

대형 프레임이 종단 간 전송 성능에 미치는 영향 분석

조진용* ·곽재승** ·변옥환***

요약

네트워크 가용 대역폭의 확보와 전송 효율성에 대한 고려는 고속/대용량 데이터의 처리를 위해 중요한 요소 기술이다. 대형 프레임의 사용은 TCP의 처리를 향상과 시스템 부하를 감소시켜 전송 효율성을 크게 향상시킨다. 이러한 대형 프레임의 영향은 LAN 상황 및 시스템 측면에 국한되어 연구되어 왔고 경쟁 트래픽들과의 상관관계에 대한 논의는 충분히 고려되지 않고 있다. 본 논문에서는 다양한 네트워크 환경 하에서 대형 프레임이 트래픽 경로를 공유하는 경쟁 트래픽에 미치는 영향을 네트워크 모의실험을 통해 분석했다. 실험 결과를 통해 대형 프레임의 자원 선점 특성을 완화하기 위해서 가용대역폭의 확보가 중요하며 무순실, 저지연 환경이 대형 프레임에 이용한 종단 간 성능을 크게 향상시킬 수 확인한다.

An Analysis on the Effect of Extended Frames to the End-to-end Performance

Jinyong Jo* · Jaiseung Kwak** · Okhwan Byeon***

ABSTRACT

High performance networking is one of key factors to provide support for data intensive applications in the Internet. Extended frame size has a major impact on end-to-end performance with increasing effective TCP throughput and decreasing system overhead. Most of the research about extended frames has focused on local area network performance and the impact that extended frame size has on the system elements including memory, network interface card and so forth. In the paper, we analyse the effects of the extended frames to the other traffic flows sharing Internet paths for the wide area performance of TCP by conducting various network simulations. Results show that securing available bandwidth in no loss and low delay networks is indispensable to exploit the efficiency of extended frames.

키워드 : 대형 프레임(Extended Frame), 종단 간 전송 성능(End-to-end Performance), TCP 처리률(TCP Throughput)

1. 서론

인터넷의 대역폭은 1초 이내에 수십 기가급의 데이터를 처리할 수 있게 되었다. 이에 따라 대용량 데이터 전송을 필요로 하는 어플리케이션 및 상호 협업형 회의 시스템 등 다양한 사용자 요구를 충족시키는 응용 소프트웨어들이 등장하게 되었다. 이러한 소프트웨어들은 네트워크의 관점에서 종단 간 품질 보장을 필요로 한다. 지난 수년간 Best-effort 인터넷에서의 품질 보장을 위해 차등화 서비스(Differentiated Services)[1] 및 통합형 서비스(Integrated Services)[2] 등 다양한 연구들이 네트워크의 구조적 측면에서 문제를 해결하고자 노력해 왔다. 하지만 대역폭 확장 등의 다양한 노력에도 불구하고 인터넷 사용자들은 고속/대용량의 데이터 전송 서비스를 보다 안정적으로 공급받기를 원한다. 이러한

사용자 요구를 해결하기 위한 방법론으로 인터넷의 종단 간 품질 보장을 호스트 수준까지 확장하는 방안이 연구되고 있다. 예로, 네트워크 조율(Network Tuning)[3]은 대용량 데이터의 효율적인 네트워크 전송을 필요로 하는 분자 물리 그리드[4] 및 고에너지 물리[5] 등 다양한 데이터 그리드 프로젝트[6]를 위해 집중적으로 개발되었다. 이와 같이 확장 가능한 호스트 수준으로는 네트워크 설정, 통신 프로토콜 및 응용 소프트웨어 등을 고려할 수 있다. 호스트의 메모리, 입출력 장치, 대역폭 및 CPU 속도 등 하드웨어적 특성도 종단 간 처리량(Throughput)에 영향을 미치는 요소들이다. 하지만, 메모리 버스, 프로세서와 가속 디스크 전달과 관련된 하드웨어의 성능은 고속화 및 대용량화 되면서 하드웨어 자체가 호스트 시스템의 병목을 의미하지는 않게 되었다[7].

데이터 전송의 효율성을 높이기 위해 확장 가능한 방안으로는 MTU(Maximum Transfer Unit) 크기의 변경, 패킷 헤더 분석에 필요한 프로세싱 부하문제 해결, 메모리 복사와 에러 복구를 위한 checksum 분석에 필요한 부하의 경감, 네

* 준회원 : 한국과학기술정보연구원 연구원
 ** 정회원 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원
 *** 총신회원 : KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 책임연구원, 슈퍼컴퓨팅인프라개발실장
 논문접수 : 2004년 6월 2일, 심사완료 : 2004년 8월 12일

트위크 설정과 전송 프로토콜 및 버퍼크기의 최적화, 병렬 전송 프로그램의 사용 등을 고려해 볼 수 있다. 또한, 응용 소프트웨어의 문제점을 해결하는 것도 협업형 회의 시스템과 같은 미디어 전송 소프트웨어의 성능을 향상시키는데 크게 기여할 수 있다. 특히, 최대 전송 프레임 크기에 관한 문제는 중앙처리장치의 부하를 줄이고 종단 간 전송 처리율을 보장할 수 있는 방안으로 그 필요성이 부각되고 있다[3, 7, 8]. 하지만, 전송 프레임 크기에 관한 연구들은 LAN 성능과 프로세싱 부하, 인터페이스 카드, 메모리 등에 관련된 문제로 국한되어져 왔다. 또한, WAN에서 발생할 수 있는 다양한 네트워크 상황에서 대형 프레임(Extended Frames)의 사용이 다른 응용프로그램의 표준 프레임(1.5K 바이트 프레임)에 미치는 영향에 대해서는 언급되지 않고 있다. 예를 들어, 실시간 전송을 요하는 응용프로그램들은 전송 지터나 손실에 민감하기 때문에 대형 프레임이 부정적인 영향을 미칠 수도 있다. 현재 대형 프레임은 Abilene 네트워크, AARNET (Australia's Academic and Research Network) 및 KREONET(Korea Research Environment Open Network) 등 국가 연구망을 중심으로 배치되어 시험되고 있는 상황이다. xDSL(Digital Subscriber Line) 계열이 가정 내 인터넷 접속망의 주를 이루고, IEEE 802.11b 표준을 사용하는 무선 인터넷의 MAC 규약이 2,296바이트 프레임 크기를 지원하지만, 사용 대역폭이 유선에 비해 협소하기 때문에 대형 프레임의 급진적이고 광범위한 배치는 힘들 것으로 보인다. 대형 프레임이 점진적으로 네트워크에 배치되고 당분간 표준 프레임과 공존한다고 가정 했을 때, 대형 프레임이 표준 프레임 및 네트워크에 미치는 영향을 파악하는 것은 중요한 연구 과제이다. 본 논문에서는 모의실험을 통해 대형 프레임이 라우팅 경로를 공유하는 트래픽들에 미치는 영향에 대해 조사하고 최적의 구축 환경을 도출하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 대형 프레임 및 이와 관련된 연구들을 살펴보고, 3장에서 종단 간 처리율 성능에 영향을 미치는 요소들에 대해 논의한다. 모의실험을 위한 환경 설정과 대형 프레임이 미치는 영향에 대한 확인은 4장에서 보인다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 대형 프레임 및 관련 연구

1.5K 바이트 인터넷 프레임 크기는 초고속 네트워크에 최적화 되어 있지 않다. 또한, 응용 프로그램들은 향상된 네트워크 용량을 충분히 활용하는데 한계가 있다. 대형 프레임은 인터넷상의 표준 프레임 크기를 증가 시킨 것으로 기가비트 인터넷의 폭발적인 증가로 인해 대형 프레임의 사용 여부는 인터넷의 성능에 큰 영향을 미칠 중요한 요소 기술이다. 오늘날의 초고속 네트워크 기술들도 위와 같은 필요성을 반영해 진화되어 왔다. FDDI(Fiber Distributed Data

Interface)는 4.5K 바이트 MTU 크기를 지원하며, ATM AAL5 (ATM Adaptation Layer 5)의 MTU 크기도 9K 바이트에 이른다. 또한, Fiber 채널 및 고성능 병렬 인터페이스(High Performance Parallel Interface)도 기본적으로 65,280바이트의 MTU 크기를 가지고 있다[8].

인터넷에서 MTU의 크기는 IEEE 802.3[9] 이더넷 규약 (Ethernet Protocol)에 따라 1.5K 바이트로 규정하고 있다. 이는 MSS(Maximum Segment Size)에 패킷 헤더 크기를 합한 값이다. 오늘날 전형적인 TCP MSS는 1,448바이트이다. 일반적으로 대형 MSS를 사용하게 되면 TCP의 전송 속도가 증가되고 운영체제 내에서 패킷 수신시 발생하는 시스템 인터럽트의 발생 횟수가 감소된다. 다음 식 (1)은 TCP의 상한 처리율[10]을 나타낸다.

$$TCP_{throughput} = \frac{constand \cdot MSS}{RTT \cdot \sqrt{packet\ loss}} \quad (1)$$

위 식에서 알 수 있듯이 TCP의 처리율은 MSS 크기에 비례하기 때문에 대형 프레임(Extended Frames)의 사용은 높은 처리율을 보장하게 된다. 대부분의 기가비트 이더넷 스위치들이 9K 바이트 이내의 MTU를 지원하기 때문에 무손실 환경 하에서 높은 TCP 처리율(Throughput)을 확보할 수 있다. TCP가 전송 프레임 크기에 비해 처리율이 상승하는데 반해, UDP는 혼잡 제어법(Congestion Control) 등을 사용하지 않기 때문에 과다한 손실로 인해 처리율이 낮아질 수 있다[11].

이론상, IP 프로토콜 스택과 라우팅 개체들은 최대 64K 바이트까지의 MTU를 사용 가능하도록 설정할 수 있다 [12]. 하지만, 이더넷의 에러 탐지 기술이 프레임 크기의 실질적인 상한을 정하게 된다. 이더넷 어댑터는 프레임을 전송할 때 32비트 FCS(Frame Check Sequence)를 모든 패킷에 삽입하게 되는데 이 FCS 연산은 32비트 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 이용해서 이루어진다. 32비트 CRC를 이용해 91,639비트 크기의 오류를 탐지할 수 있으므로 최대 MTU 크기는 약 12K 바이트로 한정된다. 효율적인 프레임 크기는 호스트의 메모리 페이지 크기에 기반 해서 결정되는데 상용 시스템은 일반적으로 4K 바이트의 배수로 페이지징이 이루어진다. 프레임 크기를 이 페이지 크기에 최적화 시키면 메모리 복사에 필요한 작업을 최소화시킬 수 있다. 대형 프레임을 사용했을 경우, 메모리 페이지징 기법에 의해 전송 효율이 증가하게 된다. "Zero-copy"와 "Checksum off-loading" 기법에 기반해 9K 바이트 이상의 대형 프레임을 사용하면 CPU의 프로세싱 부하를 경감시킬 수 있다 [13].

기가비트 인터넷의 대형 프레임 사용에 관한 규정 및 표준의 부재 등이 상호 운용성 문제를 발생시킬 수 있다[7]. 예로, TCP를 이용하는 응용 프로그램은 MTU 호환성 문제에 관해 크게 고려하지 않아도 되는데, 이는 두 종단 시스템

간에 MTU 크기를 연결 설정 시 협의 할 수 있기 때문이다. 이에 반해 UDP 규정은 MTU를 협상할 방법이 없기 때문에 MTU 크기를 초과하는 데이터그램 패킷을 라우터가 받았을 경우, 자동으로 Fragmentation하게 되고 이는 중간 노드의 부하로 작용하게 된다.

참조[14]는 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 네트워크의 컴퓨터 모의실험을 통해, 유효 처리율(Effective Throughput)이 MSS(Maximum Segment Size)에 반비례하며 ATM CER(Cell Error Rate)의 증가가 유효 처리율의 급격한 감소를 유발함을 보였다. 유효 처리율은 달성 가능한 최대 처리율에 대한 실제 처리율로 정의된다. 또한, TCP/ATM 네트워크상에서 TCP 세션들이 하나의 회선으로 다중화(Multiplex)될 때, MSS의 증가는 TCP 세션들의 합산 처리율(Aggregate Throughput)을 감소시킬 수 있다[15]. Best-effort 인터넷 환경 하에서 1,581바이트 표준 프레임을 사용했을 때와 비교해서, 9,018바이트 대형 인터넷 프레임의 사용이 TCP 처리율(Throughput)을 50% 이상 향상시키고 송, 수신단의 CPU 부하를 50% 이상 감소시킬 수 있다[8]의 연구에서 확인할 수 있다. 또한, 10Gbps 인터넷 어댑터의 사례 연구[16]를 통해서도 9K 바이트 대형 프레임을 사용했을 경우 표준 프레임에 비해 40~60% 성능 향상을 꾀할 수 있고 송, 수신단에서의 CPU 부하도 약 45% 이상 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 관련 연구들은 대형 프레임을 사용하는 트래픽과 TCP 처리율간의 관계를 분석하거나 대형 프레임이 송, 수신단의 CPU와 메모리 성능에 미치는 영향을 분석하는데 국한되어 왔다. 즉, 대형 프레임을 사용하는 트래픽이 라우팅 경로를 공유하며 표준 프레임을 사용하는 트래픽들의 종단 간 성능에 미치는 영향에 대해서는 언급되지 않고 있다. 본 논문은 첫째, 다양한 네트워크 모의실험을 통해 패킷 손실과 전달 지연이 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 종단 간 성능에 미치는 영향을 살펴보고 둘째, 대형 프레임의 사용이 표준 프레임을 사용하는 트래픽과 네트워크에 미치는 영향에 대해 분석하는데 의미를 갖는다.

3. 종단 간 성능에 영향을 미치는 기타 요인

3.1 헤더 해석 및 시스템 인터럽트

라우터나 스위치의 효율성은 패킷 헤더를 읽고 패킷의 진행 방향을 결정하는데 걸리는 시간의 양에 기초하여 결정되어 진다. 따라서, 단위 시간당 패킷 헤더를 해석하고 포워딩하는데 드는 부하(Load)는 라우터나 스위치가 처리해야 되는 패킷의 수와 비례한다. 패킷 수가 늘수록 헤더가 차지하는 비중이 증가되어 네트워크 대역폭을 추가적으로 소비한다. 헤더를 만들거나 해석하는데 걸리는 시간은 MSS의 크기에 무관하다는 것을 고려할 때 대형 프레임이 헤더 해석 측면에서 큰 효율성을 갖게 된다. 호스트의 입장에서 봤을

때 패킷이 수신되면 워크 인터페이스 카드(NIC)로 부터 도착을 알리는 인터럽트가 발생한다. 즉, 대형 프레임을 사용하면 표준 프레임을 사용했을 때보다 인터럽트 발생이 줄어든다. 부하가 큰 시스템에서는 인터럽트의 발생 수를 줄임으로써 성능 향상을 꾀할 수 있다[8]. 예를 들어, 하나의 1.5K 바이트 인터넷 프레임의 IP와 TCP헤더를 해석하는데 1,200 CPU 사이클이 필요하다고 한다면, 9K 바이트 MTU는 표준 인터넷 프레임 6개를 담을 수 있다. 결론적으로, 5개의 헤더를 해석하는데 필요한 약 6,000 CPU 사이클을 절약할 수 있다.

3.2 메모리 복사와 체크섬 연산

컴퓨터는 메모리를 페이지로 구성하며 대부분 4K, 8K 또는 16K 바이트 단위의 페이지(Paging)를 사용한다[8]. TCP에서는 단일 세그먼트(Segment)들이 연결되어 프레임으로 구성하게 되며 일반적으로 IP가 데이터 세그먼트를 네트워크 어댑터로 보내 전송하기 위해서는 수차례의 메모리 복사 과정을 거치게 된다. 이러한 메모리 복사 과정을 줄이게 되면 CPU의 처리량을 줄일 수 있어 성능의 극대화가 가능하다. 이를 위해 사용자 프로세스와 운영체제 커널간의 데이터 복사 횟수를 줄이거나 없애고자 하는 노력이 진행되었으며 이를 "Zero-copy[17, 18] 최적화"라고 한다. 이 최적화는 호스트의 하드웨어와 운영체제의 페이지 크기가 MTU의 크기와 일치 했을 때 최대 이득을 볼 수 있고, 이를 이용한다면 1 Gbps 급의 데이터를 운영체제가 처리할 수 있다[7]. 인터넷은 비트 오류 검사를 위해 32비트 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 제공한다. 다수의 패킷들에 대한 비트 오류 확인은 시스템에 부담을 주게 된다. 이러한 시스템 부하를 줄이고자 "Checksum Offloading"이라는 방법이 사용된다. "Checksum Offloading"은 비트 오류 확인을 위한 연산을 네트워크 인터페이스 카드 내 하드웨어가 담당하기 때문에 오류 연산을 위한 프로세싱 부담을 줄일 수 있다.

3.3 통신 프로토콜

현재의 TCP 구현들은 과거 10Mbps 급의 인터넷 환경에 맞춰 설계되었기 때문에 고성능/광대역폭을 사용하는 네트워크에서는 기본 메커니즘들이 적합하게 반응하지 않는 경향이 있다[11]. 일례로, TCP는 "TCP backoff"라 하여 네트워크에서 혼잡(Congestion) 상황이 발생했을 때 이의 해결을 위해 전송률을 감소시키는 일련의 동작들을 수행하게 된다. 즉, TCP는 신뢰성(Reliability) 보장을 위해 전송 속도를 제한시킨다. 이와 같은 TCP의 특성은 적은양의 데이터 손실에 대해서도 네트워크 및 응용 프로그램의 처리율을 크게 감소시킨다. 처리율 저하 문제를 해결하기 위해 전송 전 측정(Measurement), 다중 스트림의 동시 사용, FEC(Forward Error Correction)나 ARQ(Automatic Repeat Request)등의 에러 복구 기법 및 전송 용도로 최적화된 UDP를 사용하는

등의 해결 방안이 모색되고 있다[7].

3.4 버퍼 크기와 병렬 스트림

TCP 버퍼 크기는 최근 네트워크 용량 증가와 운영체제의 진화에 힘입어 8K에서 64K 바이트로 증가되었다. 하지만, LAN 환경에 최적화 되어 버퍼 크기가 설정되었기 때문에 고성능/광대역 네트워크에서는 버퍼 크기의 수정이 필요하다[3, 7]. TCP의 전송 성능은 종단 간 회선(Link) 속도와 전달 지연간의 함수이기 때문에 수신 호스트의 버퍼링 공간이 줄어들게 되면 송신측에서 보내는 데이터의 양이 줄어들게 되며 UDP 트래픽에 의해 버퍼가 선점될 가능성도 있다. 이런 상황을 예방하기 위해 운영체제는 버퍼 크기를 수동 설정할 수 있는 옵션을 제공해 주고 있다. 일반적으로 TCP는 버퍼 크기에 비례해서 전송 성능이 향상되지만 UDP의 경우, 송/수신단의 버퍼 크기 증가는 전송 성능 향상에 큰 영향을 미치지 못한다[19, 20]. 적절히 조율된 TCP 버퍼 크기와 병렬 스트림의 사용은 전송 성능을 크게 향상 시키지만 시스템 메모리를 낭비하고 경우에 따라서는 종단 간 성능을 악화시킬 수 있다. 과도한 병렬 스트림의 구현 및 잘못된 버퍼 크기의 설정은 네트워크 혼잡과 처리율 감소를 초래한다[21].

3.5 네트워크 설정 및 응용 프로그램

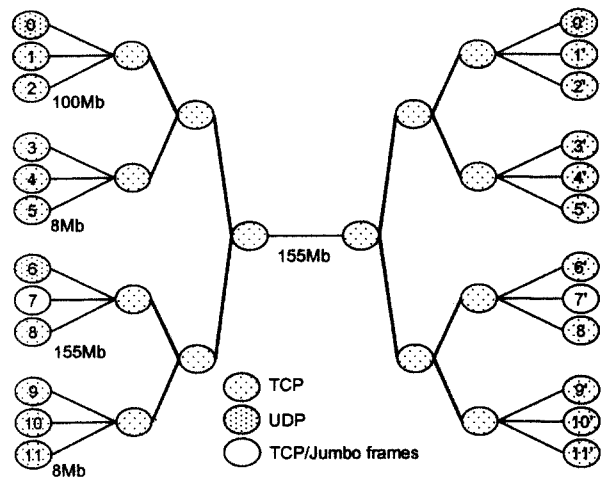
송수신 불일치(Duplex Mismatch) 상태는 네트워크 설정 문제의 주요 예이다. NASA Jet Propulsion 연구실에 의하면 50% 이상의 네트워크 문제들이 이더넷 환경하의 송수신 불일치에서 기인한다[7]. 송수신 불일치는 종단 라우터나 스위치와 호스트의 네트워크 인터페이스 카드가 회선에 대한 Full/Half 송수신을 잘못 설정하기 때문에 발생하는 문제이다. 송수신 불일치 문제는 단방향에서 과도한 패킷 손실을 야기 시키며, 이로 인해 양방향 통신이 필요한 TCP 메커니즘에 부정적인 영향을 준다. 응용 프로그램에 관련된 문제들도 전송 성능 또는 품질에 큰 영향을 준다. 예를 들어, LAN 환경 하에서 순조롭게 동작하는 상호 협업형 응용 프로그램들이 전달 변이(Jitter), 지연 또는 손실이 심한 WAN 환경에 노출되었을 때 품질 악화나 성능 감소를 경험하게 된다. 따라서, 네트워크 상황이 응용 프로그램에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하며, 응용 프로그램은 네트워크 변동에 적절히 대응해야만 전체적인 성능 향상을 꾀할 수 있다.

4. 모의실험 및 결과

4.1 실험환경 설정

(그림 1)은 모의실험을 위한 초기 설정값들과 네트워크 구성도이다. 모의실험을 위해서 Network Simulator(NS2)[22]를 이용했다. 언급이 없는 한 초기 설정값에 따라 모의실험

이 진행 되었다. 실험에 참가한 송신측은 모두 12노드로 구성되었으며, 2개의 노드(노드 0과 6)는 UDP 규정을 10개의 노드는 TCP 규정을 이용해 데이터를 전송한다. UDP의 경우 고정 비트율(Constant Bit Rate) 트래픽을 가지며 TCP는 FTP 트래픽을 이용한다. 또한, 모든 TCP는 Reno[23]를 사용하고 전달 지연은 모든 회선에서 2ms로 초기화 되어있다. 노드들은 대칭형으로 연결을 맺고 있다. 노드 7과 7'사이의 회선에서만 9,180바이트 대형 프레임이 지원하며 기타 회선에서는 1,500바이트 표준 이더넷 프레임을 사용한다. 모의실험에 사용된 TCP의 최대 윈도우 크기(Maximum Window Size)는 20*MSS로 설정했다. 노드 0과 6의 UDP 트래픽은 각각 180바이트와 64바이트 패킷 크기를 갖게 초기 설정되어 있다.



(그림 1) 실험 환경

Last-One-Mile 대역폭은 xDSL, 무선 인터넷 및 교내 네트워크(Campus Network)를 가상하여 8Mbps와 100Mbps (또는 155Mbps)로 설정했고, 백본은 155Mbps(굵은 실선)를 이용한다. 중간 노드는 모두 RED(Random Early Drop) 큐를 사용하며 큐 크기 변화는 병목 회선(Bottleneck Link)에서 측정된다. 각 노드는 모의실험 시작과 동시에 데이터 전송을 시작한다. 용이한 분석을 위해 노드 0, 4, 6, 7, 8과 10번을 선택해서 해석하고 총 모의 실험 시간은 30초이다.

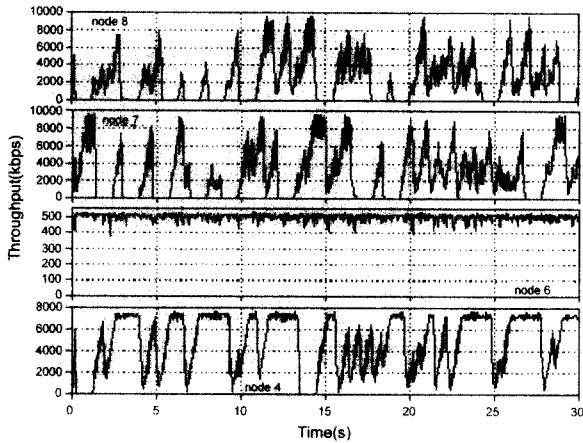
<표 1> 병목회선에서의 트래픽 부하

	협대역(50Mbps)	광대역(155Mbps)
표준 프레임	0.500	0.245
대형 프레임	0.950	0.425

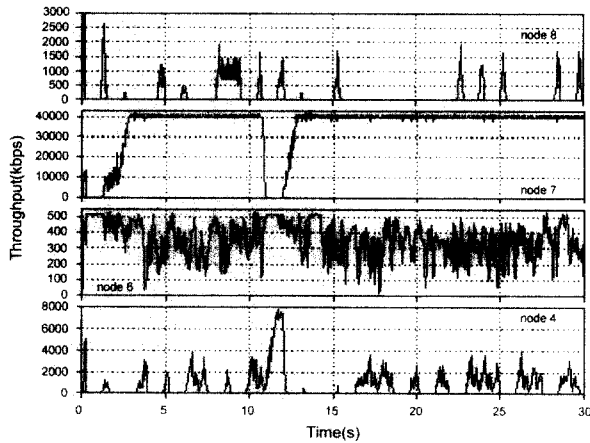
<표 1>은 네트워크 손실이 없을 때 병목 회선에서 측정된 평균 트래픽 부하(Traffic Load)이다. 예를 들어, 협대역 환경 하에서 표준 프레임만을 사용했을 경우 병목 회선에서 측정된 트래픽 부하는 0.500이다.

4.2 대역폭이 종단 간 성능에 미치는 영향 분석 협대역 (Narrow Bandwidth) : 50Mbps

본 실험은 협대역에서 대형 프레임이 네트워크 및 표준 프레임용을 갖는 응용에 미치는 영향을 조사하기 위해 행해졌다. 백본 링크의 대역폭이 50Mbps이고 비교를 위해 노드 7에서만 대형(9,180바이트) 또는 표준 프레임(1,500바이트)을 번갈아 사용했으며 기타 실험 조건은 4.1절과 같다.



(a) 1500바이트 프레임/50M 백본

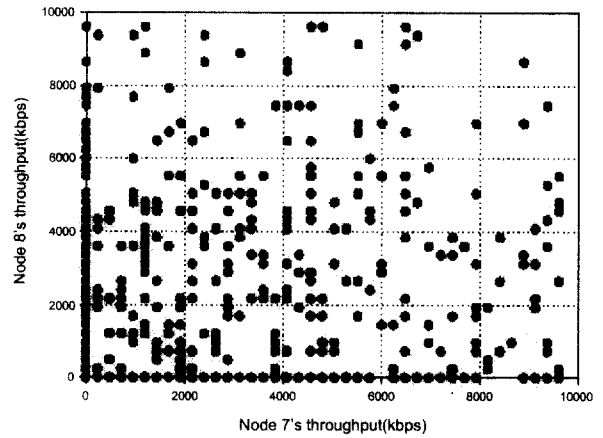


(b) 9180바이트 프레임/50M 백본

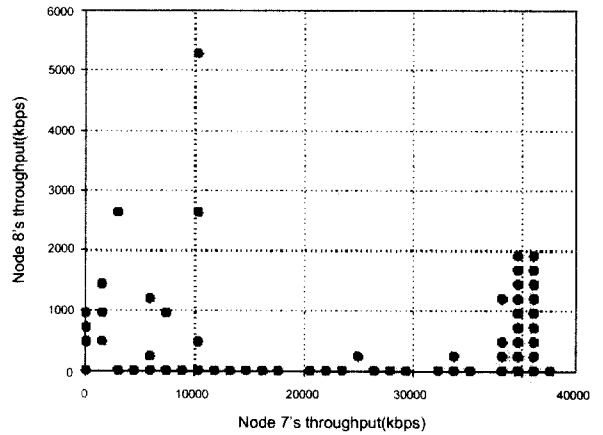
(그림 2) 처리율(Throughput) 비교

(그림 2)는 노드 4, 6, 7 및 8의 수신측에서 측정된 종단 간 처리율을 나타낸 것이다. 노드 6의 트래픽은 고정비트율 UDP이고 노드 7은 대형 프레임을 사용해 패킷을 전송한다. (그림 2)(a)은 표준 프레임을 사용하는 3개의 TCP 트래픽(노드 4, 7 및 8)들이 네트워크 가용 대역폭(Available Bandwidth)을 서로 공유함을 보여 준다. 예를 들어, 모의실험 시간 14초 대역을 보면, 노드 4가 사용하지 않는 대역폭을 노드 7과 8이 사용하고 있음을 알 수 있다. 노드 6의 그래프는 협대역에서 UDP 트래픽이 표준 프레임용을 갖는 TCP 트래픽들에 의해 받는 영향이 적다는 것을 보여 준다. 이에 반

해, 대형 프레임을 사용하는 트래픽이 가용 대역폭을 선점하면, 경쟁 관계에 있는 TCP 트래픽들의 종단 간 처리율 감소는 물론, UDP의 종단 간 신뢰성에도 부정적인 영향을 준다. (그림 2)(a)와 (그림 2)(b)의 노드 7을 비교했을 때, 대형 프레임의 사용이 TCP의 최대 처리율을 4배 이상 향상시켰음을 알 수 있다. 하지만, 대형 프레임과 라우팅 경로를 공유하고 있는 TCP 트래픽(즉, 노드 8)은 처리율이 크게 감소했고, 전송율(Transmission Rate)이 낮은 UDP 트래픽 또한, 손실로 인한 처리율 감소를 경험하게 된다. 이는 협대역에서 대형 프레임을 사용하게 되면, 실시간 전송 응용들의 서비스 품질이 크게 저하될 수 있음을 의미한다.



(a) 1500바이트 프레임/50M 백본

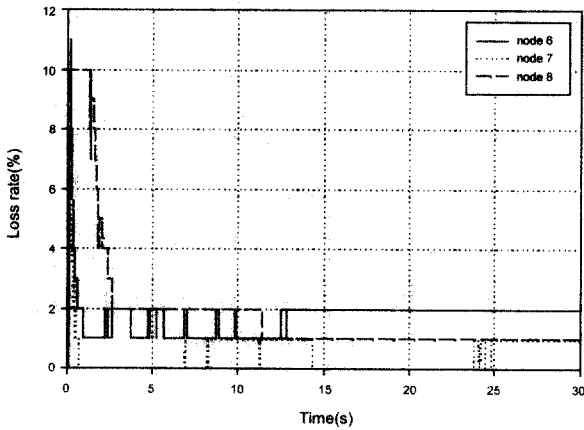


(b) 9180바이트 프레임/50M 백본

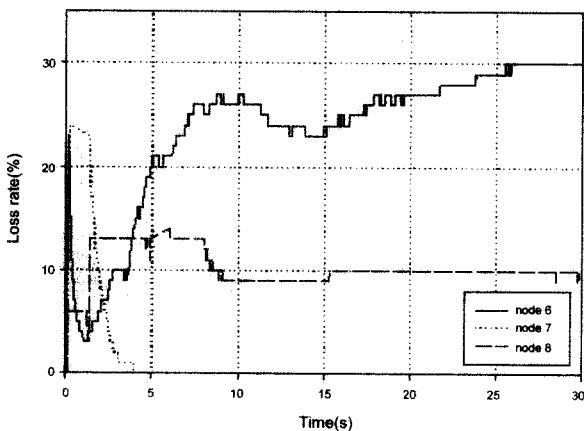
(그림 3) 대역폭 공유 특성

(그림 3)은 종단 간에 회선 공유의 강도가 큰 두 TCP 트래픽, 노드 7과 8의 처리율을 나타낸다. 공유의 강도는 (타 트래픽과 공유하는 회선 수)/(현 트래픽의 종단 간 회선 수)로 정의한다. (그림 3)(a)는 노드 7이 표준 프레임을 사용했을 때 노드 8과의 상관관계를 나타내며, (그림 3)(b)는 대형 프레임을 사용했을 경우이다. 모의실험을 위해 설정된 총

회선 중, 노드 7과 7' 사이의 회선에서만 대형 프레임의 지원한다. 노드 7과 8 이외의 트래픽들이 네트워크상에 공존하기 때문에 그림을 통해 대역 공유의 공평성을 파악하기는 힘들다. 하지만, (그림 3)(a)의 x축(x, 0)과 y축(0, y)의 분포를 통해 대역폭을 공유하는 TCP의 특성을 추론 가능하다. 즉, 노드 7이 네트워크 대역폭을 소모하지 않을 경우 그 가용 대역폭을 노드 8이 점유 하며 이를 통해 max-min 공평성[24]을 짐작할 수 있다. (그림 3)(b)의 경우 (0, y)에서도 대역폭을 공유하나 (40M, y) 영역에서 더 많은 분포를 보이는 것으로 보아 대형 프레임을 이용하는 트래픽과 표준 프레임 크기의 트래픽들이 라우팅 경로 상에 공존할 때 대형 프레임을 갖는 트래픽에 의해 대역폭이 선점되고 기타 가용 대역폭을 표준 트래픽들이 공유하게 됨을 알 수 있다.



(a) 1500바이트 프레임/50M 백본

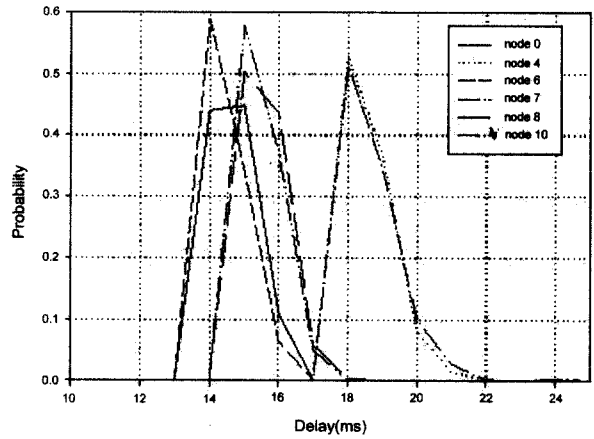


(b) 9180바이트 프레임/50M 백본

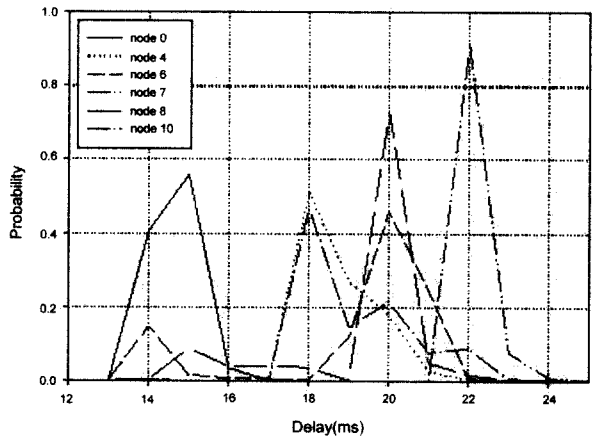
(그림 4) 패킷 손실률(Packet Loss Rate) 비교

(그림 4)는 실험 시간 경과에 따라 축적된 패킷 손실율(Packet Loss Rate)을 나타내는 그래프이다. 협대역 네트워크에서 대형 프레임을 사용했을 경우, 병목 회선에서의 부하 증가로 인해 패킷 손실율이 크게 증가한다. 특히, UDP 트래픽은 혼잡 제어법의 부재로 인해 다량의 패킷이 손실된다.

(그림 4)(b)의 표준 프레임을 이용하는 TCP 트래픽들도 (그림 4)(a)에 비해 손실율이 10% 이상 증가됨을 확인할 수 있다. 대형 프레임을 이용하는 TCP 트래픽은 안정화 상태에 이르기 전까지는 패킷 손실이 있었으나 안정화 이후에는 손실이 발생하지 않고 있다.



(a) 1500 바이트 프레임/50M 백본



(b) 9180바이트 프레임/50M 백본

(그림 5) 전송 지연(Propagation Delay) 비교

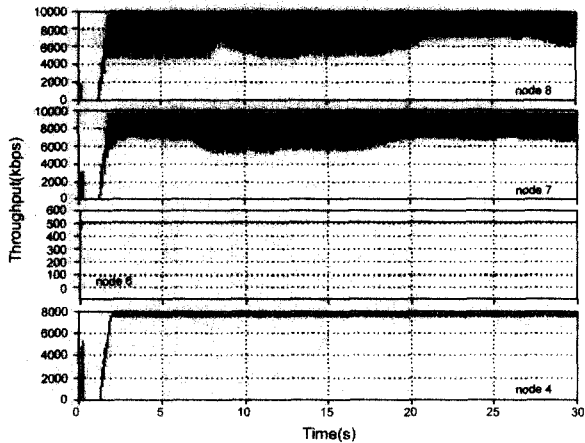
(그림 5)는 대형 프레임과 표준 프레임이 네트워크상에 존재할 경우 나타난 종단 간 전달 지연의 확률 분포를 표준 프레임만 네트워크상에 존재할 때와 비교 도시한 그림이다. (그림 5)(b)에서 보듯이 대형 프레임의 사용은 지연의 분포를 분산시키고 지연 변이(Delay Jitter)를 초래한다. UDP 트래픽을 사용하는 노드 6의 최대 변이가 10ms에 이르는 것으로 보아 협대역 네트워크에서 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 양이 증가하고 종단 간 라우팅 홉(Hop) 수가 커질 때 협업형 어플리케이션 등 실시간/저지연/저지연 변이를 요하는 응용들의 서비스 품질이 크게 저하되리라 본다.

병목 회선에서 라우터 버퍼 크기의 변화를 보면 표준 프

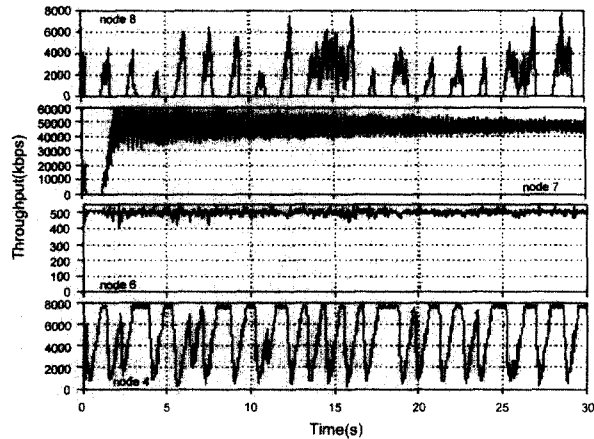
레이미나 대형 프레임의 사용 여부와 관계없이 평균 크기는 1.5~3.0M 바이트를 유지했다. 최대 크기의 변화에 있어서 표준 프레임은 11,464K 바이트가 필요함에 반해 대형 프레임을 사용했을 경우 18,360K 바이트로 대형 프레임을 사용했을 때 중간 노드들의 버퍼 효율성이 떨어지게 된다.

• 광대역(Broad Bandwidth) : 155Mbps

본 실험은 광대역에서 대형 프레임의 트래픽 공유 특성을 분석하기 위해 행해졌으며 백본 회선들의 대역폭이 155Mbps로 상향 설정되었다.



(a) 1500바이트 프레임/155M 백본

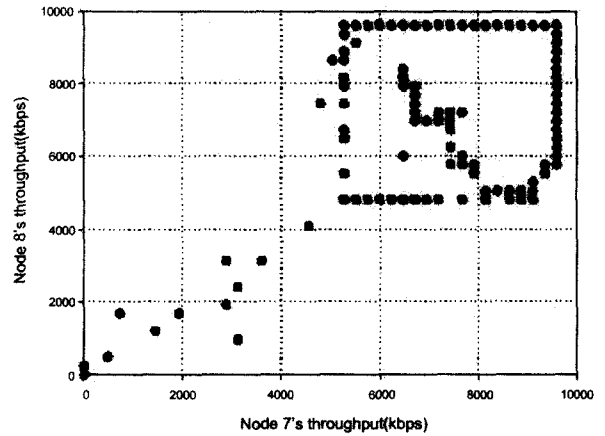


(b) 9180바이트 프레임/155M 백본

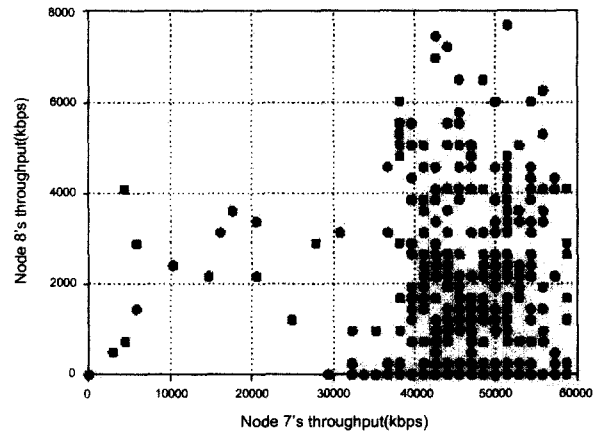
(그림 6) 처리율 비교

대형 프레임을 사용하면 표준 프레임을 사용했을 때 보다 약 5배 이상의 처리율 향상을 기대할 수 있음을 (그림 6)의 노드 7에서 나타냈다. 하지만, 노드 7이 대형 프레임을 가질 때, 트래픽의 가용 대역폭 선점으로 인해 회선 공유의 강도가 큰 노드 6과 8의 트래픽들은 다량의 패킷 손실을 경험하게 된다. 이는 TCP의 중단 간 처리율이 급격히 감소됨을 의미한다. 즉, 백본 네트워크의 대역폭이 증가 하더라도 대형 프레임의 가용 대역폭 선점 특성에 따라 표준 프레임을 사

용하는 트래픽들의 성능 향상을 크게 기대할 수 없다. 회선 공유의 강도가 비교적 적은 노드 4도 중단 간 TCP 처리율이 감소되지만 그 영향이 상대적으로 적다.



(a) 1500바이트 프레임/155M 백본



(b) 9180바이트 프레임/155M 백본

(그림 7) 대역폭 공유 특성

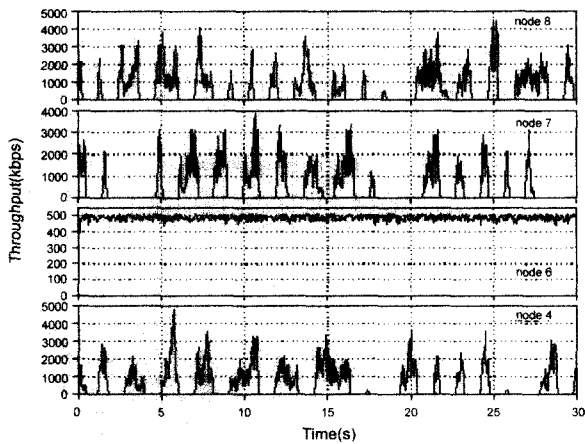
(그림 7)은 트래픽간의 대역폭 공유 특성을 나타낸다. (그림 7)(a)의 규칙성은 표준 프레임을 사용하는 두 트래픽이 최소한의 가용 자원을 확보한 상황에서 네트워크 대역폭을 공유하고 있음을 나타낸다. 즉, 네트워크 대역폭이 확장되었을 때 경쟁하는 트래픽들로 부터의 영향을 최소화 시킬 수 있다. 또한, (그림 3)(b)와 비교했을 때 대형 프레임의 대역폭 선점이 크게 완화되었음을 (그림 7)(b)를 통해 알 수 있다.

전달 지연 분포에 있어서 노드 7과 라우팅 경로의 공유 강도가 큰 노드 6 및 8은 대형 프레임의 영향을 받아 지연 변화가 발생하지만 2~4ms로, 협대역의 경우에 비해 극미했다. 백본 대역폭이 증가할수록 지연 변화가 감소하므로 서비스 품질에 큰 영향을 미치지 못한다. 155Mbps 병목 회선에서의 큐 크기 변화는 대형 프레임을 사용했을 경우 최대 18,350K 바이트이고 평균 360K 바이트를 점유한다. 표준 프

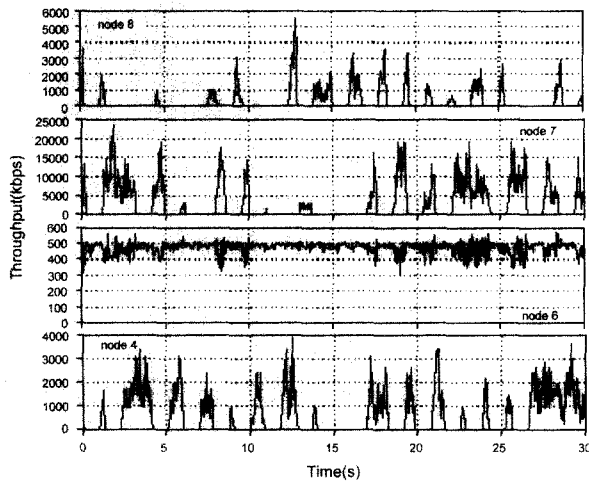
레이은 최대 10,920K 바이트, 평균 140K 바이트의 큐 크기를 필요로 했다. 평균 큐 크기는 백본의 속도 향상으로 50Mbps 백본에서의 결과에 비해 크게 감소했으나 최대 큐 크기는 차이를 보이지 않는다.

4.3 패킷 손실이 중단 간 성능에 미치는 영향 분석

광대역 및 협대역에서 패킷 손실의 영향을 확인하기 위해 병목 회선에서 5%의 임의 손실(Random Loss)을 NS2의 ErrorModel을 이용하여 발생시켰다. 임의 손실은 균등 분포(Uniform Distribution)를 갖는다.



(a) 1500바이트 프레임/50M 백본



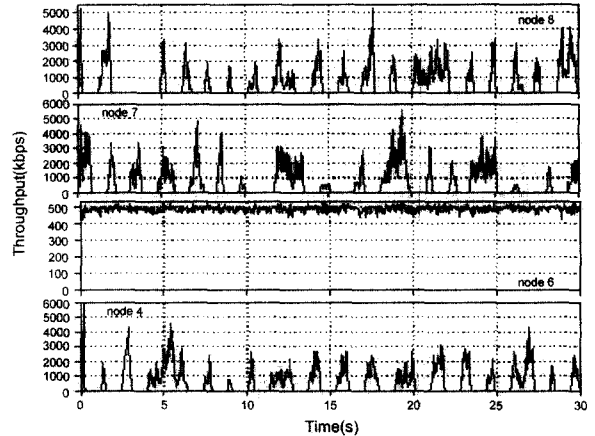
(b) 9180바이트 프레임/50M 백본

(그림 8) 처리율 비교

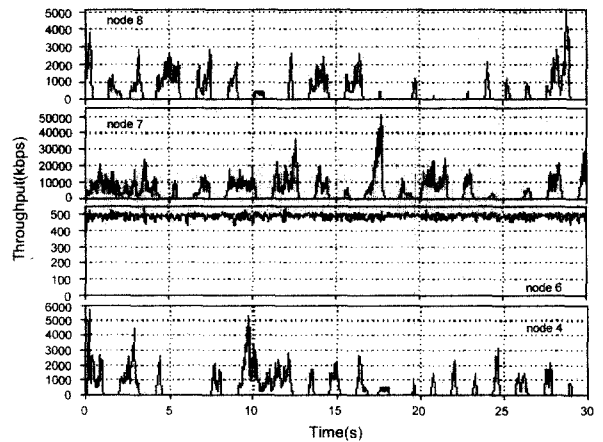
(그림 8)은 협대역에서 TCP와 UDP 트래픽의 처리율 특성을 나타낸다. (그림 8)(b)를 통해 임의 손실이 TCP의 처리율에 미치는 영향과 협대역에서 대형 프레임이 경로를 공유하는 타 트래픽에 미치는 영향을 확인할 수 있다. (그림 2)(b)와 비교했을 때, 5%의 분산된 손실이 대형 프레임을 사용하는 TCP의 처리율을 크게 감소시키고 있다. 네트워크 손실

환경 하에서 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 처리율 감소가 라우팅 경로를 공유하는 타 TCP 트래픽의 처리율에 큰 영향을 미치지 않지만 UDP 트래픽의 처리율은 크게 향상됨을 확인할 수 있다.

손실 비율이 동일하고 네트워크 대역폭을 협대역에서 광대역으로 바꿨을 때 경로 공유의 강도가 강한 (그림 9)(b)의 TCP 트래픽은 대형 프레임의 간섭이 없었던 (그림 9)(a)에 비해 TCP 처리율이 감소됨을 확인할 수 있다. 이에 반해, UDP는 영향을 받지 않는다. 협대역에서 대형 프레임을 사용했을 때 병목 구간에서 측정된 최대 큐 크기는 18,720K 바이트이고 표준 프레임의 경우는 5,464K 바이트이다. 광대역에서 대형 프레임을 사용했을 때 필요한 최대 큐 크기는 19,080K 바이트로 협대역에서의 최대 큐 크기와 큰 차이가 없었으나 표준 프레임을 사용했을 경우에는 3,180K 바이트가 필요했다.



(a) 1500바이트 프레임/155M 백본



(b) 9180바이트 프레임/155M 백본

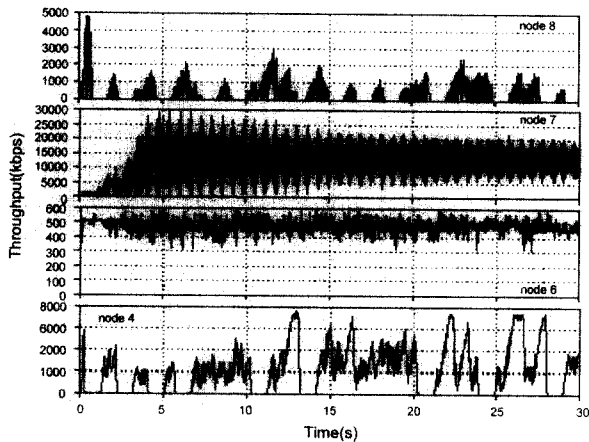
(그림 9) 처리율 비교

4.4 전달 지연이 중단 간 성능에 미치는 영향 분석

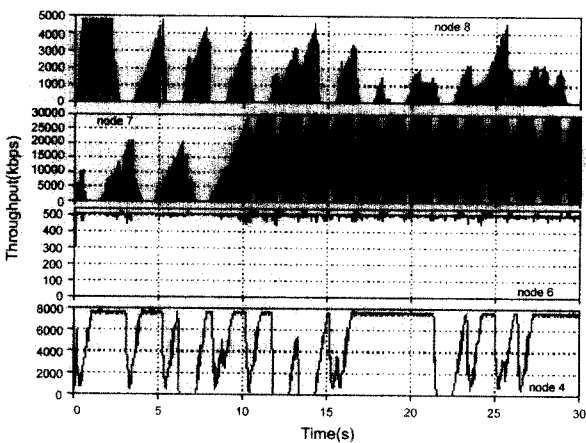
첫 번째 모의실험은 대형 프레임이 지나가는 경로의 중단 간 지연이 타 트래픽의 지연에 비해 클 경우에 해당된다.

실험을 위해 인위적인 손실은 가하지 않았고 대형 프레임이 지나가는 경로는 중단 간 지연이 50ms, 노드 6과 8은 38ms, 노드 10, 11 및 12는 22ms로 설정되었다. 나머지 노드는 중단 간 14ms의 전달 지연을 갖는다.

(그림 10)에서 TCP의 처리율 변동이 심한 이유는 처리율의 측정 주기가 50ms로 설정되어 있어 중단 간 전달 지연보다 측정 주기가 짧기 때문이다. 경쟁 트래픽들에 비해 중단 간 전달 지연이 큰 회선에서 대형 프레임을 사용했을 경우 대역폭 확장에 비해 처리율이 크게 변화되지 않는 특성을 (그림 10)에서 알 수 있다. 이는 대형 프레임을 사용하는 노드 7의 트래픽이 안정화 상태(Steady-State)에 이르기 전에 상대적으로 중단 간 전달 지연이 작은 트래픽들이 가용 대역폭을 충분히 확보하기 때문이다.



(a) 대형 프레임/50M 백본



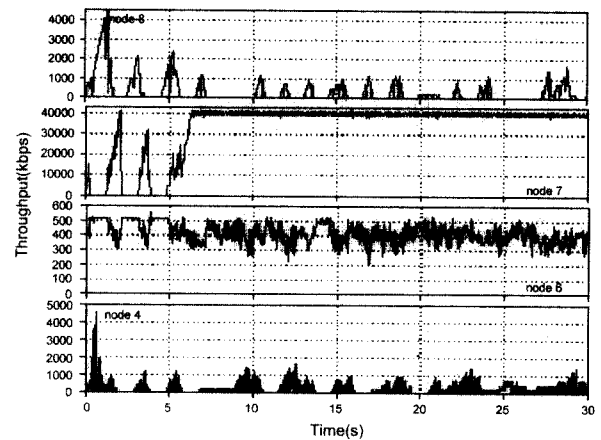
(b) 대형 프레임/155M 백본

(그림 10) 처리율 비교

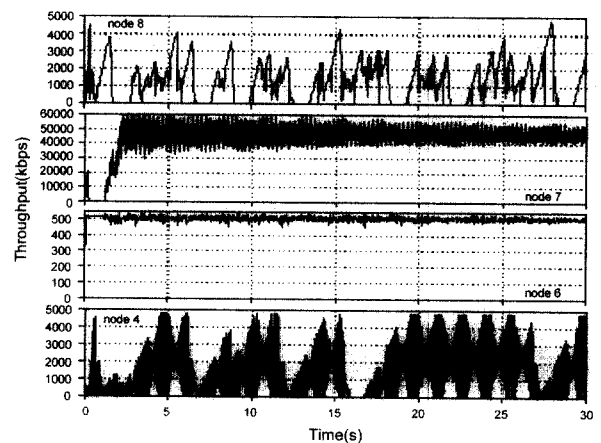
네트워크가 협대역일 경우 병목 회선에서 측정된 최대 큐 크기는 19,140K 바이트로써 광대역일 때의 18,900K 바이트에 비해 큰 차이를 보이지 않았다.

두 번째 실험은 타 트래픽의 중단 간 전달 지연이 상대적

으로 큰 경우로써 인위적 손실은 없고, 대형 프레임의 중단 간 전달 지연은 14ms, 노드 6과 8은 26ms, 노드 10, 11 및 12는 38ms의 중단 간 지연을 갖는다. 나머지 트래픽의 전달 지연은 50ms이다. (그림 11)(a)는 협대역에서 대형 프레임을 사용하는 TCP 트래픽의 중단 간 전달 지연이 경합하는 트래픽에 비해 작을 경우에 나타나는 가용 대역폭의 선점 특성이다. (그림 2)(b)에 비해 중단 간 전달 지연이 큰 (그림 11)(a)의 노드 4는 처리율이 크게 감소했음을 알 수 있다. 하지만, 표준 프레임을 사용하고 중단 간 전달 지연이 큰 TCP의 처리율 감소로 인해 UDP의 처리율이 (그림 2)(b)에 비해 향상되었다. (그림 10)(a)의 노드 6과 비교했을 때 (그림 11)(a)에서 대형 프레임을 사용하는 저지연(Low Delay) 트래픽이 공유 강도가 강한 UDP 트래픽에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다. 협대역일 경우 병목 회선에서 측정된 최대 큐 크기는 19,080K 바이트이고 광대역에서 최대 18,360K 바이트가 필요했다.



(a) 대형 프레임/50M 백본



(b) 대형 프레임/155M 백본

(그림 11) 처리율 비교

4.5 실험 결과

대역폭, 패킷 손실 및 중단 간 전달지연이 각기 다른 프레

임 크기를 갖는 트래픽들에 미치는 영향을 <표 2>에 정리했다.

<표 2> 비교 분석 종합

	표준 프레임		
	처리율 I(Mb)	처리율 II(Mb)	버퍼크기(Mb)
협대역	9.6/2.8	9.8/2.3	11.4
광대역	9.7/7.9	9.7/8.0	10.9
	대형 프레임		
협대역	42.5/35.2	3.1/0.2	18.3
광대역	59.8/44.5	7.4/1.1	18.3
비 고	임의 손실 없음, 최대처리율/평균처리율		
	표준 프레임		
	처리율 I(Mb)	처리율 II(Mb)	버퍼크기(Mb)
협대역	3.9/0.6	4.5/0.5	5.4
광대역	5.6/0.4	5.5/0.6	3.1
	대형 프레임		
협대역	23.6/3.0	5.6/0.3	18.7
광대역	52.0/4.7	5.0/0.4	19.0
비 고	5% 임의 손실, 최대처리율/평균처리율		
	대형 프레임		
	처리율 I(Mb)	처리율 II(Mb)	버퍼크기(Mb)
협대역	30.0/12.3	4.8/0.4	19.1
광대역	29.9/10.7	4.8/0.9	19.0
비 고	임의 손실 없음, I(50ms), II(38ms)		
협대역	42.3/33.8	4.6/0.3	18.9
광대역	59.8/44.3	4.6/1.3	18.3
비 고	임의 손실 없음, I(14ms), II(26ms)		

비교의 용이를 위해 라우팅 경로의 공유 강도가 높은 두 노드 7과 8을 선택했고, 종단 노드인 7'(I로 표기)과 8'(II로 표기)에서 최대 및 평균 처리율을 측정했다. 노드 7 및 기타 노드들이 표준 프레임을 사용하면 '표준 프레임'으로, 노드 7에 한정해서 대형 프레임을 사용했을 경우에 '대형 프레임'으로 표기했다. 버퍼크기는 병목회선에서 측정된 최대 버퍼값이다.

먼저, 네트워크 대역폭이 다른 프레임 크기를 갖는 트래픽에 미치는 영향을 살펴본다. 임의 손실을 가하지 않고 협대역에서 대형 프레임을 사용하면 표준 프레임을 사용했을 때보다 약 12.6배의 종단 간 처리율을 향상시킬 수 있으나, 표준 프레임을 사용하는 경쟁 트래픽들의 처리율은 약 11.5배 감소했다. 또한, 광대역의 경우 동일 조건에서 대형 프레임을 사용하게 되면 약 7.3배의 처리율 향상을 꾀할 수 있지만 경쟁 트래픽들의 처리율은 약 7.3배 감소했다. 표준 프레임을 사용하고 백본 대역폭이 약 3배 증가했을 때 대역폭 증가에 따른 최대 처리율의 이득은 없지만 평균처리율이 약 2.8배 상승했다. 대형 프레임을 사용하고 대역폭을 동일하게 증가시켰을 경우에는 최대 처리율과 평균처리율이 각각 1.3배씩 증가했음을 알 수 있다. 백본 대역폭이 증가하게 되면 대

형 프레임을 사용하는 트래픽의 자원 선점 특성이 완화되기 때문에 경쟁 트래픽들의 종단 간 성능을 향상시킬 수 있다.

5%의 임의 손실을 가했을 때, 대형 프레임을 사용하게 되면 표준 프레임을 사용했을 때보다 약 5.0~11.7배의 종단 간 성능 향상을 가져온다. 또한, 라우팅 경로를 공유하고 표준 프레임을 사용하는 트래픽의 처리율 감소비율이 무손실 환경일 때에 비해 크지 않기 때문에 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 영향을 적게 받음을 알 수 있다. 하지만, 손실 및 광대역 환경 하에서 대형 프레임을 사용했을 때의 평균처리율이 무손실, 협대역 환경과 큰 차이를 보이지 않고 있어 네트워크 신뢰성이 종단 간 성능에 매우 큰 영향을 줄 수 있다.

대형 프레임을 사용하는 트래픽의 종단 간 전달 지연이 표준 프레임을 사용하는 기타 트래픽에 미치는 영향은 적다. 즉, 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 종단 간 전달 지연이 50ms에서 14ms로 감소해도 경쟁 관계에 있고 표준 프레임을 사용하는 트래픽의 종단 간 처리율에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 다만, 종단 간 전달 지연이 경쟁 트래픽에 비해 클 경우 네트워크 대역폭이 증가하더라도 경쟁 트래픽들에 의해 자원이 선점 당할 수 있다. 즉, 네트워크 자원을 공유하는 트래픽들에 비해 종단 간 지연이 큰 트래픽은 경쟁 트래픽들의 자원 선점 여부에 따라 처리율에 차이를 보인다. 이는, 종단 간 전달 지연이 50ms로 경쟁 트래픽에 비해 큰 경우 네트워크 대역폭의 확장에도 불구하고 처리율이 10.7Mbps로 감소함을 통해 알 수 있다.

위 결과들을 종합해 볼 때, 대형 프레임을 사용하여 TCP의 종단 간 처리율을 극대화 시키고 표준 프레임을 사용하는 기타 트래픽들에 미치는 부정적인 영향을 극소화시키기 위해서는 다음과 같은 환경에 대형 프레임을 적용시켜야 한다. 첫째, 네트워크 가용 대역폭(Available Bandwidth)의 충분한 확보가 필요하고 둘째, 네트워크 신뢰성 보장을 통한 데이터 손실이 극소화 되어야 한다. 셋째, 대형 프레임을 사용하는 트래픽의 종단 간 전달 지연이 경쟁 트래픽에 비해 상대적으로 낮아야 한다.

마지막으로, 백본 노드에서 필요한 최대 버퍼 크기는 대형 프레임을 사용할 때 표준 프레임을 사용했을 때보다 약 1.6배가 더 필요하며 네트워크 대역폭의 확장 여부에 영향을 받지 않았다. 또한, 네트워크 손실 등의 환경에서 트래픽의 Burstness(즉, 최대처리율/평균처리율)가 높아져 네트워크 자원의 사용 효율성이 떨어지게 된다.

5. 결 론

대형 프레임의 사용은 패킷 헤더 해석과 에러 복구를 위한 프로세싱 부하를 경감하고 TCP 트래픽의 종단 간 전송 처리율을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 대형 프레임의 크기가 네트워크상에 공존하는 트래픽들에 미치는 영향에

대해 컴퓨터 모의실험을 통해 비교 분석했다. 대형 프레임의 사용은 전송 효율면에서 표준 프레임을 사용했을 때 보다 약 7.3배 이상의 처리율 증가를 가져왔으나 라우터 버퍼 사용에 있어 다소 비효율적인 특성을 보였다. 또한, 자원 공유 특성이 있고 표준 프레임을 사용하는 경쟁 트래픽들의 처리율이 네트워크 대역폭 확장에 크게 영향을 받지 않았다. 네트워크상에서 패킷 손실이 없고 중단 간 전달 지연이 경쟁 트래픽에 비해 상대적으로 낮아야 대형 프레임의 사용 이득을 최대화 할 수 있다. 마지막으로, 대형 프레임을 사용하는 트래픽들이 표준 프레임을 사용하는 트래픽들과 회선을 공유할 경우 전체 대역폭의 양보다는 가용 대역폭의 양에 따라 트래픽들의 중단 간 성능에 미치는 영향이 커지므로 네트워크 구축 시 충분한 고려가 필요하다. 또한, 다양한 네트워크 환경 하에서 가용 대역폭의 증감이 표준 및 대형 프레임을 사용하는 트래픽들에 미치는 영향에 대해서도 상세한 연구 분석이 필요하다.

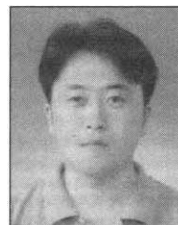
참 고 문 헌

[1] M. Carlson, W. Weiss, S. Blake, Z. Wang, D. Black, E. Davies, "An Architecture for differentiated Services," RFC 2475, IETF, 1998.
 [2] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture : An Overview," RFC 1633, IETF, 1994.
 [3] T. Dunigan, M. Mathis, B. Tierney, "A TCP Tuning Daemon," SC2002, 2002.
 [4] PPDG, "Particle Physics Data Grid," 2001, <http://www.ppdg.org/>.
 [5] HEP, "High Energy Physics," [http://www.gridforumkor-
 ea.org/](http://www.gridforumkor-

 ea.org/).
 [6] A. Chervenak, I. Foster, C. Kesselman, C. Salisbury, S. Tuecke, "The Data Grid : Towards an Architecture for the Distributed Management and Analysis of Large Scientific Datasets," Network and Computer Applications, Vol.23, pp. 187-200.
 [7] R. Carlson and et al., "End-to-End Performance on the Internet," Network World, 2003.
 [8] Alteon Networks, "Extended Frame Sizes for Next Generation Ethernet," A White Paper.
 [9] IEEE, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," ANSI/IEEE Std. 802.3-1985, 1985.
 [10] M. Mathis, J. Semske, J. Mahdavi, T. Ott., "The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm", Computer Communication Review, Vol.3, No.27, 1997.
 [11] A. Rindos, S. Woolet, D. W. Cosby, L. Hango, M. A. Vouk, "Factors Influencing ATM Adapter Throughput." Multi-

media Tools and Applications, Vol.2, pp.253-271, 1997.
 [12] J. Postel, "Internet Protocol", Tech. Rep., RFC 791, 1981.
 [13] A. Gallatin, J. Chase, K. Yocum, "Trapeze/IP : TCP/IP at Near-Gigabit Speeds," in Proc. 1999 USENIX Technical Conference, 1999.
 [14] Lu. Guang, R. Simmonds, K. Yocum, "The Performance of TCP over ATM on Lossy ADSL Networks," in Proc. 25th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks(LCN), pp.418-427, 2000.
 [15] R. Gurski, C. L. Williamson, "TCP over ATM : Simulation Model and Performance Results," in Proc. 15th Annual IEEE International Phoenix Conference on Computers and Communications, pp.328-335, 1996.
 [16] W. Feng, J. Hurwitz, H. Newman, S. Ravot, R. L. Cottrell, O. Martin, F. Coccetti, C. Jin, X. Wei, "Optimizing 10-Gigabit Ethernet for Networks of Workstations, Cluster, and Grids : A Case Study," in Proc. SC 2003, Nov., 2003.
 [17] J. C. Brustoloni, P. Steenkiste, "Effects of Buffering Semantics on I/O Performance," in Proc. the Second Symposium on Operating System Design and Implementation, pp.277-291, 1996.
 [18] H. Keng, J. Chu, "Zero-Copy TCP in Solaris," in Proc. USENIX 1996 Annual Technical Conference, 1996.
 [19] Y. Yasu and et al., "Evaluation of Gigabit Ethernet with Java/HORB," in Proc. Intl Conference on Computing in High Energy Physics(CHEP98), 1998.
 [20] P. Dykstra, "Gigabit Ethernet Jumbo Frames," Dec., 1999, <http://sd.wareonearth.com/~phil/jumbo.html>.
 [21] D. Gunter, B. Tierney, K. Jackson, J. Lee, M. Stoufer, "Dynamic Monitoring of High Performance Distributed Applications," in Proc. the 11th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, HPDC-11, 2002.
 [22] K. Fall, K. Varadhan, "ns notes and documentation," the VINT Project at LBL, Xerox PARC, UCB, and USC/ISI, Agu., 2001, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
 [23] M. Allman, V. Paxson, W. Stevens, "TCP Congestion Control." Tech. Rep. RFC 2581, Apr., 1999.
 [24] P. Marbach, "Priority Service and Max-Min Fairness," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.11, pp.733-746, 2003.

조진용



e-mail : jiny92@kisti.re.kr
 1999년 전남대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2002년 광주과학기술원 정보통신공학과
 (공학석사)
 2003년~현재 한국과학기술정보연구원
 연구원

관심분야 : 멀티미디어 스트리밍, Interactive 멀티미디어 응용 기술, 멀티캐스트 모니터링, 고성능 네트워킹 등.

곽재승



e-mail : jskwak@kisti.re.kr
 1989년 전남대학교 산업공학과(공학석사)
 1999년 전남대학교 산업공학과(공학박사)
 1998년~2000년 순천제일대학 전임교수
 2000년~현재 한국과학기술정보연구원
 선임연구원

관심분야 : Access Grid 성능향상 기술, Grid High Performance
 Networking, Network Survivability 등.

변옥환



e-mail : ohbyeon@kisti.re.kr
 1979년 한국항공대학교 통신정보공학
 1993년 경희대학교 전자공학과(공학박사)
 1984년 미국 OSM Corp 객원연구원
 1997년 미국 NCSA/UIUC 객원연구원
 1978년~1995년 KIST 시스템공학연구소
 책임연구원, 연구전산망개발실장,
 슈퍼컴퓨팅응용실장

1995년~1999년 ETRI 슈퍼컴퓨팅센터 책임연구원, 고성능망연
 구실장, 슈퍼컴퓨팅연구실장
 1999년~현재 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 책임연구원, 초고속연구
 망부장, 슈퍼컴퓨팅인프라개발실장
 관심분야 : 고성능망 관리 및 보안, 그리드 네트워킹 및 협업 액세
 스 그리드, 유비쿼터스 네트워킹 및 모바일 그리드 등