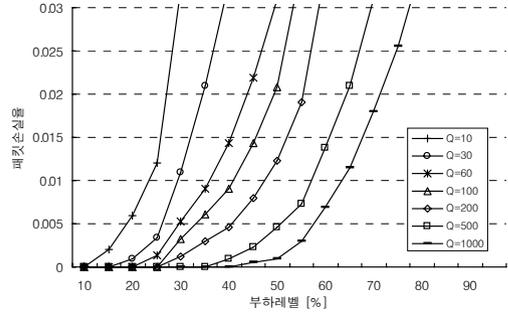


그림 6. 실제유형 작업부하에서 인터넷 전화 패킷의 손실률

그림 6을 분석해보자. 허용 손실률이 2.5%인 기 준품질등급과 품질등급 C의 경우 Q를 500에서 200, 100 및 60으로 줄이면 인가할 수 있는 부하레벨은 67%에서 57%, 52% 및 48%로 낮아진다. 반면 Q를 500에서 200 및 100으로 줄일 때 허용 손실률이 1.3%인 품질등급 B의 경우 인가할 수 있는 부하레벨은 59%에서 53% 및 42%로, 허용 손실률이 0.1%인 품질등급 A의 경우 40%에서 30% 및 26%로 낮아진다.

다음은 인터넷 전화 패킷에 대해 100%, 99%, 95% 및 90%의 확률로 보장하는 최대 네트워크 지연시간을 측정하여 그림 7, 8, 9 및 10에 각각 도시하였다. 그림 7로부터 100% 보장하는 최대지연 특성을 분석해보자. 허용 최대지연이 56ms로 가장 짧은 기준품질등급과 품질등급 C의 경우 Q와 상관없이 16%의 아주 낮은 부하레벨까지만 작업부하를 인가할 수 있다. 이는 다음과 같은 대기 패킷 처리 지연 현상 때문으로 이해할 수 있다. 백본 트래픽의 폭주성이 아주 심할 경우 인가되는 백본 작업부하의 부하레벨을 아무리 낮추더라도

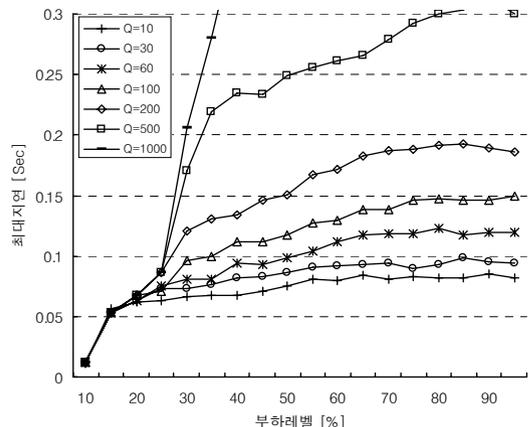


그림 7. 100% 보장의 경우 인터넷 전화 트래픽의 네트워크 지연

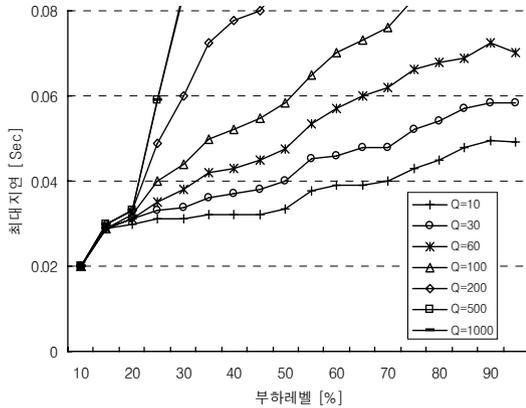


그림 8. 99% 보장의 경우 인터넷 전화 트래픽의 네트워크 지연

각 노드의 큐에 몇 개 이상의 백본 트래픽 패킷이 한꺼번에 쌓일 수 있으며, 이들 패킷을 처리 해야만 엄격한 지연을 요구하는 인터넷 전화 패킷을 보낼 수 있다. 실험 백본 네트워크에서 하나의 패킷 전송에 최대 0.5ms~2ms의 적잖은 시간이 소요된다. 따라서 경로상에 있는 각 노드에 4개씩의 패킷만 쌓인다 하더라도 한꺼번에 쌓여버린 이들 패킷 처리 때문에 최대 30여 ms가 지연된다. 반면 허용 최대지연이 81ms인 품질등급 A의 경우 Q를 500에서 200, 100 및 60으로 줄일 때 인가할 수 있는 부하레벨은 24%에서 25%, 28% 및 37%로 높아지고, 허용 최대지연이 124.5ms인 품질등급 B의 경우 Q를 500에서 200 및 100으로 줄일 때 28%에서 32%, 및 55%로 높아지며, 허용 최대지연이 168ms인 품질등급 C의 경우 Q를 500에서 200으로 줄일 때 35%에서 55%로 높아진다.

그림 8로부터 99% 보장하는 최대지연 특성을 분석해보자. 보장할 지연이 27ms인 품질등급 A의 경우 Q와 상관없이 아주 낮은 15%의 부하레벨까지만 작업부하를 인가할 수 있다. 이 역시 앞에서 살펴본 대기 패킷 처리 지연 현상으로 이해할 수 있다. 보장할 지연이 41.5ms인 품질등급 B의 경우 Q=500이면 22%, Q=200이면 23%, Q=100이면 27%, Q=60이면 34%의 부하레벨까지, 그리고 보장할 지연이 56ms인 품질등급 C의 경우 Q=500이면 24%, Q=200이면 28%, Q=100이면 45%의 부하레벨까지 작업부하를 인가할 수 있다. 그림 9로부터 95% 보장하는 최대지연 특성을 살펴보면 Q를 500에서 200, 100 및 60으로 줄일 때 인가할 수 있는 부하레벨은 품질등급 A, B 및 C의 경우 30%에서 31%, 34% 및 48%, 37%에서 42%, 52%

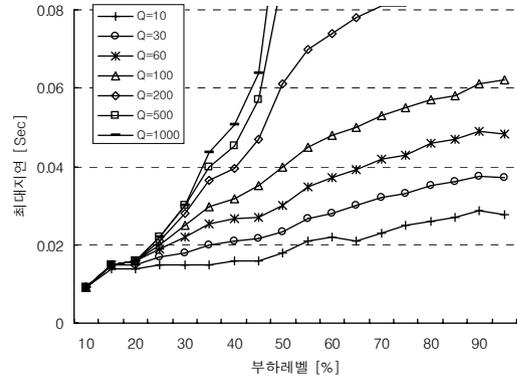


그림 9. 95% 보장의 경우 인터넷 전화 트래픽의 네트워크 지연

및 70%, 그리고 45%에서 48%, 100% 및 100%로 각각 높아진다. 그림 10으로부터 90% 보장하는 최대지연 특성을 살펴보면 Q를 500에서 200 및 100으로 줄일 때 인가할 수 있는 부하레벨은 품질등급 A, B 및 C의 경우 42%에서 44% 및 50%, 47%에서 50% 및 67%, 그리고 50%에서 58% 및 100%로 각각 높아진다.

앞에서 분석한 인터넷 전화 패킷의 손실율과 최대지연 특성 결과를 표 2의 품질등급과 품질내역에 적용하면 실험 백본 네트워크의 유효 용량을 표 5와 같이 추정할 수 있다. 표 5에서 괄호 속의 데이터는 표 4에 있는 이상적인 백본 작업부하 유형인 CBR ON/OFF 유형에 대한 추정 유효 용량이다. 이 표로부터 현재 정보통신부 품질기준을 적용하면 유효 용량이 물리적 용량의 16%로 네트워크 자원 이용도가 너무 낮아 인터넷 전화 서비스의 비용 상승의 주된 요인으로 작용할 수 있다. 반면 인터넷 전화 패킷의 99%는 정보통신부 품질기준을 보장하는 대신 나머지 1%는 56ms~112ms의 추가지연을 허용하는 품질등급 C의 99% 보장의 경우 48%의 유효 용량을 달성할 수 있어 정보통신부 품질기준의 경우에 비해 3배까지 네트워크 자원 이용도를 높일 수 있음을 알 수 있다. 보장 확률을 95%로 다소 하향조정하면 품질등급 B의 경우도 48%의 높은 유효 용량을 달성할 수 있다.

표 5. 실제유형 작업부하에 대한 추정 C_{eff}

등급	최대지연 보장확률			
	100%	99%	95%	90%
기준	16%(90%)	-	-	-
A	12%(50%)	15%(90%)	27%(90%)	27%(91%)
B	14%(75%)	35%(90%)	48%(90%)	48%(92%)
C	16%(90%)	48%(90%)	50%(90%)	55%(93%)

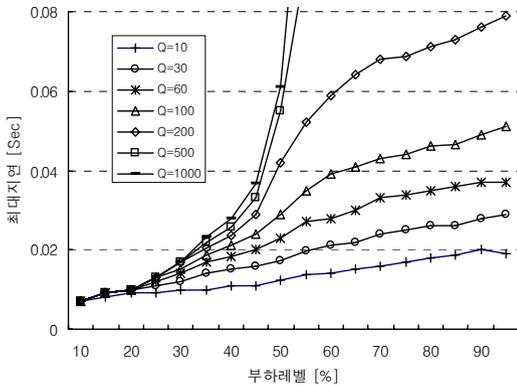


그림 10. 90% 보장의 경우 인터넷 전화 트래픽의 네트워크 지연

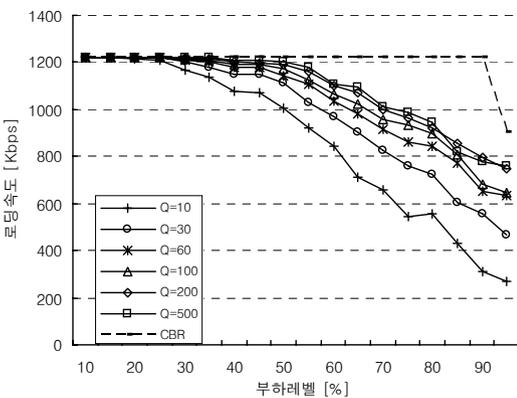


그림 11. 다운로드 속도

이제 실험 백본 네트워크의 성능에 대해 살펴보자. 앞에서 시행한 시뮬레이션 결과 중 사용자의 ftp 서비스에 대한 결과를 그림 11에 도시하였다. CBR ON/OFF 유형 작업부하의 경우 부하레벨이 90%를 넘을 때까지 1.2Mbps의 높은 다운로드 속도를 보장한다. 반면 실제유형 작업부하 하에서는 큐의 크기가 줄어들수록 로딩속도가 줄어든다. 이는 패킷 손실율이 높아져서 ftp 패킷의 재전송 빈도가 그 만큼 잦아지기 때문으로 이해할 수 있다.

V. 결 론

인터넷 백본 네트워크가 품질 보장형 서비스의 요구 품질을 충족시키면서 최대로 수용할 수 있는 트래픽 량인 유효 용량을 평가할 수 있는 ns-2 기반 테스트-베드를 제안하였고, 이를 이용하여 인터넷 전화의 품질기준 측면에서 실험 백본 네트워크의 유효 용량을 평가하였다. 유효 용량의 평가에 사용한 작업부하는 이상적인 CBR ON/OFF 유형과

최근 국내에서 주로 이용되는 12종의 인터넷 서비스에 대해 실제 측정된 트래픽 데이터를 사용하는 실제유형의 두 가지 작업부하를 사용하였다.

연구에 적용한 인터넷 전화 품질기준은 정보통신부의 기준과 이를 기초로 본 논문에서 정의한 A, B 및 C의 3가지 품질등급이다. 특히 3가지 품질등급은 100% 최대지연 보장과 더불어 99%, 95% 및 90%의 3가지 비 100% 최대지연 보장을 고려하였으며, 비 100% 최대지연 보장의 경우 허용되는 추가 지연은 54ms~112ms로 제한하였다.

평가결과 유효 용량은 인가되는 백본 작업부하의 유형과 품질 보장형 서비스의 품질내역에 크게 의존하였으며, 구체적으로 최대지연의 보장 확률에 따라 CBF ON/OFF 유형의 경우 물리적 용량의 50%~93%, 실제유형의 경우 12%~55%로 추정되었다. 여기서 전자는 이상적인 유효 용량으로서 일종의 목표로 간주할 수 있다. 특히 56ms 이하의 네트워크 지연을 요구하는 정보통신부 기준을 허용 최대지연이 56ms가 넘지 않도록 100% 보장해야 하는 것으로 해석할 경우 16%의 아주 낮은 유효 용량만을 얻을 수 있었다. 반면 56ms의 최대지연을 99% 보장하는 대신 나머지 1%에 대해 54ms~112ms의 추가지연을 허용할 경우 정보통신부 기준에 따른 유효 용량에 비해 3배인 48%의 높은 유효 용량을 달성할 수 있었다. 유효 용량이 3배로 높아지는 것은 바로 네트워크 자원 이용도가 3배 높아진다는 것으로 그만큼 네트워크 자원의 비용을 절감할 수 있음을 의미한다.

최근에 개발된 적응적 지터버퍼 기법을 도입하면 인터넷 전화 통화 내용의 대부분은 56ms이내의 지연을 보장하는 대신 몇 퍼센트의 극히 일부분에 대해서만 추가지연을 허용하는 가변 지연품질 방식을 운용할 수 있다. 따라서 정보통신부가 제시한 인터넷 전화의 단대단 최대지연을 굳이 100% 보장해야만 하는지, 아니면 몇 퍼센트로 낮추는 대신 최대 허용 지연을 얼마로 하는 것이 좋은지에 대한 논의와 그렇게 했을 때 통화품질이 어떻게 영향을 받는지에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Amir, C. Danilov, S. Goose, D. Hedqvist, and A. Terzis, "An Overlay Architecture for High-Quality VoIP Streams," IEEE Trans. Multimedia, Vol.8, No.6, pp.1250-1262, 2006.

- [2] L. Kontothanassis, R. Sitaraman, J. Wein, D. Hong, R. Kleinberg, B. Mancuso, D. Shaw, and D. Stodolsky, "A transport layer for live streaming in a content delivery network," Proc. IEEE, Vol.92, No.9, pp.1408 - 1419, 2004.
- [3] S. Deering and D. Cheriton, "Multicast routing in datagram internetworks and extended lans," ACM Trans. Comput. Syst., pp.85 - 111,1990.
- [4] C. Bouras, A. Gkamas, D. Primpas and K.Stamos, "IPv6 deployment: Real time applications and QoS aspects," Computer communications, Vol.29, pp.1393-1401, 2006
- [5] T. M. Chen, "Network Traffic Modeling," The Handbook of Computer Networks, Hossein Bidgoli, Wiley, 2007.
- [6] S. Luo, G. A. Marin, "REALISTIC INTERNET TRAFFIC SIMULATION THROUGH MIXTURE MODELING AND A CASE STUDY," Proc. Winter Simulation Conference, 2005.
- [7] Yeming Hu, A. Nur Zincir-Heywood, "Modeling User Behaviors from FTP Server Logs," Proc. CNSR'06, 2006.
- [8] Daniel A. Menasce, "Workload Characterization," IEEE Internet Computing, pp.89-92, 2003.
- [9] J. Cao, W. S. Cleveland, Y. Gao, K. Jeffay, F. D. Smith and M. Weigle, "Stochastic Models for Generating Synthetic HTTP Source Traffic," Proc. INFOCOM'04, 2004.
- [10] H. HASSAN, J. GARCIA and O. BRUN, "GENERIC MODELING OF MULTIMEDIA TRAFFIC SOURCES," Proc. HET-NETs '05, 2005.
- [11] D. Melendi, M.I Vilas, R. Garcia, X. G. Paneda and Victor Garcia, "Characterization of a Real Internet Radio Service," Proc. EUROMICRO-SEAA'06, 2006.
- [12] PPLive [Online] Available: <http://www.pplive.com>
- [13] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu and K. W. Ross, "A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System," IEEE Trans. Multimedia, Vol.9, No.8, pp.1672-1687, 2007.
- [14] Chadi Barakat, Patrick Thiran, Gianluca Iannaccone, Christophe Diot and Philippe Owezarski, "Modeling Internet backbone traffic at the flow level," IEEE Trans. Signal Processng, 2003.
- [15] inay J. Ribeiro, Zhi-Li Zhang, Sue Moon and Christophe Diot, "Small-time scaling behavior of Internet backbone traffic," Computer Networks, Vol.48, pp.315-334, 2005.
- [16] Raife F. Smith II and Andrew B. Martinez, "Traffic Modeling for Internet Backbone Networks," Proc. SSST'05, pp.119-123, 2005.
- [17] Baek-Young Choi, Sue Moon, Rene Cruz, Zhi-Li and Christophe Diot, "Quantile sampling for practical delay monitoring in Internet backbone networks," Computer Networks, Vol.51, pp.2701-2716, 2007.
- [18] Athina P. Markopoulou, Fouad A. Tobagi and Mansour J. Karam, "Assessment of VoIP Quality over Internet Backbones," Proc. INFOCOM 2002.
- [19] Denise M. Bevilacqua Masi and Martin J. Fischer, "Modeling Internet Service Provider Backbone Networks," Telecommunications Review, pp.91-103, 2007.
- [20] 인터넷전화 서비스 정책 시행계획, 정보통신부, 2004. 10.
- [21] 배성룡, "E-모델 기반 통화품질 분석을 통한 VoIP Planning 및 평가," 박사학위논문, 경기대학교 대학원, 2004.
- [22] McNeill, K.M., Liu, M. and Rodriguez, J.J, "ADAPTIVE JITTER BUFFER PLAY-OUT SCHEME TO IMPROVE VOIP QUALITY IN WIRELESS NETWORKS," MILCOM'06, pp. 1-5, 2006.
- [23] 2007년 상반기 정보화 실태조사, 정보통신부 한국인터넷진흥원, 2007.8.

김 태 준 (Tae-Joon Kim)

중신회원



1982년 한국과학기술원 졸업

1982년~1996년 ETRI 근무

현재 공주대학교 교수

<관심분야> 인터넷 엔지니어링